



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**LIPEÄN JA SOODAN KÄYTTÖ JUOMAVEDEN  
ALKALOINNISSA**

Joona Saarnio

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Tammikuu 2017



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **LIPEÄN JA SOODAN KÄYTTÖ JUOMAVEDEN ALKALOINNISSA**

Joona Saarnio

Ohjaaja: Heini Postila

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Tammikuu 2017

# TIIVISTELMÄ

## OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Ympäristötekniikan koulutusohjelma		Pääaineopinnojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Saarnio, Joonas		Työn ohjaaja yliopistolla Postila H, TkT	
Työn nimi Lipeän ja soodan käyttö juomaveden alkaloinnissa			
Opintosuunta	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Tammikuu 2017	Sivumäärä 28 s.
Tiivistelmä			
<p>Vesijohtojen korroosion hidastamiseksi talousvesi tulee usein alkaloida ennen verkostoon pumppausta. Alkalointiprosessissa veden pH:ta nostetaan, mutta samalla vaikutetaan myös muihin veden ominaisuuksiin, kuten kovuuteen ja alkaliteettiin. Alkalointiin käytetään erilaisia emäksisiä kemikaaleja. Suomessa yleisimmät käytössä olevat alkalointikemikaalit ovat kalkki, lipeä ja sooda. Niillä on kuitenkin vaihtelevia vaikutuksia veden ominaisuuksiin, mikä vaikuttaa olennaisesti sopivan alkalointikemikaalin valintaan.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, millaisia vaikutuksia soodalla ja lipeällä on veden ominaisuuksiin, ja arvioida, miten kyseiset kemikaalit soveltuvat juomaveden alkalointiin. Työn pohjustukseksi on selvitetty myös talousveden käsittelyketju ja erityisesti alkalointiprosessi. Tuloksia on verrattu varsin yleiseen, kalkilla tehtävään alkalointiin. Tutkielma on tehty kirjallisuuskatsauksena aikaisempien tutkimusten ja alan kirjallisuuden pohjalta.</p> <p>Sooda ja lipeä ovat varsin yleisessä käytössä etenkin pienillä vedenpuhdistuslaitoksilla. Synä suosioon on kemikaalien hyvä soveltuvuus prosessiin sekä syöttölaitteiston yksinkertaisuus. Käyttö on helppoa, eikä laitteisto vaadi suuria alkuinvestointeja. Veden kovuutta ei pystytä lipeällä tai soodalla nostamaan, mutta ongelman ratkaisemiseksi näiden rinnalla voidaan käyttää esimerkiksi kalkkikivialkalointia. Kumpikin kemikaali nostaa veden alkaliteettia, mutta soodalla sitä saadaan nostettua suhteellisesti enemmän kuin lipeällä. Mahdollisissa yliannostustilanteissa etenkin lipeä voi aiheuttaa vesijohtoverkoston käyttäjille terveysriskin.</p> <p>Tutkielman tuloksia voidaan soveltaa tyypillisen suomalaisen raakaveden käsittelyprosesseihin, ja ne voivat auttaa sopivimman alkalointikemikaalin valinnassa sekä vedenpuhdistusprosessien kehittämisessä.</p>			
Muita tietoja			

# ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Environmental Engineering		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Saarnio, Joonas		Thesis Supervisor Postila H, D. Sc. (Tech)	
Title of Thesis The use of caustic soda and soda ash in fresh water alkalization			
Major Subject	Type of Thesis Bachelor's thesis	Submission Date January 2017	Number of Pages 28 p.
Abstract			
<p>Corrosion has been a big problem in water supply networks in Finland. To prevent corrosion, water purification plants have to alkalize the drinking water before pumping it to the network. In alkalization process, the pH of the water is raised. In the process the other features of water like hardness and alkalinity, are also affected. Alkalization process is accomplished with alkaline chemicals. The most used alkalization chemicals in Finland are lime, caustic soda and soda ash. All of them have different effects on the features of the water. This is a significant factor when the alkalization chemicals are chosen.</p> <p>The target in this thesis was to study what kind of effects caustic soda and soda ash have on water, and also estimate how well these chemicals suit to the alkalization process. To outline the issue, there is also explained the whole water purification process in this thesis. The results are compared with lime alkalization process, which is quite widespread in Finland. This thesis is a literature review and uses previous researches as a reference.</p> <p>Caustic soda and soda ash are quite common chemicals in smaller water purification plants. They suit well in alkalization process and require only cheap and simple facilities. There are also some problems with these chemicals. They do not raise the hardness of the water as lime does. To solve this problem, limestone can be used alongside these chemicals. Both caustic soda and soda ash raise the alkalinity of the water, but soda ash does it more effectively than caustic soda. In addition, especially caustic soda can cause health risks in potential overdose situations.</p> <p>The results of this thesis can be applied in purification processes of typical Finnish raw water. They can also help choosing the best alkalization chemical and developing water purification plants.</p>			
Additional Information			

# SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
2 JUOMAVESIVARANNOT .....	6
2.1 Pintavesi .....	6
2.2 Pohjavesi .....	7
3 TALOUSVEDEN KÄSITTELY .....	9
3.1 Raakaveden laatu .....	9
3.1.1 Kovuus .....	9
3.1.2 pH .....	10
3.1.3 Alkaliteetti .....	11
3.1.4 Mikro-organismit .....	11
3.2 Pintaveden käsittelyketju .....	11
3.2.1 Vedenotto .....	11
3.2.2 Koagulaatio-flokkaus .....	12
3.2.3 Selkeytys .....	12
3.2.4 Suodatus .....	13
3.2.5 Adsorptio aktiivihielellä .....	14
3.2.6 Ioninvaihto .....	14
3.2.7 Kalvopuhdistusprosessit .....	14
3.2.8 Desinfointi .....	15
3.2.9 Alkalointi .....	16
3.3 Pohjaveden käsittelyketju .....	17
4 ALKALOINTI .....	18
4.1 Kalkkialkalointi .....	20
4.2 Lipeäalkalointi .....	21
4.3 Sooda-alkalointi .....	22
4.4 Alkalointimenetelmien valinta .....	23
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO .....	26
Lähdeluettelo .....	27

# 1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön aiheena on lipeän ja soodan käyttö juomaveden alkaloinnissa. Työssä luodaan katsaus Suomen vesivarantoihin ja niiden käyttöön talousvetenä, sekä tarkastellaan talousveden puhdistusprosessia ja erityisesti sen alkalointivaihetta näiden kahden edellä mainitun alkalointikemikaalin näkökulmasta. Talousveden alkalointi on Suomessa tärkeä vedenpuhdistuksen osaprosessi, koska suuri osa käytettävästä raakavedestä on hapanta ja aiheuttaa korroosiota vesijohtoverkostossa ja kotitalouksien vesilaitteissa (Karttunen, 2003). Tarkoituksena tässä työssä on esitellä lipeä- ja sooda-alkaloinnin hyviä ja huonoja puolia, ja vertailla saatuja tuloksia kalkilla tehtävän alkalointiprosessin ominaisuuksiin. Alkaloinnissa käytetään yleisimmin kalkkia, lipeää tai soodaa. Kalkin ja lipeän kanssa veteen voidaan lisätä myös hiilidioksidia parantamaan näiden kemikaalien vesiliukoisuutta, etenkin kun halutaan merkittävästi nostaa veden alkaliteettia tai kovuutta. Alkalointiin käytetään joissain tapauksissa myös ilmastusta (Laakso, 1997).

Työn tavoite on selvittää, millaisia seikkoja vedenpuhdistamoilla tulee ottaa huomioon, kun käytetään juomaveden alkaloinnissa lipeää tai kalkkia. Työ on rajattu koskemaan vain Suomessa tehtävää, tyypillisille suomalaisen raakaveden ominaisuuksille suunniteltua juomaveden käsittelyä. Tämä työ on kirjoitettu aiemmin tehtyjen tutkimusten pohjalta kirjallisuuskatsauksena.

