

Anu-Kristiina Rosenqvist

Levän poisto ja hallinta voimalaitoksen jäähdytysjärjestelmässä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

9.10.2012

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Anu-Kristiina Rosenqvist Levän poisto ja hallinta voimalaitoksen jäähdytysjärjestelmässä 43 sivua + 22 liitettä 9.10.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Bioprosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaaja(t)	Vanhempi käyttöinsinööri Tarmo Mansner Lehtori Carola Fortelius
<p>Työn tarkoituksena oli hakea Martinlaakson voimalaitoksen avoimessa jäähdytysjärjestelmässä kasvavalle levälle poistokeinoja. Levää tiedettiin kasvavan märkäjäähdytystornin jäähdytysvesialtaassa, jossa sitä on silmin havaittavasti. Levän kasvu on haittana kesäisin, jolloin se aiheuttaa putkistojen tukkeutumista ja jäähdytysjärjestelmän tehon laskua.</p> <p>Tutkimuksessa käytiin läpi suolanpoiston ja jäähdytysjärjestelmän toimintaa sekä yleisesti levän ominaisuuksia ja kasvuvaatimuksia. Tarkoituksena oli löytää levän poistolle ratkaisu ilman reagenssien käyttöä. Kokeellisen osuuden tarkoituksena oli todentaa jäähdytysjärjestelmässä olevien levien mahdolliset kasvupaikat, leväkasvun laajuuden kartoittamiseksi. Näytteitä otettiin myös veden käsittelystä, koska puhdistettu vesi vaikuttaa jäähdytysjärjestelmässä kiertävän veden laatuun.</p> <p>Kokeellisen osuuden tulokset osoittivat levän kasvut paikallisiksi. Jäähdytysvesijärjestelmässä levän kasvua oli vain jäähdytysvesialtaassa, ja suolanpoistossa levää arvellaan kasvavan pehmennyssuotimessa. Työn aihe käsitteli kuitenkin vain jäähdytysjärjestelmää, ja tämän vuoksi tutkimuksessa keskityttiin jäähdytysvesialtaan levän poistoon.</p> <p>Tutkimuksen perusteella todettiin, että paras keino levän poistoon ja hallintaan olisi valon esto yhdessä ilmastuksen kanssa. Ilmastuksen käyttöä ei kuitenkaan voida käyttää ilman valon estoa, koska ilmastus itsessään lisää levän kasvua. Ilmastuslaitteen asentaminen edellyttäisi jäähdytysvesialtaan korkeuden nostoa.</p>	
Avainsanat	jäähdytystornit, jäähdytysjärjestelmät, levät, veden käsittely

Author(s) Title Number of Pages Date	Anu-Kristiina Rosenqvist Algae removal and management of the cooling system of power plants 43 pages + 22 appendices 9 October 2012
Degree	Bachelor Engineering
Degree Programme	Bio and Food Technology
Specialisation option	The design and use of bioprocesses
Instructor(s)	Tarmo Mansner, Senior engineer Carola Fortelius, Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to research methods to remove algae from the Martinlaakso's power plants open cooling system. Algae are known to increase in the wet cooling towers cooling pool, where its growth is visible. Algae growth is a problem in summer, when it causes clogging of pipelines and power decrease in the cooling system.</p> <p>The study goes through desalination and cooling operation, as well as general characteristics of algae and growth requirements. The purpose was to find the way to remove algae without any reagents. The purpose of the experimental part was to verify growth of algae in the cooling system to identify the extent of the growth of algae. Samples were taken for water treatment, because the purified water affects the cooling system water quality.</p> <p>The experimental results showed that algae growths are local. Algae growth was just in the cooling system's cooling pool and in the desalination it is suspected that algae grow in the water softener. The topic dealt with, however, only the cooling system and, therefore, the investigation focused on the cooling water pool algae removal.</p> <p>Based on the research, it was found that the best way to remove and manage algae is light shading with aeration. The use of aeration may not be used without blocking the light, because aeration itself increases algae growth. Aerator installation would require increasing the height of the cooling pools.</p>	
Keywords	coolingtowers, coolingsystems, algae, desalination

