

Hanne Elo

TALOUSVEDEN PH-SÄÄDÖN OPTIMOINTI

Kemiantekniikan koulutusohjelma

2009



TALOUSVEDEN PH-SÄÄDÖN OPTIMOINTI

Elo, Hanne
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tekniikan Porin yksikkö
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2009
Toimeksiantaja: Forssan Vesihuoltolaitos
Opinnäytetyön ohjaaja: Timo Hannelius, Lehtori, SAMK
Opinnäytetyön valvoja: Matti Napari, Forssan Vesihuoltolaitoksen johtaja
UDK: 628.16
Sivumäärä: 50

Asiasanat: alkalointi, desinfiointi, talousvesi

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Talousveden pH-säädön optimointi. Työn tarkoituksena oli tutkia Forssan Vesihuoltolaitoksella raakaveden pH:n säätöä ja tutustua STEL-80A vedenkäsittelylaitteen toimintaan.

Raakaveden pH:n säätökokeita tehtiin eri vahvuisilla lipeä- ja soodaliuoksilla.

STEL-80A vedenkäsittelylaite tuottaa ruokasuolasta klooria ja lipeää, joita voidaan käyttää veden desinfiointiin ja pH-säätöön. STEL-80A vedenkäsittelylaitteella tehtiin kokeita eri virran voimakkuuksilla, joiden jälkeen määritettiin anolyytin aktiivisen vapaan kloorin, aktiivisen sitoutuneen kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudet. Lisäksi tehtiin kokeita, joissa anolyyttiä lisättiin raakaveteen ja tämän jälkeen määritettiin uudelleen edellä mainitut klooripitoisuudet.

Raakaveden pH:n säätökokeista havaittiin selkeästi laimeamman lipeän nostavan raakaveden pH:ta hitaammin ja turvallisemmin. Käytännön kannalta järkevänä lipeän syötön ylärajana voidaan pitää 1 l/min, jolloin Forssassa 10 p- % lipeä vaikuttaisi hyvältä. Sooda todettiin erinomaiseksi pH:n säätökemikaaliksi ja sitä voidaan käyttää vahvana liuksena. Tällä hetkellä Forssassa käytetään pH-säätöön 50 p- %:sta lipeää. pH-säätökemikaalin laimennus johtaa luonnollisesti syöttömäärän kasvuun.

STEL-80A vedenkäsittelylaite oli tehokas ja sillä saavutettiin korkeita kokonaisklooripitoisuuksia. Virran voimakkuuden noustessa myös aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuus nousee. Forssassa desinfiointin tarve on kuitenkin vähäinen, joten vedenkäsittelylaitteen käyttöaste ei tulisi olemaan korkea.

OPTIMIZING THE PH-CONTROL OF DRINKING WATER

Elo, Hanne
Satakunta University of Applied Sciences
Unit of Technology Pori
Degree Programme in Chemical Engineering
February 2009
Commissioned by: Forssan Vesihuoltolaitos
Supervisor of Thesis: Timo Hannelius, Lecturer, SAMK
Supervisor of the Company: Matti Napari, Manager of Forssan Vesihuoltolaitos
UDC: 628.16
Number of Pages: 50

Key Words: alkalization, disinfection, drinking water

ABSTRACT

The subject of this thesis was optimization of the pH-control of drinking water. The purpose of this thesis was to study the pH-control of raw water in the Water Supply and Sewerage System of Forssa and to get familiar with the operation of the STEL-80A water treatment equipment.

The control tests of pH of the raw water were made for lye and soda solutions in different chemical concentrations.

The STEL-80A water treatment equipment produces chlorine and lye from table salt. Chlorine and lye can be used in disinfection and pH-adjustment of water. Tests were made of different current intensity with STEL-80A water treatment equipment. Then the concentrations of active free chlorine, active combined available chlorine and active total chlorine of the anolyte were determined. In addition, tests were made so that anolyte was added in raw water and then the concentrations of all above mentioned chlorine analysis were repeated.

The control tests of pH of the raw water showed clearly that weaker lye solution increased slower and safer the pH of the raw water. In practice the reasonable maximum feed of lye is 1 l/min, for example it seems that 10 w- % lye would be proper. Soda was detected to be an excellent control chemical of pH and it can be used as a strong solution. At this moment 50 w- % lye is used in the pH-control in Forssa. The dilution of the chemical leads naturally to growth of the feed rate.

The STEL-80A water treatment equipment was efficient and it produced high total chlorine concentrations. When the current rises, the active total chlorine concentration rises. Disinfection is very rarely needed in the Water Supply Plant therefore the utilization rate of the water treatment equipment wouldn't be high.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VESIVARANNOT.....	7
2.1	Maailman vesivarannot.....	7
2.2	Suomen vesivarannot.....	8
2.2.1	Suomen pohjavesivarannot	8
3	VEDEN HANKINTA	9
3.1	Pohjavesi	9
3.1.1	Pohjavesialueet.....	10
3.1.2	Pohjaveden puhdistus.....	11
3.1.3	Pohjaveden laatu	12
3.2	Pintavesi	13
3.2.1	Pintaveden puhdistus.....	13
3.3	Tekopohjavesi.....	14
3.4	Alkalointi	15
3.5	Desinfiointi	20
3.6	Kemikaaliannostuksista johtuvat laatuhäiriöt vesilaitoksella	22
3.7	Talousveden laatuvaatimukset	23
3.7.1	Talousveden pH	24
4	FORSSAN VESIHUOLTOLAITOS	25
4.1	Vedenhankinta	25
4.2	Pohjaveden käsittely	26
4.3	Pohjaveden laatu	27
5	TYÖN SUORITUS	28
5.1	Pohjaveden pH:n säätö.....	28
5.2	STEL-80A vedenkäsittelylaite.....	29
5.2.1	STEL-80A laitteen periaate.....	29
5.2.2	STEL-80A laitteen testaus ja analysointi	32
6	TYÖN TULOKSET	36
6.1	Pohjaveden pH:n säätö.....	36
6.2	STEL-80A vedenkäsittelylaite.....	42
7	VIRHEARVIOINTI.....	45
8	TULOSTEN TARKASTELU	46
	LÄHTEET.....	49

LIITTEET

Liite 1 Mittauspöytäkirja: NaOH titraus

Liite 2 Mittauspöytäkirja: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ titraus

Liite 3 Mittauspöytäkirja: STEL-80A vedenkäsittelylaite

Liite 4 Mittauspöytäkirja: Anolyytin ja katolyytin titraus

Liite 5 Raakaveden pH NaOH:n syöttövirran funktiona

Liite 6 Raakaveden pH $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$:n syöttövirran funktiona

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia Forssan Vesihuoltolaitoksella raakaveden pH:n säätöä ja tutustua STEL-80A vedenkäsittelylaitteen toimintaan. Koetulokset antavat tietoa vedenkäsittelylaitteen toimivuudesta.

Maapallolla on runsaasti vettä, mutta vain vähän juotavaksi kelpaavaa makeaa vettä. Suomessa vesitilanne on hyvä. Suomessa 50 % talousvedestä on pohjavettä, 40 % pintavettä ja 10 % tekopohjavettä. Pohjavesi on laadultaan pintavettä parempaa ja pohjavesi voi jopa sellaisenaan soveltua juomavedeksi. Pintavesi vaatii kuitenkin aina kemiallisen puhdistuksen.

Forssassa talousvetenä käytetään pohjavettä, joka otetaan Vieremänharjusta. Vieremänharju on osa Salpausselän pitkittäisharjua. Forssassa pohjavesi on yleisesti ottaen hyvälaatuista ja vettä pumpataan noin 5000 m³/vrk. Veden pH-säätöön käytetään 50 p- % livettä ja desinfiointi tapahtuu UV-säteilyllä ja tarvittaessa natriumhypokloriitilla.

Forssassa lipeän annostelussa on ollut ongelmia, joiden seurauksena veden pH on noussut liian korkeaksi. Tässä tutkimuksessa halutaan selvitystä, miten pH-säädöstä saadaan turvallisempi ja mikä pH-säätökemikaali soveltuu parhaiten Forssan vedelle.

Raakaveden pH:n säätökokeita tehtiin eri vahvuisilla lipeä- ja soodaliuoksilla. STEL-80A vedenkäsittelylaitteella tehtiin ajoja eri virran voimakkuuksilla, joiden jälkeen mitattiin aktiivisen vapaan kloorin, aktiivisen sitoutuneen kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudet.

Tämän opinnäytetyön kirjallinen osuus käsittelee sekä vesivarantoja että vedenhankintaa. Vedenhankinnassa käsitellään mm. pohjavettä, pintavettä ja tekopohjavettä sekä alkalointia että desinfiointia.

2 VESIVARANNOT

Vesi ja nimenomaan makea suolaton vesi on elämän elinehto ja se on ihmiselle elintärkeä luonnonvara. Ihminen on noin 62-prosenttisesti vettä ja jopa 20 prosentin vajeus johtaa kuolemaan. Vettä poistuu ihmisestä monella tapaa, joten tarvitsemme elääksemme jatkuvasti merkittäviä määriä vettä. Ilman vettä ei voida tuottaa ruokaa, pyörittää teollisuutta tai energiantuotantoa./28/

2.1 Maailman vesivarannot

Maapallon vesivarat voidaan jakaa meriin ja muihin vesivaroihin. Muista vesivarannoista noin kaksi kolmannesta on napajäätiköissä ja yksi kolmannes on pintavesissä, maaperässä, ilmakehässä, suolajärvissä ja pohjavetenä./1/ Maapallon pinta-alasta 70 % on vettä, mutta vain 3 % on makeaa vettä. Makeasta vedestäkin suurin osa on sitoutunut jäätiköihin./2/ Veden saannissa ja laadussa esiintyy suuria ongelmia useilla alueilla. Kaikesta vedestä hyödynnettävissä on vain 1 %. Maailman kaikista vesivarannoista pohjaveden osuus on noin 0,68 %. Vesivarannot ovat maantieteellisesti katsoen jakautuneet epätasaisesti maailman valtioiden kesken. Pohjoisella pallonpuoliskolla on parhaat vesivarat. Vesivarantojen epätasaisesta jakaumasta kertoo myös se, että toisaalla on pahoja tulvia ja toisaalla taas kärsitään vakavasta kuivuudesta./1/

Napajäätiköiden jälkeen pohjavedet ovat kaikkein suurin makean veden varanto. Maanalaisista vesistä kuitenkin yli 90 % on täysin tai lähes pysyvästi syrjässä veden kiertokulusta, sillä ne ovat syvällä kivikerrostumien ja sedimenttien kätköissä./1/

Ihmisen fysiologinen vedentarve on vain n. 2 l/vrk, mutta länsimaissa vettä kuitenkin käytetään henkeä kohti noin 150–250 l/vrk./2/

2.2 Suomen vesivarannot

Hiljattain Suomen vesivarat on todettu maailman parhaiksi. Pääosin käytämme juomavetenä pohjavettä, mutta monet kunnat ja kaupungit käyttävät talousvetenään pintavesiä./1/ Tekopohjaveden suhteellinen osuus tulee kasvamaan.

Suomen pintavesivarat ovat n. 230 miljardia kuutiometriä. Suomen maa- ja kallioperän vesivarat ovat n. 700 miljardia kuutiometriä. Hyödynnettävissä olevia pohjavesiä Suomessa on noin 1,8 miljardin kuutiometrin vuotuinen varasto. Vuotuisesta pohjavesivarannosta on käytössä vain noin 16 %, joten pohjavesivarastomme ovat koko maan vesihuollon kannalta riittävät./23/ Pohjavesivaramme eivät kuitenkaan ole alueellisesti jakautuneet tasaisesti, jonka johdosta pohjavettä muodostava ympäristö on arvokas resurssi. Esimerkiksi Etelä-Suomessa pohjavettä muodostava ympäristö on riittämätön./4/

2.2.1 Suomen pohjavesivarannot

Suomessa lähes kaikkialla on pohjavettä. Kaikkein runsaimmin pohjavettä muodostuu alueilla, joissa maaperä koostuu hyvin vettä johtavista sora- ja hiekkamuodostumista./3/ Suurimmat yhdyskuntien käyttöön soveltuvat pohjavesiesiintyvät ovat harjuissa ja muissa laajoissa sorakerrostumissa, erityisesti Salpausselissä. Salpausselillä tuottoisimmat vedenottamot sallivat yli 10 000 m³/vrk pumppauksen./4/ Suomessa pohjavettä ja tekopohjavettä käyttää noin 3,5 miljoonaa ihmistä./5/

Pohjaveden pinnan etäisyys maanpinnasta vaihtelee noin yhdestä metrillä jopa yli 30 metriin asti. Yleensä kuitenkin pohjaveden pinta on noin 2-5 metrin syvyydessä maanpinnan alapuolella. Pohjaveden pinnankorkeuden muutokset kuvastavat muutoksia pohjaveden määrässä. Pohjaveden määrää voivat vähentää mm. kuivuus, pohjaveden runsas käyttö sekä maaperän muokkaus. Pohjavesivarastot täydentyvät lumen sulamisvesistä keväällä ja syyssateista syksyllä./3/

3 VEDEN HANKINTA

Suomessa talousvetenä käytetään 40 % pintavesiä, 50 % pohjavesiä ja 10 % tekopohjavesiä. Tekopohjaveden käyttö tulee kuitenkin tulevaisuudessa lisääntymään. Tekopohjavedellä tarkoitetaan pintavedestä keinotekoisesti valmistettua vettä, jonka laatu vastaa pohjaveden laatua./2/

3.1 Pohjavesi

Pohjavesi on vettä, joka täyttää maa- ja kallioperässä olevat avoimet tilat. Pohjavettä syntyy sade- ja pintavesien imeytyessä maakerrosten läpi tai sade- ja pintavesien virratessa kallioperän rakoihin./3/

Maaperään imeytyessään pohjavesi liuottaa mineraaleja. Anaerobisissa (=vähähappisissa) olosuhteissa suurimolekyyliset orgaaniset yhdisteet hajoavat bakteerien vaikutuksesta etupäässä metaaniksi (CH₄) ja rikkivedyksi (H₂S) eli anaerobisessa vyöhykkeessä vallitsee pelkistävät olosuhteet. Hiilidioksidia (CO₂), vettä (H₂O) ja sulfaattia (SO₄²⁻) saadaan runsashappisissa aerobisissa olosuhteissa. Aerobinen ja anaerobinen tasapaino riippuu maaperän koostumuksesta ja pohjavesi esiintymän korkeudesta. /2/ Vedenoton seurauksena pohjaveden pinta voi laskea alle läheisen vesistön pinnan ja pintavettä suodattuu pohjavedeksi. Tätä kutsutaan rantaimetykseksi. Pohjavesivarat eivät yleensä riitä suurehkojen yhdyskuntien tarpeisiin. Pohjavesialueen antoisuutta eli veden määrää voidaan kasvattaa imeyttämällä alueelle pintavettä. Tätä kutsutaan tekopohjaveden muodostamiseksi./22/