## 2 JUOMAVESIVARANNOT

### 2.1 Pintavesi

Pintavesi on maanpäällistä vettä, joka on varastoituneena erilaisissa vesistöissä kuten järvissä tai joissa. Pintavettä käytetään Suomessa yleisesti talousveden lähteenä; noin 39 % Suomessa käytettävästä talousvedestä on peräisin pintavesistä (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys, 2016). Pintavedessä on pohjaveteen verrattuna suhteellisen paljon epäpuhtauksia, minkä vuoksi pintavesi vaatii laajemman puhdistusprosessin kuin pohjavesi. Pintavesissä esiintyy paljon esimerkiksi orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat peräisin vedessä tapahtuvista biologisista toiminnoista, kuten levien tai bakteerien kasvusta. Pintavesissä on usein myös suhteellisen korkea happipitoisuus, sillä ilmasta happi pääsee liukenemaan suoraan veteen. Pintaveden epäpuhtautta lisäävät myös omalta osaltaan esimerkiksi valunnan mukana vesistöihin huuhtoutuvat aineet ja vesistöihin kohdistuva saastuminen esimerkiksi jätevedenpuhdistuksen ja teollisuuden osalta. Tällaisia vesistöihin kulkeutuvia, talousveden puhdistamisen tarvetta lisääviä epäpuhtauksia ovat esimerkiksi maatalouden käytöstä peräisin oleva typpi ja fosfori sekä valuma -alueilta eroosion jäljiltä kulkeutuva humus. Humuksella on raakaveteen happamoittava vaikutus, minkä vuoksi runsas humuspitoisuus lisää alkaloinnin tarvetta. (Karttunen, 2003)

Savipitoisilla maa-alueilla erityisesti eteläisessä Suomessa vedenpuhdistukseen tuo oman haasteensa vedessä korkeina pitoisuuksina esiintyvä savi. Näiden epäpuhtauksien vuoksi pintavesi on ennen käyttöä puhdistettava asianmukaisesti. Haastetta puhdistusprosesseihin tuo se, että pintaveden laatu vaihtelee vuodenaikojen mukaan merkittävästi. Esimerkiksi kasvukaudella lämpö luo pintavesiin otolliset olosuhteet mikrobien ja levien kasvulle, ja etenkin keväisin tulvat huuhtovat jokiin ja järviin merkittäviä määriä humusta, savea ja muita maa-aineksia jotka lisäävät veden puhdistamisen tarvetta.

## 2.2 Pohjavesi

Pohjavesi on lumen sulamisen ja sadannan seurauksena maan alle päätynyttä vettä, joka on sitoutuneena maaperään niin, että maa-aines on vedestä kylläinen (Isomäki et al., 2007). Tämä kylläisyys tarkoittaa sitä, että maahiukkasten väliset huokokset ovat kokonaisuudessaan veden täyttämiä (Elo, 2009). Jotta vesi pääsisi imeytymään maahan, sen on läpäistävä ensin maan pintakerros. Tämän vuoksi esimerkiksi kiinteillä savimailla hyödynnettävissä olevia pohjavesialueita ei usein ole, sillä vesi ei pääse läpäisemään tiivistä savikerrosta ja näin infiltroitumaan maahan. Savikerroksen alla oleva pohjavesi ei siis pääse juurikaan vaihtumaan, minkä vuoksi se on usein vähähappista ja rautapitoista. (Elo, 2009) Tällaisilla alueilla sadevesi ja sulamisvedet poistuvat usein valunnan mukana ojia ja luonnonuomia myöten.

Toisin kuin pintavesissä, pohjavesissä ei esiinny juurikaan vuodenaikojen mukaista laadullista vaihtelua. Pohjaveden laatu ja hyödyntämispotentiaali vaihtelevat lähinnä alueellisesti. Hyödynnettävissä olevaa pohjavettä esiintyy erityisesti alueilla, joissa maa koostuu erityisen huokoisesta tai rikkonaisesta maa-aineksesta, kuten hiekasta tai sorasta. (Karttunen, 2003)

Kun vesi hiljalleen imeytyy eli infiltroituu maahan, tapahtuu samalla koko ajan suodantaa eli perkolaatiota (Timonen, 1994). Tämän suodautumisen vaikutuksesta vesi puhdistuu, kun siinä olevat erilaiset epäpuhtaudet adsorboituvat maa-ainepartikkeleihin. Tällaisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi bakteerit ja useat orgaaniset yhdisteet. Samalla tapahtuu myös mineraalien liukenemistä maaperästä pohjaveteen. Esimerkiksi hiilidioksidi sekä mangaani-, kalsium-, ja kaliumionit ovat pohjaveteen yleisesti maaperästä liuenneita aineita (Rantala, 2007). Näiden infiltraation aikana tapahtuvien reaktioiden seurauksena maaperässä oleva pohjavesi on usein hapanta. Tämän happamuuden vuoksi pohjavesi on vesijohtoverkoston pumpattuna putkistoja syövyttävää. Vesijohtoverkoston korroosion estämiseksi vedenottamoilla ja -puhdistamoilla on toteutettava juomaveden alkalointi. (Karttunen, 2003) Myös veteen liennut rauta ja mangaani aiheuttavat suurina pitoisuuksina ongelmia talousveden jakeluketjussa. Mangaanilla on osoitettu olevan terveydelle haitallisia vaikutuksia (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, 2016), ja suuret veden rautapitoisuudet aiheuttavat lähinnä esteettisiä haittoja sekä saostumia erilaisiin kotitalouksien ja teollisuuden vesilaitteisiin (Kontiainen, 2013).



Suomessa tuotettavasta talousvedestä noin 61 % on peräisin pohjavesialueilta (Vesi- ja viemäri- ja viemäri- ja viemäriyhdistys, 2016). Pohjavesi on siis selvästi yleisin talousveden lähde Suomessa. Nykyään on lisääntynyt myös tekopohjaveden käyttö. Tekopohjavesi on keinotekoisesti maaperään imeytettyä vettä, joka on useimmiten pintavesistä peräisin. Tekopohjaveden valmistus on edullinen keino saada helposti aikaiseksi hyvälaatuista käyttövettä. Se kuitenkin edellyttää oikeanlaisen maaperän onnistuakseen. (Rantala, 2007)

Vaikka pohjavesiä käytetään paljon yhteiskuntien talousveden lähteenä, kuitenkin vain noin 0,67 % kaikesta maapallon vedestä on pohjavettä (Elo, 2009). Pohjaveden runsaan käytön vuoksi sen ominaisuudet on tunnettava hyvin, jotta voidaan suunnitella käytettävissä olevalle pohjavedelle sopiva käsittelyprosessi.

## 3 TALOUSVEDEN KÄSITTELY

### 3.1 Raakaveden laatu

Raakavedellä tarkoitetaan vedenottamoille ja -puhdistamoille käsiteltäväksi tulevaa pinta- tai pohjavettä. Raakaveden laatu ja ominaisuudet vaikuttavat olennaisesti siihen, miten vettä käsitellään ennen sen pumppaamista vesijohtoverkoston. Suomessa raakaveden laatua seurataan vedenottamoilla ja -puhdistamoilla hyvinkin tarkasti ja saatuja tuloksia kirjataan käyttöpäiväkirjoihin päivittäin. Suomessa vesilaitokset noudattavat valtioneuvoston päätöstä VNp 366/1994 juomaveden laatuvaatimuksista. Siinä pintaveden laatu on jaettu kolmeen luokkaan A1-A3, ja veden puhdistamisen tarve on määritelty luokituksen perusteella. Merkittäviä raakaveden laadun mittareita ovat esimerkiksi pH, sameus ja väri, erilaisten mikrobien esiintymistiheys sekä erilaisten veteen liuenneiden aineiden kuten raudan ja mangaanin pitoisuudet (Karttunen, 2003). Vesilaitokset ovat vastuussa toimittamansa veden laadusta. Tämän vuoksi paitsi raakaveden, myös lähtevän veden laatua seurataan tarkasti. Vedenlaadun valvonta tapahtuu käytännössä niin näytteenoton kautta vesilaitosten laboratorioissa, kuin jatkuvana mittauksena vedenottamoilla, esimerkiksi pH:n ja sameuden osalta. Vedenpuhdistusprosessin aikana tapahtuvat jatkuvat mittaukset antavat vesilaitosten käytönvalvojille viitteitä siitä, mihin suuntaan prosessia tulee ohjata, mutta tarkat analyysit veden laadusta saadaan usein pienellä viiveellä laboratoriokokeiden valmistuttua. (Isomäki et al., 2007)

