

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

Marjo Rantala

KALKKIKIVIROUHEELLA SUORITETTAVAN ALKALOINNIN OPTIMOIMINEN

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2007

DI Esa Väliäho
Kangasalan Vesi, valvojana Ins. Kimmo Suonperä

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Rantala, Marjo

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Maaliskuu 2007

Hakusanat

Kalkkikivirouheella suoritettavan alkaloinnin optimoiminen

46 sivua + 4 liitesivua

DI Esa Väliaho

Kangasalan Vesi, valvojana Ins. Kimmo Suonperä

kalkkikivi, alkalointi, korrosio

TIIVISTELMÄ

Raakaveden ominaisuudet, kuten kovuus, alkaliteetti, pH, happipitoisuus ja kloridipitoisuus aiheuttavat korroosiota vedenjakelujärjestelmälle. Korrosion vähentämiseksi vesi täytyy alkaloida vedenottamoilla ennen verkostoon johtamista. Yleensä alkaloinnissa käytetään emäksisiä alkalointikemikaaleja, mutta se voidaan tehdä myös ilmastamalla. Alkalointikemikaalina voidaan käyttää muun muassa kalkkikiveä. Kalkkikiven eli kalsiumkarbonaatin sisältämä emäs neutraloi veden hiilidioksidia bikarbonaatiksi, jolloin veden pH ja kovuus kasvavat.

Tarkoituksena on ollut hankkia pohjatietoa alkalointiprosessiin vaikuttavista tekijöistä ja niiden perusteella suunnitella ja toteuttaa käyttökokeet alkalointiprosessin optimaaliseksi säätämistä varten. Säädettäessä alkalointiprosessi optimaaliseksi saadaan kalkkikivirouheen kulutus mahdollisimman vähäiseksi ja samalla veden laatu korroosiota vähentäväksi.

Käyttökokeet suunniteltiin suoritettavaksi siten, että kalkkikiven syöttömäärää lisättäisiin päivittäin ja lähtevästä vedestä otettaisiin näytteitä. Näytteistä oli tarkoitus analysoida Ca^{2+} -pitoisuus, alkaliteetti, sulfaatti- ja kloridipitoisuus veden syövyttävyyden arvioimiseksi. Käyttökokeiden perusteella oli tarkoitus löytää sopiva kalkkikiven syöttömäärä. Vedenkäsittelylaitoksen valmistumisen viivästymisen vuoksi käyttökokeita ei päästy suorittamaan työn aikataulussa, eikä niitä siten saatu työhön mukaan.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering

Rantala, Marjo

Optimizing of grinded limestone alkalization

Engineering Thesis

46 pages, 4 appendices

Thesis Supervisor

Esa Väliäho (MSc)

Commissioning Company

Kangasalan Vesi, Supervisor Kimmo Suonperä (BSc)

March 2007

Keywords

limestone, alkalization, corrosion

ABSTRACT

Qualities of water, such as hardness, alkalinity, pH, oxygen concentration and chloride concentration can cause corrosion of water supply system. To reduce corrosion water has to be alkalized before leading it to pipe work. Usually alkalic alkalization chemicals are used in alkalization but it can also be done by adding air into water. For example limestone can be used as alkalization chemical. Alkali in limestone neutralizes carbon dioxide in water to bicarbonate. That increases waters pH and hardness.

The purpose of this work has been to gain information about factors that influence alkalization process and based on them to design and carry out experiments to optimize the alkalization process. When the alkalization process is optimized the consumption of limestone can be minimized. At the same time water quality is reducing corrosion.

The experiments were designed to be done so that the amount of limestone added to water would be increased daily and there would be samples taken from the water. Ca^{2+} concentration, alkalinity, sulphate concentration and chloride concentration would be analyzed from those samples to estimate how corrosive water is. Applicable amount of limestone to be added should be found out based on these experiments. Because the completion of water treatment plant was delayed the experiment couldn't be done and therefore they are not included in this work.

ALKUSANAT

Kesän 2006 olin työharjoittelussa Kangasalan Vedellä vesilaitoksen prosessinhoitajana. Pääsin tutustumaan rakenteilla olevaan Raikun vedenkäsittelylaitokseen ja syksyllä sain jatkaa opinnäytetyöni parissa. Loppukesästä 2006 vesilaitos tarjosi minulle mielenkiintoista aihetta opinnäytetyöksi ja koska se oli opintoihini sopiva, päätin ottaa työn vastaan.

Haluan kiittää Kangasalan Veden henkilökuntaa ja erityisesti käyttöpäällikkö Kimmo Suonperää mielenkiintoisesta aiheesta ja saamastani tuesta työn eri vaiheissa. Työni ohjaamisesta kiitän opettajaani, DI Esa Väliahoa.

Lisäksi haluan kiittää Anttia henkisestä tuesta ja kärsivällisyydestä.

Penangilla maaliskuussa 2007,

Marjo Rantala

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	3
2 SUOMEN VESIVARAT.....	3
2.1 Pohjavesi.....	3
2.2 Tekopohjavesi.....	3
2.3 Pintavesi.....	3
3 KORROOSIO.....	3
3.1 Veden korroosioon vaikuttavat ominaisuudet.....	3
3.2 Korroosiomekanismi.....	3
3.3 Metallien korroosio.....	3
3.4 Muiden putkistomateriaalien korroosio.....	3
3.5 Korroosion seuraukset.....	3
3.6 Korroosion estäminen.....	3
4 ALKALOINTI.....	3
4.1 Karbonaattisysteemi.....	3
4.2 Alkalointimenetelmät.....	3
5 KALKKIKIVEN KÄYTTÖ ALKALOINNISSA.....	3
5.1 Kalkkikivisuodatus.....	3
5.2 Kalkkikivi.....	3
5.3 Aikaisempia tutkimuksia.....	3
6 KANGASALAN VESI.....	3
6.1 Yleisesti.....	3
6.2 Raikun vedenottamo.....	3
6.2.1 Yleisesti.....	3
6.2.2 Prosessit.....	3
7 KÄYTTÖKOKEET.....	3
7.1 Valmistelut.....	3
7.1.1 Vesianalyysit.....	3
7.1.2 Suunnitellut kokeet.....	3
7.2 Käyttökokeiden toteutus.....	3
LÄHTEET.....	3
LIITTEET	
1 Nomogrammi Langlierin indeksin määrittämiseksi	
2 Tillmanssin käyrästä	
3 Mittauspöytäkirja	
4 Raikun vedenkäsittelylaitoksen PI -kaavio	

1 JOHDANTO

Kangasalan Vesi rakennuttaa Raikkuun uuden vedenkäsittelylaitoksen, jolla tullaan käyttämään kalkkikivirouhetta veden alkaloinnissa. Työni aihe syntyi tarpeesta saada uuden vedenkäsittelylaitoksen alkalointiprosessi toimimaan optimaalisesti eli siten, että kalkkikivirouhetta ei syötetä tarvittavaa määrää enempää ja veden laatu saavuttaa sille asetetut vaatimukset.

Raikun vedenkäsittelylaitoksen alkalointiprosessi on tarkoitus saada toimimaan optimaalisesti suorittamalla käyttökokeita ennen varsinaista käyttöönottoa. Käyttökokeissa selvitetään, miten eri kalkkikivirouheen syöttömäärät vaikuttavat vedenkäsittelylaitokselta lähtevän veden laatuun. Käyttökokeiden aikana lähtevän veden laatua seurataan ottamalla näytteitä ja analysoimalla ne. Vedenkäsittelylaitokselta lähtevän veden tulee olla mahdollisimman vähän korroosiota aiheuttavaa, jotta se ei vahingoita vedenjakelujärjestelmää.

Kalkkikiven käyttö alkalointikemikaalina on lisääntynyt huomattavasti parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Yleisesti alkalointi kalkkikivellä suoritetaan suodattamalla vesi kalkkikivirouhepatjan lävitse. Ennen Raikun vedenkäsittelylaitosta alkalointi syöttämällä veteen kalkkikivirouhetta on otettu käyttöön Suomessa vain yhdellä vedenkäsittelylaitoksella.

Työn teoriaosuudessa on kerrottu Suomen vesivaroista ja korroosiosta. Suomen vesivaroista on esitelty niiden syntyä ja ominaisuuksia. Korroosio, sen seuraukset ja estäminen on esitelty, jotta veden alkaloinnin tarpeellisuus tulisi esille. Työssä on selvitetty, millaisia ominaisuuksia vedellä tulisi olla, jotta se ei aiheuttaisi korroosiota. Osana teoriaosuutta ovat eri alkalointimenetelmät ja erityisesti kalkkikiven käyttö alkaloinnissa.

2 SUOMEN VESIVARAT

2.1 Pohjavesi

Pohjavettä muodostuu, kun sadevesi ja keväisin lumen sulamisvesi imeytyvät maaperään, jossa ne suotautuvat alaspäin aina pohjaveteen saakka. Sadevedessä ja lumen sulamisvedessä olevat yhdisteet eivät suoraan siirry pohjaveteen, vaan happaman sadeveden ja maaperän välillä tapahtuu ioninvaihto- ja rapautumisreaktioita /1, s.4/. Näissä reaktioissa veden sisältämät H^+ -ionit korvautuvat maaperästä tulevilla Ca^{2+} -, Mg^{2+} - ja K^+ -ioneilla /1, s.4/. Sadevesi ja sulamisvesi kuljettavat mukanaan maan ylimmistä kerroksista liuottamiaan humushappoja ja hajonneita orgaanisia aineita sekä happea /4, s.2/. Suurin osa hapesta kuluu kuitenkin biologisessa toiminnassa.

Hiilidioksidi, happamat kivilajit, humushapot, orgaanisen aineen ja savimineraalien välillä tapahtuvat ioninvaihtoprosessit, hapettumis- ja pelkistymisprosessit sekä yhdisteiden hydrolysoituminen aiheuttavat sadevesien ohella pohjaveden happamuuden. Maaperää happamoittavia humusaineita voi muodostua pitkän talven, alhaisen lämpötilan ja suuren kosteuden vaikutuksesta. /1, s.3, 4; 15, s.8./ Ronnun mukaan ympäristön happamoituminen lisää myös pohjavesien happamoitumisriskiä /12, s.9/. Sen sijaan Palomäen ja Kuorikosken mukaan happamoituminen ei ole juurikaan vaikuttanut pohjaveden happamuuteen /11, s.8/.

Maamme pohjavedet ovat yleensä pehmeitä tai erittäin pehmeitä /1, s.2/. Lisäksi niiden puskurikapasiteetti on alhainen peruskallion happamista kivilajeista, graniitista ja gneissistä, johtuen /4, s.2/. Pohjavesi sisältää usein myös rautaa ja mangaania /14, s.256/.

Pohjaveden laatuun vaikuttavat pohjavesiesiintymän geologinen rakenne eli maan mineraali- ja kivilajikoostumus, raekoko, maaperän kerrostumien rakenne ja vedenjohtavuus sekä pohjavesiesiintymän syntyhistoria /1, s.4; 19, s.256/.

Maaperän luontainen neutralointikyky on sitä pienempi mitä ohuempi ja karkeampi

irtomaakerros on /1, s.4/. Pohjavesi on yleensä hyvälaatuista ja sitä on runsaasti mannerjään sulamisvaiheessa jäätiköiltä virranneiden jokien muodostamissa harjuissa /14, s.256/.

Lisäksi vuodenaikojen vaihtelu ja ihmisen toiminta voivat vaikuttaa pohjaveden laatuun. Esimerkiksi vedenotto, ojituksen tai pohjaveden muodostumisalueen peittäminen voi aiheuttaa happikatoa, jonka seurauksena rauta ja mangaani alkavat liueta veteen /10, s.115/.

Hiilidioksidi pohjavedessä

Suomessa pohjavesissä on runsaasti hiilidioksidia, joten ne ovat aggressiivisia. Hiilidioksidia tulee pohjaveteen mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta ja juurien respiration tuloksena sekä maaperän ilmahuokosista. /1, s.2./ Sadevedessäkin on valmiiksi liuenneena hiilidioksidia. Sadevesi sisältää hiilidioksidia normaalin ilman hiilidioksidin osapainetta vastaavan määrän eli noin 0,6 mg/l /14, s.257/. Maaperän huokosissa hiilidioksidin osapaine on biologisen toiminnan takia suurempi; jopa 10–100 -kertainen ilmakehään verrattuna /4, s.2/.

Hatva tutki vuonna 1998 alkaneessa tutkimushankkeessa pohjaveden laatua erilaisilla pohjavesialueilla ja tekopohjavesi- sekä rantaimeytyslaitoksilla. Tutkimuksia tehtiin useilla pohjavedenottamoilla sekä yhdellä rantaimeytyslaitoksella ja tekopohjavesilaitoksella, lisäksi käytettiin Temu-projektin yhteydessä Jäniksenlinnan ja Rusutjärven tekopohjavesilaitoksilla tehtyjä mittauksia. /17./

Tutkimuksissa havaittiin, että Iso-Nummikankaan vedenottamalla vuodenaikojen vaihtelu näkyy hiilidioksidipitoisuudessa siten, että pitoisuus oli korkeimmillaan kesän kuukausien aikana /s.20/. Heikinkangas A:n pohjavedenottamalla saatiin hiilidioksidipitoisuudelle samansuuntaisia tuloksia; sielläkin hiilidioksidipitoisuus oli korkeimmillaan kesällä. Hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa happipitoisuus puolestaan vähenee. Syyksi hiilidioksidi- ja happipitoisuuden muutoksiin epäiltiin kesän runsaita sateita, jotka ovat saattaneet vaikuttaa pohjaveden

virtausolosuhteisiin. /s.22./ Myös Autiomaan vedenottamalla havaittiin vuodenaikaisvaihtelua. Siellä hiilidioksidipitoisuus kasvoi keväällä ja loppukesästä. /s.27./ Edellä mainituilla vedenottamoilla pH:n todettiin laskevan hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa /s.28/. Iso-Nummikankaan ja Heikinkangas A:n läheisyydessä olevilla soilla todettiin olevan selvä vaikutus hiilidioksidipitoisuuksiin /s.31/. Kuusimäen vedenottamalla puolestaan havaittiin korkeimmat hiilidioksidipitoisuudet talvella ja matalimmat alkukesästä /s.40/. Hatva osoitti tutkimuksessaan hiilidioksidipitoisuuden kasvavan kovuuden kasvaessa ja alkaliniteetin kasvavan hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa /s.60/. Myös antoisuuden ylittävällä vedenotolla oli vaikutusta hiilidioksidipitoisuuteen. Tämä havaittiin Porokankaan vedenottamalla liian suuritehoisen koepumppauksen aikana hiilidioksidipitoisuuden noustessa. /s.65./ Muilla tutkimuksessa mukana olleilla pohjavedenottamoilla ei havaittu selvää hiilidioksidin vuodenaikaisvaihtelua.