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia	2
3	Veden käsittely	3
3.1	Pehmennys	3
3.2	Käänteisosmoosi	4
3.3	Kiintoainesuodatus	4
3.4	Ioninvaihto	5
4	Jäähdytysjärjestelmät	6
4.1	Avoin jäähdytysjärjestelmä	6
4.2	Suljettu jäähdytysjärjestelmä	6
5	Jäähdytystornit	8
5.1	Märkäjäähdytystorni	8
5.2	Kuivajäähdytystornit	9
5.3	Hybridijäähdytystornit	9
6	Avoin märkäjäähdytysjärjestelmä eli VG-järjestelmä	11
6.1	Rakenne ja toiminta	11
6.2	Teho	12
6.3	Lisäjäähdytys	13
6.4	Puhdistus	14
7	Levät	15
7.1	Leväsolun rakenne	16
7.2	Levien kasvuvaatimukset	17
7.3	Levät ja ravinteet	17
7.4	Levien lisääntyminen	18
7.5	Levien elinkierto	19
8	Yhteyttäminen	21
8.1	Valoreaktiot	21
8.2	Pimeäreaktio	21
8.3	Yhteyttämiseen vaikuttavat tekijät	22

9	Levän poisto	24
9.1	Kemialliset menetelmät	24
9.1.1	Desinfiointi	24
9.1.2	Koagulointi eli flokkaus	25
9.2	Fysikaaliset menetelmät	25
9.2.1	Lämpökäsittely	25
9.2.2	Desinfiointi	26
9.2.3	Valon esto ja ilmastus	26
	Kokeellinen osuus	28
10	Materiaalit ja menetelmät	28
10.1	Vedessä olevan orgaanisen aineen määrän määrittäminen	28
10.1.1	Välineet ja reagenssit	29
10.1.2	Työn suoritus	29
10.1.3	Tulosten laskeminen	29
10.2	Levän monimuotoisuuden selvittäminen	29
10.2.1	Välineet ja reagenssit	30
10.2.2	Työn suoritus	30
10.3	Ravinteiden määrittäminen VK-altaan tulovesistä	30
10.3.1	Ionikromatografinen analyysi	30
10.3.2	Raudan määrittäminen	31
10.3.3	Fosfaatin määrittäminen	32
10.3.4	Silikaatin määrittäminen	33
10.4	pH ja johtokyky	34
10.4.1	Välineet ja reagenssit	34
11	Tulokset	35
12	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	36
	Liitteet:	
	Liite 1. Prosessikaavio	
	Liite 2. Levän mikroskopointikuvia	
	Liite 3. Kromatogrammit	
	Liite 4. Märkäjäähdytysjärjestelmän jäähdytystehon laskeminen	
	Liite 5. Kaliumpermanganaattititrauksen tulokset	

1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty Vantaan Energia Oy:lle Martinlaakson voimalaitoksella Vantaalla 1.2.2012 ja 9.10.2012 välisenä aikana. Insinööri työn aiheena on miettiä avoimessa märkääjäähdytysjärjestelmässä kasvavan levän poistoon ratkaisua. Avoimesta jäähdytysjärjestelmästä käytetään lyhennettä VG-järjestelmä. Työssä pyritään myös arvioimaan, onko avoin jäähdytysjärjestelmä mahdollista vaihtaa suljettuun jäähdytysjärjestelmään, joka vähentäisi mahdollisesti levän kasvua.

Jäähdytysjärjestelmään kuuluu kiinteänä osana märkääjäähdytystorni, jossa levän kasvua esiintyy eniten ja kulkeutuu märkääjäähdytystornista veden mukana putkistoon. Kasvanut levä aiheuttaa muun muassa putkien ja suodattimien tukkeutumista sekä jäähdytysjärjestelmän tehon laskua. Levän poistamiseen on kokeiltu höyrypesua, mutta tämä on todettu hyödyttömäksi.

Jäähdytysveden lämpötila on noin 16 °C. Veden lämpötila yhdessä valon ja kosteiden olosuhteiden kanssa luovat optimaaliset olosuhteet monille leville. Levän kasvu on haittana ennen syöttöveden valmistusta. Syöttöveden valmistuksessa veden lämpötila nostetaan noin 130 °C:seen, jolloin levä ei pysty siinä kasvamaan.