#### 3.1.1 Kovuus

Yksi merkittävä raakavedestä mitattavista ominaisuuksista on veden kovuus. Kovuus tarkoittaa niitä veden ominaisuuksia, jotka aiheutuvat erilaisista veteen liuenneista metallien suoloista. Tällaisia veden kovuutta aiheuttavia komponentteja ovat muun muassa veteen liuenneet kalsium- ja magnesiumionit, jotka esiintyvät vedessä joko mineraalihappojen suoloina tai vetykarbonaatteina. Kovuutta voidaan kuvata usealla eri yksiköllä, mutta Suomessa käytetyimpiä ovat saksalaisen asteikon °dH sekä SI -järjestelmän mmol/l. (Karttunen, 2003) Suomalaisen tyyppillisen pohjaveden kovuus on useimmiten alle 7 °dH (Rantala, 2007), mikä vastaa veteen liuenneiden, kovuutta aiheuttavien suolojen konsentraationa alle 1,26 mmol/l (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, 2016). Pintavesissä kovuus on keskimäärin 1-3 °dH (Rantala, 2007).

Veden sanotaan olevan kovaa, kun kovuusarvo on 9,9 °dH tai sitä suurempi (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, 2016). Taulukossa 1 havainnollistetaan veden kovuusasteikko.

**Taulukko 1:** Veden kovuusasteikko (Mukaiillen: Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, 2016).

0...2,1 °dH	Hyvin pehmeä
2,2...4,9 °dH	Pehmeä
5,0...9,8 °dH	Keskikova
9,9...21°dH	Kova
Yli 21 °dH	Hyvin kova

Veden kovuuteen voidaan vaikuttaa puhdistusprosessin aikana erilaisilla alkalointikemikaaleilla sekä hiilidioksidilla. Erityyppisillä alkalointikemikaaleilla on vaihtelevia vaikutuksia veden kovuuteen (Kontiainen, 2013). Nämä vaikutukset toimivat eräänä perusteena alkalointikemikaalin valinnalle. Esimerkiksi sooda ja lipeä eivät nosta alkaloitavan veden kovuutta, toisin kuin kalkki (Laakso, 1997). Suomessa erityisesti pintavedestä otetun pehmeän raakaveden kovuutta halutaan usein nostaa, sillä alle 2,0 °dH:n kovuudet talousvedessä aiheuttavat verkostossa voimakkaampaa korroosiota. Liikaa kovuutta pyritään myös välttämään, sillä se aiheuttaa sakkautumia ja vesilaitteiden tukkeutumista. (Karttunen, 2003)

### 3.1.2 pH

Toinen merkittävä raakaveden laatua kuvaava ominaisuus on sen pH. Suomessa raakaveden pH vaihtelee alueellisesti, mutta karkeasti voidaan sanoa sen olevan välillä 6-7. Kuitenkin erityisesti happamilla sulfaattimailla pH voi olla jopa alle 2 (Karttunen, 2003), mikä ei täytä raakavedelle määritettyjä lain mukaisia laatuvaatimuksia (5,5-9) (VNp 366/1994). Suunnittelussa on siis huomattavan tärkeää tuntea käytettävän raakaveden pH. Puhdistuksen aikana talousveden pH:ta seurataan jatkuvasti. Tärkeintä

prosessissa on saada lähtevän talousveden pH tasolle, joka aiheuttaa mahdollisimman vähän korroosiota vesijohtoverkostossa ilman että veden muut käyttöominaisuudet merkittävästi kärsivät. Suositeltava pH -luku talousvedelle tulisi olla noin 7-8,8, mutta suositeltavimpaan arvoon vaikuttaa esimerkiksi veden kalsiumpitoisuus ja alkaliteetti. (Elo, 2009)

### 3.1.3 Alkaliteetti

Alkaliteetti tarkoittaa veden kykyä vastustaa veden pH -muutoksia (Meriluoto, 2002). Se on siis eräänlainen puskuri veteen joutuvia ulkopuolisia yhdisteitä ja niiden aiheuttamia pH:n muutoksia vastaan. Raakavedessä alkaliteetti on usein pieni, minkä vuoksi vesi on altis pH:n muutoksille. Alkaliteetin aiheuttaja talousvedessä on useimmiten siinä esiintyvä bikarbonaatti. Myös karbonaatit ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ja hydroksidit ( $\text{OH}^-$ ) nostavat veden alkaliteettia. (Karttunen, 2003) Alkalointikemikaaleilla lisätään näiden yhdisteiden pitoisuutta vedessä, ja samalla veden alkaliteettia pyritään kasvattamaan. Eri alkalointimenetelmät vaikuttavat alkaliteetin muutokseen eri tavalla. Esimerkiksi sooda nostaa veden alkaliteettia lipeää ja kalkkia tehokkaammin. (Laakso, 1997)

### 3.1.4 Mikro-organismit

Kovuuden ja pH:n lisäksi raakaveden laadusta kertoo siinä esiintyvä mikrobiologinen toiminta. Vedessä voi esiintyä monen tyyppisiä mikro-organismeja. Patogeeniset bakteerit ja virukset aiheuttavat ihmisille erilaisia infektioita. Lisäksi luonnonvesissä voi elää paljon erilaisia makuja, hajuja ja toksineja tuottavia mikro-organismeja. Vesilaitokset seuraavat päivittäin veden mikrobiologista laatua. Patogeeniset bakteerit pyritään havaitsemaan vedestä seuraamalla tiettyjen indikaattoribakteerien kuten koli-, ja streptokokkibakteerien esiintyvyyttä. Kun näitä ei havaita näytteessä, se ei todennäköisesti sisällä muitakaan tauteja aiheuttavia bakteereita. (Karttunen, 2003)

## 3.2 Pintaveden käsittelyketju

### 3.2.1 Vedenotto

Pintavesien ottoa varten vedenpuhdistamoilla käytetään yleisesti rantakaivorakenteita. Rantakaivolla tarkoitetaan rantaviivan läheisyyteen kaivettua vesiallasta, johon tuleva raakavesi johdetaan vesistöstä putkea pitkin. Vedenottoputki pyritään sijoittamaan siten,

että raakaveden laatu vaihtelisi mahdollisimman vähän esimerkiksi muuttuvien virtausolosuhteiden vaikutuksesta. Sijoittamisessa on otettava huomioon myös vesistön mahdollinen jäätyminen ja virtauksen tai aallokon pohjasta nostama sameus. Vedenoton yhteydessä, puhdistusprosessin alussa, raakavedelle tehdään karkea mekaaninen puhdistus erilaisten välppä- tai siivilärakenteiden avulla. Lisäksi puhdistusprosessin alussa voidaan raakavedelle tehdä esiselkeytys, mikä vähentää tulevan puhdistuksen tarvetta. (Karttunen, 2004)