Jäniksenlinnan ja Rusutjärven tekopohjavesilaitoksilla raakavetenä käytettävässä järvivedessä esiintyi vuodenaikaisvaihtelua hiilidioksidipitoisuudessa. Hiilidioksidipitoisuudessa esiintyi korkeimmat arvot loppukesästä, jolloin vilkas biologinen toiminta järvessä synnytti hiilihappoa. Alimmat hiilidioksidipitoisuuden arvot raakavedessä olivat talvella. Raakaveden hiilidioksidipitoisuus heijastui tekopohjaveteen sekä Jäniksenlinnassa että Rusutjärvellä. Jäniksenlinnassa imeytysaltaan ja vedenottamon välillä hiilidioksidin määrä oli pienempi kuin luonnontilaisessa pohjavedessä, mutta kuitenkin suurempi kuin raakavedessä. Sadettamisen aloittamisen jälkeen Rusutjärvellä havaintoputkista mitattu hiilidioksidipitoisuus on pienentynyt. /s.85./

2.2 Tekopohjavesi

Veden luonnollista imeytymistä pohjavedeksi voidaan lisätä muodostamalla tekopohjavettä. Suomessa tekopohjavettä muodostetaan yleensä pintavedestä vedensaannin turvaamiseksi. /9, s.104./ Tavoitteena tekopohjaveden muodostamisessa on saada tarpeeksi hyvälaatuista vettä mahdollisimman yksinkertaisesti ja edullisesti, niin ettei jouduta käyttämään kemiallista esi- tai

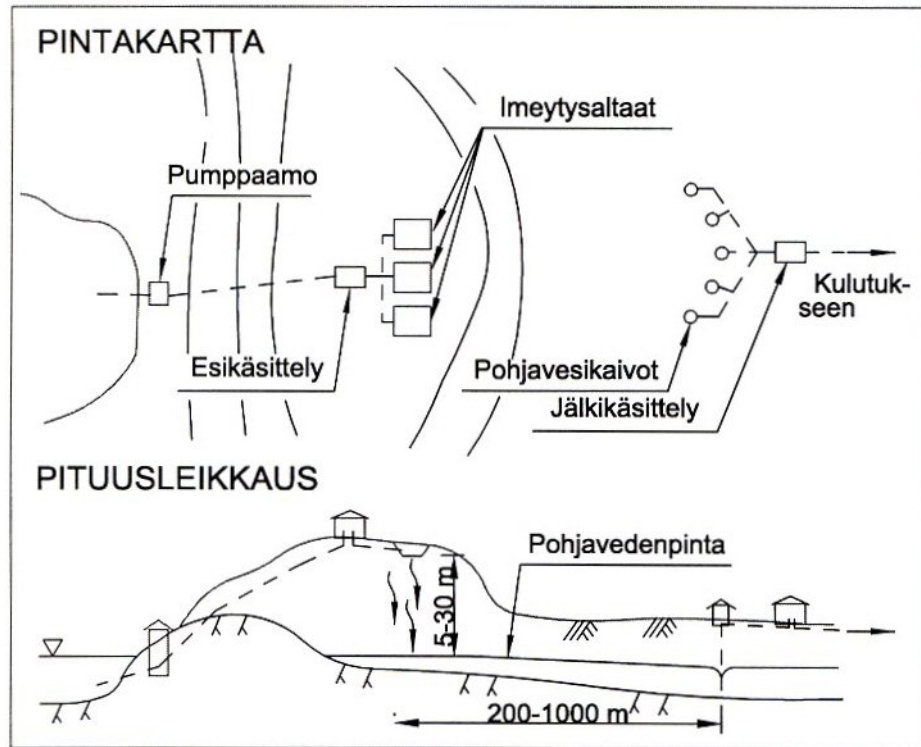
jälkikäsitteilyä /3, s.11/. Bakteerit poistuvat imeytettävästä vedestä aina hyvin /15, s.289/. Pohjavesiesiintymän antoisuus voidaan tekopohjavettä muodostamalla kohottaa jopa 5–10 -kertaiseksi. Keinotekoisesti lisätyn veden laadun tulee kuitenkin täyttää tietyt vaatimukset. /9, s.105./ Muodostuvan tekopohjaveden laatu riippuu suurimmaksi osaksi imeytettävän veden laadusta, määrästä ja viipymästä /15, s.293/.

Hapensaannin täytyy olla maaperässä riittävä, sillä pintaveden puhdistumisprosessit ovat biokemiallisia, aerobisia ilmiöitä. Tämän takia imeytettävän veden tulisi olla riittävän happipitoista. Hapensaanti voidaan myös varmistaa epäjatkuvalle imeytykselle, jolloin maaperän huokosiin tulee ilmaa aina, kun imeytyksessä on tauko. Jotta vesi ehtii puhdistua maaperässä, viipymäajan täytyy olla tarpeeksi pitkä. /15, s.289,290./

Biologisten prosessien lisäksi veden puhdistumista aiheuttavat kemialliset ja fysikaaliset prosessit. Tekopohjaveden muodostumisessa tärkeitä fysikaalisia prosesseja ovat laskeutus, mekaaninen puhdistuminen ja adsorptio. Tärkeimmät kemialliset prosessit liittyvät raudan, mangaanin, typen ja rikin reaktioihin, ja riippuvat eri aineiden redox -potentiaalitasapainoista. /15, s.219./

Tekopohjavettä voidaan muodostaa sadetus-, allas-, kaivo- ja rantaimetyksellä. Sadetusimeytyksessä pintavesi johdetaan imeytyspaikalle putkiston avulla ja sadetusalueella sadetetaan putkistosta suoraan maaperään. /3, s.11./ Allasimeytyksessä imeytysaltaat tulee rakentaa maaperään, joka läpäisee hyvin vettä. Imeytysallasta kaivettaessa maaperää täytyy poistaa niin paljon, että tavoitetaan puhtaat hiekka- ja sorakerrokset. Imeytysaltaiden pohjalle levitetään suodatinhiekkakerros, joka puhdistetaan virtausnopeuden pienennyttyä liikaa. Kaivoimeytyksessä imeytyspaikkana toimii putki- tai kuilukaivo. Kaivoimeytys on epävarmempi ja vaikeampi hoitaa kuin allasimeytys. Sitä käytetään, jos paksu ja läpäisemätön maakerros peittää pohjavesiesiintymää. /9, s.107,108./ Rantaimetyksessä kokoojakaivoina toimivat yleensä rannan suuntaisesti rivissä olevat putkikaivot. Rantaimetytystä tapahtuu usein myös tahattomasti. Jos rannan lähellä olevista kaivoista otetaan vettä yli pohjavesiesiintymän antoisuuden, voi

kaivojen vesi laskea vesistön vedenpinnan alapuolelle. Silloin vesistöstä alkaa virrata vettä maakerrosten kautta kaivoihin. /15, s.290./ Kuvassa 1 on esitetty tekopohjaveden muodostumisperiaate.



Kuva 1 Tekopohjaveden muodostumisperiaate /9, s. 106/

2.3 Pintavesi

Pintavesien laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat sadevesi, valunnan mukana tulevat aineet, jätevedet ja vesistöjen biologinen toiminta /5, s.109/. Suomessa pintavedet ovat yleensä pehmeitä eli ne sisältävät vähän elektrolyyttejä geologisista olosuhteista johtuen /14, s.253/. Pintavesillä on yleensä alhainen suolapitoisuus ja korkea happipitoisuus /5, s.109/. Suuri humuspitoisuus on myös tyypillistä. Humus eli osittain hajonnut turve on orgaanista ainetta, joka kulkeutuu pintavesiin soilta tulevissa vesissä. Savialueilla vedet sisältävät runsaasti sameutta aiheuttavia saviaineita. /14, s.253,254./

3 KORROOSIO

Korroosio on materiaalien vahingoittumista ympäristöolojen vaikutuksesta. Korroosiota esiintyy erityisesti metalleissa, mutta myös muissa materiaaleissa, kuten betonissa ja muovissa /14, s.279/. Putkistoissa korroosion syntyyn vaikuttavat veden laatu sekä putkistossa käytetty materiaali.

3.1 Veden korroosioon vaikuttavat ominaisuudet

Veden korroosiota aiheuttavat tekijät voidaan jakaa veden laadusta johtuviin, veden virtauksesta johtuviin ja veden lämpötilasta johtuviin tekijöihin /14, s.279/.

Tärkeimpiä korroosioon vaikuttavia veden ominaisuuksia ovat kovuus, alkaliteetti, pH, happipitoisuus, kloridipitoisuus ja lämpötila /2, s.40/. Korroosiota voi aiheuttaa myös liian alhainen tai liian korkea virtausnopeus. Liian alhainen virtausnopeus saattaa synnyttää putkistoon saostumia ja siten pistemäistä korroosiota. Liian korkea virtausnopeus voi aiheuttaa turbulenssia ja sen seurauksena eroosikorroosiota ja kavitaatiota. Sopiva virtausnopeus on välillä 0,5–1,5 m/s. /14, s.282./

Kovuus, pH ja alkaliteetti

Suomessa pintavedet ovat yleensä pehmeitä. Niiden kovuus on keskimäärin alle 1–3 dH° ja pH 6,5–7, jolloin metallisen putken pinnalle ei muodostu korroosiolta suojaavaa kerrosta. Pohjavesien kovuus on 3–7 dH° ja pH 6–7. Pohjavedetkin ovat siten syövyttäviä. Veden kovuuden muodostavat suurimmaksi osaksi kalsiumin ja magnesiumin suolat, jotka esiintyvät joko vetykarbonaateina tai mineraalihappojen suoloina. Vetykarbonaateista johtuvaa kovuutta sanotaan ohimeneväksi kovuudeksi, koska poistettaessa vedestä kaikki hiilidioksidi kalsiumin ja magnesiumin bikarbonaatit hajoavat, ja niitä vastaava karbonaatti saostuu. Samalla vesi pehmenee. Kun vedessä olevaa bikarbonaattia vastaa tietty määrä vapaata

hiilidioksidia, vesi on kalkki-hiilidioksidi tasapainossa. Jos hiilidioksidia on vedessä enemmän kuin tasapainoon tarvittava määrä, vesi on syövyttävää. Veden alkaliteetti johtuu bikarbonaateista, karbonaateista tai hydroksidi-ioneista. /14, s.216, 280-281./

Happipitoisuus

Jotta korroosiota voi esiintyä, vedessä täytyy olla liuenneena happea. Korroosion nopeus riippuu hapen diffuusionopeudesta metallin pinnalle. Jos metallin pinnalle on muodostunut suojakerros, lisääntyvä hapen määrä hidastaa korroosiota. Jos taas suojakerros puuttuu, korroosio on sitä nopeampaa mitä enemmän happea vedessä on. Myös putkiston sellaisissa kohdissa, joissa on vähän happea, kuten saostumien alla, voi esiintyä korroosiota. /14, s.281./

Kloridipitoisuus

Kloridien ja myös muiden suolojen, kuten sulfaattien ja nitraattien, pitoisuuden kasvaessa korroosio lisääntyy määrättyyn rajaan saakka. Kloridista aiheutuu pistekorroosiota ja eräille metalleille jännityskorroosiota. /14, s.281./ Kloridi-ionit helpottavat sähköistä virtaa korroosioalueella nostamalla veden sähkönjohtavuutta ja näin aiheuttavat korroosiota. Pienen kokonsa takia kloridi-ionit voivat läpäistä metallien pinnalle muodostuneen suojakerroksen ja nopeuttaa korroosiota. /2, s.43./

Lämpötila

Korroosio, kuten kemialliset reaktiot yleensäkin, nopeutuu lämpötilan noustessa /2, s.43/. Korroosion nopeutuminen johtuu metallin pinnalle syntyvän suojakalvon muodostumismekanismin muuttumisesta. Lämpötilan kasvaessa myös metallien potentiaalit ja niiden järjestys saattavat muuttua. Lämpötila vaikuttaa merkittävästi myös korroosion luonteeseen. /14, s.282./

3.2 Korroosiomekanismi

Korroosiota on olemassa kahta lajia: kemiallista korroosiota ja sähkökemiallista korroosiota. Kemiallisessa korroosiossa metallin pinta reagoi suoraan ympäristönsä kanssa, eikä reaktiossa liiku sähkövarauksia. Sähkökemiallisessa korroosiossa puolestaan siirtyy sähkövarauksia rajapintojen yli. /4, s.4./ Sähkökemiallisessa korroosiossa tapahtuu anodisia ja katodisia reaktioita. Anodi ja katodi voivat olla joko saman metallin eri kohtia tai eri metalleja. Anodilla tapahtuvat korroosiota aiheuttavat hapetusreaktiot. Siellä metalli liukenee veteen ionina ja samalla vapautuu elektroni. Liukeneminen on kuvattu seuraavassa yhtälössä.



jossa M tarkoittaa metallia ja e elektronia. Katodilla tapahtuvat pelkistysreaktiot, joissa vapautuneet elektronit käytetään. Tavallisesti katodisissa reaktioissa kuluu happea ja lopputuloksena syntyy hydroksidi-ioneja (yhtälö 2) /2, s.38/.