Levää on poistettu järjestelmästä hapettavien reagenssien avulla kerran vuodessa. Jäähdytysjärjestelmä on yhteydessä veden käsittelyn kanssa, ja tämän vuoksi pesu aiheuttaa erityisjärjestelyjä ja veden tuoton vähentymistä. Tämä on syynä siihen, että jäähdytysjärjestelmään ei voida lisätä jatkuvatoimista, levän poistoon tarkoitettua reagenssilisäystä. Vuosittaisella pesulla levä saadaan pysymään pois noin kolmen kuukauden ajan.

Tutkimuksessa pohdittiin erilaisia levän poiston menetelmiä. Kokeellisen osuuden tarkoituksena oli todentaa VG-järjestelmässä olevien levien mahdolliset kasvupaikat leväkasvun laajuuden kartoittamiseksi. Näytteitä otettiin myös veden käsittelystä, koska puhdistettu vesi vaikuttaa jäähdytysjärjestelmässä kiertävän veden laatuun. Leväkasvun levinneisyys vaikuttaa oikeanlaisen poistokeinon löytämiseen.

2 Vantaan Energia

Vantaan Energia Oy on Suomen suurimpia kaupunkienergiayhtiöitä, ja sen omistavat Helsingin (40 %) ja Vantaan (60 %) kaupungit. Vantaan Energia Oy myy ja tuottaa kaukolämpöä ja sähköä sekä toimittaa maakaasua teollisuuden tarpeisiin. Yhtiön vastualueisiin kuuluu myös kaukolämpöverkostojen rakentaminen ja huolto Vantaan alueella. [1.]

Martinlaakson voimalaitosta alettiin rakentaa vuonna 1971, ja kaupalliseen käyttöön se otettiin syksyllä 1975. Voimalaitos on tyypiltään vastapainevoimalaitos, jonka päätuotteena on kaukolämpö ja sivutuotteena saadaan sähköä. Lämmön ja sähkön yhteistuotannon avulla polttoaineen hyötysuhde on parhaimmillaan jopa yli 90 %. Laitoksen alkuvaiheessa se oli vielä öljykäyttöinen. Öljyn hinnan noustessa alettiin öljyn polttoa korvata kivihiilellä. Nykyään polttoaineena käytetään pääasiassa maakaasua ja kivihiiltä. [2.] Hiilikattilan yhteyteen on rakennettu rikinpoistolaitos vuonna 1993 [3].

Tällä hetkellä Vantaan Energia rakentaa jätevoimalaa Itä-Vantaalle. Jätevoimalan uskotaan hillitsevän ilmastonmuutosta, koska se pienentää ympäristöhaittoja ja kaatopaikoille sijoitettavan jätteen määrää. Samalla myös hiilen polttoa vähennetään Martinlaakson voimalaitoksessa noin 30 %. Uusi voimala rakennetaan tiukat ympäristövaatimukset huomioiden. Poltossa käytetään arinapolttotekniikkaa, joka on erittäin toimintavarma. Polttoaineena on jätteen lisäksi myös maakaasu. Voimalan arvioidaan aloittavan kaupallisen toimintansa vuonna 2014. [4.]

3 Veden käsittely

Martinlaakson voimalaitoksen sähkön tuotantoon tarvitaan vettä. Vetenä käytetään kaupungin talousvedestä puhdistettua suolatonta vettä. Vesi puhdistetaan pehmennyksen, käänteisosmoosin ja ioninvaihtosarjojen avulla. Veden kierto on suljettu, eli teoriassa sitä ei pitäisi hävitä mihinkään. Ilman veden häviötä ei sen puhdistustakaan tarvittaisi. Lisäveden tarvetta kuitenkin syntyy erilaisten vuotojen ja ulospuhallusten vaikutuksesta. [5, s.9.] Vedenkäsittelyn prosessikaavio on esitetty liitteessä 1.

Käsittelemätön kaupunkivesi olisi korkeissa paineissa ja lämpötiloissa sellaisenaan erittäin vahingollista voimalaitoksen laitteille. Syöttöveden laatu vaikuttaa voimalaitoksen käyttöikään ja käytettävyyteen. Epäpuhtaan veden pääseminen kiertoon voisi aiheuttaa muun muassa vesi-höyrypiirin syöpymistä, kattilaveden kiehumista sekä kerrostumia lämpöpinnoilla ja turbiinin siivissä. [6, s.1.]