Pohjaveden ottoon käytetään pääasiassa kolmenlaisia kaivoja, jotka ovat kuilukaivo, siiviläputkikaivo ja porakaivo. Kuilukaivojen tukirakenteina käytetään betonirenkaita. Kuilukaivoja ei juurikaan enää tehdä vesilaitoksille. Renkaiden saumat ovat riskikohteita vedenlaadun kannalta. Routa tai puiden juuret voivat aiheuttaa kaivorenkaiden liikkumista tai sauman aukeamista, joka voi johtaa pintavesien, lika-aineiden tai pieneläinten pääsemisen kaivoon. Siiviläputkikaivo on yleisin kaivotyyppi ja se tehdään poraamalla. Kaivon suojaputkessa olevan siivilän

kautta vesi kulkeutuu kaivopumpulle, mikä pumppaa veden käyttöön. Pintavesien pääsy kaivoon, esim. lattiakaivojen kautta, tai pieneläinten hakeutuminen kaivon yläpuolisiin rakenteisiin aiheuttavat suurimmat vedenlaaturiskit. Ilmastointiputkiin ja viemäreihin asennettavilla tiheillä verkoilla kuitenkin estetään pieneläinten pääsy kaivoihin. Porakaivot ovat kallioon porattuja, joita käyttävät pääasiassa pienehköt laitokset, koska kaivon antoisuus ei yleensä ole suuri. Bakteriongelmat ovat porakaivoissa muita kaivotyyppejä vähäisemmät. Kallioruhjeita pitkin kuitenkin saattaa pintavesiä kulkeutua ottokaivoon. Paikallisesti luontaisia vedenlaatuongelmia porakaivoissa aiheuttavat terveydelle haitalliset arseeni (As) ja radon (Rn). Rikkivety, jota tulee maa- ja kallioperästä, voi aiheuttaa hajuhaittoja. Rikkivetyongelmat ovat yleisiä suoalueiden läheisyydessä. Jotkut kivilajit, kuten esimerkiksi mustaliuskeet, sisältävät myös rikkiä. Jos kaivo porataan tällaiseen kallioon, kaivossa voi olla rikkivetyongelmia. /22//27/

3.1.1 Pohjavesialueet

Pohjavesialueita Suomessa on noin 6350. Pohjavettä muodostuu näillä alueilla noin 5,4 miljoonaa m³ vuorokaudessa. Vesilaitokset, joiden jakamasta vedestä noin 60 prosenttia on pohjavettä, käyttävät 0,7 miljoonaa kuutiota pohjavettä vuorokaudessa. Haja-asutusalueilla lähes yksinomaan käytetään kaivoista tai lähteistä saatavaa pohjavettä./10/

Vaikka Suomessa on pohjavesialueita runsaasti, ne eivät kuitenkaan ole jakautuneet tasaisesti. Lapin ympäristökeskuksen alueella on eniten pohjavesialueita. Siellä on noin kolmannes koko Suomen pohjavesialueista. Niukimmin pohjavesialueita on Ahvenamaan lisäksi Pohjois- ja Etelä-Savon ympäristökeskusten alueella./11/

Käyttökelpoisimmat pohjavesivarat vedenhankinnan kannalta sijaitsevat lajittuneissa sora- ja hiekkakerrostumissa kuten harjuissa ja suurissa reunamuodostumissa (esim. Salpausselät), joissa pohjavesi on happipitoista ja hyvälaatuista. Erityisesti rannikkoalueilla pohjavesialueita on vähän. Siellä onkin jouduttu vedenhankinnassa hyödyntämään savikerrosten alaisia, varsin rautapitoisia pohjavesiesiintymiä./11/

Pohjavesialueilla on arvioitu muodostuvan pohjavettä noin 5,4 milj. m³ vuorokaudessa, josta I luokan pohjavesialueella 2,8, milj. m³/d, II luokan alueella 1,4 milj. m³/d ja III luokan alueella 1,2 milj. m³/d. Pohjavettä ja tekopohjavettä käytetään noin 0,7 milj. m³ vuorokaudessa eli noin 240 milj. m³ vuodessa./11/

Pohjavesialueet on luokiteltu käyttökelpoisuutensa ja suojelutarpeensa perusteella kolmeen luokkaan:

- Luokka I: vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
- Luokka II: vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
- Luokka III: muu pohjavesialue/13/

3.1.2 Pohjaveden puhdistus

Pohjaveden laatu on yleisesti hyvä ja se voi jopa sellaisenaan soveltua talousvedeksi. Parhaimmissa tapauksissa pohjavesi ei tarvitse minkäänlaista kemiallista puhdistusta. /2/ Useimmiten kuitenkin pohjavettä joudutaan käsittelemään ennen sen johtamista vesijohtoverkkoon./22/

Pohjavesi vaatii pintaveteen verrattuna vähän käsittelyä. Tavallisimmat käsittelymenetelmät ovat pH:n säätö, raudan poisto ja lievä desinfiointi./22/

Pohjaveden puhdistusmenetelmiä ovat hidassuodatus, pikasuodatus, rinnevalutus ja desinfiointi. Hidassuodatuksessa veden annetaan valua hitaasti (<0,5 m/h) hiekkakerroksen läpi. Hidassuodatuksella veden rauta- ja mangaanipitoisuus alenevat, sameus alenee ja haju- ja makuhaitat pienenevät. Pikasuodatuksessa vesi pakotetaan kulkemaan huomattavasti nopeammin hiekkakerroksen läpi, esim. 10 m/h. Pikasuodatus alentaa rauta- ja mangaanipitoisuutta sekä vähentää orgaanisen aineksen määrää. Rinnevalutuksessa vesi suihkutetaan ilmastuksesta luonnon rinteeseen, jossa vesi valuu maakerrokseen./2/

Tarvittaessa vesi desinfioidaan, ks. luku 3.5. Lopuksi veden pH säädetään lievästi emäksiseksi, jolloin pH on tavallisesti 7,5–8,5. pH:n noston tarkoituksena on

vähentää veden syövyttävyyttä. pH:n nostoa kutsutaan myös alkaloinniksi. Suomessa alkalointia tarvitaan lähes aina pohjavedelle, ks. luku 3.4./22/

3.1.3 Pohjaveden laatu

Suomessa pohjavedet ovat laadultaan yleensä hyviä. Pohjavesi soveltuu usein sellaisenaan talousvedeksi. Maa- ja kallioperän ominaisuudet voivat aiheuttaa pohjaveteen korkeita rauta- ja mangaanipitoisuuksia. Paikallisesti voi esiintyä myös haitallisia määriä arseenia, fluoria ja radonia. Harjualueilla pohjaveden laatu on parempi kuin savien alla. Laadun heikkenemisen savien alla aiheuttaa mm. pohjaveden hapen puute, jonka vuoksi rauta ja mangaani liukenevat veteen. Ihmisen toiminnan seurauksena maaperään joutuneet aineet voivat myös heikentää pohjaveden laatua. Orgaanisen aineksen määrä voi omalta osaltaan aiheuttaa ongelmia. Pohjavedenottamoiden raakaveden laatuongelmana on useimmiten liiallinen syövyttävyyys, jota säädelään erilaisin alkalointimenetelmin./3//6/

Pohjaveden suojeleminen on tärkeää, sillä pohjaveden laatua ja saatavuutta voivat heikentää monet ihmisen toiminnot, kuten teollisuus, huolto-asetat, kaatopaikat, sorakuopat ja teiden suolaus. Likaantuneen pohjaveden puhdistaminen on erittäin vaikeaa ja kallista, näin ollen pohjavesien suojeleminen on välttämätöntä. Puhdas pohjavesi pyritään turvaamaan mm. suojelemissuunnitelmissa, joiden laatimisesta vastaavat pääasiassa kunnat yhdessä vesihuoltolaitosten ja ympäristöviranomaisten kanssa./10/

Vesi luokitellaan hyvälaatuiseksi niin kauan kuin raja-arvot eivät ylity, vaikka joidenkin laatutekijöiden arvot olisivat selvästi heikentyneet./6/ Pohjaveden humuspitoisuudet ovat yleensä matalia ja vesi on mikrobiologisesti puhdasta./2/ Pohjavesi on laadultaan pääosin moitteetonta, sillä se on pintavettä paremmin suojelemissa liikaantumiselta. /10/

3.2 Pintavesi

Pintavesilaitosten raakavesi otetaan joko järvistä tai joista. Jokiveden laatu on herkempi muutoksille kuin järvivesi, koska järviveden suuri vesitilavuus tasaa laadun vaihteluita. Tyypillistä suomalaisille pintavesille on humuspitoisuus. Humuspitoisuutta kuvaa veden kemiallinen hapenkulutus ja kaliumpermanganaattiluku sekä väriluku./22/ Humus on kasveista ja eläinjänteistä maatumisprosessissa liuennutta orgaanista ainesta, joka värjää veden rusehtavaksi./2/

3.2.1 Pintaveden puhdistus

Pintavesi joudutaan puhdistamaan kemiallisella käsittelyllä, joka käsittää myös desinfioinnin, jolloin bakteerit ja virukset saadaan eliminoitua. Tekopohjaveden valmistus on vaihtoehtona kemialliselle käsittelylle./22/

Pintavesi vaatii aina kemiallisen käsittelyn. Kemiallisella saostuksella vedestä poistetaan orgaanista ainetta sitomalla epäpuhtaudet saostuskemikaaliin ja poistamalla näin saatu saostuma selkeyttämällä tai flotaatiolla ja suodattamalla. Tavanomainen pintavesilaitoksen prosessi käsittää seuraavat vaiheet:

- saostuskemikaalin ja pH:n säätökemikaalin annostelu ja pikasekoitus
- hämmennys
- selkeytys/flotaatio
- suodatus
- pH:n säätö
- mahdollinen aktiivihiilisuodatus
- desinfiointi

Saostuskemikaalin tarkoituksena on saada humus koaguloitumaan niin, että se voidaan erottaa vedestä. Saostuskemikaalina voidaan käyttää esim. alumiinia (Al^{3+}) tai rautaa (Fe^{3+}) sisältävää kemikaalia. Sakan mukana poistuu myös samalla merkittävä osa bakteereista ja viruksista. Flokkauskemikaali alentaa veden pH:ta,

jota on nostettava alkaloinnilla. Prosessi toimii parhaiten tietyssä lähinnä saostuskemikaalista ja vedenlaadusta riippuvassa pH-arvossa./22/

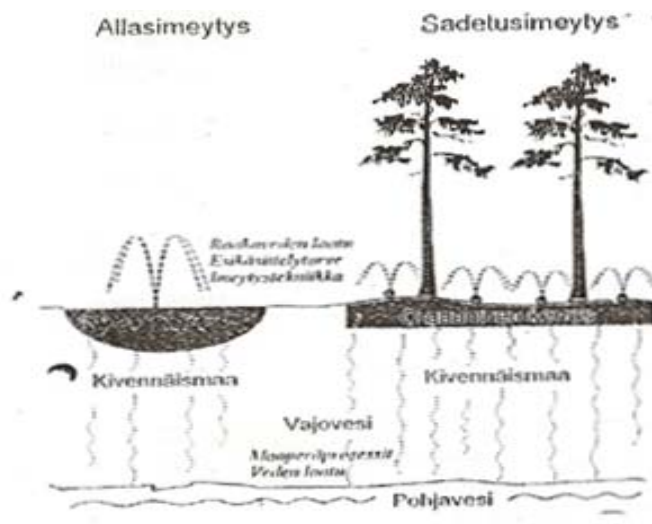
Hienojakoinen sakka muodostaa hämmennyksessä vedestä erotettavissa olevia flokkeja. Flokit erotetaan selkeytyksessä joko laskeuttamalla tai flotaatiolla. Laskeutuksessa sakka laskeutuu altaan pohjalle ja flotaatiossa sakka nousee ilman kanssa veden pinnalle. Loput kiintoainekset poistuvat vedestä suodatuksella./22/

Veden pH nostetaan prosessin lopussa, jolloin vähennetään veden syövyttävyyttä. Haju- ja makuhaittoja voidaan poistaa vedestä aktiivihiilisuodatuksella, jauhemaisen aktiivihiilen annostuksella prosessin alkuun tai otsonoinnilla. Otsonointi hajottaa myös orgaanisia yhdisteitä ja tuhoaa bakteereita ja viruksia./22/

Verkostoveden hygieenisyyden varmistamiseksi verkostoon johdettava vesi desinfioidaan. Humus poistetaan ennen desinfiointia, koska humuspitoista vettä klooratessa muodostuu terveydelle haitallisia orgaanisia klooriyhdisteitä./22/

3.3 Tekopohjavesi

Kun luonnollisen pohjaveden tuotto ei riitä tarvittavaan vedenottomäärään, ryhdytään valmistamaan tekopohjavettä. Tekopohjaveden valmistuksessa hyödynnetään pintavettä. Pintavettä imeytetään joko altaan kautta tai maastoon sadettamalla pohjavedeksi. Vesi puhdistuu lähes luonnon pohjaveden kaltaiseksi kulkeutuessaan vedenottokaivoon./22/

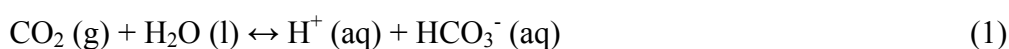


Kuva 1. Tekopohjaveden valmistus sadettamalla./2/

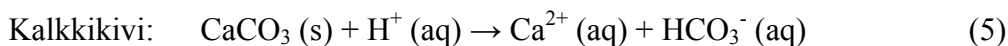
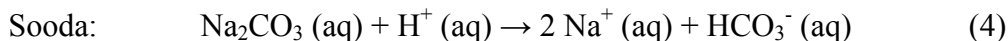
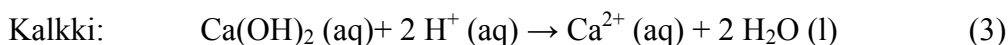
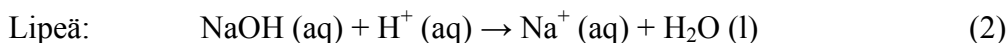
3.4 Alkalointi

Luonnon veden pH liikkuu tyypillisesti tasolla 6,4–7,0. Alkaloinnin eli pH:n noston tarkoituksena on vähentää veden syövyttävyyttä. Alkalointiin käytetään alkalointikemikaaleja, kuten lipeää (natriumhydroksidia), soodaa (natriumkarbonaattia), sammutettua kalkkia (kalsiumhydroksidi), poltettua kalkkia (kalsiumoksidi) tai kalkkikiveä. pH:n nostoon voidaan käyttää myös kalkkikivisuodatusta tai ilmastusta. Veden laadusta riippuu sopiva alkalointimenetelmä./22/

Alkaloinnissa keskeinen rooli on veden hiilidioksidipitoisuudella. Veden kokonaishiilidioksidipitoisuus koostuu vapaasta hiilidioksidista (CO_2) sekä sidotusta hiilidioksidista. Sidotulla hiilidioksidilla tarkoitetaan veden sisältämän bikarbonaatin (HCO_3^-) ja karbonaatin (CO_3^{2-}) kokonaismäärää. Hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin osuudet vedessä määrittelevät veden pH:n. Veden hiilidioksidipitoisuus vaikuttaa siihen, kuinka paljon pH:n nostossa tarvitaan alkalointikemikaalia./22//24/ Veteen liuennut hiilidioksidi tekee vedestä lievästi happaman:

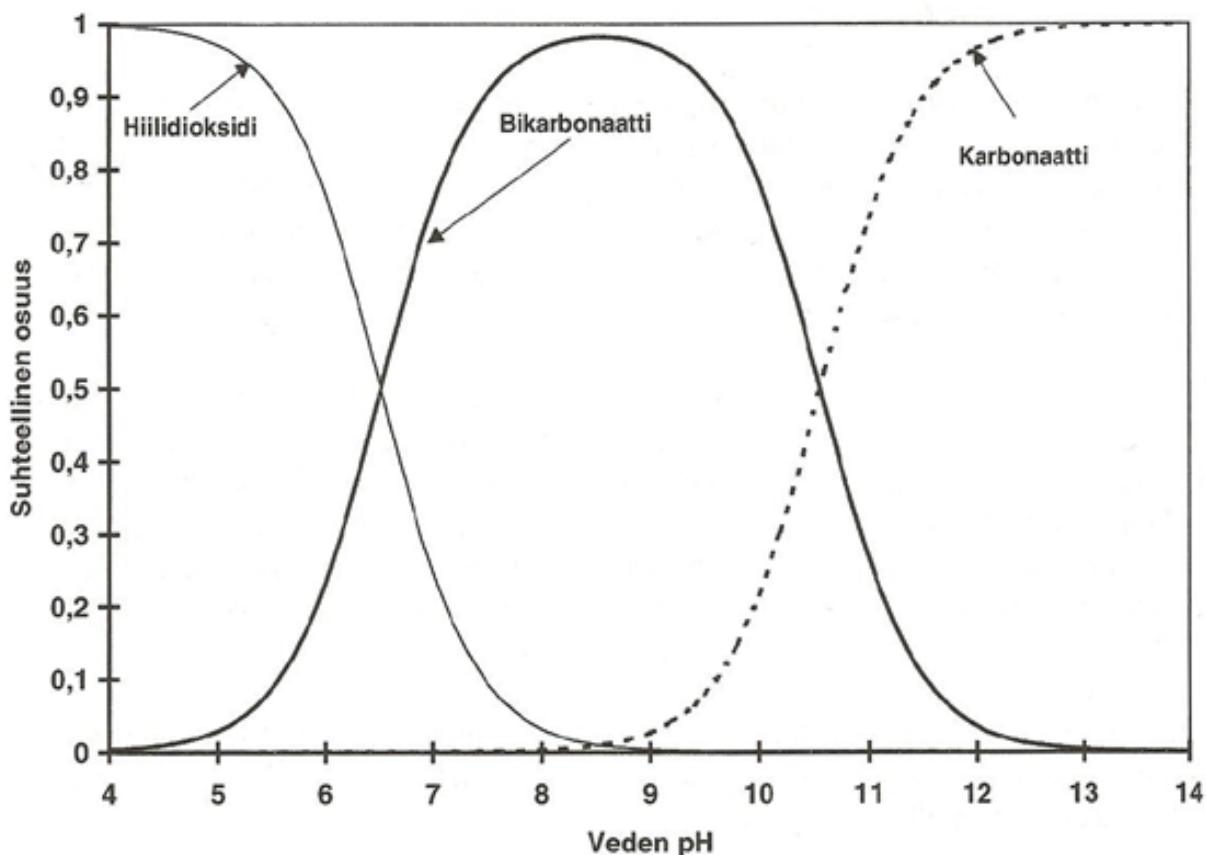


Reaktioyhtälöt eri alkalointimenetelmillä ovat:



Veden alkaliteetilla tarkoitetaan veden kykyä vastustaa pH-muutoksia. Talousveden alkaliteetti on käytännössä seurausta veden sisältämästä bikarbonaattipitoisuudesta, joka on vallitsevin karbonaattimuoto talousveden pH-alueella. Kun veteen lisätään emäksistä alkalointikemikaalia, se alkaa neutraloida veden sisältämää hiilidioksidia bikarbonaatiksi. Samalla nousee sekä pH että kalkkipohjaisissa menetelmissä myös kalsiumpitoisuus kohoaa, jolloin seurauksena on kovuuden nousu. Lipeä ja sooda eivät vaikuta veden kovuuteen. Korkea kovuus aiheuttaa haitallisia kalkkisaostumia lämminvesilaitteisiin. Kalsiumkarbonaatin (CaCO_3) liukoisuus veteen on 0,0013g/100g./22//24//26/

Veden vapaa hiilidioksidi alkaa sitoutua bikarbonaatiksi, kun tyypillistä suomalaista pehmeää ja hapanta pohjavettä (pH noin 6,0–6,5) alkaloidaan. Kuviosta 1 nähdään, että veden vapaa hiilidioksidi on käytännössä täysin muuttunut bikarbonaatiksi, kun veden pH on noin 8,3. Veden pH:n ylittäessä 8,3, alkaa bikarbonaatista muodostua karbonaattia ja pH-tasolla 12 kaikki HCO_3^- on reagoinut karbonaatiksi./24/



Kuvio 1. Veden vapaan hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin suhteellisten osuuksien riippuvuus veden pH-arvosta./24/

Lipeä ja sooda annostellaan valmistamalla niistä määrätyn väkevyinen syöttöliuos ja annostelemalla liuosta tietty määrä veteen. pH-mittauksella valvotaan annostelua. Mikäli pH-arvo ei ole vakaa (vaihtelee yli 0,3 pH-yksikköä), syy vaihteluun tulisi selvittää ja tilanne korjata. Kun pH:n säätöön käytetään livettä, on pH-muutos jyrkkä pH-arvon 7 ympäristössä./22/

Kemikaali voidaan annostella virtaamaohjauksella, pH-ohjauksella, virtaamaohjauksella yhdistettynä pH-korjaukseen tai kytkemällä raakavesipumppujen käyntiin. Annostelussa käytetty pH-mittaus korjaa pientä annostusliuoksen pitoisuuden tai raakaveden laadun vaihtelusta aiheutuvaa pH:n vaihtelua./22/

Pohjaveden ilmastus on myös hyvin tyypillinen pohjaveden käsittelymenetelmä. Ilmastuksessa veteen sekoitetaan runsaasti ilmaa esim. suuttimien kautta tai antamalla veden virrata systeemissä, jossa vallitsee voimakkaasti turbulentsiset

olosuhteet. Ilmastuksen tarkoituksena on poistaa vedestä haitalliset kaasut, jolloin haju- ja makuhaitat pienenevät. Ilma syrjäyttää myös hiilidioksidin (CO₂), jolloin veden pH nousee reaktion (1) mukaisesti siirryttäessä oikealta vasemmalle. Tällöin hiilidioksidi poistuu ilmakehään./2/

Ilmastus tapahtuu yleensä korkeissa ilmastustorneissa, jonka pohjalta paineellinen ilma lisätään veteen. Vesi tulee kylläiseksi ilmasta ja ylimäärä kuplista nousee tornin pintaan syrjäyttäen muut liuenneet ja liukenemattomat kaasut. Tärkeää on käyttää riittävää määrää ilmaa tasaisesti sekoitettuna pohjaan sekä varmistaa riittävä viiveaika. Viiveaika riippuu vedenkulutuksesta ja ilmastussäiliön koosta. Ilmastuksessa myös rauta ja mangaani hapettuvat, jolloin ne muodostavat helposti suodatettavia liukenemattomia yhdisteitä./2/

Taulukko 1. Veden alkalointiin käytettävien kemikaalien ja prosessiratkaisujen hyödyt ja haitat./16/

Alkalointimenetelmät	Hyödyt	Haitat
Kalkkiannostus	-Lisää veden kovuutta. -Halpa kemikaali.	-Korkeat investointikulut . -Nostaa vain vähän veden alkaliteettia.
Lipeäannostus	-Annostusjärjestelmä yksinkertainen. -Sopii erityisen hyvin koville vesille.	-Ei nosta veden kovuutta ja vain vähän alkaliteettia. -Erityisen vaarallinen yliannostuksissa.
Soodan annostus	-Sopii hyvin pehmeille vesille, nostaa alkaliteettia enemmän kuin lipeä ja kalkki. -Yliannostuksissa turvallisin kemikaali.	-Ei nosta veden kokonaiskovuutta.
Ilmastus	-Sopii hyvin erityisesti koville vesille. -Helppohoitoinen.	-Ei sovi pehmeille vesille.
Kalkkikivisuodatus	-Sopii hyvin pehmeille vesille. -Nostaa merkittävästi sekä alkaliteettia että kalsiumpitoisuutta.	-Vaatii 1-3 tunnin viipymän. -Vain vähän pitkäaikaista käyttökokemusta. -Rauta ja mangaani heikentävät sen tehoa.
Suodatus alkaloivalla massalla	-Helppohoitoinen.	-pH:n vaihtelu usein liian suuri.

Mahdollisia alkalointitratkaisuja ovat:

Vesi hyvin pehmeää

Suuret laitokset: Kalkki + hiilidioksidi

Pienet laitokset: Sooda
Kalkkikivisuodatus

Vesi pehmeää

Suuret laitokset: Kalkki (+ hiilidioksidi)

Pienet laitokset: Sooda
Lipeä
Kalkkikivisuodatus

Vesi kovaa tai keskikovaa

Suuret laitokset: Kalkki
Ilmastus (+ lipeä)
Lipeä

Pienet laitokset: Lipeä
Ilmastus/16/

Someron kaupungin Vesihuollossa pohjaveden pH:n säätöön käytetään kylläistä soodaa, jolloin soodaraetta on koko ajan säiliön pohjalla ja sitä liukenee sitä mukaan, kun soodaliuosta kuluu ja laimennusvettä tulee lisää. Säiliössä on sekoittaja päällä koko ajan. Somerolla raakaveden virtaama on noin 1500 m³/vrk. Somerolla on käytössä UV-säteilytys ja tarvittaessa mahdollisuus desinfiointiin natriumhypokloriitilla.

Salon kaupungin Vesihuollossa pohjaveden pH:n säätöön käytetään 50 p- %:sta livettä, joka laimennetaan 10 p- %:n pitoisuuteen. Salossa raakavettä pumpataan noin 5000 m³/vrk ja 50 p- % natriumhydroksidin kulutus on 5 t vuodessa. Salossakin

on käytössä UV-säteilytys ja tarvittaessa mahdollisuus desinfiointiin natriumhypokloriitilla.

3.5 Desinfointi

Desinfioinnilla poistetaan taudinaiheuttajia. Veden desinfiointimenetelmistä yleisimmin käytettyjä ovat klooraus, UV-säteilytys ja otsonointi. Desinfiointin tarve määräytyy raakaveden laadun perusteella. Vaikka vettä ei jatkuvasti desinfiotaisi, jokaisella pohjavesilaitoksella tulisi olla valmius desinfiointiin nopeaan käynnistämiseen. Verkostoon johdettavan veden käsittelyn lisäksi desinfiointia käytetään myös mm. putkien ja vesisäiliöiden puhdistamiseen. Niiden puhdistamiseen käytetään natrium- tai kalsiumhypokloriittia./20//22/

Natriumhypokloriitti (NaOCl) on tavallisin desinfiointiin käytetty kloorikemikaali. Annosteluliuoksen klooripitoisuus on tavallisesti 10 % (noin 115–125 g/l klooria). Varastoitaessa liuoksen pitoisuus alenee, koska liuoksen kloori erkaantuu vähitellen ilmakehään. Eli mitä lämpimämmässä liuos on, sitä nopeammin klooripitoisuus laskee. Hajoaminen nopeutuu myös valon vaikutuksesta. Annosteltavan hypokloriitin tarve on varsin pieni, joten tavallisesti vesi annostellaan laimennettuna liuoksena. Hypokloriittia voidaan sekoittaa lipeä- tai soodaliuokseen, jos erillistä annostelulaitteistoa ei ole. Veteen jää hypokloriitin annostelusta kloorijäännös. Verkostoon voidaan tehdä shokkiklooraus, jos verkostovesi on saastunut bakteereilla. Silloin veden klooripitoisuus on useita milligrammoja litrassa eli kymmeniä kertoja normaalia desinfiointitasoa korkeampi. Yleisimmin shokkikloorausta käytetään uusien putkien puhdistukseen./22/

Mikäli pohjavedelle joudutaan suorittamaan desinfiointi, käytetään siihen yleensä natriumhypokloriittia. Sillä ei ole pitkäaikaisvaikutusta, eli desinfiointivaikutus on lyhyt. Natriumhypokloriitti on helposti varastoitavissa ja annosteltavissa oleva kemikaali./2/

Verkostoon pumpattavan veden desinfiointinissa käytetään yhä yleisimmin UV-säteilytystä. Säteilytys tehoaa hyvin raakavedessä oleviin bakteereihin ja viruksiin.

Toisin kuin kloori, UV ei tuhoa lainkaan verkostossa olevia bakteereita. UV soveltuu mm. pohjavesilaitoksille verkostoon johdettavan veden hygieenisyyden varmistamiseen./22/

UV-laitteessa vesi virtaa kammion läpi, jossa on yksi tai useampi UV-lamppu. Laite vaatii varsin vähän hoitoa. Laitteen likaantuessa säteilyteho alenee. Vähitellen myös lamppujen teho alenee, minkä vuoksi lamput on määrävälein vaihdettava./22/

Otsonin (O₃) desinfiointivaikutus perustuu sen hapettaviin ominaisuuksiin. Vedenpuhdistuksessa käytettävistä hapettimista otsoni on tehokkain. Otsonikaasulla on hyvin pieni puoliintumisaika, jonka vuoksi se on valmistettava lähellä käyttökohdetta./20/

Taulukko 2. Talousveden desinfiointimenetelmien vertailua./20/

Menetelmä	Vaatimukset raakavedelle	Vahvuudet	Heikkoudet
OTSONOINTI	-Vesi ei saa sisältää runsaasti otsonia kuluttavia yhdisteitä.	-Tehokkain veden puhdistuksessa käytettävä hapetin. -Pilkkoo orgaanista ainesta eli pilkkoo myös humusta, väriä, rikkivetyä, mangaania ja rautaa.	-Ei jälkivaikutusta vesijohtoverkossa. -Kallis. -Prosessina suhteellisen monimutkainen ja vaatii jatkuvaa huoltoa. -Kaasu vaarallinen ympäristöön ja työtiloihin päästessään.
UV-DESIFIOINTI	-Veden tulee olla kirkasta.	-Edullinen. -Laitteisto yksinkertainen ja helppo hoitoinen.	-Ei jälkivaikutusta vesijohtoverkossa.
KLOORAUS	-Vesi ei saa sisältää humusta.	-Vaikuttaa myös vesijohtoverkostossa.	-Maku- ja hajuhaitat. -Suurina määrinä karsinogeeninen. -Kaasumaisessa olomuodossa haitallinen ihmiselle (työturvallisuusriski).