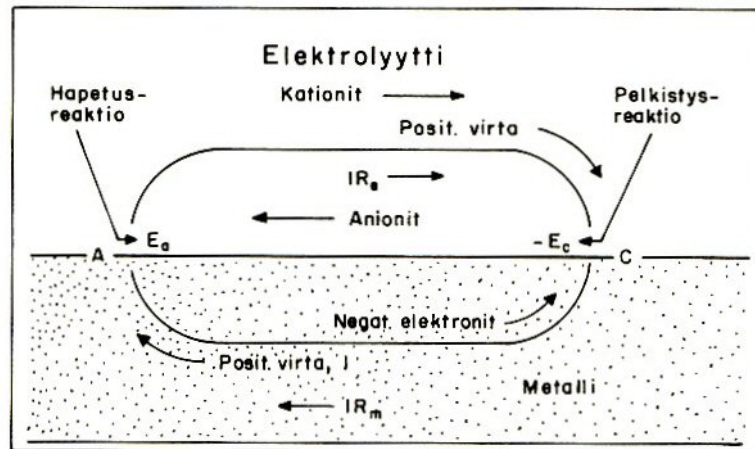
Jotta korroosiota voi tapahtua, tarvitaan anodin ja katodin lisäksi sisäinen virtapiiri eli elektrolyyttiliuos (vesi) ja ulkoinen virtapiiri eli metalli. Jokaisella metallilla ja elektrolyyttiliuksella on sille ominainen osavirtapiirin sähkövastus.

Elektrodipotentiaalın suuruus riippuu sähkövirrasta ja vastuksesta seuraavan yhtälön mukaisesti. /5, s.96./

$$E = I \cdot R \quad (3)$$

jossa E on elektrodipotentiaali, I on sähkövirta ja R on resistanssi.

Korroosiomekanismi on kuvattu kuvassa 2. Potentiaaliero metallin eri kohtien välille voi aiheutua metallin epähomogeenisuudesta, raerakenteen virheistä, rakeiden erilaisesta orientoitumisesta paikallisesti, metallin jännitystiloista, kerrostumista metallin pinnalla tai liuoksen pitoisuuseroista /14, s.283; 4, s.4/.



Kuva 2 Korroosiomekanismi /5, s.96/

3.3 Metallien korroosio

Korroosiota esiintyy, koska kaikki kiinteät metallit pyrkivät termodynaamisesti mahdollisimman stabiiliin olotilaan eli sellaisiksi yhdisteiksi, joihin ne esiintyvät luonnossa /5, s.96/. Termodynaamisesti stabiilin rakenteen Gibbsin vapaaenergia on mahdollisimman pieni. Metallin Gibbsin vapaaenergia pienenee, kun se korrodoituu. Gibbsin vapaaenergia voidaan laskea seuraavasti:

$$G = H - T \cdot S \quad (4)$$

jossa H on systeemin entalpia, T on absoluuttinen lämpötila ja S on systeemin entropia. /1, s.10./

Metallien ja niiden ionien termodynaaminen stabiilisuus kontrolloi niiden taipumusta liueta liuokseen /2, s.39./ Metallit on jaettu hapettumistaipumuksensa mukaan sähkökemialliseen jännitesarjaan, jonka alkupään metallit hapettuvat loppupään metalleja helpommin. Sarjan lopussa olevat jalot metallit eivät hapetu ollenkaan. Jännitesarjassa on ilmoitettu metallien normaalipotentialit, jotka kuvaavat metallien liukenemispaineita, kun ne joutuvat kosketuksiin saman metallin suoloja sisältävä elektrolyytin kanssa /14, s.283/. Metallien normaalipotentialit voivat kuitenkin muuttua, jos metallin pinnalle jää

korroosiotuotteita tai elektrolyytistä tulleet aineet muuttavat metallipinnan ominaisuuksia.

Korroosiotyypit

Metallin vedestä johtuva korroosio jaetaan eri tyyppeihin, joita ovat yleinen korroosio, piilo- ja rakokorroosio, pistesyöpyminen, eroosio- ja kavitaatiokorroosio sekä jännityskorroosio ja korroosioväsyminen. Yleinen korroosio on tyypillistä kupariputkelle pehmeässä ja lievästi happamassa vedessä. Siinä metallin pinta liukenee tasaisesti anodisesti ja sen haitat voivat tulla esille vasta pitkän ajan kuluttua. Pistekorroosiota esiintyy muun muassa valurautaputkissa sellaisissa kohdissa, joissa alhaisen virtausnopeuden takia syntyy saostumia, kuten terävissä kulmissa ja laipoissa. Eroosio- ja kavitaatiokorroosiota puolestaan esiintyy suurilla virtausnopeuksilla tai turbulenssin vuoksi. Jännityskorroosio etenee nopeasti ja sitä esiintyy metallin ollessa jännityksen alaisena syövyttävissä olosuhteissa. /14, s.284-285./

Eri metallien korroosio

Ruostumattomassa teräksessä on teräksen sekaan laitettu kromia ja nikkeliä /14, s.285./ Se kestää hyvin korroosiota, koska hapen läsnä ollessa metallin pinnalle muodostuu kromioksidivaltainen suojakalvo. Jos olosuhteet ovat riittävän hapettavat, ruostumattoman teräksen korroosiota ei juuri tapahdu. /4, s.6/. Eri teräslaaduilla korroosionopeus on 0,05–0,15 mm vuodessa. Teräksen korroosionopeus ei niinkään riipu teräksen, vaan veden koostumuksesta. /14, s. 285./ Korroosio on nopeaa, kun vesi on pehmeää ja hapanta. Veden sisältämä kloridi on haitallista varsinkin sinkitylle teräkselle. /2, s.43./

Kupari on yleisin rakennusten sisäisissä putkissa käytetty materiaali ja kestää yleensä hyvin korroosiota /4, s.6/. Kuparissa esiintyy tavallisesti kahden tyyppistä pistekorroosiota. Toisessa kupariputkeen syntyy laajoja reikiä ja toisessa syviä reikiä. /2, s.44./ Happipitoisessa vedessä kuparin syöpyessä muodostuu kuparihydroksidia $\text{Cu}(\text{OH})_2$ tai kuparioksidia CuO , jotka muodostavat kuparin

pinnalle suojakerroksen. /4, s.6./ Jaloutensa takia kupari voi myös syövyttää muita sen yhteydessä olevia metalleja.

3.4 Muiden putkistomateriaalien korrosio

Metallien lisäksi putkistomateriaalina käytetään yleisesti muovia, kuten polyeteeniä tai polyvinyylidikloridia. Muoveissa ei ole osoitettu esiintyvän korroosiota tavallisen vesijohtoveden vaikutuksesta. /4, s.5./ Muovien korrosio on kemiallista ja sitä voivat aiheuttaa tietyt liuottimet, joita saattaa satunnaisesti olla viemäriveresissä /14, s.292/.

Betonia käytetään erilaisten altaiden, putkistojen ja muiden verkoston osien rakenteiden valmistamiseen. Betonin korroosioon ei liity sähkövarauksien liikettä, vaan se on kemiallista. Korroosiossa betoni joko liukenee veteen tai betonin sisältämä kalsium muuttuu vedessä olevien rikkipitoisten yhdisteiden vaikutuksesta toisiksi yhdisteiksi, kuten kipsiksi. /14, s.287./

3.5 Korroosion seuraukset

Verkostossa tapahtuvalla korroosiolla on haitallisia vaikutuksia vedenjakelujärjestelmälle ja sen toiminnalle sekä veden laadulle. Korrosio pienentää verkostomateriaalien käyttöikää sekä vesihuoltolaitoksen että kiinteistöjen verkostoissa ja niiden saneeraustarve kasvaa. Korrosio voi myös aiheuttaa putkistojen sisäpinnoille saostumia, jotka lisäävät pumppauskustannuksia pienentämällä putken virtauskapasiteettia. /16, s.3./ Pistekorroosiosta voi seurata vuotoja ja siten mahdollisesti kemikaalisyötön lisäystä /13, s.20./

Korroosiolla voi olla myös esteettisiä ja terveydellisiä haittoja. Metalliputkien syöpyessä veteen voi joutua esimerkiksi rautaa tai kuparia. Rauta aiheuttaa veteen epämiellyttävää ruskeaa väriä ja pestäviin vaatteisiin tai keraamisiin kalusteisiin

saattaa jäädä ruskeita tahroja. Kupari puolestaan saattaa värjätä veden siniseksi ja vaaleat hiukset sekä keraamiset kalusteet vihreiksi. Veteen saattaa tulla myös hajuja ja makuja liuenneista metalleista. Korroosio lisää myös mikrobeja, esimerkiksi rautabakteereja, sulfaattia pelkistäviä bakteereja, rikkibakteereja sekä nitraatti- ja nitriittibakteereja, vesijohtovedessä. Ne saattavat aiheuttaa erilaisia vatsasairauksia. Myös veteen liuenneilla metalleilla on terveydellisiä vaikutuksia. Esimerkiksi kuparin on todettu aiheuttavan kroonista ripulia lapsille ja raudan epäilty lisäävän sydän- ja verisuonisairauksien riskiä. /12, s.21-22./

3.6 Korroosion estäminen

Verkostomateriaalien korroosiosta johtuvat terveydelliset haitat on tarkoitus ehkäistä ja tekninen käyttökelpoisuus turvata talousvedelle annetuilla laatuvaatimuksilla /16, s.3/. Veden syövyttävyyden vähentämiseksi on esitetty ohjearvoja veden eri ominaisuuksille ja sen sisältämien aineiden pitoisuuksille /4, s.11./ Hietalan /4/ mukaan vesijohtoveden tulisi täyttää seuraavat ehdot, jotta se ei olisi syövyttävää:

– pH	> 8,3
– alkaliteetti	> 0,6 mmol/l
– kloridit	< 50 mg/l
– sulfaatit	< 100 mg/l
– KMnO_4 -kulutus	< 20 mg/l
– alumiini	< 0,3 mg/l
– rauta	< 0,3 mg/l
– mangaani	< 0,1 mg/l
– kokonaiskovuus	> 3–4 °dH

Lisäksi vedelle voidaan seuraavan yhtälön mukaisesti laskea korroosioindeksi, jonka tulisi olla suurempi kuin 1,5, jotta vesi ei aiheuttaisi korroosiota /11, s.9/.

$$\text{Korroosioindeksi} = \frac{\text{Alkaliteetti}(\text{mmol/l})}{\text{SO}_4^{2-}(\text{mg/l})/48 + \text{Cl}^-(\text{mg/l})/35,5} \quad (5)$$

Veden ominaisuuksia muutetaan vähemmän syövyttäväksi kemiallisella käsittelyllä, kuten alkaloinnilla. Korroosiota voidaan vähentää myös käyttämällä verkostossa kyseiselle vedelle soveltuvia materiaaleja tai muovia tai pinnoittamalla putket. /12, s.23; 21, s.3./

Puskurikapasiteettiteoria

Veden puskurikapasiteetti (β) tarkoittaa emäs- tai happolisäyksen ja siitä aiheutuvan pH-arvon muutoksen suhdetta:

$$\beta = \frac{dC_B}{dpH} = -\frac{dC_A}{dpH} \quad (6)$$

jossa dC_A on vahvan hapon lisäys [mol/l], dC_B on vahvan emäksen lisäys [mol/l] ja dpH on pH:n muutos. /1, s.27./ Mitä suurempi puskurikapasiteetti vedellä on sitä paremmin se vastustaa pH:n muutoksia, joten korroosionopeus pienenee puskurikapasiteetin kasvaessa. pH ei muutu, sillä vesi sisältää heikkoa happoa ja sen suolaa, kuten hiilihappoa ja bikarbonaattia /4, s.9/. Veden pH saadaan seuraavasta yhtälöstä:

$$pH = pK_A + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad (7)$$

jossa K_A on happovakio, $[A^-]$ on suolan konsentraatio ja $[HA]$ on hapon konsentraatio.

Jos veteen lisätään vähän happoa, suolan anioneja muuttuu hapoksi happolisäystä vastaava määrä. Mikäli sekä suolan että hapon konsentraatiot ovat suuria happolisäyksen verrattuna, ei niiden suhde muutu merkittävästi. /5, s.38-39./ Puskurivaikutusta voidaan kasvattaa lisäämällä suolan ja hapon konsentraatioita /4, s.10/.

Kalkkiruostesuojateoria

Korroosiota pyritään estämään sopivissa olosuhteissa metalliputken sisäpintaan muodostuvalla kalkkiruostekerroksella. Suojakerros muodostuu, kun vesi on kalsiumkarbonaatin suhteen ylikyllästetyssä tilassa. /4, s.10./ Silloin raudan korroosion lisäämä OH⁻-ionien määrä häiritsee veden kalkkitasapainoa aiheuttaen kalsiumkarbonaatin sakkautumisen. Kalkkiruostesuojakerroksen muodostumisen yleisinä edellytyksinä on seuraavien ehtojen toteutuminen:

- Vedessä ei ole aggressiivista hiilidioksidia.
- Veden happipitoisuuden on oltava vähintään 6 mg/l.
- Hapensaannin turvaamiseksi veden virtausnopeuden tulee olla vähintään 0,5 m/s.
- Vetykarbonaattikovuuden tulee olla vähintään 2 °dH (Tillmansin mukaan) tai 2,8 °dH (Langlierin mukaan).
- Vedessä ei saa olla runsaasti klorideja ($\text{Cl}^- < 50 \text{ mg/l}$) ja sulfaatteja ($\text{SO}_4^{2-} < 250 \text{ mg/l}$).