### 3.2.2 Koagulaatio-flokkaus

Raakavesialtaista vesi pumpataan eteenpäin puhdistusprosessiin, ja käsiteltävälle vedelle tehdään koagulaatio-flokkaus. Prosessin tarkoituksena on poistaa raakaveden sisältämän humuksen, trihalometaanien esiasteiden, värin, sameuden ja levien aiheuttamat maku- ja värihaitat. Koagulaatio on fysikaalis-kemiallinen reaktio, jossa pyritään kasvattamaan vedestä poistettavien partikkelien muodostamia flokkeja suuremmiksi, jolloin ne on helpompi poistaa vedestä. Koagulaatio saadaan aikaiseksi lisäämällä veteen koagulaatiokemikaaleja, joista yleisin Suomessa käytetty on alumiinisulfaatti ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ). Muita käytettäviä koaguloitkemikaaleja ovat esimerkiksi ferrisulfaatti ja polyalumiinikloridi. Koagulaation onnistumiseksi vedessä tarvitaan usein myös sekoitusta, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi pikasekoitustornin avulla. Sekoitus ei saa kuitenkaan olla liian voimakasta, jotta syntyvät flokit eivät saman tien hajoa. Sekoituksen jälkeen vesi ohjataan flokkausaltaisiin, joissa varsinainen flokinmuodostus tapahtuu. Altaissa käytetään erilaisia hämmentimiä tehostamaan tasaista flokinmuodostusta. (Karttunen, 2004)

### 3.2.3 Selkeytys

Selkeytyksessä pyritään erottamaan koagulaatiossa syntyneet flokit käsiteltävästä vedestä. Selkeytys voidaan toteuttaa flotaation tai laskeutuksen avulla. Käytettävä menetelmä riippuu pitkälti muodostuneiden flokkien koosta ja rakenteesta. Kun flokkien tiheys on suurempi kuin veden, ne painuvat selkeytysaltaan pohjalle. Tällöin käytetään laskeutusta. Suhteellisesti kevyemmille flokeille käytetään flotaatiota. Flotaatiossa puhdistettavaan veteen johdetaan dispersioveettä, joka sisältää siihen ylipaineessa liuotettua ilmaa. Ilma purkautuu flotaatioaltaiden pohjassa pieninä kuplina, jotka tarttuvat flokkeihin ja nostavat ne altaan pinnalle. Ilmakuplat ja niiden mukana nousseet

flokkit muodostavat vedenpintaan vaahtomaisen kerroksen, joka voidaan poistaa pintakaapimilla. (Karttunen, 2004)

Laskeutuksessa ajavana voimana toimii painovoima, joka saa flokit vajoamaan selkeytysaltaan pohjalle. Laskeutusaltaita on monen tyyppisiä, ja laskeutuksessa syntynyt liete voidaan poistaa esimerkiksi kaavinten avulla tai tyhjentämällä allas tiettyin väliajoin ja huuhtelemalla liete pois. (Karttunen, 2004)

### 3.2.4 Suodatus

Suodatuksessa vedestä pyritään erottamaan kiinteät epäpuhtaudet, kuten liettyneet maa-ainekset, hapettuneet metallit sekä koagulaatio-flokkauksessa syntyneet hiukkaset. Suodatus voidaan jakaa luonteensa mukaan kahteen eri tyyppiin; pintasuodatus ja syväsuodatus. Pintasuodatuksessa suodatusprosessi tapahtuu suodattimen pinnalla, ja syväsuodatuksessa käytössä on suodatin koko syvyydeltään. Lisäksi suodattimet voidaan jaotella pika-, ja hidassuodattimiin. Käytettäessä pikasuodatusta on edellä mainittu flokkaus-koagulaatioprosessi tarpeellinen, mutta hidassuodattimia käytettäessä se voidaan joissain tapauksissa jättää pois. (Karttunen, 2004)

Pikasuodatus (nopeus 5 m/h) perustuu poistettavien hiukkasten fysikaaliseen kokoon ja rakenteeseen. Suodattimien yleisimmät materiaalit ovat sora ja hiekka eri karkeuksina. Myös muovisuodattimia voidaan joissain tapauksissa käyttää. Pikasuodatuksessa käytettävät suodattimet on pestävä säännöllisesti ilman tai veden vastavirtahuuhtelulla tai vaihtoehtoisesti pintahuuhtelulla. Pikasuodattimissa voidaan käyttää apuna painetta tai erityistä kerrosrakennetta tehostamaan suodatusta. Tällöin suodatusnopeus nousee merkittävästi, ollen painesuodattimilla 10–12 m/s ja monikerrossuodattimilla 15–30 m/h. (Karttunen, 2004)

Hidassuodatus (nopeus <100mm/h) perustuu pääasiassa suodattimen pinnalla tapahtuviin biokemiallisiin ilmiöihin. Hidassuodattimen materiaalina on hieno hiekka, jonka pintakerrokseen syntyy bakteereista, levistä ja alkueläimistä koostuva kerros. Tämä elollinen suodatinkalvo käyttää biologisessa toiminnassaan hyväksi suodatettavan veden mukana tulevia aineita ja näin poistaa ne puhdistettavasta vedestä. Suodatinkalvon muodostumiseen vaikuttaa esimerkiksi lämpötila ja veden happipitoisuus. Tämän vuoksi hidassuodatuksen laadussa esiintyy vaihtelua esimerkiksi vuodenaikojen mukaan. Suodatusvastuksen kasvaessa tai tuloksen heiketessä

suodattimen pintakerros on uusittava ja pintaan on luotava uusi suodatinkalvo. Puhdistusväli on tyypillisesti muutamia viikkoja. (Karttunen, 2004)

### **3.2.5 Adsorptio aktiivihiilellä**

Aktiivihiiltä käytetään yleisesti ennen kaikkea orgaanisten epäpuhtauksien poistoon vedestä. Aktiivihiili poistaa erityisen tehokkaasti vedessä esiintyviä hajuja ja makuja. Prosessissa hyödynnettävä fysikaalinen ilmiö on adsorptio, joka saa poistettavat epäpuhtaudet kiinnittymään aktiivihiilen pintaan. Aktiivihiilisuodattimen adsorbointikyky laskee käytössä ajan myötä, jolloin hiili on uusittava tai regeneroitava. (Karttunen, 2004) Aktiivihiilisuodattimissa tapahtuu usein myös biologista toimintaa, kun suodatuspatjassa elävät hyödylliset mikrobit käyttävät suodattimeen jääviä ravinteita aineenvaihdunnassaan.

### **3.2.6 Ioninvaihto**

Ioninvaihdon avulla vedestä pystytään poistamaan erilaisia ionimuodossa olevia epäpuhtauksia, ja menetelmää käytetäänkin usein veden pehmennykseen. Ioninvaihdossa hyödynnetään ionien pintavarauksia, joiden avulla vedestä pidätetään vastakkaismerkkisen varauksen omaavia ioneja. (Karttunen, 2004)

### **3.2.7 Kalvopuhdistusprosessit**

Puhdistettavalle vedelle voidaan sen laadusta riippuen suorittaa erityyppisiä kalvopuhdistusprosesseja. Tällaisia prosesseja ovat mikro-, ultra-, ja nanosuodatus sekä käänteisosmoosi (Karttunen, 2003). Eri kalvoprosessit soveltuvat erikokoisten epäpuhtauksien poistoon. Menetelmät eroavat toisistaan kalvon rakenteen ja huokoskoon sekä suodatuspaineen suhteen (Johansson, 2013).

Käänteisosmoosi on prosessi, jossa puhdistettavasta vedestä saadaan käytännössä täysin puhdasta, mikä on normaalissa talousveden puhdistuksessa jopa tarpeetonta. Käänteisosmoosissa käytettävä paine on erittäin korkea, mikä lisää menetelmän käyttökustannuksia. Mikro-suodatuksessa paine on jo merkittävästi matalampi, mutta vedestä saadaan poistettua vähemmän epäpuhtauksia. Suodatettava vesi voidaan syöttää kalvolle kohtisuoraan kalvoa vastaan, tai vaihtoehtoisesti tangentiaalisessa suunnassa. Tangentiaalisessa kalvosuodatuksessa kalvon pintaan syntyvä kiintoainekakku kasvaa

hitaammin kuin kohtisuorassa suodatuksessa, mikä vähentää puhdistamisen tarvetta. Tällöin joudutaan kuitenkin kierrättää kalvon ohi virrannut vesi kalvolle uudelleen, mikä pienentää suodatuksen tehoa. (Johansson, 2013)

### 3.2.8 Desinfiointi

Desinfioinnissa tavoitteena on tappa tai steriloida kaikki, erityisesti patogeeniset mikro-organismit, jotka jäävät veteen vielä muun puhdistuksen jälkeen. Desinfiointi voidaan toteuttaa monin tavoin, ja eri tekniikat tukevat usein toisiaan. Prosessissa yleisesti käytetyt menetelmät ovat klooraus, otsonointi sekä UV -säteilytys.