3.6 Kemikaaliannostuksista johtuvat laatuhäiriöt vesilaitoksella

Yleisin häiriötilanne pohjavesilaitoksilla on kemikaalin virheellinen annostus. Alkalointikemikaalin liian suuri annostus voi aiheuttaa terveysriskin vedenkäyttäjille. Tässä suhteessa lipeä ja kalkki ovat erityisen vaarallisia. Jos veden pH on 10,5 tai korkeampi, vedestä katsotaan aiheutuvan terveysriskiä. Korkea pH-arvo voidaan todeta pH-mittarilla tai havaita veden sameutena, vaahtoamisena tai liukkautena./22/

Kemikaalisäiliöstä, annostusletkuista tai annospumpuista ei saa päästä valumaan kemikaaleja vuototilanteessa tiloihin, joista niistä olisi haittaa. Riskiä pienentää mm. kemikaalisäiliön alla oleva varoallas, johon koko kemikaalisäiliön tilavuus mahtuu./22/

Desinfiointikemikaalin, esim. natriumhypokloriitin, liian suuri annostus on terveysriski. Ylisyötön osoittaa tällöin kloorin haju. Klooripitoisuus on haitallinen jos se on 5 mg/l tai suurempi. Annosteltava pitoisuus on yleensä alle 1 mg/l. Bakteerien ja virusten tuhoutuminen heikentyy jos käytetään liian alhaista hypokloriitin annostusta tai jos annostus keskeytetään. Kemikaalien yliannostusriskit riippuvat kemikaaliannostuksen ohjausjärjestelmästä. Taulukkoon 3 on kerätty tavallisimpia syitä kemikaalien yliannostuksiin ja toimenpiteitä yliannostusten estämiseen./22/

Taulukko 3. Kemikaalien yliannostuksien syitä ja niiden estäminen./22/

Syy yliannostukseen	Vaikutus annostukseen
Verkostopaineen häviäminen.	Riski kemikaalin joutumisesta veteen vaikka kemikaalipumppu ei käy (esim. lappo).
Kemikaalipumppu jää käsikäytölle.	Kemikaalin annostus sitä suurempi mitä harvemmin vesilaitos käynnistyy.
Syöttöliuoksen liian suuri pitoisuus.	Kemikaalin annostusmäärä kasvaa samassa suhteessa kuin liuoksen pitoisuus.
Raakavesipumpun takaiskuventtiili ei toimi.	Kemikaloitua vettä virtaa takaisin kaivoon, samaan veteen annostus monta kertaa.
Kemikaalipumpun iskunpituuden lukitus rikkoontuu tai löystyy (pumpun tuotto maksimille).	Annosteltavan kemikaalin annostusmäärä kasvaa sitä enemmän, mitä pienemmäksi iskunpituus on säädetty.
Virtauksen pysähtyessä kemikaloitu vesi ei pääse mittarille, kemikaalipumppu jää käyntiin.	Suuri kemikaaliannostus seisovaan veteen.
pH-mittarin näyttämä luku väärä (elektrodi rikki tai virheellinen kalibrointi).	Virheellinen kemikaaliannostus.
Virtaamaohjatun annostusjärjestelmän syyt (pH-mittarin korjaava vaikutus pieni).	

3.7 Talousveden laatuvaatimukset

Talousveden laatuvaatimukset on määritelty terveydensuojelulain nojalla annetussa sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000. Laatutekijät on asetuksessa jaoteltu vaatimukseen ja suositukseen. Yleisvaatimus on, että vedessä ei saa olla pieneliöitä tai loisia tai mitään aineita sellaisina määrinä tai pitoisuuksina, joista voi olla vaaraa ihmisen terveydelle. Riski terveyshaitoista on olemassa, jos jokin laatuvaatimus ei täyty. Jonkin suositusarvon ylittyminen voi välillisesti lisätä terveysriskiä tai aiheuttaa valituksia vedenlaadusta. Esimerkiksi rauta samentaa veden, aiheuttaa veteen ruskeaa väriä ja verkostoon saostumia, mutta ei aiheuta sairastumisia./22/

Suomessa vedenkäytöstä aiheutuvat sairastumiset johtuvat lähes yksinomaan veden mikrobeista. Haitallisia mikrobeja kulkeutuu yleensä veteen eläinten ja ihmisten

ulosteista. Tämän vuoksi ovat laatuvaatimukset asetettu sellaisille bakteereille, joita esiintyy yleisesti ulosteiden saastuttamassa vedessä, esim. Escherichia coli- ja Enterokokkibakteerit. Laatusuosituksena on, että koliformisia bakteereita ei saa esiintyä hyvälaatuisessa talousvedessä. Pintavesien pääsy vedenottokaivoon sade- tai sulamisvesien mukana on tavallinen syy kolibakteerien esiintymiseen./22/

Riski sairastua kemiallisista aineista on pieni, koska turvamarginaali on suuri. Jos laatuvaatimukset ylittyvät yhdenkin aineen osalta, on ryhdyttävä toimenpiteisiin. Ilman lääninhallituksen myöntämää poikkeuslupaa, laatuvaatimus arvon ylittävää vettä ei saa toimittaa kuluttajille. Laatuvaatimuseron ovat yleisimmin Suomessa ylittäneet fluoridi, yksittäiset torjunta-aineet ja nikkeli. Joissakin pohjavesissä esiintyy luonnostaan fluoridia ja nikkeliä./22/

Laatusuosituksen ylittävät yleisimmin rauta, mangaani, koliformiset bakteerit, alumiini, väri, sameus, haju, maku, hapettuvuus (COD_{Mn}) ja ammonium. Myös veden pH-arvo poikkeaa usein laatutavoitteesta./22/

3.7.1 Talousveden pH

Happamuusaste, eli pH, kuvaa vedessä olevien vapaiden vetyionien määrää. pH-asteikko on logaritminen eli kun pH laskee yhden yksikön, vetyionikonsentraatio kymmenkertaistuu. Neutraalin veden pH-arvo on 7. Raja-arvo talousvedelle on 6,5–9,5, mutta laatutavoite on kuitenkin 7,0 - 8,8 (riippuu veden kalsiumpitoisuudesta ja alkaliteetista)./18//19/

Luonnontilaisten pohjavesien ja pintavesien pH-arvo on Suomessa yleensä lievästi hapan, jolloin pH on alueella 6 - 7. Tästä johtuu, että vedenjakelulaitteissa käytetyt materiaalit, kuten valurauta, sinkitty teräs, kupari, betoni ja asbestisementti useimmiten syöpyvät, ellei vettä ole alkaloitu. Silloin kun veden pH-arvo on vedenjakelulaitteiden kannalta sopiva, ei myöskään putkistomateriaalin syöpymisestä johtuvaa vedenlaadun heikkenemistä tapahdu. Korroosion kannalta pH arvon tulisi olla mahdollisimman tasainen. pH-arvon ollessa alle 7,1 alkaa metallien liukeneminen putkista./19/

Pienillä lapsilla, joilla mahahappojen määrä on vähäisempi ja nesteen kulutus painoon nähden suurempi, haittoja voi jo esiintyä alhaisemman pH:n yhteydessä kuin aikuisilla. Nämä haitat ovat yleensä mahavaivoja, oksentelua ja ripulia. Hyvin alkaalinen vesi, pH yli 10,5 voi lisäksi aiheuttaa suun ja nielun limakalvojen kirvelyä. Tällainen vesi voi myös peseydyttäessä ärsyttää silmiä ja ihoa. Silloin kun veden pH-arvo on näin korkea, veden laadun poikkeaminen normaalista havaitaan yleensä veden vaahtoamisena ja outona makuna./19/

4 FORSSAN VESIHUOLTOLAITOS

Forssan Vesihuoltolaitoksen tehtävänä on hoitaa yhdyskunnan vedenhankinta ja viemärointi. Talousvetenä Forssassa käytetään pohjavettä, joka käsitellään pohjavedenottamoilla.

4.1 Vedenhankinta

Forssan vesihuoltolaitoksen vedenhankinnan yksinomaisena lähteenä on Vieremänharju, joka on osa Salpausselän pitkittäisharjua. Tässä pohjavesiesiintymässä sijaitsevat laitoksen vedenottamot Linikkala ja Vieremä. Myös Kaukjärvestä on mahdollisuus pumpata vettä kahteen tekopohjavesialtaaseen ja imeyttää se käytettäväksi Linikkalan pohjavesipumppaamalla. Vuonna 2006 Vieremä pumppasi vettä 1 213 100 m³ ja Linikkala 873 500 m³. Yhteensä nämä tekevät 2 086 600 m³.

Vieremän pohjavedenottamolla on 5 siiviläputkikaivoa, syvyyksiltään 15–20 m. Vieremän ottamon nimellisteho on tällä hetkellä noin 450 m³ tunnissa. Vedenottamo on rakennettu vuonna 1972. Linikkalan pohjavedenottamolle on käytössä 2 siiviläputkikaivoa. Ottamon teho on tällä hetkellä 250 m³ tunnissa ja se on rakennettu vuonna 1978. /14/

Vesilaitoksen vedenjakelujärjestelmä käsittää noin 190 km runkoputkistoa, Kaalikorven 2500 m³:n vesitornin ja Paavolan paineenkorotusaseman. Elintarvike- ja tekstiiliteollisuus käyttää noin 45 %:a pumpatusta vesimäärästä.

Forssan seudun kunnista Tammelassa on runsaimmat pohjavesivarat, eikä Humppilassa ja Jokioisillakaan ole pohjavedestä pulaa. Forssassa sen sijaan vedenhankintatilanne on niukempi, sillä kaupungissa on asukkaita ympäryskuntia huomattavasti enemmän ja pohjavesialueelle on sijoittunut runsaasti toimintaa, josta aiheutuu riskiä vedenotolle. Vieremän ja Linikkalan pohjavedenottamoista on lupa ottaa yhteensä 9000 m³/d vuosikeskiarvona laskettuna ja enintään 12 000 m³/d kausikeskiarvona laskettuna. Lisäksi lupaehdoissa on määritetty rajoituksia vedenottomäärille, jos Kaukjärven vedenpinta on alhainen. /15/

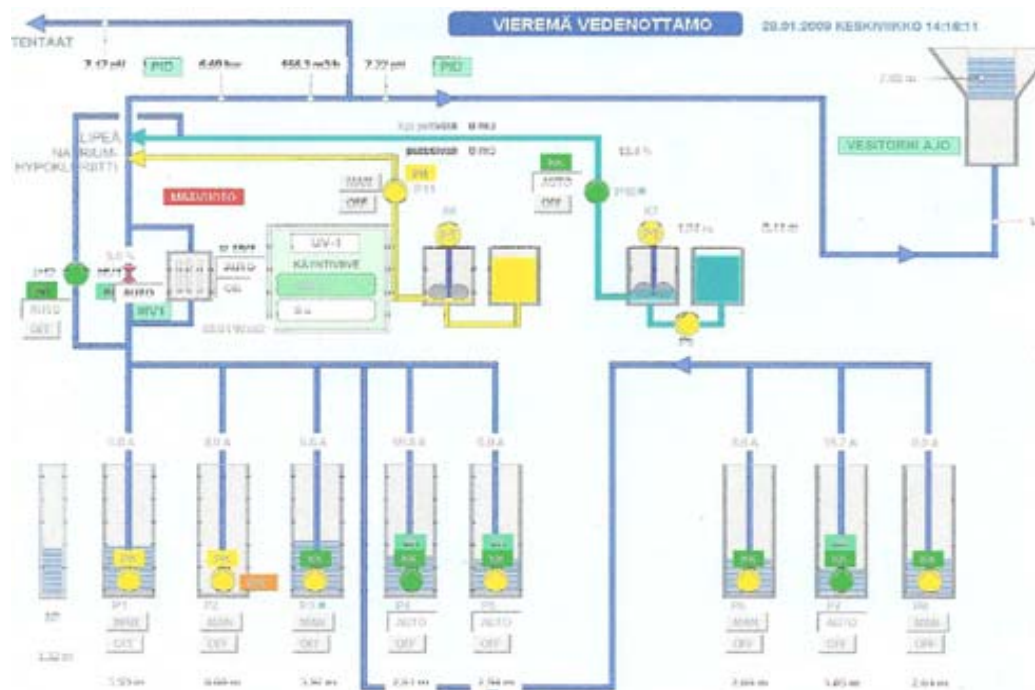
Vieremän harjun maaperä on hyvin vettä johtavaa hiekkaa ja soraa, joten rantaimetyymistä hyväksi käyttäen vedenottoa on mahdollista edelleen tehostaa. Erityisesti Loimijoen vedessä voi olla aineita, jotka eivät puhdistu rantaimetyyksessä, joten rantaimetyymisestä aiheutuu muiden valuma-alueella sijaitsevien riskien lisäksi pohjaveden laatuun kohdistuva riski./15/

Forssassa on sen lähikuntiin verrattuna enemmän A-luokan riskikohteita, sillä vanhoja kaatopaikkoja ja muuta toimintaa on sijoittunut kaupungin tärkeimpien vedenottamoiden Vieremän ja Linikkalan valuma-alueelle. /15/

4.2 Pohjaveden käsittely

Forssan Vesihuoltolaitoksella pohjaveden käsittelyyn käytetään sekä Vieremän että Linikkalan pohjavedenottamoilla lipeää (NaOH), jolla veden pH nostetaan tasolle 7.5–8,0. Vieremän pohjavedenottamolla pH:n säätöön käytetään 50 p- % NaOH:a. Ennen se laimennettiin 1:2. Sitä ennen käytössä oli laimennussuhde 1:5. Linikkalan pohjavedenottamolla pH:n säätöön käytetään 50 p- % NaOH:a. Vuonna 2007 NaOH:n syöttömäärä oli 17 mg/dm³ (muunnettuna 100 p- %:ksi NaOH:ksi). NaOH:n syöttö tapahtuu raakaveden virtaaman mukaan. Vieremässä veden pH:n ylärajana on 8,30 ja kun veden pH ylittää arvon, silloin NaOH:n syöttöpumppu pysähtyy

automaattisesti. Alarajana vastaavasti on 7,35. Linikkalassa pH:n ylärajana on 8,50 ja alarajana 7,30. Vieremän pohjavedenottamolta haarautuu verkostolinjasta tehdaslinja, joka vie vettä Atrialle ja HK Ruokataloon. Tehdaslinja haarautuu verkostolinjasta noin 2 metrin päästä natriumhydroksidin syötöstä. Molemmissa linjoissa sekä tehdas- että verkostolinjassa on pH-mittarit ja jos jommassa kummassa linjassa veden pH ylittää ylärajan 8,30, niin natriumhydroksidin syöttöpumppu pysähtyy automaattisesti. Linikkalassa on vastaavasti verkostolinjassa pH-mittari ja jos veden pH ylittää ylärajan 8,50, natriumhydroksidin syöttöpumppu pysähtyy automaattisesti. Desinfiointia suoritetaan jaksoittain tarpeen mukaan. Desinfiointikemikaalina käytetään 10 p- % natriumhypokloriittia. Lisäksi molemmissa pumppaamoissa on UV-desinfiointilaitteistot.



Kuva 2. Vieremän pohjavedenottamon prosessikaavio.

4.3 Pohjaveden laatu

Hämeen pohjavedet ovat pääosin puhtaita ja hyvälaatuisia ja kelpaavat sellaisenaan talousvedeksi. Hämeessäkin on kuitenkin pilaantuneita pohjavesialueita ja pilaantumisen takia käytöstä poistettuja pohjavedenottamoita. Tiukentuneen lainsäädännön, tehokkaamman suojaustekniikan sekä valvonnan ja tarkkailun

ansioista uutta pohjaveden pilaantumista ei juuri enää tapahdu. Sen sijaan tehostuneen valvonnan ja seurannan ansiosta esille tulee jatkuvasti pilaantumistapauksia, joita ei aikaisemmin ole ollut tiedossa./12/

Forssan pohjavesi on laadultaan hyvää. Viimeksi raakavesi tutkittiin laajemmin 29.10.2007.