Ronnun mukaan vesi on alkaloitava kalkki-hiilihappotasapainon edellyttämään pH-arvoon, jotta se täyttäisi nämä vaatimukset. /12, s.11./ Jos vesi on hyvin puskuroitunutta, syntyy korroosiolta suojaava hienokiteinen sakka.

Kalsiumkarbonaatin saostuminen huonosti puskuroituneesta pehmeästä vedestä johtaa huokoisen sakan muodostumiseen. Syntyvä sakka ei kuitenkaan suojaa korroosiolta, koska se ei estä hapen diffuusiota. /1, s.26./ Hietalan mukaan kalkkiruostesuojateorian soveltaminen Suomen pehmeisiin vesiin ei anna luotettavaa kuvaa veden syövyttävyydestä /4, s.10/.

Kalkki-hiilihappotasapainoon perustuvia veden saostavia tai syövyttäviä ominaisuuksia voidaan arvioida esimerkiksi Tillmansin käyrästä, Langlierin kyllästysindeksin tai Ryznarin stabiliteetti-indeksin avulla. Jotta vesi olisi kalkkia saostavaa, Langlierin indeksin tulisi olla lievästi positiivinen. /14, s.293./ Ryznarin indeksin ollessa suuri, vesi on herkästi syövyttävää /1, s.26/.

Langlierin kyllästysindeksi:

$$LI = pH - pH_s \quad (8)$$

jossa LI on Langlierin indeksi, pH on veden mitattu pH-arvo ja pH_s on liitteen 1 nomogrammista saatava arvo /14, s.293/. Hietalan mukaan Langlierin indeksiä voi käyttää vain arvioitaessa veden aggressiivisuutta tai kalsiumkarbonaatin saostumista, mutta ei korroosion arvioinnissa /4, s.10–11/.

Ryznarin stabiliteetti-indeksi:

$$RI = 2 \cdot pH_s - pH \quad (9)$$

jossa RI on Ryznarin indeksi, pH on veden mitattu pH-arvo ja pH_s on liitteen 1 nomogrammista saatava arvo.

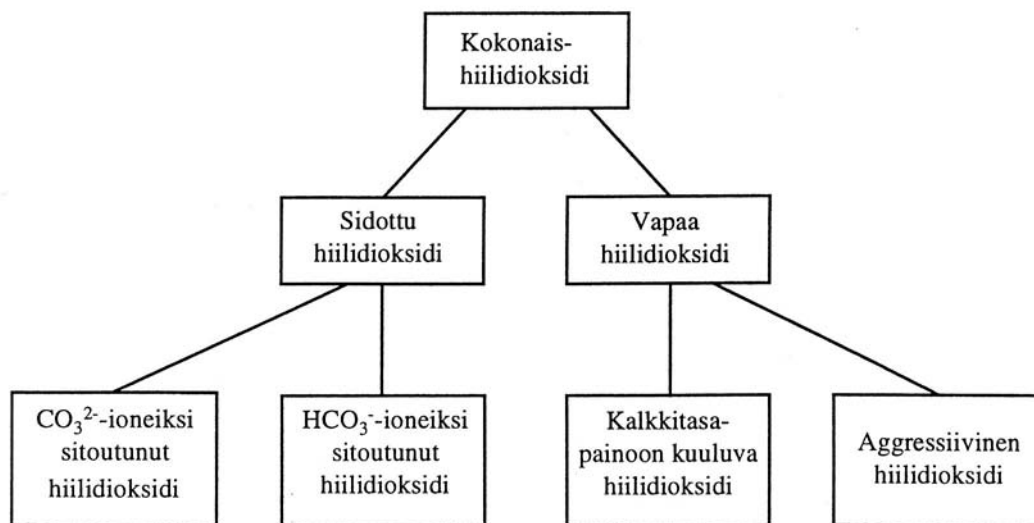
Tillmansin käyrästä voidaan käyttää veden aggressiivisuuden ja kalkkihiilihappotasapainon tarkasteluun, mutta se soveltuu ainoastaan puhtaalle kalsiumkarbonaattivedelle. /14, s.218,293./ Tillmansin käyrästä on liitteessä 2.

Edellä esitellyt puskurikapasiteettiteoria ja kalkkirusuostesuojateoria ovat kuitenkin ristiriidassa keskenään. Puskurikapasiteettiteorian mukaan veden syövyttävyyden on vähäisintä siinä pH-arvossa, jossa puskurikapasiteetti on suurin. Tämä pH-arvo on huomattavasti alhaisempi kuin kalkkirusuostesuojateorian mukainen optimaalinen pH-arvo. Puskurikapasiteettiteorian mukaan vesi on todella syövyttävää silloin, kun se kalkkirusuostesuojateorian mukaan parhaiten suojaa korroosiolta. /14, s.296–297./

4 ALKALOINTI

Vedenottamoilla vesi täytyy alkaloida ennen verkostoon johtamista sen aiheuttaman korroosion estämiseksi /12, s.10/. Alkalointi tarkoittaa joko aggressiivisen hiilidioksidin poistamista vedestä tai sen sitomista harmittomaan muotoon. Useimmiten veden aggressiivisuuden aiheuttamaa korroosiota pyritään estämään hiilidioksidipitoisuuden säädöllä. /1, s.18./

Kuten kuvasta 3 nähdään, veden kokonaihiilidioksidipitoisuus muodostuu vapaasta hiilidioksidista ja sidotusta hiilidioksidista. Sidotulla hiilidioksidilla tarkoitetaan karbonaatti- ja bikarbonaatin ioneiksi sitoutunutta hiilidioksidia. Vapaa hiilidioksidi muodostuu kalkki-hiilidioksiditasapainoon kuuluvasta hiilidioksidista ja aggressiivisesta hiilidioksidista, joka ei kuulu kalkki-hiilidioksidi tasapainoon. /1, s.23./



Kuva 3 Hiilidioksidin esiintymismuodot vedessä /1, s.23/

4.1 Karbonaattisysteemi

Suurimmassa osassa vesistä on kolme merkittävää anionisysteemiä: sulfaatti-, kloridi- ja karbonaattisysteemi /2, s.28/. Karbonaattisysteemi on tärkein vettä puskuroiva happo-emäs -systeemi. Karbonaattisysteemi muodostuu kaasumaisesta ja veteen liuenneesta hiilidioksidista CO_2 , hiilihaposta H_2CO_3 sekä karbonaatti-ioneista CO_3^{2-} ja bikarbonaatti-ioneista HCO_3^- . /1, s.19/.

Käytännössä kaikki vedet sisältävät hiilidioksidia. Tasapainotilanteen mukaisesti hiilidioksidia siirtyy ilmasta veteen tai vedestä ilmaan. Hiilidioksidia tulee veteen myös mikrobiologisissa prosesseissa. /14, s.216./ Veteen liunneen hiilidioksidin pitoisuus saadaan selville Henryn lain vakion ja ilman hiilidioksidin osapaineen tulosta seuraavasti:

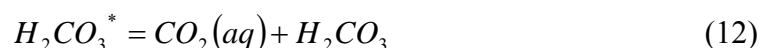
$$[CO_2(aq)] = K_H \cdot P_{CO_2} \quad (10)$$

jossa $[CO_2(aq)]$ on hiilidioksidin pitoisuus, K_H on Henryn lain vakio ja P_{CO_2} on ilman hiilidioksidin osapaine. Henryn lain vakio vaihtelee lämpötilan mukaan. Esimerkiksi lämpötilassa 20 °C Henryn lain vakio on $0,000701 \text{ atm}^{-1}$. /1, s.19./

Veteen liuennut hiilidioksidi on tasapainossa hiilihapon kanssa seuraavan yhtälön mukaisesti:



Liuenneesta hiilidioksidista ja hiilihaposta käytetään yleisesti yhteismerkintää $H_2CO_3^*$ (yhtälö 12), koska vain erittäin pienestä osasta (n. 0,3%) hiilidioksidia muodostuu hiilihappoa. /2, s.29./



Kahdenarvoisena happona hiilihappo dissosioituu kahdessa vaiheessa /1, s.20/.

Ensimmäisessä vaiheessa hiilihappo dissosioituu bikarbonaatiksi seuraavan yhtälön mukaisesti:



Reaktion tasapainovakio K_1 saadaan seuraavasti:

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3^*]} \quad (14)$$

Toisessa vaiheessa bikarbonaatti-ioni dissosioituu karbonaatti-ioniksi seuraavasti:



Tämän reaktion tasapainovakio K_2 saadaan seuraavasti:

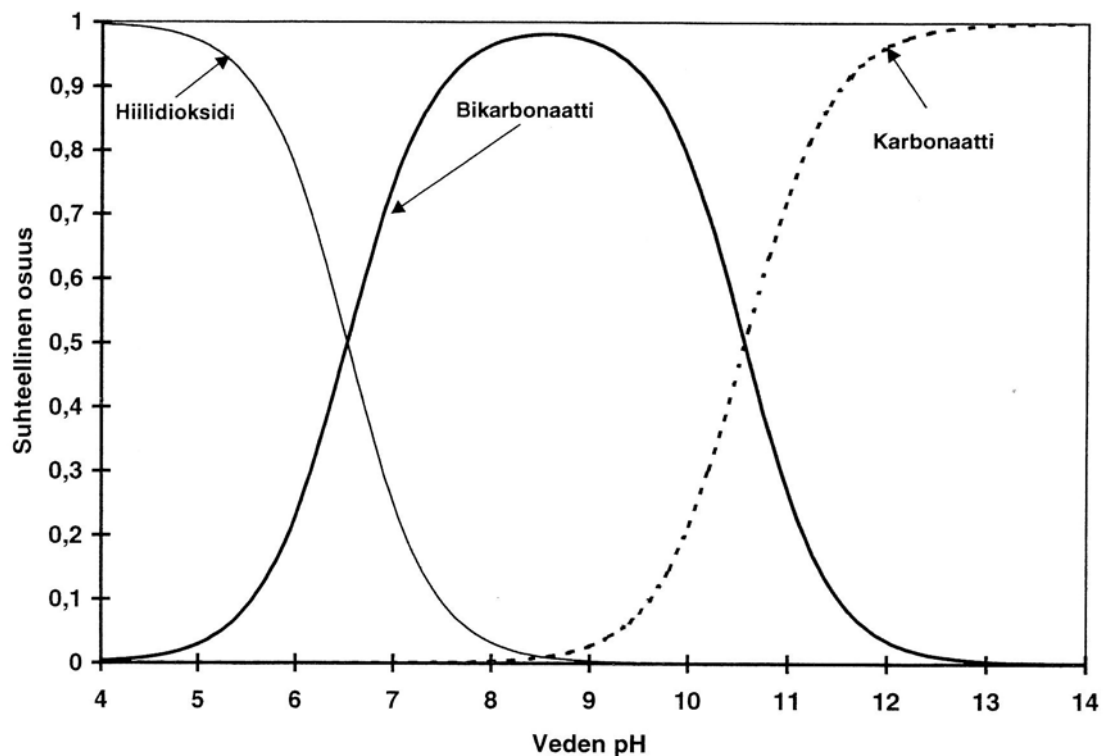
$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad (16)$$

Taulukossa 1 ovat karbonaattisysteemiin liittyvien tasapainovakioiden K_1 ja K_2 arvot eri lämpötiloissa.

Taulukko 1 Tasapainovakioiden arvot /1, s.21/

T (°C)	K_1 (mol/l)	K_2 (mol/l)
5	$3,02 \cdot 10^{-7}$	$2,75 \cdot 10^{-11}$
10	$3,46 \cdot 10^{-7}$	$3,24 \cdot 10^{-11}$
15	$3,80 \cdot 10^{-7}$	$3,72 \cdot 10^{-11}$
20	$4,17 \cdot 10^{-7}$	$4,17 \cdot 10^{-11}$
25	$4,47 \cdot 10^{-7}$	$4,68 \cdot 10^{-11}$
40	$5,07 \cdot 10^{-7}$	$6,03 \cdot 10^{-11}$
60	$5,07 \cdot 10^{-7}$	$7,24 \cdot 10^{-11}$

Hiilidioksidin, karbonaatin ja bikarbonaatin osuudet vedessä määräytyvät pH-arvon perusteella /16, s.4/. pH-arvon ollessa alle kuusi lähes kaikki karbonaatti on veteen liuenneena, hiilihappona olevana hiilidioksidina. pH:n noustessa vedessä on vähemmän protoneita ja hallitsevaksi karbonaatiksi tulee bikarbonaatti. Sitä on eniten pH-alueella 7–10. pH-arvon 10 yläpuolella hallitsevia ovat karbonaatti-ionit. Kuvan 4 käyrät riippuvat myös lämpötilasta, konsentraatiosta ja veden muista ioneista. /2, s.30./



Kuva 4 Karbonaattisysteemi /16, s.4/

Veden alkaliteetti eli puskurikyky tarkoittaa veden kykyä vastustaa pH-arvon muutoksia. Talousveden pH-alueelle bikarbonaatti on hallitseva karbonaattilaji ja bikarbonaattipitoisuudesta seuraa talousveden alkaliteetti. /16, s.4./ Veden kokonaisalkaliteetti ei muutu lämpötilan, paineen tai hiilidioksidin määrän muuttuessa. Kun hiilidioksidin määrä vähenee, veden pH nousee ja stoikiometrinen määrä karbonaattia muuttuu karbonaatti- ja hydroksyyli-ioneiksi. Hiilidioksidin määrän kasvaessa pH laskee ja bikarbonaatin määrä lisääntyy. /1, s.22–23./

4.2 Alkalointimenetelmät

Yleensä vesi alkaloidaan lisäämällä emäksistä alkalointikemikaalia. Alkalointikemikaalin sisältämä emäs neutraloi veden hiilidioksidia bikarbonaatiksi. Samalla veden pH-arvo kasvaa. pH:n ollessa noin 8,3 veden vapaa hiilidioksidi on lähes täysin muuttunut bikarbonaatiksi. Kalkkipohjaiset alkalointikemikaalit nostavat myös veden kovuutta. Yleisesti käytössä olevia alkalointikemikaaleja ovat lipeä eli natriumhydroksidi (NaOH), sammutettu kalkki eli kalsiumhydroksidi (Ca(OH)₂), poltettu kalkki eli kalsiumoksidi (CaO), sooda eli natriumkarbonaatti (Na₂CO₃) ja kalkkikivi eli kalsiumkarbonaatti (CaCO₃). /16, s.4./ Alkaloinnissa voidaan käyttää myös alkaloivia massoja, yleensä osittain poltettua dolomiittia (CaCO₃·MgO), tai ilmastusta.