Kloorauksessa desinfioivana kemikaalina voidaan käyttää puhdasta kloorikaasua  $\text{Cl}_2$  tai jotain muuta klooriyhdistettä, joista käytetyin on natriumhypokloriitti  $\text{NaOCl}$ . Joissain tapauksissa käytetään myös klooridioksidia  $\text{ClO}_2$ . Kloorauksen tehoon vaikuttaa esimerkiksi kloorin syöttömäärä, veden lämpötila ja pH sekä kloorin viipymä kloorausaltaassa. Liuettuaan veteen kloori reagoi sen kanssa muodostaen alikloorihapoketta  $\text{HOCl}$ , joka dissosioituu edelleen vetyioniksi  $\text{H}^+$  ja hypokloriitti-ioniksi  $\text{OCl}^-$ . Näiden tasapainoreaktioiden lisäksi klooria kuluu reaktioissa esimerkiksi ammoniakin ja orgaanisten molekyylien kanssa. Tasapainotilassa yli jäävä kloori on niin kutsuttua desinfiointikykyistä kloorijäännöstä, joka saa aikaan desinfioivan vaikutuksen vedessä. Tämä kloorijäännös vaikuttaa myös varsinaisen puhdistusprosessin jälkeen vesijohtoverkostoissa tuhoten siellä eläviä ja lisääntyviä mikro-organismeja. Ongelmallista kloorin käytössä on sen vedessä mahdollisesti muodostamat myrkylliset sivutuotteet, kuten trihalometaanit (THM), minkä vuoksi kloorin syöttömäärät vesilaitoksilla pyritään minimoimaan. Tästä huolimatta kloori on yhä käytetyin desinfiointimenetelmä. (Karttunen, 2004)

Vesilaitoksilla käytettävä otsoni muodostetaan ilmasta tai puhtaasta hapesta voimakkaan sähköpurkauksen avulla. Veteen syötettäessä otsoni alkaa hapettaa siinä esiintyviä orgaanisia molekyyliä. Otsonin avulla voidaan vähentää merkittävästi esimerkiksi veden haju- ja makuhaittoja, bakteereita sekä viruksia, joihin klooraus ei usein tehoa. Otsoni hajoaa vedessä suhteellisen nopeasti, minkä vuoksi sillä ei ole jälkivaikutuksia vesijohtoverkostossa. Sen ei myöskään ole osoitettu muodostavan haitallisia sivutuotteita, vaan se päinvastoin vähentää vedestä orgaanisia molekyyliä, joiden kanssa kloori voi näitä sivutuotteita muodostaa. Tämän vuoksi otsonointi toteutetaan



ennen kloorausta, mikäli molempia menetelmiä käytetään. Otsonoinnin haittapuolena ovat sen vaatimat suhteellisen korkeat investointi- ja käyttökustannukset. Lisäksi otsoni on hengitysilmassa ihmiselle myrkyllistä, minkä vuoksi työturvallisuusasiat on otettava huomioon otsonointitiloissa. Prosessissa yli jäävä otsoni kerätään talteen ja hävitetään otsonintuhoojalla. (Karttunen, 2004)

UV -säteily on lyhytaaltoista, korkeaenergistä sähkömagneettista säteilyä, joka vaurioittaa eläviä soluja ja näin tuhoaa mikro- organismeja puhdistettavasta vedestä. UV -säteily on harvoin ainoa keino veden desinfioinnille, mutta sitä käytetään useissa laitoksissa muiden tekniikoiden rinnalla. Ultraviolettil valo saadaan aikaiseksi erityisillä UV -lampuilla, joiden säännöllisen vaihtamisen lisäksi prosessi ei vaadi juurikaan muuta ylläpitoa. UV- käsittelyn onnistuminen edellyttää varsin kirkasta ja väritöntä vettä, minkä vuoksi laitteisto on usein sijoitettu koko puhdistusprosessin loppuun. UV -valon vedenläpäisevyys ei ole kovin suuri, minkä vuoksi käsiteltävän vesipatjan korkeus saa olla maksimissaan muutaman senttimetrin. Tämä aiheuttaa haasteita etenkin suurissa vesilaitoksissa. UV -käsittely ei synnytä puhdistettavassa vedessä minkäänlaisia sivutuotteita. Toisaalta käsittelyllä ei saada aikaiseksi jälkivaikutusta vesijohtoverkostossa eläviä ja lisääntyviä mikrobeja vastaan. (Karttunen, 2004)

### **3.2.9 Alkalointi**

Alkalointi tehdään usein käsittelyprosessin lopussa. Alkaloinnista lisää kappaleessa 4.

### 3.3 Pohjaveden käsittelyketju

Johtuen pohjaveden usein huomattavamman paremmasta laadusta, sen puhdistusprosessi on useimmiten pintaveden puhdistusta selkeästi yksinkertaisempi prosessi. Pohjavesi voi täyttää talousveden laatuvaatimukset osittain tai jopa kokonaan ilman minkäänlaista käsittelyä. Pohjaveden käsittelyssä käytetään samoja edellä mainittuja yksikköprosesseja kuin pintaveden käsittelyssä, mutta prosessia tarvitaan harvoin kokonaisuudessaan. Yleisimmin pohjavedelle pitää suorittaa alkalointi, desinfiointi ja suodatus. Suodatuksella vaikutetaan erityisesti pohjaveden esteettisiin ominaisuuksiin sekä esimerkiksi raudan ja mangaanin pitoisuuksiin. Suodatuksen yhteydessä voidaan suorittaa alkalointi käyttämällä kalkkikiveä suodatuspatjassa, jolloin erillistä alkalointiyksikköä ei tarvita. (Kontiainen, 2013)

Desinfiointitarve riippuu pohjaveden laadusta, ja tarvittaessa se voidaan suorittaa millä tahansa edellä mainituista menetelmistä. Pohjaveden käsittelyssä voidaan hyödyntää olemassa olevia pintaveden puhdistamoita. Pohjavesi voidaan esimerkiksi johtaa pintaveden puhdistusprosessin loppupäähän, jolloin sille tehdään alkalointi ja desinfiointi kuten pintavedelle, eikä tarvitse rakentaa erillistä pohjaveden puhdistamoita.