5 TYÖN SUORITUS

Kokeellisen osan tarkoituksena oli tutkia Forssan Vesihuoltolaitoksella raakaveden pH:n säätöä. Raakavedelle tehtiin pH:n säätökokeita eri vahvuisilla natriumhydroksidi- ja soodaliuoksilla. Työn tarkoituksena oli myös testata STEL-80A vedenkäsittelylaitetta ja sen mahdollista käyttöä raakaveden desinfioinnissa.

5.1 Pohjaveden pH:n säätö

Raakavesinäyte, jonka tilavuus oli 250 ml, titrattiin 1 M, 0,1 M ja 0,01 M NaOH:lla sekä soodalla, jossa kidevedellisen soodan ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) pitoisuudet olivat 1 g/l, 10 g/l ja 100 g/l. Jokainen titraus tehtiin vähintään kahteen kertaan.

Titrauksissa raakavesinäytteeseen ($V=250\text{ml}$) lisättiin sekoituksen vallitessa vähitellen kemikaalia, eli alussa 0,5 ml:n välein, sitten 1 ml:n välein ja lopussa suuremmilla väleillä. pH:ta seurattiin koko titrauksen ajan. pH-arvot kirjattiin, kun ne olivat tasoittuneet. Lisäksi soodalla tehdyissä titrauksissa tarkkailtiin mahdollisen sakan muodostumista (CaCO_3).

Raakaveden pH-säätöä tutkittiin myös STEL-80A vedenkäsittelylaitteesta tulevalla katolyytillä, joka sisälsi natriumhydroksidia. Raakavesinäyte ($V=250\text{ml}$) titrattiin potentiometrisesti kahteen kertaan katolyytillä. Sekoitin oli koko ajan käytössä. Lisäksi tehtiin vielä kahteen kertaan raakaveden titraus ($V=250\text{ml}$), jossa titrantina käytettiin anolyytin ja katolyytin seosta. Titrantissa oli 100 ml anolyyttiä ja 100 ml

katolyyttiä. Myös anolyytti (V=100ml) titrattiin katolytyillä. Anolyytin pH mitattiin, kun katolytyttä oli lisätty 1, 5, 10 ja 20 ml.

Lisäksi katolytyttien, joissa virran voimakkuus oli 2-2,5 A ja 7,5-8 A, NaOH-pitoisuus määritettiin. Katolytyttinäytettä otettiin 50 ml, johon tiputettiin yksi tippa fenolftaleiinia. Näyte titrattiin 0,1 M HCl-liuoksella, kunnes punainen väri hävisi. Määrittys tehtiin kaksi kertaa molempien virran voimakkuuksien katolytyteille.

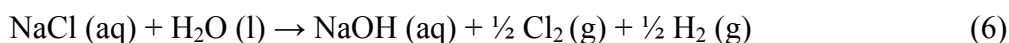
Raakaveden pH oli lievästi emäksistä, joten näytteitä jouduttiin hapottamaan 2 M HCl:lla, jolloin pH vastasi paremmin luonnon vesien pH:ta. Kaikkia näytteitä ei kuitenkaan hapotettu, vaan ne titrattiin sellaisenaan.

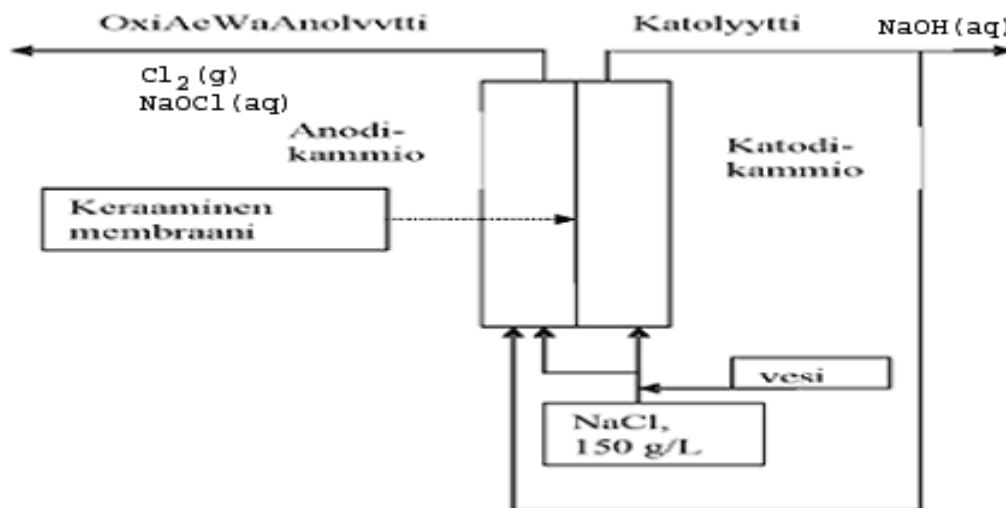
5.2 STEL-80A vedenkäsittelylaite

Aluksi tutustuttiin STEL-80A vedenkäsittelylaitteen toimintaan ja tehtiin muutama koeajo, jolloin nähtiin miten laite toimii. Sen jälkeen testattiin laitetta eri virran voimakkuuksilla, joista määritettiin OxiAcWa-anolyytin aktiivisen vapaan kloorin, sitoutuneen kloorin sekä kokonaiskloorin pitoisuudet.

5.2.1 STEL-80A laitteen periaate

STEL-80A vedenkäsittelylaite tuottaa sähkökemiallisesti laimeata desinfiointiainetta, OxiAcWa-anolytyttä. Sähkökemiallinen generaattori valmistaa OxiAcWaa ruokasuolasta (NaCl) ja vedestä./9/ Sähkökemiallinen reaktio on esitetty reaktioyhtälössä (6).

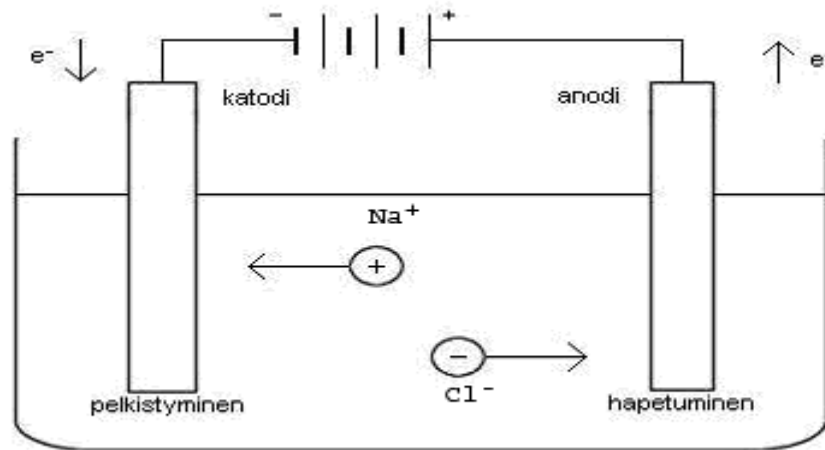




Kuva 3. OxiAcwa STEL generaattorin hydraulinen virtauskaavio./21/

STEL-80A generaattorin muodostavat rinnakkain kytketyt sähkökemialliset kennot, joissa anodi- ja katodikammiot ovat erotettu toisistaan ioneja läpäisevällä keraamisella kalvolla. Generaattorissa on sisäänrakennettu tasasuuntaja, joka muuntaa vaihtovirran kennojen tarvitsemaksi tasajännitteeksi./9/

Elektrolyysissä sähköenergia muuttuu kemialliseksi energiaksi. Tasavirta pakotetaan kulkemaan kennon läpi siten, että halutut hapettumis-pelkistysreaktiot saadaan tapahtumaan elektrodeilla./7/ Elektrolyytti hajoaa positiivisiksi ja negatiivisiksi ioneiksi. Ionit liikkuvat varatuille sauvoille sähköisen vetovoiman vaikutuksesta. Positiiviset ionit eli kationit kulkeutuvat katodille, jossa ne pelkistyvät. Negatiiviset ionit eli anionit kulkeutuvat anodille, jossa ne hapettuvat. Anodiksi kutsutaan positiivista napaa ja katodiksi negatiivista napaa./8/



Kuva 4. Elektrolyysikaavio./8/

OxiAcwan valmistus tapahtuu siten, että ruokasuolaliuosta (NaCl) johdetaan ensin katodikammion ja sen jälkeen anodikammion läpi. Laimeata natriumhydroksidia (NaOH) muodostuu katodikammiossa ja klooria (Cl₂) anodikammiossa. Sekoittuessaan nämä muodostavat neutraalia (pH 6-8) OxiAcWa-anolyyttiä. Elektrolyysissä muodostuu myös sivutuotteena pieniä määriä klooridioksidia (ClO₂) ja otsonia (O₃). Aktiiviklooripitoisuus on tyypillisesti 300–650 mg/l./9/



Kuva 5. OxiAcWa STEL-80A vedenkäsittelylaite.

STEL-80A generaattorin sovelluskohteita ovat mm. paperi- ja kartonkikoneet, jäädytystornit, panimot, uimahallit, sairaalat, vedenkäsittelylaitokset ja elintarviketeollisuus. OxiAcWaa käytetään suoraan tuotteen käsittelemiseen ja epäsuoraan pigmenttien tai lisäaineiden desinfiointiin./9/

5.2.2 STEL-80A laitteen testaus ja analysointi

Aluksi tutustuttiin STEL-80A vedenkäsittelylaitteen toimintaan. Tällöin virranvoimakkuuksina käytettiin 7 A ja 8 A. Myös katolyytin ja anolyytin ulostulo virtaukset määritettiin sekä anolyytin ja katolyytin pH mitattiin. Laitteessa oli jännitemittari, jonka lukema luettiin. Anolyytin ja katolyytin virtaukset määritettiin siten, että ensin laitettiin 30 sekunnin ajan anolyyttiä mitta-astiaan ja 30 sekunnin jälkeen katsottiin, kuinka paljon millilitroina anolyyttiä oli tullut ulos. Näin saatiin mitattua anolyytin tilavuusvirta. Sen jälkeen sama määrittäminen tehtiin katolyyttille.

Kun laitteeseen oli tutustuttu, tehtiin samat määritykset kuin aiemmin virranvoimakkuuksilla 2-2,5 A ja 7,5-8 A. Lisäksi mitattiin anolyytin ja katolyytin sähkönjohtokyky. Kun anolyytistä oli saatu näytteet sekä 2-2,5 A ja 7,5-8 A virroilla, tehtiin molemmille anolyyteille aktiivisen vapaan kloorin määrittäminen sekä aktiivisen kokonaiskloorin määrittäminen standardin SFS 3004 Veden aktiivisen kloorin määrittäminen mukaan. Tässä standardissa vapaalla kloorilla tarkoitetaan hapettavia klooriyhdisteitä, kuten klooria (Cl_2), alikloorihapoketta (HClO) ja hypokloriitti-ioni (ClO^-). Tärkeimmät hapettavat klooriyhdisteet, joista tässä standardissa käytetään nimitystä aktiivinen sitoutunut kloori, ovat epäorgaaniset klooriamiinit sekä orgaaniset mono- ja diklooriamiinit. Aktiivinen kokonaiskloori on aktiivisen vapaan ja aktiivisen sitoutuneen kloorin summa. Aktiivinen vapaa kloori, aktiivinen sitoutunut kloori ja aktiivinen kokonaiskloori laskettiin seuraavasti:

Aktiivinen vapaa kloori saadaan kaavasta (7), ks./25/:

$$vapaakloori = V_a \cdot \frac{c}{2,82} \frac{mg}{l} Cl_2 \quad (7)$$

Aktiivinen sitoutunut kloori:

$$sitoutunutkloori = (V_b - V_a) \cdot \frac{c}{2,82} \frac{mg}{l} Cl_2 \quad (8)$$

Aktiivinen kokonaiskloori:

$$kokonaiskloori = V_b \cdot \frac{c}{2,82} \frac{mg}{l} Cl_2 \quad (9)$$

, joissa

V_a = aktiivisen vapaan kloorin määrittämisessä kulunut rauta(II)liuoksen tilavuus, ml

V_b = aktiivisen kokonaiskloorin määrittämisessä kulunut rauta(II)liuoksen tilavuus, ml

c = rauta(II)liuoksen konsentraatio, mmol/l

2,82 = 100 ml näytteessä 1 ml 2,82 mmol/ rauta(II)liuosta

Laimennettujen näytteiden lopputulosta laskettaessa titrauksesta saatu tulos kerrottiin laimenuskertoimella:

$$f = \frac{100}{V_x} \quad (10)$$

, jossa

$V_x = \text{määritykseen otettu näytetilavuus}/25/$

Ennen aktiivisen vapaan kloorin määrittämistä sekä aktiivisen kokonaiskloorin määrittämistä, määritettiin rauta(II)liuoksen konsentraatio. Rauta(II)liuoksen määrittäminen tehtiin siten, että titrausastiaan lisättiin 10,0 ml kaliumdikromaatin työliuosta (0,400mmol/l), 50 ml ionitonta vettä, 5,0 ml fosfaattipuskuriliuosta ja muutama kide kaliumjodidia. Tämän jälkeen se titrattiin rauta(II)liuoksella. Kun 7 ml rauta(II)liuosta oli kulunut, lisättiin 5,0 ml DPD-liuosta ja sekoitettiin. Titrausta jatkettiin, kunnes punainen väri hävisi. Määrittäminen tehtiin kaksi kertaa.

Kun rauta(II)liuoksen konsentraatio oli määritetty, suoritettiin ensin anolyysi, jossa oli käytetty virranvoimakkuutta 2-2,5 A, aktiivisen vapaan kloorin määrittäminen. Anolyysi näyte piti laimentaa, koska standardin avulla pystytään määrittämään ainoastaan alle 3 mg/l pitoisuuksia. Anolyysinäytettä otettiin 2 ml ja se laimennettiin 100 ml:ksi. Aktiivisen vapaan kloorin määrittämisessä laitettiin titrausastiaan 5,0 ml fosfaattipuskuriliuosta, 5,0 ml DPD-liuosta ja sekoitettiin. Sen jälkeen lisättiin 100 ml näytettä ja sekoitettiin. Näyte titrattiin nopeasti minuutin kuluessa rauta(II)liuoksella, kunnes punainen väri hävisi. Rauta(II)liuoksen kulutus merkittiin muistiin. Määrittäminen tehtiin kaksi kertaa.

Seuraavaksi tehtiin aktiivisen kokonaiskloorin määrittäminen. Anolyysinäytettä otettiin taas 2 ml ja se laimennettiin 100 ml:ksi. Aktiivisen kokonaiskloorin määrittämisessä laitettiin titrausastiaan samat reagenssit kuin aktiivisen vapaan kloorin määrittämisessä. Lisäksi laitettiin vielä 5,0 ml kaliumjodidiliuosta ja sekoitettiin. Lisättiin 100 ml näytettä ja sekoitettiin. Odotettiin 2 minuuttia ja sen jälkeen näyte titrattiin rauta(II)liuoksella, kunnes punainen väri hävisi. Rauta(II)liuoksen kulutus merkittiin muistiin. Määrittäminen tehtiin kaksi kertaa.