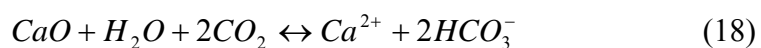
Lipeä /4, s.14–15/

Lipeä on vahva emäs ja sillä on suuri liukenemisnopeus. Yliannostustilanteissa lipeä on erittäin vaarallinen kemikaali. Lipeällä alkalointi soveltuu koville vesille, sillä se ei nosta veden kovuutta. Lipeä reagoi veden hiilidioksidin kanssa seuraavasti:

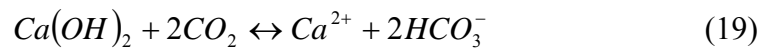


Kalkki

Poltettu ja sammutettu kalkki valmistetaan kalkkikivestä. Poltettu kalkki valmistetaan polttamalla kalkkikiveä ja sammutettu kalkki valmistetaan poltetusta kalkista lisäämällä siihen vettä. Poltettu kalkki reagoi vedessä seuraavasti:



Sammutetulla kalkilla puolestaan tapahtuu seuraava reaktio hiilidioksidin kanssa:

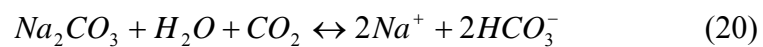


Poltettu ja sammutettu kalkki ovat vahvoja emäksiä ja reagoivat vedessä nopeasti, joten niiden yliannostuksesta seuraa nopea pH-arvon nousu todella korkeaksi.

Kalkilla on kuitenkin alhaiset käyttökustannukset ja se nostaa veden kovuutta. /4, s.13–14./

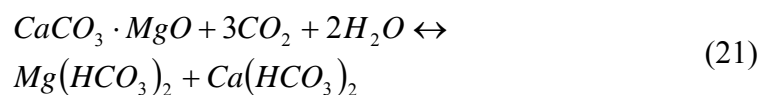
Sooda /4, s.15/

Sooda on jauhemainen emäs, joka on reaktiivista ja liukenee nopeasti. Se lisää alkaliteettiä enemmän kuin lipeä tai kalkki, mutta ei lisää ollenkaan kovuutta toisin kuin kalkki. Sooda reagoi veden hiilidioksidin kanssa seuraavasti:



Alkaloivat massat /4, s.15–16/

Alkaloivien massojen käytössä haittana on suuri pH:n vaihtelu ja niitä käytetäänkin pääasiassa pienillä vedenottamoilla. Osittain poltettu dolomiitti reagoi vedessä seuraavan yhtälön mukaisesti:



Ilmastus

Ilmastuksessa veden hiilidioksidi -pitoisuus alenee tehokkaasti /4,s.16/.

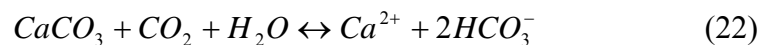
Menetelmässä vedessä liuenneena oleva vapaa hiilidioksidi siirtyy ilmafaasiin.

Veden kovuus ja alkaliteetti eivät muutu, sillä karbonaattia ei saostu. Täten ilmastus sopii etenkin keskikoville vesille. /16, s.7./

Kalkkikivi

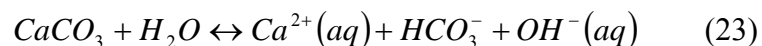
Poltetun ja sammutetun kalkin tavoin myös kalkkikivi on kalkkiyhdiste. Poltettu ja sammutettu kalkki ovat olleet perinteisesti enemmän käytettyjä, mutta kalkkikiven käyttöä on tutkittu paljon parin viimeisen vuosikymmenen aikana ja sen käyttö on koko ajan yleistynyt. Useimmiten kalkkikivellä alkalointi toteutetaan kalkkikivisuodattimella, jossa käsiteltävä vesi suodattuu kalkkikivirouheeseen läpi.

Kalkkikivellä alkalointi nostaa veden pH:ta ja lisää sen kovuutta eli kalsiumpitoisuutta sekä alkaliteettia. Samalla hiilidioksidipitoisuus laskee. Kalkkikivialkaloinnissa kalkkikiven karbonaatit liukenevat veteen ja veden aggressiivinen hiilidioksidi sitoutuu seuraavan yhtälön mukaisesti: /4, s.16, 20./



Reaktion edetessä oikealta vasemmalle kalsiumkarbonaattia saostuu ja veden kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet vähenevät. Kun vesi on kalkki-hiilidioksidi tasapainossa, liukenemista ja saostumista tapahtuu yhtä paljon.

Lievästi emäksiseen veteen kalkkikiveä liukenee huomattavasti huonommin kuin lievästi happamaan hiilidioksidia sisältävään veteen. Puhtaaseen, emäksiseen veteen kalkkikivi liukenee seuraavasti: /1, s.34./



Kalkkikivialkalointi on turvallinen menetelmä, sillä reaktio pysähtyy, kun hiilidioksidi loppuu. Tällöin veden pH ei voi nousta liian korkeaksi. Hietalan mukaan yleisesti uskotaan, että alkaloinnilla tulee saavuttaa pH-arvo 8,3 /4, s.20/. Yleensä kalkkikiveä käyttävät vesilaitokset pääsevät kuitenkin vain pH:n arvoihin 7,5–8,0, joka on monissa tapauksissa todettu riittäväksi tasoksi korroosion eston kannalta. Kalkkikivisuodatuksessa lopulliseen pH-arvoon vaikuttavat suodatuksen viipymä sekä raakaveden ominaisuudet, erityisesti sen hiilidioksidipitoisuus. /4, s.20./

Parhaiten kalkkikivialkalointi soveltuu pehmeille ja vähän hiilidioksidia sisältäville vesille. Suurin mahdollinen määrä, joka kalsiumkarbonaattia voi veteen liueta, riippuu veden lämpötilasta, hiilidioksidipitoisuudesta sekä kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudesta. Tästä seuraa, että veden ollessa pehmeää, sisältäessä vähän hiilidioksidia ja sen viipymän kalkkikivisuodattimessa ollessa riittävän pitkä, raakaveden vapaa hiilidioksidi muuttuu käytännössä täysin bikarbonaatiksi. Tällöin raakaveden sisältämä hiilidioksidi on käytännössä ollut kokonaan aggressiivista ja veden pH voi ylittää arvon 8,3. Veden ollessa kovaa sen kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet ovat korkeita ja sen sisältämä vapaa hiilidioksidi muuttuu vain osin bikarbonaatiksi, sillä veden sisältämä bikarbonaatti puskuroi pH:n muutoksia. Tässä tapauksessa veteen jää mitattavia määriä kalkkihiilidioksiditasapainoon kuuluvaa hiilidioksidia ja pH jää alle 8,3. Jos vesi on pehmeää ja sisältää paljon hiilidioksidia, voivat kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet kohota kalsiumkarbonaatin liukenemisen takia niin suuriksi, että tasapainotilanteessa pH jää alle 8,3. Tässäkin tilanteessa veteen jää mitattavia määriä kalkkihiilidioksiditasapainoon kuuluvaa vapaata hiilidioksidia.
/16, s.6./

5 KALKKIKIVEN KÄYTTÖ ALKALOINNISSA

5.1 Kalkkikivisuodatus

Yleisimmin kalkkikivellä alkalointi on toteutettu kalkkikivisuodattimella. Siinä käsiteltävä vesi kulkee kalkkikivirouhepatjan läpi. Kun vesi ja kalkkikivi joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa, veteen liukenee kalkkikivestä karbonaattia.

Menetelmän etuina ovat hoidon ja valvonnan helppous sekä prosessin yksinkertaisuus ja kemikaalipumppujen tarpeettomuus. Muihin alkalointimenetelmiin verrattuna hyvänä puolena on myös yliannostusvaaran

välttämisen. Lisäksi käsitellyn veden pH-arvo ei juurikaan vaihtele. Huonoja puolia ovat raakaveden pitkä viipymäaika suodattimessa sekä kalkkikivisuodattimeen mahdollisesti muodostuvan bakteerikasvuston aiheuttama hygieniahaitta. /4, s.20./

Alkaloinnissa käytettävän kalkkikivirouheen rakeen muodolla ja koolla on todettu olevan vaikutusta alkalointitulokseen. Esimerkiksi rouhittu alkalointimassa poistaa vedestä rautaa granuloitua alkalointimassaa paremmin. /1, s.35./ Mitä pienempi kalkkikiven raekoko on sitä lähemmäs päästään tasapainotilan pH-arvoa /16, s.7/. Myös veden viipymällä ja virtausnopeudella on merkitystä. Virtausnopeuden kasvun on todettu huonontavan alkalointitulosta. Viipymäajalla puolestaan on positiivinen vaikutus alkalointitulokseen; mitä suurempi viipymäaika on sitä parempiin tuloksiin päästään. /1, s.35./

5.2 Kalkkikivi

Kalkkikivi on muodostunut esihistoriallisena aikana eläneiden vesieliöiden kuorista ja tukirangoista satojen miljoonien vuosien aikana. Kalkkikiven kemiallinen koostumus ja liukoisuus veteen voivat vaihdella riippuen kalkkikiven alkuperästä, sillä eri kalkkikiviesiintymien syntyhistoria ja muodostumisolosuhteet voivat vaihdella. /16, s.10./

Yleensä kalkkikivellä tarkoitetaan kalsiumkarbonaatista koostuvaa kalsiittista kalkkikiveä /4, s.17/. Eri karbonaattikivilajit voidaan jaotella niiden sisältämän magnesiumin perusteella. Tavallisesti magnesiumipitoisuus määritetään magnesiumoksidina (MgO); kalkkikiven MgO -pitoisuus on vähemmän kuin 2 %, dolomiittisessä kalkkikivessä MgO -pitoisuus on 2–9 % ja dolomiitissa on magnesiumoksidia yli 9 %. /16, s.10./ Alkaloinnissa käytettävä kalkkikivirouhe sisältää kalsiumkarbonaatin lisäksi jonkin verran muita yhdisteitä, kuten savea, kvartsikiteitä tai rautayhdisteitä /1, s.32/.

Dolomiitilla alkaloitaessa veden kalsiumpitoisuus nousee vähemmän kuin kalkkikivialkaloinnissa. Tällöin riski kalkkikiven saostumisesta kiinteistöjen lämminvesilaitteisiin pienenee. Dolomiitti liukenee kuitenkin veteen hitaammin kuin kalkkikivi. /16, s.10./

Kalkkikiven liukeneminen veteen

Kalkkikiven raekoko vaikuttaa merkittävästi sen liukenemiseen veteen /16, s11/. Mitä pienempi kalkkikiven raekoko on sitä nopeammin se liukenee veteen, koska kalkkikiven kontaktipinnan suuruus kasvaa raekoon pienentyessä.

Kalkkikivi liukenee nopeammin sellaiseen veteen, joka sisältää hiilidioksidia kuin puhtaaseen veteen. Kalkkikiven liukeneminen veteen koostuu useista osareaktioista ja sen aiheuttavat partikkelin pinnalla tapahtuvat kemialliset reaktiot. Liukenemisprosessissa hiilidioksidi ja vesi diffundoituvat bulkinesteestä rajakerroksen läpi ja adsorboituvat kalkkikivipartikkelin pinnalle, jossa tapahtuu reaktio kalsiumkarbonaatin kanssa. Sitten reaktiotuotteet eli kalsiumionit ja bikarbonaatti-ionit diffundoituvat bulkinesteeseen. Bulkineste on kalkkikivipartikkelin ympärillä olevan diffuusion rajakerroksen ulkopuolella oleva neste. /4, s.17./

Kalkkikiven liukeneminen voi tapahtua vain, jos kalkkikivipartikkeli on välittömässä kosketuksessa sitä ympäröivän nesteen ainesosien kanssa. Liukeneminen voi hidastua huomattavasti, jos karbonaattipartikkeleiden pinnalle on adsorboitunut lika-aineita. Liukeneminen hidastuu lähestyttyessä tasapainotilaa. Liukenemisessä eri osareaktioilla on erilainen nopeus. Kokonaisreaktion nopeus riippuu hitaimman osareaktion nopeudesta. Karbonaatin liukenemistä voidaan kuvata seuraavalla yhtälöllä:

$$R_d = \frac{D_i \cdot A}{r} \cdot (\bar{C}_i - C_i) \quad (24)$$

jossa R_d on liukenemisnopeus, D_i on diffuusiokerroin, A on ominaispinta-ala, r on partikkelin säde, \bar{C}_i on komponentin i pitoisuus tasapainotilassa ja C_i on

komponentin i pitoisuus bulkinesteessä. Yhtälö pätee silloin, kun partikkelikoko on pienempi kuin 10 μm . Jos partikkeli on suurempi, säteen r tilalla käytetään partikkelia ympäröivän rajapinnan paksuutta l. /1, s.33–34./

5.3 Aikaisempia tutkimuksia

Aikaisemmin kalkkikivialkalointia ovat Suomessa tutkineet diplomitoissään ainakin Rontu (1992), Antola (1998) ja Hietanen (2000). Rontu selvitti työssään kalkkikivisuodatuksen soveltuvuutta erilaatuisten pohjavesien alkalointiin ja laitosten mitoitusta. Soveltuvuutta tutkittiin suorittamalla pienoismittakaavan koeajoja neljällä pohjavedenottamalla sekä laitosmittakaavan koeajoja yhdellä jo rakennetulla alkalointilaitoksella. Koeajoja tehtiin eri viipymäajoilla ja niissä käytettiin eri raekokoja. Rontu totesi tutkimuksessaan, että kalkkikivisuodatus sopii pehmeille vesille. Mitoitukseen sopivaksi viipymäajaksi saatiin 30 min ja kalkkikiven raekooksi 4–8 mm.