## 4 ALKALOINTI

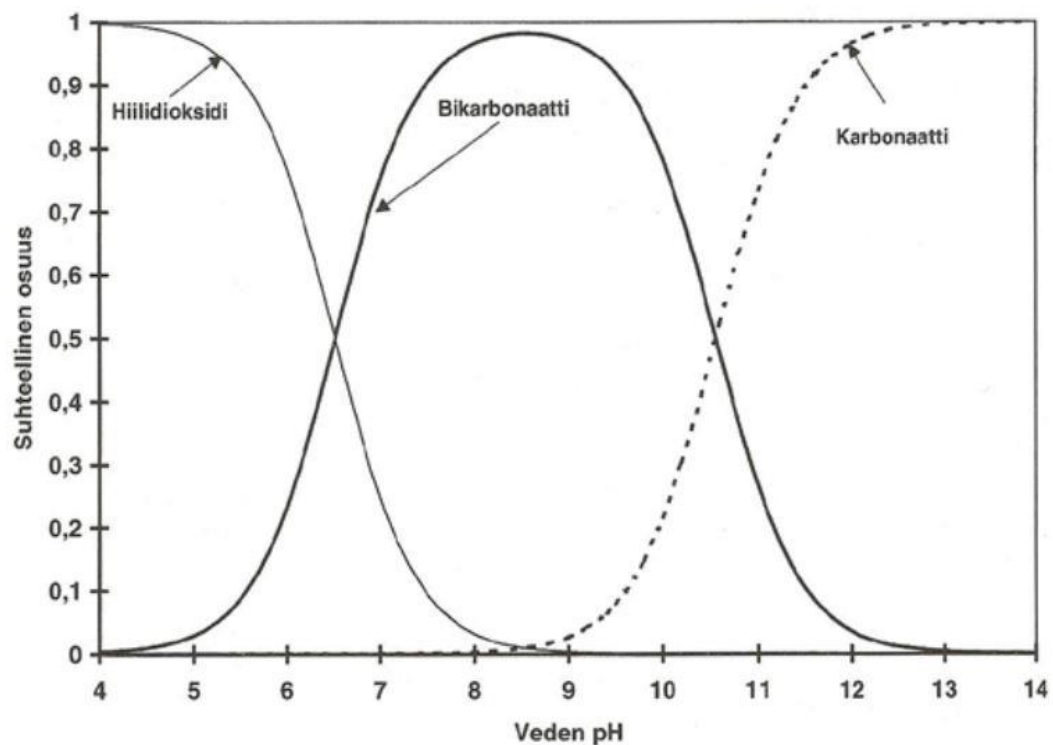
Alkaloinnilla tarkoitetaan veden pH:n sekä alkaliteetin nostoa. Alkaloinnilla voidaan vaikuttaa myös veden kovuuteen (Laakso, 1997). Alkalointikemikaalien tarkoitus on tuottaa alkaloitavaan veteen yhdisteitä, jotka nostavat veden pH:ta, mutta joissain tapauksissa myös alkaliteettia ja kovuutta. Talousveden alkalointi on suoritettava useimmiten vesijohtoverkostossa esiintyvän korroosion vähentämiseksi (Kontiainen, 2013). Suomessa käytettävä raakavesi on usein pehmeää ja hapanta (Elo, 2009). Veden happamuus, pehmeys sekä lämpötila- ja virtaustekijät ovat pääasiallisia vesijohtoverkoston korroosiota aiheuttavia tekijöitä (Karttunen, 2003). Korroosio aiheuttaa muun muassa vesiputkien kulumista ja tukkeutumista (Kuva 1).



**Kuva 1.** Veden happamuus näkyy vesiputkissa korroosiona. (Pixabay.com, 2017)

Veden happamuus johtuu suurelta osin veden sisältämän hiilidioksidin eri muodoista, joita ovat vapaa hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), bikarbonaatti ( $\text{HCO}_3^-$ ) sekä karbonaatti ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Näiden hiilidioksidin eri muotojen suhteelliset osuudet vedessä riippuvat varsin selkeästi veden pH-arvosta. Suomen luonnonvesissä esiintyy hiilidioksidia käytännössä aina, muodossa tai toisessa. Tyypillisen suomalaisen raakaveden pH- alueella (n. 6-7) noin 50 % veden hiilidioksidista on vapaana hiilidioksidina  $\text{CO}_2$  ja loput 50 %

bikarbonaattina (Kuva 2). Kun pH kasvaa, myös bikarbonaatin osuus kasvaa ja vapaan hiilidioksidin osuus pienenee pH- arvoon 8,3 saakka. Tämän jälkeen, pH:n yhä noustessa, vallitsevaksi hiilidioksidin muodoksi alkaa nousta karbonaatti, bikarbonaatin osuuden pienentyessä. Bikarbonaatin määrästä riippuvaa osuutta veden kokonaishiilidioksidin määrästä kutsutaan suojatukseksi hiilidioksidiksi ja sen ylijäävää osuutta aggressiiviseksi hiilidioksidiksi. Toisin sanoen, jos vapaan hiilidioksidin määrä on suurempi kuin mitä vaaditaan tasapainoon bikarbonaatin kanssa, on vedessä aggressiivista hiilidioksidia. Tämä aggressiivinen hiilidioksidi on pääasiallinen korroosiota aiheuttava tekijä talousvedessä, ja tällaisesta syövyttävästä vedestä käytetään termiä aggressiivinen vesi. (Karttunen, 2003)



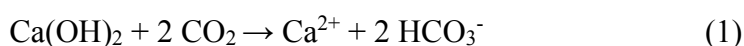
**Kuva 2.** Hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin suhteellisten osuuksien riippuvuus veden pH-arvosta. (Meriluoto, 2002)

Vapaata hiilidioksidia voidaan poistaa vedestä esimerkiksi ilmastuksella. Samalla veden pH nousee hiilidioksidin vähentyessä. Tämä ei kuitenkaan usein yksin riitä veden korrodoivien ominaisuuksien poistamiseksi, vaan veteen on lisättävä alkalointikemikaalia. Eri alkalointikemikaaleilla voidaan vaikuttaa eri tavalla veden kovuuteen ja alkaliteettiin. Emäksiset alkalointikemikaalit sitovat happamuutta aiheuttavaa hiilidioksidia bikarbonaatiksi nostaen samalla veden pH:ta. (Karttunen, 2003)

Yleisimmin käytetyt alkalointikemikaalit ovat kalkki, lipeä ja sooda. Alkaloinnissa voidaan käyttää myös erityisiä alkaloivia massoja, mutta niiden käyttö on Suomessa harvinaisempaa. Lipeän ja kalkin rinnalla voidaan käyttää myös hiilidioksidin syöttöä, jolloin alkalointikemikaalin ja hiilidioksidin suhdetta muuttamalla veden alkaliteettia voidaan hallita paremmin. (Laakso, 1997) Hiilidioksidi paitsi laskee liian korkeaksi nousutta pH:ta, myös parantaa alkalointikemikaalien liukoisuutta veteen ja näin mahdollistaa suurempien kemikaalikonsentraatioiden käytön pH:n nostossa. Kun alkalointikemikaalin ja hiilidioksidin välillä vallitsee tasapaino, on alkalointiprosessi hallinnassa. Hiilidioksidia ei saa esiintyä vedessä enempää kuin se määrä, mikä vaaditaan tarvittavan bikarbonaatin määrän syntymiselle. Tällöin aggressiivisen hiilidioksidin määrä on nolla ja vesi on kalkki-hiilidioksiditasapainossa. (Karttunen, 2003)

#### 4.1 Kalkkialkalointi

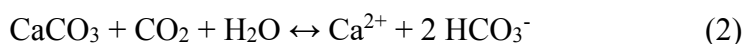
Puhuttaessa kalkkialkaloinnista, voidaan tarkoittaa alkalointia vesilaitoskalkilla eli sammutetulla kalkilla ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), tai kalkkikivellä (Meriluoto, 2002). Sammutettu kalkki valmistetaan normaalisti vesilaitoksilla liuottamalla poltettua kalkkia eli kalsiumoksidia ( $\text{CaO}$ ) veteen (Zolas, 2010). Näin voidaan valmistaa halutun vahvuinen kalkkivesi, jota syötetään alkaloitavaan veteen kulloinkin tarvittava määrä. Poltettu kalkki voidaan lisätä myös suoraan veteen. Kalkin käyttö nostaa veden alkaliteettia. Lisäksi se on ainoa alkalointikemikaali, joka nostaa myös veden kovuutta, mikä on välttämätön ominaisuus, kun käytettävissä oleva raakavesi on haluttua pehmeämpää (Laakso, 1997). Alkaliteetin ja kovuuden nousu nähdään kalkin reaktioyhtälössä kalsiumionien ja bikarbonaatti-ionien syntymisenä:



Kalkin käyttöön liittyy muutamia ongelmia, jotka nostavat usein kustannuksia ja heikentävät laitteiston toimintavarmuutta. Kalkin syöttölaitteisto etenkin vesiliuosta käytettäessä vaatii suhteellisen korkeat investointikustannukset. Ongelmaksi muodostuu usein myös kalkin paakkuuntuminen ja saostuminen. Saostumat voivat aiheuttaa tukoksia kalkinsyöttöputkissa, mikä kasvattaa laitteiston ylläpitokustannuksia. Myös kalkin varastointiin liittyy ongelmia esimerkiksi voimakkaan pölyämisen vuoksi.