Seuraavaksi tehtiin samat määrittämiset anolyysille, jossa virran voimakkuutena oli käytetty 7,5-8 A. Erona oli, että nyt anolyysinäytettä otettiin 4 ml ja laimennettiin 1000 ml:ksi. Näytteeksi otettiin 100 ml laimennettua liuosta.

Seuraavaksi tehtiin aktiivisen vapaan kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin määritykset anolyyttille, jossa STEL-80A laitteessa oli käytetty 4,75-5 A virtaa. Anolyytinäytettä otettiin 3 ml ja se laimennettiin 500 ml:ksi. Määrityksiin näytettä otettiin tästä liuoksesta 100 ml. Määritys tehtiin samalla tavalla kuin aiemmin, paitsi fosfaattipuskuriliuosta käytettiin 6 ml, jolloin näytteen pH:ksi saatiin 6,2.

Kun anolyytin (4,75-5 A) määritykset oli tehty, otettiin 10 ml anolyyttiä, joka sekoitettiin viiteen litraan raakavettä. Näytettä sekoitettiin hieman ja siitä otettiin heti näytteet, joista määritettiin aktiivisen vapaan kloorin ja kokonaiskloorin pitoisuudet, kuten edellä, paitsi nyt näytteitä ei tarvinnut enää laimentaa. Ämpäriin, jossa oli anolyytin ja raakaveden seosta, kansi laitettiin kiinni, kunnes 30 min kuluttua tehtiin uudelleen samat määritykset. Kaikki määritykset tehtiin kaksi kertaa.

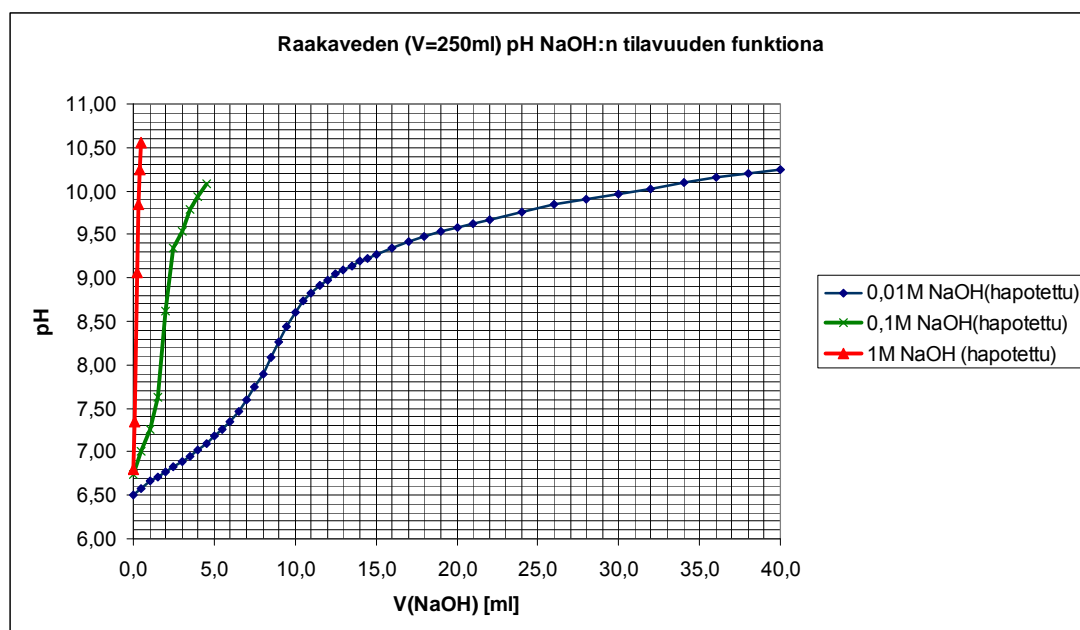
Elektrolyysilaitteella otettiin vielä näytteet 5-5,25 A:n virralla. Tämän jälkeen sekoitettiin 100 ml anolyyttiä ja 100 ml katolyyttiä. Seoksesta mitattiin pH. Sen jälkeen määritettiin anolyytin ja katolyytin seoksesta standardin 3004 mukaisesti aktiivisen vapaan kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudet. Määrityksiin otettiin 5 ml anolyytin ja katolyytin seosta ja se laimennettiin 500 ml:ksi. Näytettä otettiin jokaiseen määritykseen tästä liuoksesta 100 ml. Myös käytettävän rauta(II)liuoksen pitoisuus määritettiin uudelleen. Jokainen määritys tehtiin kahteen kertaan.

Tämän jälkeen sekoitettiin 8 ml anolyytin ja katolyytin seosta 5 litraan raakavettä. Seosta sekoitettiin 2 minuuttia. 30 minuutin kuluttua määritettiin aktiivisen vapaan kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudet. Seuraavana päivänä mitattiin vielä raakaveden pH vedestä, johon oli lisätty anolyytin ja katolyytin seosta. Viikon kuluttua määritettiin edellä olevasta liuoksesta vielä uudelleen aktiivisen vapaan kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudet sekä pH.

6 TYÖN TULOKSET

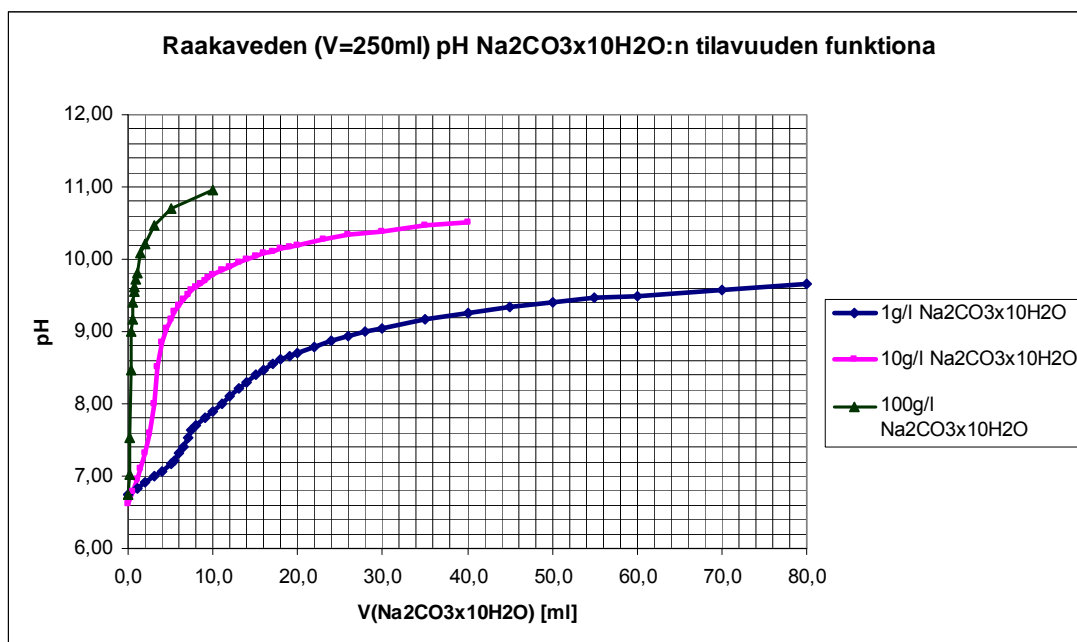
6.1 Pohjaveden pH:n säätö

Kuviossa 2 on esitetty raakaveden pH 0,01 M, 0,1 M ja 1 M NaOH:n tilavuuden funktiona. Painoprosenteiksi muutettuna 0,01 M NaOH on n. 0,04 p- %, 0,1 M NaOH on n. 0,4 p- % ja 1 M NaOH n. 4,0 p- %.



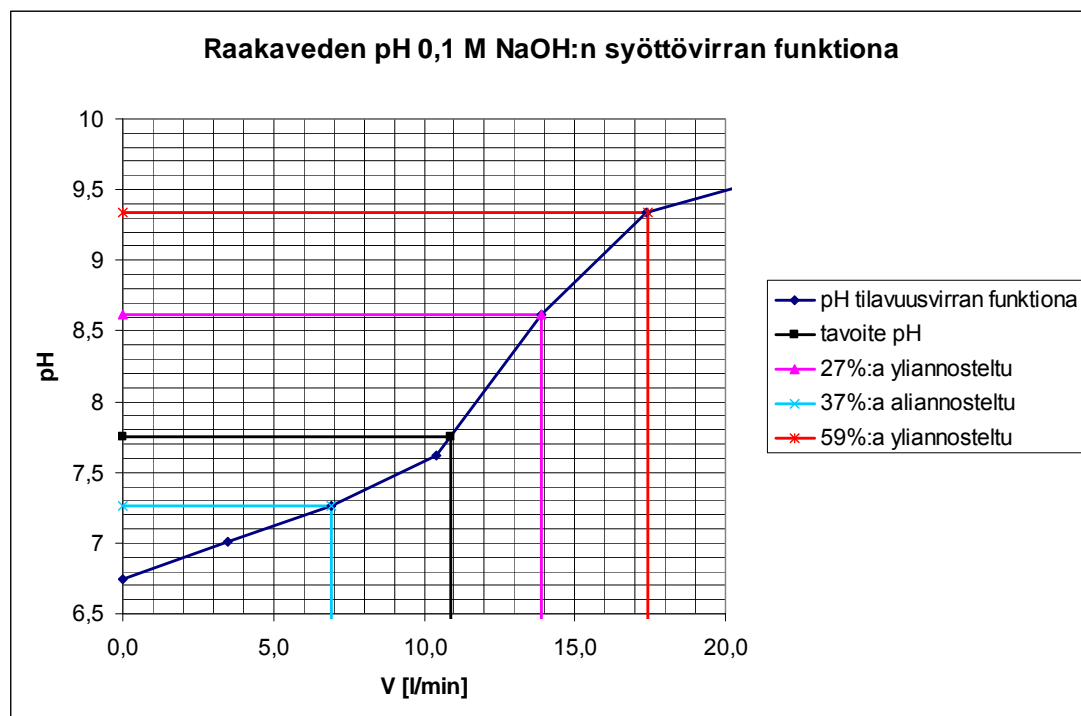
Kuvio 2. Raakaveden pH NaOH-lisäyksen funktiona.

Kuviosta 2 nähdään hyvin, miten natriumhydroksidi käyttäytyy raakaveden pH:n säädössä. Mitä vahvempaa natriumhydroksidia käytetään, sitä nopeammin raakaveden pH nousee, ks. punainen käyrä. Toisaalta mitä laimeempaa natriumhydroksidia käytetään, sitä enemmän sitä joudutaan pumppaamaan raakaveteen. Eli kun käytetään laimeaa natriumhydroksidia pH:n säätöön, se on erittäin turvallista, sillä pieni yliannostelukaan ei nosta pH:ta nopeasti liian korkeaksi, mutta haittana on se, että silloin natriumhydroksidin kulutus on suuri ja laimennuksia joudutan tekemään usein.



Kuvio 3. Raakaveden pH kidevedellisen soodan (Na₂CO₃ · 10H₂O) tilavuuden funktiona.

Kuviosta 3 nähdään, että vahvempi sooda liuos nostaa pH:ta nopeammin kuin laimeampi. Sooda muodostaa karbonaatti-ioneja (CO₃²⁻) veden kanssa, mutta vasta kun pH nousee yli kymmenen, joten käytännössä ei pitäisi vedessä muodostua karbonaatti-ioneja normaalilla pH-alueella.



Kuvio 4. Raakaveden pH 0,1 M NaOH:n syöttövirran funktiona (raakaveden virtaama $2500\text{m}^3/\text{vrk}$).

Kuviossa 4 on esitetty raakaveden pH 0,1 M NaOH:n tilavuusvirran funktiona. NaOH tilavuusvirrat on laskettu siten, että raakaveden virtaama on $2500\text{ m}^3/\text{vrk}$. Taulukossa on esitetty tavoite pH (pH=7,75) ja lisäksi taulukossa on esitetty raakaveden pH ja tilavuusvirta, kun 0,1 molaarista NaOH:a yliannostellaan 27 %:a ja 59 %:a. Näiden lisäksi esitetään käyrä jossa näkyy pH ja tilavuusvirta, kun kemikaalia aliannostellaan 37 %:a. Kun käytetään näin laimeaa NaOH:a, virheannostelua saa olla aika paljon kuitenkin pH:n nousematta raja-arvojen yläpuolelle. Mutta tavoite pH:n saavuttamiseksi saataisiin jo pumpata 0,1 M natriumhydroksidia 10,9 l/min eli yli $15\text{ m}^3/\text{vrk}$. Ja koska molemmissa pumppaamoissa pumpataan $2500\text{ m}^3/\text{vrk}$, tällöin kemikaalia kuluisi yhteensä yli $30\text{ m}^3/\text{vrk}$. Käytännössä on vaikea käyttää näin laimeaa pH:n säätö liuosta, koska kemikaalia kuluisi paljon ja lisäksi kemikaalin laimennuksia jouduttaisiin tekemään usein. 0,01 M ja 1 M NaOH:n vastaavat kuvaajat löytyvät liitteestä 5. Liitteestä 5 nähdään, että 1 M NaOH täytyisi pumpata 0,85 l/min tavoite pH:n saavuttamiseksi yhdelle vedenottamolle. Sekä Vieremän että Linikkalan pohjavedenottamoille täytyisi yhteensä pumpata 1 M NaOH:a 1,7 l/min. Tämä tekee noin $2,4\text{ m}^3/\text{vrk}$. 0,01 M NaOH vastaavasti täytyisi pumpata 38,2 l/min tavoite pH:n saavuttamiseksi

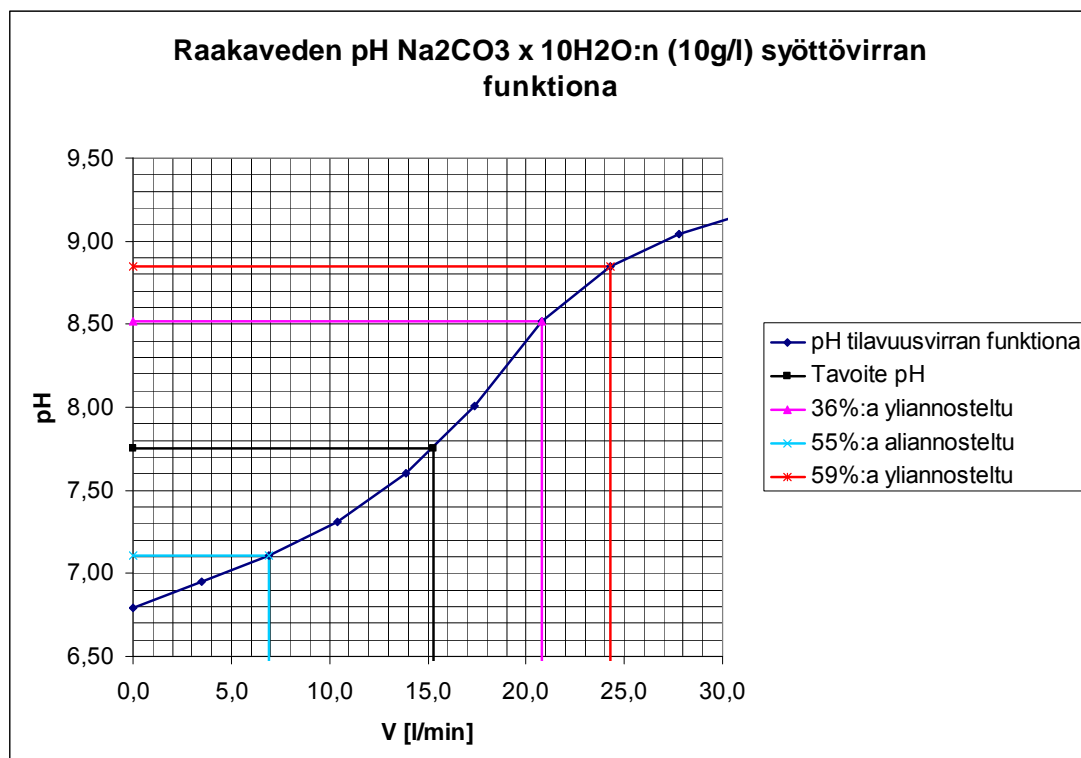
yhdelle vedenottamolle. Eli Linikkalaan ja Vieremään täytyisi pumpata yhteensä 76,4 l/min eli noin 110 m³/vrk.