Antola tutki työssään kalkkikivialkalointia hidassuodatusreaktorissa ja pikasuodatus/leijupetireaktorissa löytääkseen tehokkaamman menetelmän kalkkikivisuodatuksen rinnalle. Viipymän ja kalkkikiven raekoon todettiin vaikuttavan merkittävästi alkalointitulokseen. Hidassuodatuskokeissa ei kuitenkaan pystytty määrittämään yhtä optimaalista viipymäaika kaikkien korroosion estämisen kannalta toivottujen veden ominaisuuksien saavuttamiseksi.

Syövyttävyyden vähentämiseen riittävät veden ominaisuudet saavutettiin 10 minuutin viipymällä ja raeko'oilla 2–4 mm ja 4–8 mm.

Pikasuodatus/leijupetireaktorilla saatiin hyvä alkalointitulo käyttäen leijutusta ja kierrätystä lyhyemmässä ajassa kuin suodattamalla. Tehtyjen kokeiden perusteella todettiin kuitenkin, että leijutus ei yksinään riitä hyvään alkalointitulokseen, vaan siihen pitää yhdistää moninkertainen veden kierrätys.

Hietalan tutkimustyön tavoitteena oli kehittää suodatusta nopeampi kalkkikivialkalointisysteemi. Hietala on tutkimuksessaan tehnyt pienimuotoisen laitoskartoituksen ja laitosmittakaavan koeajoja yhdellä vedenottamalla ja näin

selvittänyt, mitä parannustarpeita kalkkikivisuodatuksessa esiintyy. Kartoituksen ja koeajojen perusteella tultiin siihen tulokseen, että reaktiota kalkkikivialkaloinnissa tulisi nopeuttaa.

Tutkimuksessa tehtiin lisäksi laboratoriomittakaavassa koeajoja, joissa alkalointiin käytettiin hyvin hienorakeista kalkkikivijauhetta. Kokeissa kalkkikivijauhetta leijutettiin nopean sekoituksen avulla. Koeajoja suoritettiin kahdella erilaisella hidassekoitusmenetelmällä sekä kahdella pikasekoitusmenetelmällä.

Hidassekoitusmenetelmissä kalkkikivirouheeseen aiheutettiin leikkausjännityksiä sekoittamalla, jolloin veteen mureni pieniä kalsiittipartikkeleja.

Hidassekoitusmenetelmässä 1 käytettiin sekoitinta, jossa akseliin oli kiinnitetty sen normaalin suuntaisia tankoja kahdelle korkeudelle. Hidassekoitusmenetelmässä 2 sekoitus toteutettiin kalkkikivimassaa ylöspäin nostavalla ruuvilla.

Pikasekoitusmenetelmissä pyrittiin saamaan aikaan tila, jossa veteen kuivana jauheena lisätyt kalkkikivirakeet leijuivat vapaasti virtauksen mukana.

Pikasekoitusmenetelmässä 1 käytettiin raekooltaan 0,25–1 mm kalkkikiveä ja 2-lapaista potkurisekoitinta, jossa oli lavat kahdella eri korkeudella.

Pikasekoitusmenetelmässä 2 käytetty raekoko oli $< 0,5$ mm ja sekoitin 4-lapainen potkuri.

Hidassekoituskokeissa tultiin siihen tulokseen, että menetelmässä 1 käytetyllä sekoittimella sekoitusvastus kasvoi liian suureksi, mutta menetelmässä 2 käytetyn sekoitusruuvien käyttöä kannattaisi tutkia lisää. Kokeissa saatiin viiden minuutin viipymällä hyviä tuloksia pH:n, alkaliteetin, kovuuden ja hiilidioksidipitoisuuden osalta. Pikasekoituskokeissa kovuuden ja alkaliteetin muutokset olivat suurempia, mutta pH:n kasvu ja hiilidioksidipitoisuuden väheneminen tapahtuivat hitaammin. Kokeissa jo kahden minuutin viipymällä saavutettu alkaloitumista kuvaavien parametrien muutos oli huomattava. Kaikissa kokeissa vesi kuitenkin sameni, joten niissä käytettiin suodatinta.

Lisäksi Suomessa on parin viimeisen vuosikymmenen aikana tutkittu kalkkikivisuodatusta monien biologista vedenkäsittelyä koskevien tutkimusten yhteydessä. Tällaisia ovat muiden muassa Hatvan ja Seppäsen (1983), Hatvan

(1989), Sulkakosken (1994) ja Palomäen (1998) tutkimukset. Kiinteistökohtaisia vedenpuhdistus- ja alkalointilaitteistoja, joissa on ollut mukana alkaloivia suodattimia, ovat tutkineet Mälkki ja Reinikainen (1983) ja Korhonen ym. (1990). Myös muissa maissa on tutkittu kalkkikivialkalointia. /11, s.10./

6 KANGASALAN VESI

6.1 Yleisesti

Kangasalan vesilaitoksen toiminnan katsotaan alkaneen virallisesti vuonna 1952, jolloin kunnanvaltuusto päätti, että kunnan tulee ottaa vesihuolto hoitaakseen. Alussa raakavesi pumpattiin Ukkijärvestä, mutta vuonna 1954 siirryttiin ottamaan vettä kahdesta kaivosta. Vuonna 1960 rakennettiin Vatialaan vedenottamo, joka poistui käytöstä 11 vuotta myöhemmin, kun vedensyöttö aloitettiin Rikuun rakennetulta uudelta vedenottamolta. 1963 rakennettiin ylävesisäiliö Kirkkoharjuun; myöhemmin valmistuivat ylävesisäiliöt myös Harjunsaloon sekä Lentolaan. Vuonna 1972 valmistui vedenottamo Ruutanaan. Myöhemmin myös Ruutanan alueelle alettiin ottaa vettä Riusta ja Ruutanan vedenottamo poistettiin käytöstä. Vuonna 2007 Raikkuun valmistuu vedenottamo, jolta johdetaan vettä Kangasalle ja Sahalahteen.

Jätevedet johdettiin aluksi Kirkkojärveen Kankkulan jätevedenpuhdistamon kautta. 1970- luvulla alettiin rakentaa siirtoviemäriä, ja 1980- luvun alusta lähtien jätevedet on pumpattu Tampereelle puhdistettavaksi. Sahalahdella on oma jäteveden puhdistamo.

Vuoden 2002 alusta Kangasalan vesilaitos on toiminut kunnallisena liikelaitoksena. Liikelaitoksella on kunnanvaltuuston nimeämä johtokunta, joka on valinnut laitokselle toimitusjohtajan. Yhteensä Kangasalan Vedellä työskentelee 20 henkilöä.

6.2 Raikun vedenottamo

6.2.1 Yleisesti

Vuoden 2007 aikana valmistuva Raikun vedenkäsittelylaitos sijaitsee Vehoniemen harjualueella. Vedenkäsittelylaitos ottaa raakavetensä harjun alueella sijaitsevasta isosta pohjavesiesiintymästä. Myöhemmin osa raakavedestä on Roineen järvivedestä imeytettyä tekopohjavettä, mikäli Tavase -hanke toteutuu. Raikun vedenkäsittelylaitokselta vettä johdetaan Sahalahteen ja Kangasalle. Länsi-Suomen ympäristölupaviraston myöntämän luvan mukaan Vehoniemen harjualueelta saa ottaa vettä 4500 m³/d /7, s.2/. Vettä arvioidaan pumpattavan vedenottamolta yhteensä noin 3000 m³/d /19/.

Raakavesi pumpataan vedenkäsittelylaitokselle kahdesta siiviläputkikaivosta. Kaivot ovat 35–40 m syviä ja niissä on 400 mm:n nousuputki. Siiviläosan korkeus on 6 m ja siinä on halkisijaltaan 3 mm:n raot. Kaivoissa olevat pumput sijaitsevat 0,5 m siiviläosan yläreunan yläpuolella. /19./ Pumput kytetään päälle ja pois alavesisäiliön pinnanmittauksen perusteella /8, s.4/.

Vehoniemen harju on soraharju. Raikun vedenkäsittelylaitoksen alueella 0,30–0,70 m maanpinnasta on hiekkaa. Hiekkakerroksen alla on 0,2–0,7 m moreenia. Pääasiassa alueella on soraista ja silttistä hiekkaa. 40 m syvyydellä maaperän raekoko on pienempi kuin 8 mm. /19./

6.2.2 Prosessit

Raikun vedenkäsittelylaitoksen prosessi- ja instrumentointikaavio on esitetty liitteessä 4. Raakavesi tulee vedenkäsittelylaitokselle kahta putkea pitkin; kummaltakin kaivolta tulee oma putkensa. Lisäksi Tavase -hanketta varten on

varattu yksi tuloputki. Tuloputket näkyvät kuvassa 5. Tuloputkeen lisätään alkalointia varten kalkkivettä, joka kulkeutuu raakaveden mukana alavesisäiliöön.

/18./



Kuva 5 Tulevan raakaveden putket

Alavesisäiliössä on neljä osaa: kaksi pientä ja kaksi isoa säiliötä. Vesi kulkee ensin peräkkäin olevien pienten säiliöiden kautta isoon säiliöön ja sieltä vielä toiseen isoon säiliöön, josta se poistuu lähtöputkea pitkin. Ensimmäisessä pienessä säiliössä veteen syötetään NaOCl veden desifioimista varten. Tässä säiliössä on potkurisekoitin. Vesi ohjataan eteenpäin säiliön yläreunasta seuraavan pienen säiliön alareunaan, josta se siirtyy samalla tavalla toiseen isoista säiliöistä. Isoja säiliöitä yhdistää putki niiden yhteisessä alareunassa. Vesi voidaan vaihtoehtoisesti johtaa pienten säiliöiden ja kumman tahansa ison säiliön kautta, silloin kun toista isoa säiliötä puhdistetaan. /18./

NaOCl tulee vedenkäsittelylaitokselle 10 % liuoksena 30 l astioissa.

Lujitemuoviseen 600 l säiliöön tehdään NaOCl:sta 1 %:nen liuos, jota syötetään

alavesisäiliöön tyhjennyspumulla. Normaalitilanteissa mitoitusannoksena on 0,1 mg/l. Annostelua voidaan lisätä häiriötilanteissa. /8, s.6./

Vesi pumpataan verkostoon kolmella taajuusmuuttajalla varustetulla korkeapainepumulla. Vedenkäsittelylaitoksella on kaksi painesäiliötä, joissa pidetään kompressorin avulla tietty paine. Jos esimerkiksi putki katkeaa ja vesi lähtee takaisinpäin vedenkäsittelylaitokselle, painesäiliöissä oleva ilma puristuu pienempään tilavuuteen estäen paineiskun. Jos paine ylittää 8 bar, vesi johdetaan alavesisäiliöön. Lisäksi vedenkäsittelylaitoksella on varattu mahdollisuus lisätä hiilidioksidia veteen.

Alkalointi

Alkalointiin käytetään kalkkikiveä. Aluksi raekooltaan 2–5 mm Nordkalkin toimittamaa kalkkikivirouhetta on varastoitu siiloon 10 m³. Tulevaisuudessa 40 m³:n siilo tullaan täyttämään täydemmäksi 4–8 mm kalkkikivirouheella. /18./ Siilon pohjassa on tärytin, jota voidaan tarvittaessa käyttää estämään kalkkikivirouheen holvautuminen /19/.