Tavallisimpia prosessivesissä tavattavia mikro-organismeja ovat bakteerit, levät ja sienet. Näiden kasvuoptimit ovat välillä 10–30 °C ja näin ollen aiheuttavat ongelmia ennen syöttöveden valmistusta. Orgaaninen aines näkyy KMnO_4 -analyysin suurena kulutuksena. Mikro-organismien tuhoamiseen käytetään yleisimmin kloorikaasua tai hypokloriittia. Hypokloriitti on näistä vaihtoehdoista käyttäjäystävällisempi, koska liuoksena se on helpommin annosteltavissa. [7, s. 6-7.]

3.1 Pehmennys

Veden kovuus muodostuu pääasiassa magnesium- ja kalsiumsuoloista. Nämä suolat suojaavat putkistoa korroosiolta muodostamalla putkien pinnalle ohuen kerroksen. [8.] Kattilassa nämä suolat voivat aiheuttaa saostumista ja kattilakiven muodostumista. Tämän takia nämä suolat vaihdetaan pehmennyssuotimissa natriumsuoloihin. [7.]

Pehmennyssuodin on ioninvaihdin. Ioninvaihto perustuu suotimen sisällä olevaan rae-maiseen hartsiin, joka on elvytetty natriumkloridilla. Pehmennyssuodin on kationinvaihtaja, joka vaihtaa positiivisesti varautuneet suolat toisiin positiivisesti varautuneisiin suoloihin. Pehmennyssuotimen elvytys tehdään NaCl-liuoksella. Laitoksella on kaksi pehmennyssuodinta. Toisen kapasiteetin hiipussa otetaan toinen käyttöön. Näin voidaan estää kovuusvuodot ja varmistaa veden laatu. [7, s.1.] Ioninvaihtohartsi on lämpöä kes-

tävää ja säiliöt kumioitua terästä. Säiliön sisällä on hapon kestävät putket, joilla ohjataan elvytyshappo ioninvaihtohartsiin. [16.]

3.2 Käänteisosmoosi

Osmoosilla tarkoitetaan veden virtausta puoliläpäisevän kalvon läpi niin, että pitoisuuserot tasoittuvat kalvon välillä. Tällöin vesi virtaa puhtaalta puolelta likaisemmalle puolelle. Pitoisuuserot tasoittuvat, kunnes syntyy tasapaino hydrostaattisen paineen ja pitoisuuserojen tasoittumisen välillä. [7, s.11.]

Käänteisosmoosilla tarkoitetaan ilmiötä, jossa veden virtaus tapahtuu toiseen suuntaan kuin osmoosissa. Tämä saadaan aikaan kohdistamalla riittävän suuri paine liuokseen. Tarvittavan paineen suuruus on verrannollinen konsentraatioon. Puoliläpäiseviä kalvoja voidaan valmistaa synteettisesti, ja niille ominaista on se, että ne päästävät veden lävitseen, mutta eivät niihin liuenneita aineita. Käänteisosmoosin erotusaste on noin 80–98 %:n välillä. Käsitellyn veden epäpuhtaudet muodostuvat pääasiassa natriumsuoloista, kuten sulfaateista, klorideista, bikarbonaateista ja silikaateista. Tämän puhtausasteen omaavaa vettä voitaisiin käyttää ilman jälkikäsitelyä höyry- ja lämmityskattiloissa noin 67 bar paineluokkaan asti. [7, s.11.]

3.3 Kiintoainesuodatus

Kiintoainesuodatus tapahtuu ennen ioninvaihtosarjoja hiekkasuotimen avulla. Hiekkasuodin poistaa raakavedestä muun muassa orgaanista ainesta kuten levää. Suodin koostuu hiekasta, jossa on kolmea eri raekokoja. Näistä suurimman raekoon omaava on laitettu pohjalle ja pienimmän omaava päällimmäiseksi. Suodatettava vesi syötetään hiekkasuotimelle säiliön pohjasta. [16.]

Suodatusmateriaalin valinnalla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta suodattimen toimintaan. Suodatinmateriaali ei kuitenkaan saa sisältää veteen liukenevia epäpuhtauksia tai murentua puhdistus- ja huuhtelumenetelmien johdosta. Hiekan suuri raekoko helpottaa epäpuhtauksien tunkeutumista hiekkakerroksen sisään. Tämän johdosta painehäviö on pienempi kuin suodattimessa, jossa hiekka on raekooltaan pientä. [11.]