Tilavuusvirrat on laskettu siten, että raakavettä pumpattaisiin 2500 m³/vrk. Tilavuusvirta esim. 0,1 M NaOH on laskettu seuraavasti tavoite pH:n saavuttamiseksi:

Alku pH:sta (6,74) tavoite pH:n (7,75) saavuttamiseksi 0,1 M NaOH:a kului 1,575 ml/ 250 ml raakavettä, eli 6,3 ml/l raakavettä. Tämä on siis 0,0063 l NaOH/l raakavettä. Kun oletettiin, että raakavettä pumpataan 2500 m³/vrk eli 1736,11 l/min, saatiin 0,1 M NaOH:n kulutukseksi:

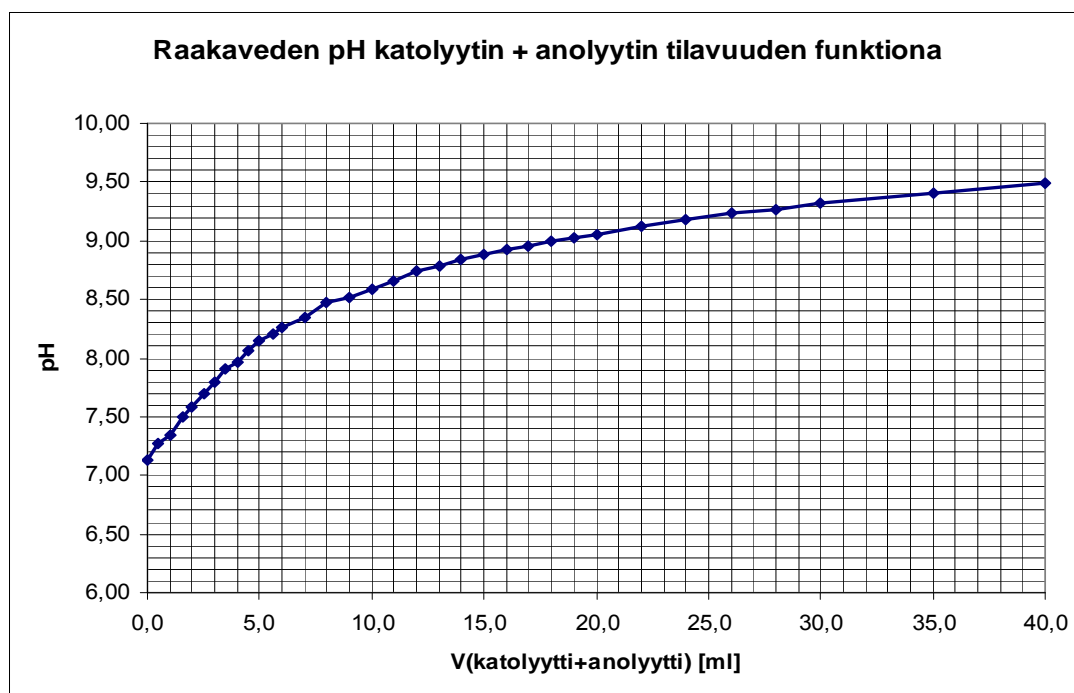
$$\dot{V} = 0,0063 \text{ l NaOH/l} \cdot 1736,11 \text{ l/min} = 10,9 \text{ l/min}$$

Koska molemmat vedenottamot pumppaavat raakavettä 2500 m³/vrk, täytyy kemikaalin kulutus kertoa kahdella, jotta saadaan niiden yhteenlaskettu kemikaalikulutus. Muut tilavuusvirrat laskettiin samalla tavalla.



Kuvio 5. Raakaveden pH Na₂CO₃ · 10 H₂O:n (1g/100ml) syöttövirran funktiona (raakaveden virtaama 2500 m³/vrk).

Kuviossa 5 on esitetty raakaveden pH $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$:n (1 g/100 ml) syöttövirran funktiona. Soodan tilavuusvirrat on laskettu siten, että raakaveden virtaama on 2500 m^3/vrk . Taulukossa on esitetty tavoite pH ja lisäksi taulukossa on esitetty pH:n ja tilavuusvirran arvot, kun kidevedellistä soodaa yliannostellaan 36 %:a ja 59 %:a. Näiden lisäksi esitetään käyrä, jossa näkyy pH ja tilavuusvirta, kun kemikaalia aliannostellaan 55 %:a. Kun käytetään näin laimeaa pH:n säätöliuosta, virheannostelua saa olla aika paljon kuitenkin pH:n nousematta raja-arvon yläpuolelle. Mutta tavoite pH:n saavuttamiseksi saataisiin jo pumpata liuosta 15,3 l/min eli yli 22 m^3/vrk yhdelle vedenottamolle. Yhteenlaskettu kemikaalikulutus olisi 44 m^3/vrk . Tällöin kemikaalia kuluisi liian paljon ja lisäksi kemikaalin laimennuksia jouduttaisiin tekemään usein. $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$:n, jossa pitoisuus oli 0,1 g/100 ml vastaava kuvaaja löytyy liitteestä 6. Liitteestä 6 nähdään, että $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (0,1 g/100ml) täytyisi pumpata 59,0 l/min tavoite pH:n saavuttamiseksi yhdelle pumppaamolle. Vieremään ja Linikkalaan pitäisi tällöin pumpata kemikaalia yhteensä lähes 170 m^3/vrk . Käytännössä on mahdotonta käyttää kumpaakaan näistä liuoksista, sillä kemikaalin kulutukset olisivat tällöin valtavat. Liitteestä 6 nähdään, että liuosta, jonka $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ pitoisuus oli 100 g/l, pitäisi pumpata 1,46 l/min tavoite pH:n saavuttamiseksi yhdelle pumppaamolle. Tällöin kemikaalia täytyisi yhteensä pumpata noin 4,2 m^3/vrk . Tilavuusvirrat laskettiin samalla tavalla kuin natriumhydroksidillekin. Käytännön ylärajana syöttövirralle voidaan pitää 1 l/min.



Kuvio 6. Raakaveden pH katolyytin + anolyytin tilavuuden funktiona.

Kuviossa 6 on esitetty, kun raakavesinäytteeseen ($V=250\text{ml}$) lisättiin seosta, jossa oli 100 ml anolyyttiä ja 100 ml katolyyttiä ($I=4,75\text{-}5\text{A}$). Raakaveden alku pH oli 7,13. Näytettä ei kuitenkaan hapotettu. Katolyytin ja anolyytin seosta kului 2,75 ml/250 ml, jotta tavoite pH ($\text{pH}=7,75$) saavutettiin. Jos raakavettä pumpataan $2500\text{ m}^3/\text{vrk}$ niin katolyytin ja anolyytin seosta olisi pumpattava $27,5\text{ m}^3/\text{vrk}$, jotta tavoite pH saavutettaisiin. Yhteensä vedenottamoille olisi pumpattava $55\text{ m}^3/\text{vrk}$ anolyytin ja katolyytin seosta. Anolyytin ja katolyytin seos ajatellaan homogeeniseksi, jolloin anolyyttiä olisi pumpattava yhdelle pumppaamolle $13,75\text{ m}^3/\text{vrk}$. Tällöin raakaveden aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudeksi tulisi $2,5\text{ mg/l Cl}_2$, sillä anolyytin aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuus $4,75\text{-}5\text{ A:n}$ virralla on 458 mg/l Cl_2 :

$$c_2 = \frac{c_1 V_1}{V_2} = \frac{457,6\text{ mg/l Cl}_2 \cdot 13,75\text{ m}^3}{2527,5\text{ m}^3} = 2,5\text{ mg/l Cl}_2$$

Tämä pitoisuus on moninkertainen normaalitasoon verrattuna. Anolyyttiä valmistetaan $1,4\text{ m}^3/\text{vrk}$ ja katolyyttiä $0,4\text{ m}^3/\text{vrk}$.

Katolyytin NaOH-pitoisuus määritettiin virroista 2-2,5A ja 7,5-8A. Määritykset tehtiin 0,1 M suolahapolla. Taulukosta 4 nähdään, että NaOH-pitoisuus oli korkeampi suuremmalla virralla. Katolytyillä saadaan kuitenkin aika laimeaa NaOH:a.

Taulukko 4. Katolyytin NaOH-pitoisuus.

Koe	Virta [A]	Näyte	V(0,1M HCl) [ml]	Keskiarvo [ml]	c(NaOH) [mol/l]	c(NaOH) [g/l]
1	2-2,5	1	3,3	3,4	0,007	0,3
		2	3,5			
2	7,5-8	1	11,3	11,4	0,023	0,9
		2	11,5			

6.2 STEL-80A vedenkäsittelylaite

STEL-80A vedenkäsittelylaitteella tehdyistä koeajoista määritettiin anolyytin aktiivisen vapaan kloorin, aktiivisen sitoutuneen kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudet. Aktiivisen vapaan kloorin pitoisuus laskettiin kaavoista (7) ja (10).

Aktiivinen vapaa kloori, kun virran voimakkuutena oli 2-2,5 A:

$$f = \frac{100}{2} = 50 \rightarrow V_a = 3,6 \text{ ml} \cdot 50 = 180 \text{ ml}$$

$$\text{vapaakloori} = 180 \text{ ml} \cdot \frac{2,67 \text{ mmol/l}}{2,82} = 170,4 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{Cl}_2 \approx 170 \text{ mg/l Cl}_2$$

Aktiivinen sitoutunut kloori, kun virran voimakkuutena oli 2-2,5 A, laskettiin kaavoista (8) ja (10):

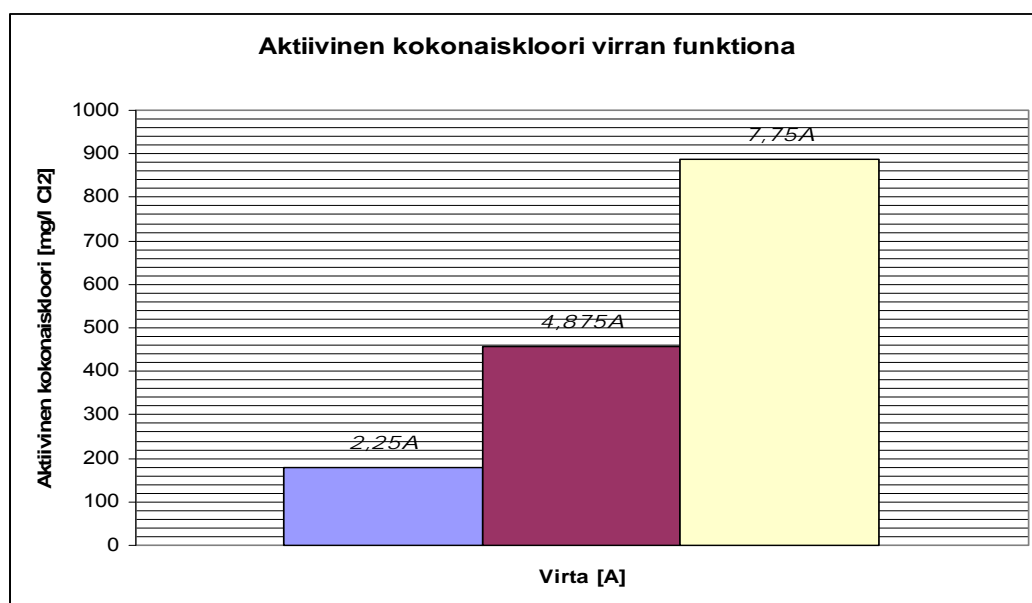
$$f = \frac{100}{2} = 50 \rightarrow V_b = 3,75 \text{ ml} \cdot 50 = 187,5 \text{ ml} \approx 188 \text{ ml}$$

$$\text{sitoutunutkloori} = (187,5 - 180) \text{ ml} \cdot \frac{2,67 \text{ mmol/l}}{2,82} = 7,1 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{Cl}_2 \approx 7 \text{ mg/l Cl}_2$$

Aktiivinen kokonaiskloori, kun virran voimakkuutena oli 2-2,5 A, laskettiin kaavasta (9):

$$\text{kokonaiskloori} = 187,5 \text{ ml} \cdot \frac{2,67 \text{ mmol/l}}{2,82} = 177,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{Cl}_2 \approx 178 \text{ mg/l Cl}_2$$

Muilla virran voimakkuuksilla kloori pitoisuudet laskettiin samalla tavalla kuin edellä.



Kuvio 7. Aktiivinen kokonaiskloori virran funktiona.

Kuviosta 7 nähdään, kun vedenkäsittelylaitteen virtaa nostettiin, niin myös aktiiviklooripitoisuus nousi selkeästi. Klooripitoisuus korreloi lineaarisesti virrankulutuksen kanssa, mikä on teorian mukaista.

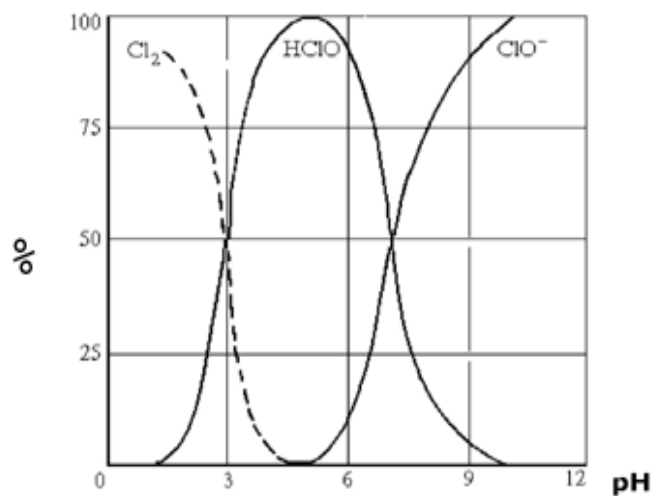
Raakaveden kokonaiskloorin alkupitoisuudeksi haluttiin noin 1 mg/l Cl₂. Laskettiin, että kun 10 ml anolyyttiä (I=4,75-5A) sekoitetaan viiteen litraan raakavettä, haluttu pitoisuus saavutetaan. Kun 10 ml anolyyttiä oli lisätty raakaveteen, saatiin aktiivisen vapaan kloorin pitoisuudeksi 0,85 mg/l Cl₂ ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudeksi 1,1 mg/l Cl₂. 30 minuutin kuluttua aktiivinen vapaan kloori pitoisuus oli 0,80 mg/l Cl₂ ja kokonaisklooripitoisuus oli 0,83 mg/l Cl₂, joten osa kloorikaasusta oli haihtunut 30 minuutin aikana. Jos vuorokaudessa pumpataan

raakavettä 2500 m³, niin tähän määrään on annosteltava 5 m³ 4,75-5 A:n virralla saatua anolyyttiä. Molemmille pumppaamoille sekä Vieremään että Linikkalaan on siis pumpattava 5 m³ anolyyttiä eli yhteensä anolyyttiä tarvitaan 10 m³. Vedenkäsittelylaitteella anolyytin virtaus oli 470 ml/30s eli 56,4 l/h, joten anolyyttiä valmistetaan noin 1,4 m³/vrk.