Siilosta kalkkikivirouhetta johdetaan neljälle jauhimelle, joiden sisällä on kalkkikiven pienemmäksi rouhivat ruuvit (kuva 6). Rouhittaessa kalkkikivirouheesta irtoaa paljon halkaisijaltaan < 1–100 µm olevia kalkkikivipartikkeleita /6, s.4/. Jauhimet riippuvat vaakojen varassa. Vaa'at on taarattu näyttämään 0 kg, kun jauhin on täynnä vettä /19/. Tällöin vaa'at näyttävät vain kalkkikivirouheen painon ja kun se laskee tarpeeksi, jauhimeen annostellaan lisää kalkkikivirouhetta. Annostelulaitteisto näkyy kuvassa 7. Vesi tulee jauhimille lähtevän veden putkesta ohivirtauksena venttiilien kautta ja valuu jauhimien yläreunasta ylivuotona kuljettaen kalkkikiveä mukanaan. Jauhimilta kalkkivesi johdetaan kalkkiliuosvesisäiliöön, kun säiliön pinta on laskenut tietyn verran. Tämä tapahtuu joko niin, että kaikilta jauhimilta tulee niissä valmiina ollut annos yhtä aikaa, tai niin että kaikki jauhimet tyhjenevät vuorotellen. Kalkkiliuosvesisäiliössä kalkkivettä sekoitetaan jatkuvatoimisesti potkurisekoittimella, jotta kalkkikivi liukenesi hyvin veteen. Kalkkiliuosvesisäiliöstä kalkkivesi pumpataan virtaaman suhteessa kahdella epäkeskolla ruuvipumulla raakaveden tuloputkeen, jota pitkin

se kulkee alavesisäiliöön. Alavesisäiliössä kalkkikivi reagoi veden hiilidioksidin kanssa. /18; 24./



Kuva 6 Jauhimet



Kuva 7 Jauhimiin annostelu

Putkistot

Raikun vedenkäsittelylaitoksella putkistot on valmistettu osaksi muovista ja osaksi ruostumattomasta teräksestä. Kangasalan vesijohtoverkostoa on rakennettu eri aikoina ja siinä on käytetty monenlaisia materiaaleja. Yleisimmin verkostomateriaaleina on käytetty valurautaa, asbestisementtiä ja muovia. /19./

Valvonta

Raikun vedenkäsittelylaitoksella ei työskentele vakituisesti prosessinhoitajaa. Siellä käydään tietyin väliajoin tarkastamassa, että kaikki on kunnossa ja lisäämässä NaOCl:a säiliöön. Vedenkäsittelylaitoksen prosessit on automatisoitu ja lisäksi niitä voidaan ohjata tietokoneelta sekä vedenkäsittelylaitokselta että muualta. Tietokoneelle tulee jatkuvatoimisia mittauksia prosessista. Kaivoilta tulevasta raakavedestä mitataan lämpötila ja virtaama. Tavase -hanketta varten varatussa putkessa on myös paineen mittaus. Lähtevästä vedestä mitataan klooripitoisuus, pH, paine ja virtaama. Pinnankorkeus mitataan alavesisäiliön molemmilta isoilta

puolilta, kalkkiliuosvesisäiliöstä ja siilosta. Kalkkiliuosvesisäiliöstä kalkkivettä pumppaavien pumppujen ja lähtevän veden pumppujen taajuus ja sähkövirta sekä lisäksi kalkkiliuosvesisäiliön pumppujen virtaamat näkyvät valvontaohjelmassa. Tietokoneelle tulevat myös kalkkikivijauhinten massat ja painesäiliöiden paine.
/18./

7 KÄYTTÖKOKEET

7.1 Valmistelut

Toisesta Raikun vedenkäsittelylaitoksen kaivoista otettiin vesinäytteet raakaveden ominaisuuksien määrittämistä varten. Näytteitä otettiin yhteensä kaksi kappaletta. Toinen näytteistä otettiin 200ml:n lasipulloon hiilidioksidi-pitoisuuden määrittämistä varten ja toinen 500 ml:n polyeteenipulloon muita määrittämiä varten. Molemmat näytteet otettiin niin, ettei pulloon jäänyt ilmakuplia. Vesinäytteet säilytettiin yön yli jääkaapissa ja analysoitiin seuraavana päivänä Ruskon vedenpuhdistamon laboratoriossa.

Käyttökokeiden suunnittelussa pohjana käytettiin PVS-Maa ja Vesi Oy:n arviota tarvittavasta kalsiumkarbonaatin määrästä ja verkostoon pumpattavasta vesimäärästä sekä oletuksesta, että alavesisäiliöstä lähtevässä vedessä tulee olla Ca^{2+} -pitoisuus 10 mg/l, laskettua arvoa. Käyttökokeet suunniteltiin suoritettavaksi kahden viikon aikana.

7.1.1 Vesianalyysit

Vesinäytteistä analysoitiin pH, alkaliteetti, hiilidioksidi-pitoisuus ja kokonaiskovuus. Hiilidioksidi-pitoisuus ja kokonaiskovuus määritettiin kahdesta rinnakkaisesta näytteestä.

pH

Raakavesinäytteen pH mitattiin Mettler Toledo MP 230 – mittarilla. Mittari kalibroidaan pH-arvoilla 4,01; 7,00 ja 9,21 ja sillä tehdään kaksi kontrollimäärittystä pH-arvoilla 5,00 ja 6,87 päivittäin. pH - määrittelyn tulos on taulukossa 2.

Taulukko 2 Raakavesinäytteen pH

pH	Lämpötila (°C)
7,1	15,4

Alkaliteetti

Raakavesinäytteen alkaliteetti määritettiin potentiometrisesti titraamalla Mettler Toledo DL 50 Rondolino titraattorilla. Titraus suoritettiin Tampereen Veden oman menetelmäohjeen numero 9, ”Veden alkaliteetin määrittäminen”, mukaisesti. Menetelmäohje perustuu SFS standardiin 3005, ”Veden alkaliteetin ja asiditeetin määrittäminen. Potentiometrinen titraus”. Alkaliteetti määritettiin 100 ml:n näytteestä titraamalla automaattisesti 20 mmol/l suolahapolla pH-arvoon 4,5. Tarkistus suoritetaan titraamalla 100 ml 0,3 mmol/l natriumkarbonaattiliuosta samalla tavalla. Tarkistuksessa käytettiin päivän standardia. Natriumkarbonaattiliuoksen tunnettu alkaliteetti on noin 0,61 mmol/l. Määrittelyn tulokset ovat taulukossa 3.

Taulukko 3 Raakavesinäytteen alkaliteetti

	Alkaliteetti (mmol/l)
Päivän standardi	0,632
Vesinäyte	0,332

Hiilidioksidi-pitoisuus

Raakavesinäytteen hiilidioksidi-pitoisuus määritettiin manuaalisesti titraamalla käyttäen Mettler Toledo DL 50 Rondolino titraattoria. Titraus suoritettiin Tampereen Veden menetelmäohjeen numero 12, ”Veden hiilidioksidin määrittäminen”, mukaisesti kahdelle rinnakkaiselle vesinäytteelle. Menetelmä sopii käytettäväksi, kun halutaan veden likimääräinen hiilidioksidipitoisuus. Näyte 1 oli 100 ml ja näyte 2 oli 158,5 ml. Molemmat näytteet siirrettiin mittapulloon lappona kumiletkulla niin, etteivät ne joutuneet kosketuksiin ilman hiilidioksidin kanssa. Näytteisiin lisättiin 0,5 ml fenoliftaleiinia indikaattoriksi. Näytteet titrattiin siten, että niihin lisättiin pieniä määriä 20 mmol/l natriumhydroksidia. Jokaisen lisäyksen jälkeen mittapullon tulppa suljettiin ja pulloa käännettiin varovasti. Titrausta jatkettiin siihen asti, kunnes näytteeseen tuli punertava sävy, joka säilyi kolme minuuttia. Tulokset ovat taulukossa 4. Raakavesinäytteiden hiilidioksidipitoisuudet saatiin käyttämällä Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen tietokoneohjelmaa, joka laskee arvot natriumhydroksidin kulutuksen ja näytteen tilavuuden perusteella.

Taulukko 4 Raakavesinäytteiden hiilidioksidipitoisuudet

	CO ₂ (mg/l)
Näyte 1	4,9
Näyte 2	6,0

Kokonaiskovuus

Raakavesinäytteen kokonaiskovuus määritettiin kahdesta rinnakkaisesta näytteestä manuaalisesti titraamalla Methorm titraattoria käyttäen. Määrittäminen suoritettiin Tampereen Veden menetelmäohjeen numero 13, ”Veden kokonaiskovuuden määrittäminen”, mukaisesti. Käytettyjen näytteiden tilavuus oli 50 ml. Näytteisiin lisättiin Merc - indikaattoritahletteja ja 1 ml 25 % ammoniakkiliuosta. Näytteet titrattiin EDTA - liuoksella kirkkaan vihreäksi. Tarkistuksessa käytetään seos-standardiliuosta, joka titrataan samalla tavalla. Seos-standardiliuos sisältää 10,0 ml liuosta, jossa on 100 mg magnesiumia/l, ja 10,0 ml liuosta, jossa on 100 mg kalsiumia/l, laimennettuna 200 ml:aan. Seos-standardiliuoksen tunnettu kokonaiskovuus on 1,85°dH. Tarkistuksessa käytettiin päivän standardia.

Määrittämisen tulokset ovat taulukossa 5. Myös tässä tapauksessa halutut arvot saatiin käyttämällä Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen tietokoneohjelmaa.

Taulukko 5 Raakavesinäytteiden kokonaiskovuudet

	Kokonaiskovuus (°dH)	Kokonaiskovuus (mmol/l)
Päivän standardi	1,853	0,33
Näyte 1	1,717	0,31
Näyte 2	1,710	0,31

Yhteenvedo vesianalyysien tuloksista

Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen antaman ohjeen mukaan kalkkikivialkalointiin soveltuvan veden ominaisuuksien tulisi olla seuraavat /7, s.3/:

- alkaliteetti <0,8 mmol/l
- pH <6,8
- hiilidioksidi 10–15 mg/l

Vesinäytteestä analysoitu alkaliteetti on annettuihin ohjeisiin sopiva. pH on hieman korkeampi ja hiilidioksidipitoisuus huomattavasti matalampi, kuin ohjeen mukaan tulisi olla. Jos hiilidioksidipitoisuus on liian alhainen, voidaan veteen lisätä hiilidioksidia. Aiemmissä samasta kaivosta otetuissa vesinäytteissä hiilidioksidipitoisuus on ollut ohjeen rajojen sisällä. Näytteenotto, säilytys ja näytteiden käsittely analysoitaessa on saattanut aiheuttaa tuloksiin virhettä.

7.1.2Suunnitellut kokeet

PSV-Maa ja Vesi Oy:n arvion mukaan alkalointiprosessi tulisi mitoittaa siten, että syötettävän kalsiumkarbonaatin määrä on 18 mg/l /6, s.2/. Arvioidun verkostoon pumpattavan veden määrän ja oletuksen, että alavesisäiliöstä lähtevässä vedessä tulee Ca²⁺ -pitoisuuden olla 10 mg/l, perusteella saatiin syötettävän kalsiumkarbonaatin määräksi 25 mg/l. Mittauspöytäkirjan laatimiseen käytetyt laskutoimitukset ovat liitteessä 3. Koska arviot tarvittavan kalsiumkarbonaatin

syöttömäärästä erosivat näin paljon toisistaan, päätettiin käyttökokeissa kokeilla kalsiumkarbonaatin syöttömääriä väliltä 15–35 mg/l.

Käyttökokeet päätettiin suorittaa kahdessa viikossa siten, että ensimmäisellä viikolla syöttömäärää nostetaan päivittäin 5 mg/l. Tällöin aloitetaan syöttömäärästä 15 mg/l ja päädytään 35 mg:aan/l. Joka päivä iltapäivällä otetaan näyte lähtevästä vedestä ja analysoidaan siitä Ca^{2+} -pitoisuus. Lähtevästä vedestä otetaan myös näytteitä, joista analysoidaan alkaliteetti, sulfaattipitoisuus ja kloridipitoisuus korroosioindeksin laskemiseksi. korroosioindeksin tulee olla yli 1,5. Toisella viikolla tutkitaan pienemmällä kalsiumkarbonaatin syöttömäärän lisäyksillä sitä aluetta, joka ensimmäisen viikon kokeiden perusteella näyttää tuottavan parhaan tuloksen.

Käyttökokeita voidaan jatkaa kokeilemalla erilaisia kalsiumkarbonaattirouheen jauhatusaikoja. Näin reaktio voidaan saada nopeutumaan, sillä pienemmällä rouheella on suurempi reaktiopinta-ala.

7.2 Käyttökokeiden toteutus

Käyttökokeita ei voitu suorittaa alkuperäisen aikataulun mukaisesti, vaan ne siirtyivät kesälle 2007. Käyttökokeet viivästyivät, sillä alavesisäiliön altaita ei saatu tarpeeksi tiiviiksi. Opinnäytetyön aikataulun vuoksi käyttökokeita ei ehditty saada mukaan työhön.