3.4 Ioninvaihto

Kun suolat liukenevat veteen, ne muodostavat kationeja ja anioneja kaavan 1 mukaisesti.



Ioninvaihtoharteilla on ominaisuus vetää puoleensa anioneja tai kationeja. Hartsin rae-
koko on halkaisijaltaan noin 1 mm, ja sen rakenne on erittäin huokoista. Rakeen ulko-
pinnalla on reaktiivisia ryhmiä noin 10 % ja huokosissa noin 90 %. Kationivaihtohartsis-
sa kationi vaihtuu H⁺-ioniin ja anionivaihtohartsissa anioni vaihtuu OH⁻-ioniin. Selektiivisyyserroin vaikuttaa, kuinka suurella voimakkuudella anionit ja kationit tarttuvat hartsiin. [9.]

4 Jäähdytysjärjestelmät

Jäähdytysjärjestelmien toiminta perustuu termodynamiikan periaatteisiin. Nämä järjestelmät on suunniteltu auttamaan lämmönvaihtoa jäähdytysaineen ja prosessin välillä sekä poistamaan hukkalämpöä ympäristöön. Teollisuudessa käytettäviä jäähdytysjärjestelmiä voidaan jaotella käytettävän jäähdytysaineen (vesi, ilma tai veden ja ilman yhdistelmä), jäähdytysperiaatteen tai rakenteen mukaan. Jäähdytysaineen ja prosessiaineen lämmönvaihtoa edistetään lämmönvaihtimilla. Jäähdytysaine siirtää lämmön lämmönvaihtimiin, josta lämpö vapautuu ympäristöön. [12.]

Avoimissa järjestelmissä jäähdytysaine on suoraan kosketuksissa ympäristön kanssa. Suljetuissa järjestelmissä prosessi- tai jäähdytysaine kiertää kierukoissa tai putkissa eikä näin ole suorassa kosketuksessa ympäristöön. Suuritehoisissa laitoksissa, joissa on riittävästi pintavesistöihin laskettavaa jäähdytysvettä, käytetään yleisesti läpivirtausjäähdytystä. Veden saannin ollessa rajallista käytetään usein kiertojäähdytysjärjestelmiä (jäähdytystorneja). [12.]

4.1 Avoin jäähdytysjärjestelmä

Avoimissa kiertojäähdytystorneissa ilmavirran kosketus jäähdyttää jäähdytettävän veden. Torneissa ilman ja veden kosketusta tehostetaan koneellisten puhaltimien tai luonnollisen ilmakierron avulla. Puhaltimilla aikaansaadulla ilmavirralla toimivia torneja käytetään yleisesti sekä suuri- että pienitehoisissa järjestelmissä. Luonnolliseen ilma-kiertoon perustuvia torneja käytetään pääasiassa suuritehoisissa järjestelmissä (esimerkiksi voimalaitoksissa). [12.]

4.2 Suljettu jäähdytysjärjestelmä

Suljetuissa jäähdytysjärjestelmissä jäähdytetään kierukoita tai putkia, joissa jäähdytysaine kiertää. Putkien jäähtyessä myös jäähdytettävän aineen lämpötila laskee. Märässä järjestelmässä ilmavirta jäähdyttää kierukoita tai putkia haihduttamalla niiden pinnalle ruiskutettua vettä. Kuivassa järjestelmässä putket tai kierukat jäähtyvät pelkän ilmavirran avulla. [12.]