Halvan hintansa vuoksi kalkki on kuitenkin edullista käyttää, mikäli käyttöongelmat laitoksilla saadaan ratkaistua. (Laakso, 1997)

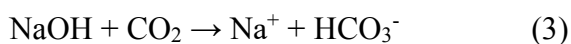
Kalkkikivialkalointia käytetään vesilaitoksilla enenevässä määrin. Kalkkikivialkalointi on helppo ja riskitön tapa nostaa veden kovuutta, alkaliteettia ja pH:ta. Kalkkikivialkalointi on pH:n kannalta turvallinen prosessi koska kyseessä on tasapainoreaktio:



Tasapaino tarkoittaa sitä, että veden pH nousee kalkkikiven liuetessa vain kalkkihiilidioksiditasapainon edellyttämään arvoon saakka, jolloin yliannostuksen vaaraa ei muiden kemikaalien tapaan ole. Liukeneminen on kuitenkin verrattain hidasta, mikä vaatii usein pitkähkön viipymäajan. (Laakso, 1997) Kalkkikivi voidaan lisätä alkalointialtaan pohjalle, mutta se voi olla myös esimerkiksi suodatuspatjassa puhdistusprosessin aiemmassa vaiheessa (Zolas, 2010). Kalkkikivialkaloinnin tulos riippuu kuitenkin monesta tekijästä, kuten veden lämpötilasta, sen viipymäajasta ja kalkkikiven raakoista (Laakso, 1997).

## 4.2 Lipeäalkalointi

Lipeää eli natriumhydroksidia (NaOH) käytetään vesilaitoksilla yleisesti alkalointikemikaalina. Alkaloitavaan veteen lisättäessä lipeä reagoi veteen liuenneen vapaan hiilidioksidin kanssa muodostaen natriumioneja ja bikarbonaattia:



Lipeä siis lisää bikarbonaatin osuutta veden kokonaishiilidioksidista. Bikarbonaatin määrän lisääntyminen tarkoittaa paitsi veden alkaliteetin, myös pH:n, nousua. Alkaliteettia lipeä nostaa yhtä tehokkaasti kuin vesilaitoskalkki. Tehokkaammin alkaliteettia saadaan kuitenkin nostettua soodan avulla, koska sen reaktiossa yhtä alkalointikemikaalimolekyyliä kohden syntyy kaksi bikarbonaattimolekyyliä. Veden kovuutta lipeän käyttö ei kalkin tapaan lisää, koska reaktio ei nosta veden kalsiumionikonsentraatiota lainkaan. (Meriluoto, 2002)

Lipeän syöttö prosessiveteen voidaan toteuttaa suhteellisen yksinkertaisella laitteistolla. Lipeä valmistetaan normaalisti kuivasta säckitavarasta vedenpuhdistamoilla. Laimentamalla sitä sopivaan määrään vettä saadaan aikaiseksi juuri halutun vahvuista liuosta. (Kontiainen, 2013) Lipeän syöttö veteen tapahtuu tavallisesti virtausta automaattisesti säätelevän venttiilin kautta, jolloin inhimillisen virheen mahdollisuus syöttömäärässä on pieni. Normaalisti lipeä annostellaan 10–20 % vesiliuoksena, mutta myös vahvempaa, noin 50 % vahvuista liuosta käytetään. Lipeän laimennus ei ole välttämätöntä, mutta ilman sitä yliannostuksen vaara kasvaa ja vaarallisiin yliannostuksiin päästään lyhemmässä ajassa ja pienemmällä syötöllä. Vahvemman lipeän käytössä esiintyy usein myös sekoittumis- ja liukenemiongelmia, koska 50 % väkevyyden lipeän viskositeetti on huomattavasti veden viskositeettia korkeampi. Toisaalta, laimennuksen jättäminen väliin vähentää kemikaalin käsittelyvaiheita ja näin yksinkertaistaa syöttöprosessia. Jos laimennusta kuitenkin käytetään, on huomioitava reaktion eksotermisyys: liuoksen lämpötila nousee laimennettaessa huomattavasti. (Laakso, 1997)

### 4.3 Sooda-alkalointi

Soodaa eli natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) käytetään alkalointikemikaalina erityisesti niissä tapauksissa, joissa veden kovuutta ei ole tarpeen nostaa. Soodan liukeneminen veteen ei lisää sen kalsiumionikonsentraatiota, joten kovuus ei muutu. Alkaliteettia sen sijaan voidaan soodaa lisäämällä nostaa tehokkaammin kuin kalkin tai lipeän avulla (Laakso, 1997). Tämä näkyy soodan, veden ja siihen liuenneen hiilidioksidin välisen reaktion yhtälössä:



Reaktion stoikiometriasta nähdään, että yhtä hiilidioksidimolekyyliä kohti muodostuu kaksi bikarbonaatti -ionia. Bikarbonaatin osuus veden kokonaishiilidioksidin määrästä kasvaa siis reaktion myötä tehokkaammin kuin lipeän alkalointireaktiossa. Tästä johtuu suurempi alkaliteetin nousu. Kyseinen seikka onkin yksi merkittävimmistä soodan käyttöä puoltavista argumenteista. Natriumkarbonaatin käyttö alkaloinnissa on melko riskitöntä, sillä kemikaalin haitalliset terveysvaikutukset ovat esimerkiksi lipeään verrattuna suhteellisen pienet. Veteen liuenneen soodan hieman normaalia korkeammatkaan konsentraatiot eivät aiheuta merkittävää terveysriskiä. Sooda on

kuitenkin jonkin verran lipeää kalliimpi kemikaali, minkä vuoksi sen käyttö alkalointikemikaalina nostaa hieman vedenpuhdistusprosessin kiinteitä kustannuksia. Soodan käyttö vaatii myös hieman suuremmat laitteistot kuin lipeän yksinkertainen syöttölaitteisto. Tämä johtuu muun muassa soodan niukahkosta vesiliukoisuudesta, jota voidaan kuitenkin merkittävästi parantaa esimerkiksi käyttämällä lämmintä liuotusvettä, tai varustamalla liuotusallas mekaanisella sekoittajalla (Laakso, 1997). Muutoin soodan syötössä käytettävä laitteisto on hyvin samantyyppinen kuin lipeällä; kuiva säkkitavara liuotetaan halutun vahvuiseksi vesiliuokseksi, jonka jälkeen se annostellaan alkaloitavaan veteen. Vaihtoehtoisesti sooda voi olla rakeina esimerkiksi alkalointialtaan pohjalla, josta sitä liukenee veteen tasaisesti. (Elo, 2009)

#### **4.4 Alkalointimenetelmien valinta**

Vesilaitoksen koko ja käytettävissä olevan raakaveden tyyppi ovat keskeisimpiä tekijöitä sopivimman alkalointikemikaalin valinnassa. Kun raakavesi on erityisen pehmeää, on kovuuden nostamiseksi perusteltua käyttää kalkkialkalointia sekä hiilidioksidin syöttöä. Kovin pienillä laitoksilla näiden liuotus- ja syöttöjärjestelmiä ei ole kuitenkaan taloudellista rakentaa suurehkoista investointikustannuksista johtuen. Tällaisissa tapauksissa voidaan käyttää soodan tai lipeän, ja kalkkikivialkaloinnin yhdistelmää. (Elo, 2009)