LÄHTEET

Painetut lähteet

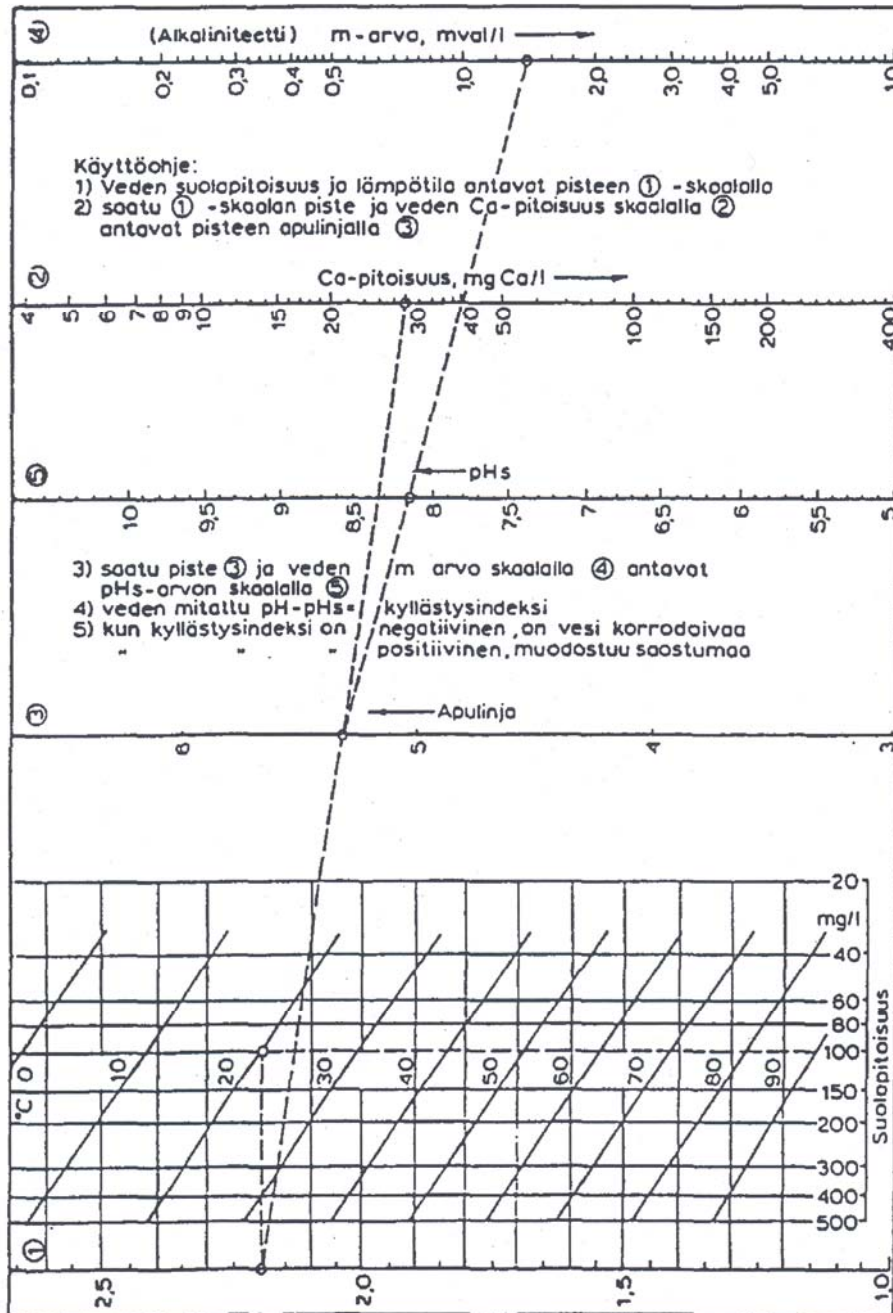
- 1 Antola S., Pohjaveden alkalointi kalsiittisella kalkkikivellä. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Ympäristötekniikan osasto. Tampere 1997. 108 s + 4 liites.
- 2 Barnes D. – Wilson F., Chemistry and unit operations in water treatment. Applied Science Publisher. Englanti 1983. 325 s.
- 3 Helmisaari H-S. – Illmer K. – Hatva T. – Lindroos A-J. – Miettinen I. – Pääkkönen J. – Reijonen R. Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. Metsäntutkimuslaitos. Vantaan tutkimuskeskus. Vantaa 2003. 220 s.
- 4 Hietala J., Kalkkikivialkaloinnin tehostaminen ja mitoitus. Diplomityö. Oulun yliopisto. Rakentamistekniikan osasto. Oulu 2002. 70 s. + 1 liites.
- 5 Isoaho S. – Valve M. Vesikemian perusteet. Otakustantamo. Helsinki 1986. 264 s. + 9 liites.
- 6 Jaakko Pöyry Infra. Prosessisuunitelma 02 1366 BJ 17.3.2003 luonnos
- 7 Jaakko Pöyry Infra. Vaihtoehtoverailu 02 1366 BJ 15.10.2002 Rev. 1/30.10.2002
- 8 Jaakko Pöyry Infra. Yleissuunnitelma 02 1366 BJ 31.3.2003
- 9 Karttunen E., Vesihuoltotekniikan perusteet. Opetushallitus. Helsinki 1999. 207 s.
- 10 Mälkki E., Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Tampere 1999. 304 s.
- 11 Palomäki J. – Kuorikoski A., Kalkkikivialkalointi Länsi-Suomen ympäristökeskuksen alueen vesilaitoksilla. Alueelliset ympäristöjulkaisut. Länsi-Suomen Ympäristökeskus. Vaasa 2001. 163 s.
- 12 Rontu M., Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki 1992. 80 s.
- 13 Sulkakoski M., Humukseen sitoutuneen raudan poisto biosuodatuksella. Vesi- ja ympäristöhallitus. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri. Helsinki 1994. 126 s.
- 14 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry, RIL 124-1 Vesihuolto I. Helsinki 2003. 314 s.
- 15 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry, RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki 2004. 684 s.
- 16 Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, Kalkkikivialkalointi: opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. Helsinki 2002. 27 s.

Sähköiset lähteet

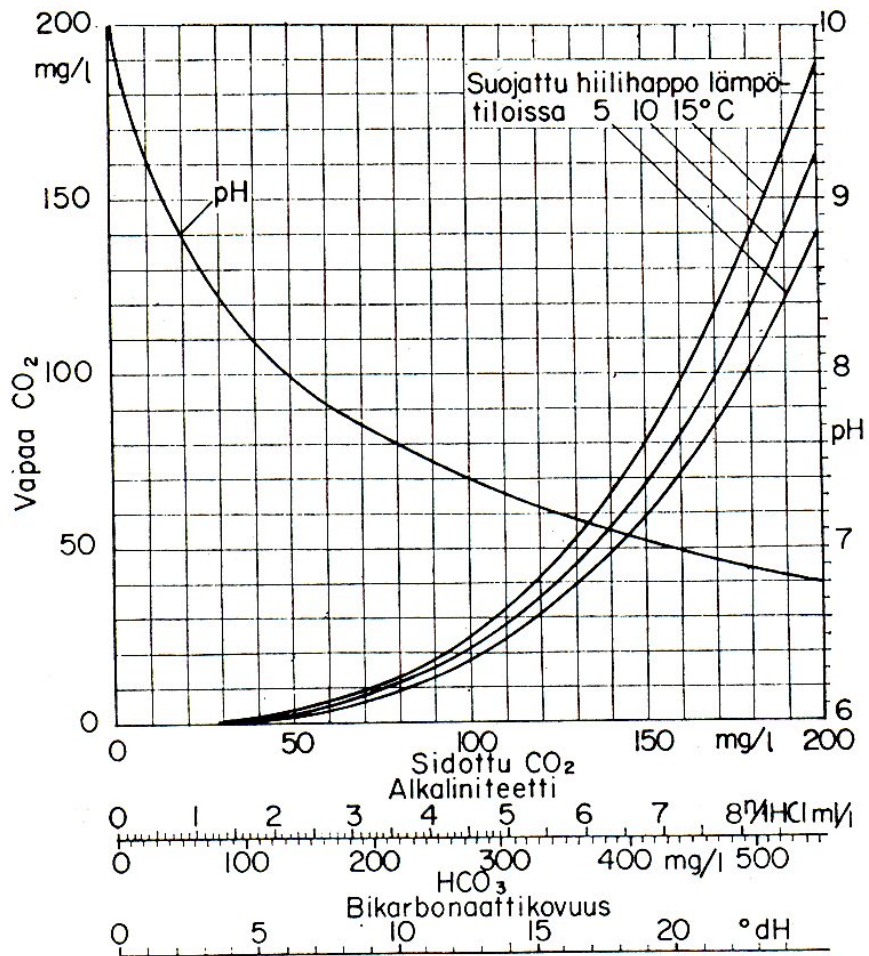
- 17 Hatva T., Suomen Ympäristökeskuksen moniste 255, Havaintoja pohjavesialueiden sekä tekopohjavesi- ja rantaimetyslaitosten veden laadusta. Helsinki 2004. 137 s. [sähköinen dokumentti] [viitattu 24.12.2006.] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/julkaisut>

Painamattomat lähteet

- 18 Klemi H., Haastattelu. 20.10.2006.
19 Suonperä K., Haastattelu. 25.10.2006.



Kuva 1 Nomogrammi Langlierin indeksin määrittämiseksi



Kuva 2 Tillmansin käyrästä

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

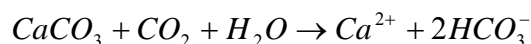
- Verkostoon pumpataan yhteensä n. $3000 \text{ m}^3/\text{d} = 3000000 \text{ l/d}$.
- Jauhimien kautta ohjataan ohivirtauksena 5 % tästä määrästä.

$$0,05 \cdot 3000 \text{ m}^3 / \text{d} = 150 \text{ m}^3 / \text{d}$$

- Alavesisäiliöstä lähtevässä vedessä tulee olla Ca^{2+} -pitoisuus 10 mg/l.
- Koska jauhimien ja kalkkivesisäiliön kautta ohjataan 5 % = 1/20 vedestä, Ca^{2+} -pitoisuus tulee olla kalkkivesisäiliössä 20 kertaa suurempi.

$$20 \cdot 10 \text{ mg} / \text{l} = 200 \text{ mg} / \text{l}$$

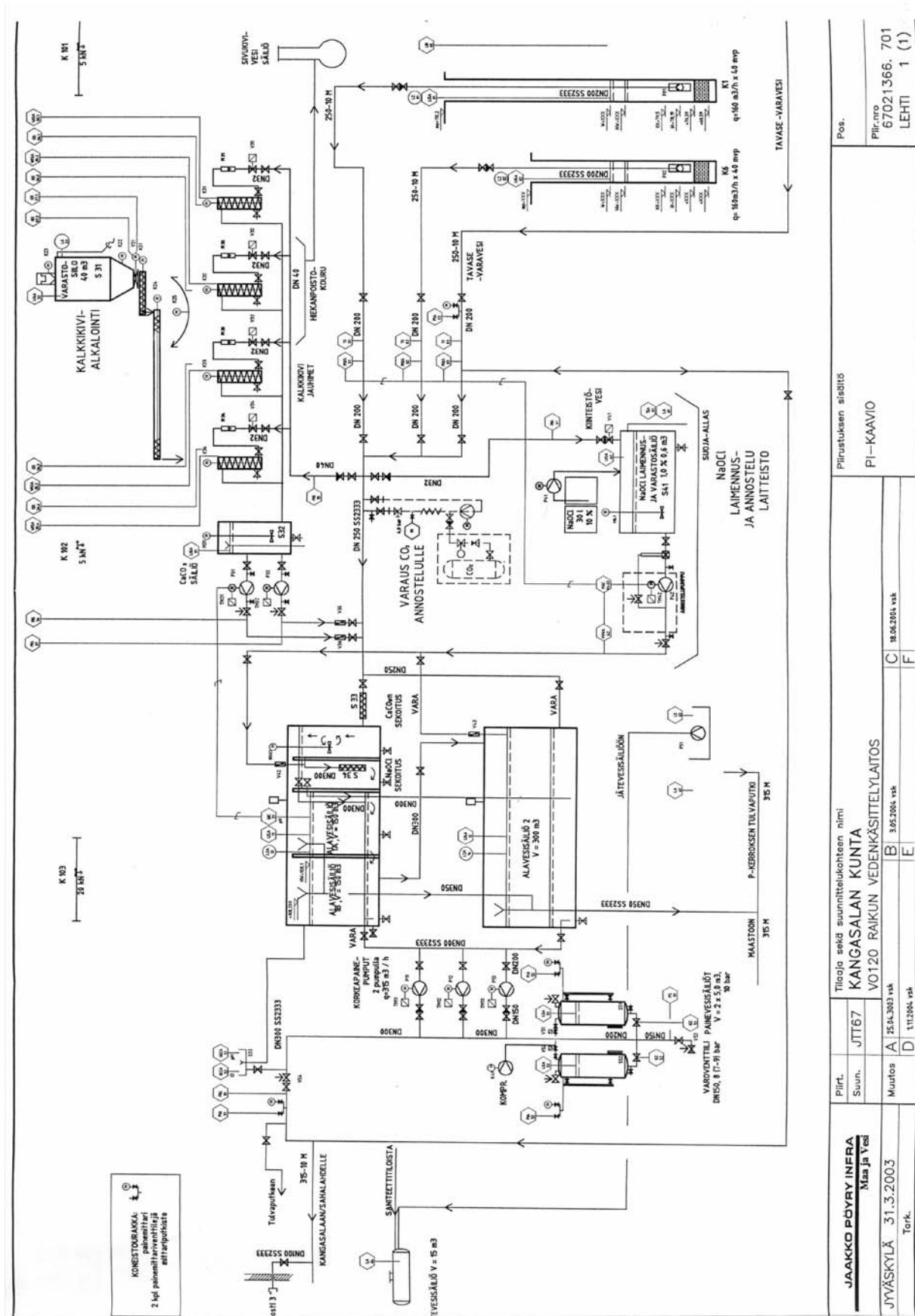
- Kalsiumkarbonaatin reaktio hiilidioksidin ja veden kanssa:



- Reaktioyhtälöstä nähdään, että yksi mooli kalsiumia vastaa yhtä moolia kalsiumkarbonaattia.
- $M(\text{Ca}^{2+}) = 40,08 \text{ g/mol}$, $M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \text{ g/mol}$
- $10 \text{ mg} = 0,01 \text{ g}$
- $0,01 \text{ g}$ vastaa $0,0002495 \text{ mol}$
- $0,0002495 \text{ mol CaCO}_3$ painaa $0,024972455 \text{ g} \rightarrow$ kalkkivesisäiliössä pitäisi olla noin $0,025 \text{ g CaCO}_3/\text{l} = 25 \text{ mg/l}$

$$25 \text{ mg} / \text{l} \cdot 3000000 \text{ l} / \text{d} = 75000000 \text{ mg} / \text{d} = 75 \text{ kg} / \text{d}$$

- 8 % jää liukenematta \rightarrow 92 % liukenee.
- $75 / 0,92 = 81,5 \text{ kg}$
- CaCO_3 pitäisi syöttää $81,5 \text{ kg/d}$ mikä vastaa syöttöä 25 mg/l .
- Jaakko Pöyry Infran mukaan kalsiumkarbonaattia pitäisi syöttää 18 mg/l .



JAAKKO PÖYRY INFRA Maa ja Vesi		Tilioija sekä suunnittelukohteen nimi KANGASALAN KUNTA VO120 RAIKUN VEDENKÄSITTELYLAITOS		Piirustuksen sisältö PI-KAAVIO	
Piirt. Suunn. JTT67	Muutos A 25.4.2003 vsk D 11.2004 vsk		C 18.06.2004 vsk F		Pos. Pih. nro 67021366. 701 LEHTI 1 (1)
JYVÄSKYLÄ 31.3.2003 Tork.					

Kuva 3 Raikun vedenkäsittelylaitoksen PI-kaavio