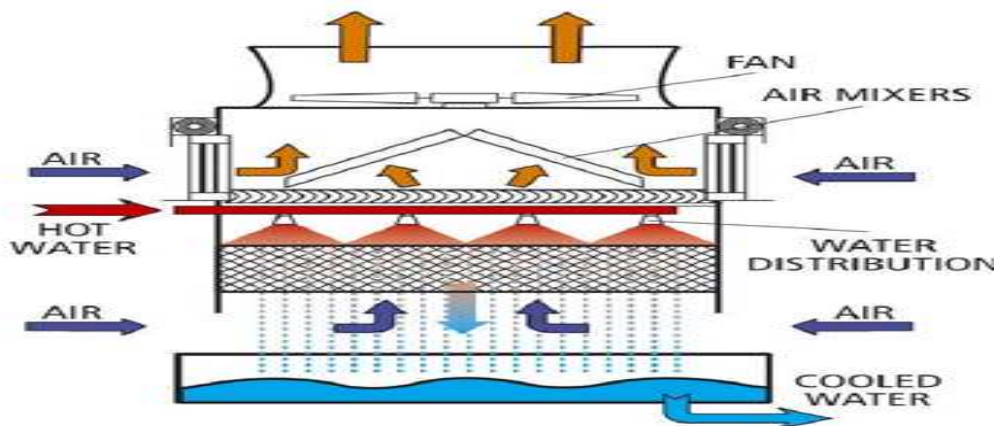
Märässä ja suljetussa järjestelmässä voi olla jäähdytysrivat, jotka lisäävät jäähdytyspinta-alaa. Jäähdytys pinta-alan lisääntyminen saa aikaan jäähdytystehon kasvun. Suljettuja märkjäähdytysjärjestelmiä käytetään yleisesti pienitehoisissa järjestelmissä. Kivaa ilmajäähdytteistä järjestelmää käytetään myös suurissa voimalaitoksissa silloin, kun vettä ei ole saatavissa riittävästi tai se on erittäin kallista. [12.]

5 Jäähdytystornit

Jäähdytystornin tehtävänä on jäähdyttää vettä ilman avulla. Jäähdytystornit voidaan jakaa kuivaan, märkään ja näiden yhdistelmällä toimivaan jäähdytystorniin. Märkäjäähdytystorni on näistä kuitenkin yleisimmin käytetty. [13.]

5.1 Märkäjäähdytystorni

Märkäjäähdytystorni on tornityypeistä yleisimmin käytetty. Avoimessa järjestelmässä jäähdytettävä vesi pumpataan tornin yläosaan, josta se putoaa painovoimaisesti kohti pohja-allasta. Jäähdytysilma otetaan tornin alaosasta, ja se virtaa vettä vasten kohti tornin yläosaa. Kontakti pinta-alan maksimoimiseksi vesi virtaa usein tasojen tai täyte-kappaleiden lävitse, mikä saa aikaan tehokkaan lämmön siirron. Kontaktipinta-alaa lisääville tasoille jäähdytettävä kiertovesi valuu joko pisaroin tai ohuena filminä. Jäähdytyksessä lämmennyt kostea ilma poistuu tornin yläosasta. [13.] Märkäjäähdytystornin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Koneellisella puhaltimella varustetun märkäjäähdytystornin toimintaperiaate. Jäähdytettävä vesi pumpataan tornin yläosaan. Yläosasta vesi virtaa painovoimaisesti kohti viileän veden talteenottoallasta. Märkäjäähdyttimen yläosassa olevan puhaltimen avulla ilma virtaa laskeutuvan vesiverhon läpi samalla jäähdyttäen vettä. [37.]

Märkäjäähdytysjärjestelmät voidaan jakaa kahteen tyyppiin ilmanottomekanismiin perusteella. Ilman otto voi olla luonnollinen tai koneellinen. Koneellinen ilman otto saadaan aikaan joko tornin päälle tai sivuille sijoitettujen puhaltimien avulla. Koneellisen märkäjäähdytystornin jäähdytysteho on luonnollista märkäjäähdytystornia suurempi,

koska nestepisaroiden ohi kulkeva ilmamäärä on moninkertainen luonnolliseen kiertoon verrattuna ja haihduttaa näin ollen enemmän vettä. [13.]

Märkäähdytysjärjestelmän haittapuolina ovat häviöt, ympäristöpäästöt, mineraalipäästöt sekä näkyvät vesihöyrypatsaat. Märkäähdytysjärjestelmän olosuhteet ovat otolliset bakteerikasvustolle. Haihtuva vesi muodostaa aerosolin tiettyjen yhdisteiden kanssa ja levittää näin ollen näitä yhdisteitä ja myös mahdollista bakteerikasvustoa ympäristöön. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi sinkki-, kloori- ja kromiyhdisteet. [13.]