Seuraavassa kokeessa haluttiin alkupitoisuudeksi saada 0,5 mg/l Cl₂, kun raakaveteen lisättään anolyytin ja katolyytin (I=5-5,25A) seosta, jossa oli 100 ml anolyyttiä ja 100 ml katolyyttiä. 30 minuutin kuluttua siitä, kun 5 litraan raakavettä oli lisätty 8 ml anolyytin ja katolyytin seosta, saatiin aktiivisen vapaan kloorin pitoisuudeksi 0,49 mg/l Cl₂ ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuudeksi 0,67 mg/l Cl₂. Raakaveden pH:ksi, johon oli lisätty anolyytin ja katolyytin seosta, saatiin 6,91. Viikon kuluttua aktiivisen vapaan kloorin pitoisuus oli 0,16 mg/l Cl₂ ja aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuus oli 0,32 mg/ Cl₂. Seoksen pH:ksi saatiin 7,58. Tämä pH:n nousu johtuu siitä, että kloori on hapanta ja koska vapaata kloorikaasua on haihtunut seoksesta pois, pH on noussut. Jos vuorokaudessa pumpataan raakavettä 2500 m³, niin tähän määrään on annosteltava 4 m³ anolyytin ja katolyytin seosta. Seos voidaan ajatella homogeeniseksi, koska siihen lisättiin puolet anolyyttiä ja puolet katolyyttiä, joten raakaveteen on lisättävä 2 m³ anolyyttiä ja 2 m³ katolyyttiä. Molemmille pumppaamoille sekä Vieremään että Linikkalaan on siis pumpattava 2 m³ anolyyttiä ja 2 m³ katolyyttiä eli yhteensä anolyyttiä tarvittaisiin 4 m³ ja katolyyttiä 4 m³. Vedenkäsittelylaitteella anolyytin virtaus oli 500 ml/30 s eli 60 l/h, joten vuorokaudessa anolyyttiä valmistetaan 1,44 m³. Katolyytin virtaus oli 140 ml/30 s eli vuorokaudessa katolyyttiä valmistetaan 0,4 m³. Käytännössä järkevämpää on valmistaa 4 m³ anolyyttiä. Jos halutaan katolyyttiä sama määrä kuin anolyyttiä, kuluu siihen paljon aikaa ja anolyyttiä tulee valmistettua taas sinä aikana ylimäärin. Anolyytin valmistuksen aikana saatu katolyyttimäärä tulee kuitenkin käyttää pH:n säätöön, koska se on ainoa tapa käyttää katolyyttiä hyödyksi. Lisäksi pH-säätöön joudutaan käyttämään pH:n säätökemikaalia.

Kuten kuviosta 7 nähtiin aktiivisen kokonaiskloorin pitoisuus kasvaa, kun nostetaan STEL-80A vedenkäsittelylaitteen virtaa. Jos raakaveden desinfiointiin käytetään anolyyttiä, jonka valmistuksessa käytettiin 7,5-8 A virtaa, anolyyttiä annostellaan vähemmän raakaveteen. Virran voimakkuudella 7,5-8 A saatiin anolyytin aktiivisen

kokonaiskloorin pitoisuudeksi 888 mg/l Cl_2 . Jos tavoitteena on päästä anolyytin lisäyksen jälkeen alkupitoisuuteen 1 mg/l Cl_2 , anolyyttiä on lisättävä raakaveteen yhdelle pumppaamolle $2,8 \text{ m}^3$ eli yhteensä molemmille pumppaamoille on anolyyttiä lisättävä $5,6 \text{ m}^3$. Jos vastaavasti halutaan alkupitoisuuteen 0,5 mg/l Cl_2 , on anolyyttiä lisättävä yhdelle pumppaamolle $1,4 \text{ m}^3$ eli yhteensä on anolyyttiä lisättävä $2,8 \text{ m}^3$. Anolyytin virtaus oli 500 ml/30 s eli anolyyttiä valmistetaan vuorokaudessa $1,44 \text{ m}^3$. Siis tässä tapauksessa laitteen kapasiteetti riittää yhdelle vesilinjalle.



Kuvio 8. Kemikaalin suhteellinen osuus seoksessa./21/

Kuviosta 8 nähdään, että jos vesi on hapanta ($\text{pH} < 3$) desinfioiva vaikutus perustuu kloorikaasuun (Cl_2). Jos vesi on taas emäksistä, desinfioiva vaikutus perustuu hypokloriitti-ioniin (ClO^-). Paras desinfiointi tulos saavutetaan alikloorihapokkeella (HClO) eli pH:n ollessa 5-6. Mikäli käytetään desinfiointia, pH:n tulee olla 5-6. Desinfiointiteho laskee pH:n noustessa, joten desinfiointiaine pitää lisätä veteen ennen pH:n säätöä, jolloin vesi on lievästi hapanta.

7 VIRHEARVIOINTI

Virhettä aiheutui erityisesti siitä, että kaikki hakemani vesinäytteet olivat lievästi emäksisiä ja jouduin hapottamaan ne, jotta veden pH vastasi paremmin luonnon

pH:ta. Vesinäytteet otettiin Vieremän pohjavedenottamolta ennen pH-säätöä. Veden pH oli lähes aina noin 7,2–7,3.

Myös pH:n mittauksessa saattoi syntyä virhettä. Virheen pienentämiseksi pH-mittarit kuitenkin kalibroitiin. Sekä Porissa Satakunnan ammattikorkeakoulussa että Forssan jätevedenpuhdistamolla tehtiin pH:n säätökokeita, joten käytössä oli kolme eri pH-mittaria. Tämä saattaa aiheuttaa virhettä, sillä mittarit eivät välttämättä näytä samalla tavalla kalibroinnista huolimatta. Toisaalta luotettavuutta saatiin useammalla rinkaismittauksella.

Lisäksi aktiivisen vapaan kloorin ja aktiivisen kokonaiskloorin määrittämisessä saattoi syntyä hieman virhettä. Virheen minimoimiseksi jokainen määrittäminen tehtiin kahteen kertaan.

STEL-80A vedenkäsittelylaitteella tehdyissä kokeissa saattoi muodostua jonkin verran virhettä virran mittauksessa, sillä virtamittari oli erittäin herkkä ja sitä oli todella vaikea saada pysymään tietyllä virran voimakkuudella. Tuloksiin onkin ilmoitettu virta-alue, jolla virtamittari liikkui mittauksien ajan.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Liuokset, joiden pitoisuudet olivat 0,1 M NaOH (=4 g/l) ja 10 g/l Na₂CO₃ · 10 H₂O vaikuttivat toimivilta ja turvallisilta. Käytännössä kuitenkin tällöin NaOH:a pitäisi pumpata yhteensä Linikkalan ja Vieremän vedenottamoille 21,8 l/min eli noin 31,4 m³/vrk. Kidevedellistä soodaa (10 g/l) pitäisi vastaavasti pumpata molemmille vedenottamoille yhteensä 30,6 l/min eli noin 44 m³ vuorokaudessa. Tällöin pH:n säätökemikaalille tulisi varata suuria säiliöitä ja kemikaaliliuos tulisi tehdä usein.

Käytännössä vaikuttaa siltä, että hyvä tilavuusvirta olisi NaOH:lle noin 0,1–0,5 l/min eli 6–30 l/h tai kulutus ei saa ainakaan olla yli 1 l/min eli 60 l/h. 1 M NaOH oli kokeellisessa osassa vahvin lipeä liuos, jota kokeiltiin. 1 M NaOH:a käytettäessä kemikaalin kulutus olisi yhdelle pumppaamolle 0,85 l/min, joten yhteensä 1 M

NaOH kuluisi 1,7 l/min eli 2,45 m³/vrk. 1 M NaOH on painoprosentteina 4 p- % (=40 g/l).

100 g/l Na₂CO₃ · 10 H₂O oli vahvin sooda liuos, jota kokeiltiin pH-säätöön. Käytettäessä tätä liuosta pH:n säätöön kemikaalin kulutus olisi 1,46 l/min yhdelle pumppaamolle. Yhteensä kemikaaliliuosta kuluisi 2,92 l/min eli 4,2 m³/vrk. Na₂CO₃ · 10 H₂O liukoisuus veteen on 29,4 g/100g.

Lipeän käytön hyvinä puolina ovat annostusjärjestelmän yksinkertaisuus ja sen erittäin hyvä sopivuus koville vesille. Lipeän käytön haittoina ovat, että se ei nosta veden kovuutta ja vain vähän alkaliteettiäkin. pH on erityisen herkkä lipeäannostuksille, joten lipeä on erityisen vaarallista yliannostuksissa. Soodan hyvinä puolina on sen sopivuus hyvin pehmeille vesille. Sooda nostaa enemmän alkaliteettia kuin lipeä. Sooda on yliannostuksissa turvallisempi kemikaali. Soodan haittana on, että se ei nosta veden kokonaiskovuutta. Keskikoville vesille lipeä on parempi ratkaisu, kun taas pehmeille vesille sooda. Pienille laitoksille sooda soveltuu paremmin kuin suurille. Forssassa vesi on keskikovaa, joten lipeän käyttö pH-säätökemikaalina vaikuttaa siellä järkevältä. Lipeä on erityisen vaarallinen yliannostuksissa, joten pH-säädön kannalta on turvallista käyttää laimeaa pH:n säätöliuosta. Sekoituksen täytyy olla hyvä, jotta liuos pysyy tasalaatuisena. pH-säädön kannalta vaikuttaisi siltä, että Forssassa kannattaisi käyttää raakaveden pH-säätöön joko natriumhydroksidia, joka laimennetaan noin 10 p- %:ksi tai vahvaa soodaa, joka todettiin myös erinomaiseksi pH:n säätökemikaaliksi.

Tällä hetkellä soodan hintataso on n. 530 euroa/tonni. Nestemäistä soodaa ei ole saatavissa. Sooda toimitetaan kiinteänä 25 kg säkeissä. Lipeän hintataso on tällä hetkellä n. 500 euroa/tonni (50p - % NaOH).

Vieremän pohjavedenottamolta kaivosta otettu näyte oli hieman emäksinen (pH=7,4), joten pH-mittari olisi hyvä hankkia sekä Linikkalan että Vieremän pohjavedenottamoille, joilla mitattaisiin raakaveden pH myös ennen pH:n säätöä. Raakaveden pH saattaa vaihdella hieman ja koska pH:n säätökemikaali annostellaan virtaaman mukaan, raakaveden pH:n mittaus olisi suositeltavaa. Näin nähtäisiin pH ennen ja jälkeen pH-säädön.

STEL-80A vedenkäsittelylaitteen avulla saatiin tuotetuksi suuria aktiiviklooripitoisuuksia ja se toimi suunnitellulla tavalla. Forssassa kuitenkin desinfioinnin tarve on vähäinen, joten vedenkäsittelylaitteen käyttöaste ei tulisi olemaan korkea. Täten on kyseenalaista tarvitaanko kyseistä laitetta Forssassa. Koska desinfiointia tarvitaan harvoin, STEL-80A vedenkäsittelylaite olisi joka kerta ennen käyttöä myös huollettava.

LÄHTEET

1. Wikipedian www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.11.2008]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vesivarat>
2. Hannelius, T., Raakaveden puhdistuksen luentomonisteet. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Tekniikka Pori. Kevät 2008. 53s.
3. Lempäälän kunnan www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.11.2008] Saatavissa: http://www.lempaala.fi/asuminen_rakentaminen_ja_ymparis/ymparistoasiat/ymparistonsuojelu/vesiensuojelu/pohjavesi_ja_pohjaveden_laatu/
4. Eronen, M., Saarnisto, M., Salonen, V-P. Käytännön maaperägeologia. Turku: Otava, 2002. 237s. ISBN 951-29-2247-9.
5. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.11.2008]. Saatavissa: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=19325&lan=fi>
6. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9472&lan=sv>
7. Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H., Pohjakallio, M., Tekniikan kemia. 7.-8. painos. Helsinki: EDITA, 2005. 303s. ISBN 951-37-3738-1.
8. Wikipedian www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.11.2008]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Elektrolyysi>
9. XerChem Oy. STEL-80A asennus- ja käyttöohje. 8s.
10. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=17670&lan=fi>
11. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=576&lan=fi>
12. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=48379&lan=fi>
13. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1064&lan=fi>

14. Forssan Vesihuoltoliikelaitos www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 29.11.2008]. Saatavissa: <http://vesihuoltolaitos.bootti.net/DowebEasyCMS/?Page=vesi>
15. Hämeen ympäristökeskus, Forssan kaupunki, Tammelan kunta, Jokioisten kunta, Ypäjän kunta, Humppilan kunta. 2006. Forssan seudun pohjavesialueiden suojeleusuunnitelma [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.12.2008]. Saatavissa: http://www.forssa.fi/UserFiles/File/Ymparisto/18923_Forssa_Pohjavesialueide_suojelusuunnitelma.pdf
16. Suomen Kuntaliitto, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Vesijohtoveden laatu ja korrosio. Helsinki, 2007. 33s. ISBN 951-598-005-4.
17. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.12.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22365&lan=fi>
18. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 7.12.2008]. Saatavissa: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=193368&lan=fi>
19. Talousveden laatuvaatimukset www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 7.12.2008]. Saatavissa: <http://www.keuruu.fi/terve/vesitut3.htm#pH>
20. Jääskeläinen, A. Talousveden riskienhallinnan kustannus-hyötyvertailu. 1. painos. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu Tekniikka Kuopio, 2007. 41s. ISBN 978-952-203-063-4.
21. Savolainen, M. OxiAcWa STEL. XerChem Oy.
22. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Vesilaitostekniikka ja hygienia. 3. painos. Helsinki, 2007. 43s. ISBN 978-952-5000-57-3.
23. Pohjavesigeologia www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 8.12.2008]. Saatavissa: cc.oulu.fi/~geolwww/dokumentit/hydrogeologia.ppt
24. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Kalkkikivialkalointi: opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. Helsinki, 2002. 27s. ISBN 952-5000-35-4.
25. SFS 3004. Veden aktiivisen kloorin määrittäminen. Titrimetrinen menetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1987. 6s.
26. Fabrius, Liukkonen, Sundholm. Fysikaalisen kemian taulukoita. 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy, 2004. 104 s. ISBN 951-672-183-4.
27. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.2.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=11965&lan=fi>
28. Wikipedian www-sivu [verkkodokumentti]. [Viitattu 16.2.200]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vesi>