Raakaveden ollessa kovaa tai keskikovaa on perusteltua käyttää soodaa tai lipeää, jotta kovuutta ei tarpeettomasti nosteta kuten kalkin syötössä tapahtuu. Jos kalkkia kuitenkin syystä tai toisesta käytetään, kannattaa rinnalle ottaa ilmastus, joka poistaa vedestä vapaata hiilidioksidia ja näin pienentää kalkkiannostuksen tarvetta. Soodan käyttöä puoltaa sen tehokas alkaliteetin nostokyky. Soodan eduksi voidaan lukea myös pienempi yliannostuksen vaara kuin lipeällä. Kun lipeän käyttöön yhdistetään hiilidioksidin syöttö, voidaan alkaliteetti valita vapaasti kemikaalien suhteita muuttamalla. Hiilidioksidin käyttö on kuitenkin kallista, joten pienillä laitoksilla sitä ei suosita. (Meriluoto, 2002)

Karkeasti voidaan sanoa, että suuremmille vedenpuhdistuslaitoksille suositellaan kalkin (ja tapauskohtaisesti hiilidioksidin) käyttöä, ja pienemmille laitoksille soveltuu helppokäyttöisyyden ja kustannustehokkuuden vuoksi soodan tai lipeän käyttö. Jos alkaloitava vesi on kuitenkin suomalaiselle raakavedelle epätyypillisesti jo valmiiksi



kovaa tai keskikovaa, tulisi kalkin sijasta suuremmillakin laitoksilla käyttää muita menetelmiä. Taulukossa 2 on havainnollistettu eri alkalointimenetelmien hyötyjä ja haittoja.

**Taulukko 2:** Yleisimmät alkalointimenetelmät sekä niiden hyödyt ja haitat (Mukaillen: Laakso, 1997)

<b>Alkalointimenetelmä</b>	<b>Hyödyt</b>	<b>Haitat</b>
Kalkkiannostus	Lisää veden kovuutta Halpa kemikaali	Nostaa alkaliteettia vähän Suuret investointikustannukset Käyttöongelmia Melko vaarallinen yliannostuksissa
Lipeäannostus	Yksinkertainen annostusjärjestelmä	Nostaa alkaliteettia vähän Ei nosta veden kovuutta Vaarallinen yliannostuksissa
Sooda-annostus	Sopii hyvin pehmeille vesille, nostaa alkaliteettia enemmän kuin lipeä ja kalkki Yliannostuksissa turvallisempi kuin lipeä	Ei nosta veden kokonaiskovuutta Lipeää kalliimpi kemikaali Pienehkö vaara yliannostuksissa
Ilmastus	Sopii hyvin varsinkin koville vesille Yksinkertainen, helppohoitoinen	Ei nosta lainkaan alkaliteettia eikä kovuutta
Kalkkikivisuodatus	Sopii hyvin pehmeille vesille Nostaa merkittävästi sekä alkaliteettia että kovuutta Yksinkertainen, pienet käyttökustannukset	Vaatii pitkän viipymän, jos vedessä paljon hiilidioksidia (2-3h) Rauta ja mangaani heikentävät tehoa
Kalkki + hiilidioksidi	Alkaliteetti tai kovuus vapaasti valittavissa	Suhteellisen kallis menetelmä
Lipeä + hiilidioksidi	Alkaliteetti vapaasti valittavissa	Suhteellisen kallis menetelmä
Suodatus alkaloivalla massalla	Helppohoitoinen	pH:n vaihtelu usein liian suurta poltetuilla dolomiittimassoilla

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Talousveden puhdistuksessa käytettävän raakaveden laatu on tärkein alkalointikemikaalin valintaan vaikuttava seikka. Kun vedenpuhdistuslaitoksilla tunnetaan raakaveden ominaisuudet, voidaan kehittää prosessi, jonka tuloksena saadaan tarvittavaa, laatuvaatimukset täyttävää talousvettä. Alkalointiprosessin suunnittelussa huomio kiinnittyy eri alkalointikemikaalien reaktioyhtälöihin. Ne antavat tietoa siitä, miten eri aineet vaikuttavat veden ominaisuuksiin. Näistä alkaloinnin kannalta tärkeimmät ovat pH, kovuus ja alkaliteetti. Lipeä ja sooda eivät nosta kalkin lailla veden kovuutta, joten kovien ja keskikovien raakavesien puhdistukseen ne soveltuvat usein hyvin. Pehmeitä vesiä alkaloitaessa lipeän ja kalkin rinnalla on mahdollista käyttää kalkkikivialkalointia kovuuden nostamiseksi. Jos veden alkaliteettiä halutaan nostaa tehokkaasti, kannattavaksi tulee usein käyttää soodaa, jota käytettäessä alkaliteetti nousee kaksinkertaisesti lipeään ja kalkkiin verrattuna.

Myös taloudellinen näkökulma on otettava huomioon puhdistusprosessia suunniteltaessa. Lipeän ja soodan käyttöönotto ei vaadi niin suuria alkuinvestointeja kuin kalkin ja sen rinnalla usein käytettävän hiilidioksidin tapauksessa. Tämä on syy soodan ja lipeän suosioon etenkin pienemmillä vedenpuhdistuslaitoksilla. Kemikaalit ovat kalkkia jonkin verran kalliimpia, mutta käyttökustannukset ovat laitteiston yksinkertaisuuden ja käytön varmuuden ansiosta usein kalkkialkalointia alhaisemmat.

## LÄHDELUETTELO

Elo, H., 2009. Talousveden pH- säädön optimointi. Pori: Satakunnan ammattikorkeakoulu, 50 s.

Isomäki, E., Kivimäki, A., Lahti, K. & Valve, M., 2007. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 133 s. ISBN 952-11-2530-6

Johansson, T., 2013. Käänteisosmoosin esikäsittelymenetelmät. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 40 s.

Karttunen, E. (toim.), 2003. RIL 124-1 Vesihuolto I. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL, 314 s. ISBN 951-758-431-8

Karttunen, E. (toim.), 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL, 684 s. ISBN 951-758-438-5

Kontiainen, T., 2013. Pohjavedenkäsittelylaitosten prosessit ja tehostamistarpeet Itä-Suomessa. Savonia-ammattikorkeakoulu, 40 s.

Meriluoto, J., 2002. Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, 27 s.

Pixabay, 2017. Kuva 1 [verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://pixabay.com/fi/vesijohdot-putki-rust-liete-688431/>

Rantala, M., 2007. Kalkkikivirouheella suoritettavan alkaloinnin optimoiminen. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, 46 s.

Timonen, R., 1994. Puhtaasti vedestä – Vesiyhdistys r.y. 25 vuotta. Helsinki: Vesiyhdistys ry., 198 s. ISBN 952-96-0606-0

Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, 2016. Veden kovuus [verkkodokumentti]. Saatavilla: <http://www.tsvesi.fi/veden-laatu/veden-kovuus/> [viitattu 15.12.2016]

Laakso, P., 1997. Pohjavesilaitosten kehittäminen. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, 104 s. ISBN 952-50-0009-5

Vesilaitosyhdistys, 2016. Talousvesi [verkkodokumentti]. Helsinki: Vesilaitosyhdistys. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/vesihuolto\\_linkit\\_lainsaadanto/talousvesi](http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/talousvesi) [viitattu 13.12.2016]

Vesilaitosyhdistys, 2016. Tietoa mangaanista talousvedessä [verkkodokumentti]. Helsinki: Vesilaitosyhdistys. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/vesihuolto\\_linkit\\_lainsaadanto/talousvesi/tietoa\\_mangaanista\\_talousvedessa.3436.news](http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/talousvesi/tietoa_mangaanista_talousvedessa.3436.news) [viitattu 13.12.2016]

VNp 366/1994, 1994. Valtioneuvoston päätös juomaveden valmistamiseen tarkoitetun pintaveden laatuvaatimuksista ja tarkkailusta. Helsinki: Ympäristöministeriö

Zolas, S., 2010. Mixed bed -suodatus osana vedenpuhdistusprosessia. Espoo: Aaltoyliopisto, 114 s.