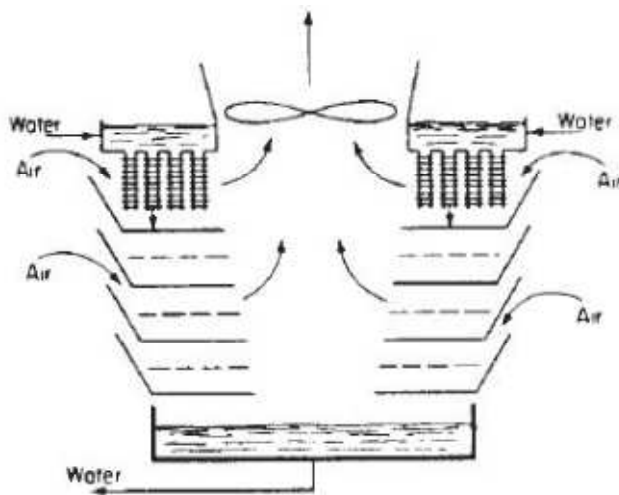
5.2 Kuivajäähdytystornit

Kuivajäähdytystorneissa lämpöä siirtyy ilmaan ilman kiertoveden haihtumista. Kuivajäähdytys voidaan jakaa epäsuoraan ja suoraan jäähdyttämiseen. Suorassa kuivajäähdytyksessä jäähdytettävä prosessivirta on suoraan kosketuksissa ilman kanssa. Mekaanisesti aikaan saatu viileä ilma jäähdyttää prosessia. Epäsuorassa kuivajäähdytyksessä on suljettu vesikierto. Kiertävä vesi jäähdyttää prosessivirtaa lämmönvaihtimien avulla. Lämmönvaihtimessa lämmennyt kiertovesi ohjataan putkistoon, jota jäähdytetään viileällä ilmavirralla. [13.]

Tornin ilmavirtauksen pitää olla 3–4 kertaa suurempi märkäähdytystorniin verrattuna, jotta niillä olisi sama jäähdytysteho. Tämän vuoksi kuivajäähdytystornit ovat kooltaan suurempia ja kalliimpia rakentaa. Jäähdytystornissa voi olla mekaaninen tai luonnollinen ilmanvirtaus. Kuivajäähdytystornien etuina ovat veden käsittelyn tarpeettomuus sekä se, että ne eivät kehitä sumua, päästöjä tai höyryä ympäristöön. Kuivajäähdytystornin haittapuolina ovat hankala operointi, sääolojen vaikutus tehokkuuteen, puhaltimien korkea äänitaso ja suuret investointikustannukset. [13.]

5.3 Hybridijäähdytystornit

Hybridijäähdytyksessä on yhdistetty sekä märkä että kuiva jäähdytystyyppi. Etuna hybridijäähdytystornissa on se, että siinä ei muodostu höyrypilveä kuten märkäähdytystornissa. Höyrypilven muodostuminen estetään tornin yläosaan sijoitettavan kuivaosion avulla. Kuivaosiossa lämmitetään tornista poistuvaa kostunutta ilmaa niin, että näkyvää höyrypilveä ei muodostu. [13.] Hybridijäähdytystornin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Hybridijäähdytysjärjestelmän toimintaperiaate. Kuuma vesi menee ensiksi kohti kuivaosien jäähdytyskennoja, jossa ilma jäähdyttää sitä. Kennojen läpi vesi ohjautuu kohti märkäosiota. Siellä se jäähtyy normaalin märkjäähdytystornin periaatteen mukaisesti. Alaosasta haihtunut vesihöyry kohtaa tornin yläosassa lämmentyneen ilman, minkä johdosta vesihöyryn määrä vähenee. [13.]

Hybridijäähdytystornissa jäähdytettävä vesi menee ensiksi kuivaosion jäähdytyskennoille, jossa se jäähtyy ilman vaikutuksesta. Kennoilta vesi menee märkäosioon, joka sijaitsee tornin alaosassa. Märkäosiossa jäähtyminen tapahtuu normaalin märkjäähdytystornin mukaisesti. Kosteaa ilmaa, joka muodostuu märkäosiossa, nousee kohti järjestelmän yläosaa. Yläosassa kostea höyry kohtaa ilmajäähdytyskennoilta tulevan lämpimän ilman. Tämän vuoksi hybridijäähdytystornista poistuva ilma on kuivempaa kuin märkjäähdytystornista poistuva ilma. [13.]

Kuiva- ja märkäosiota voidaan käyttää yhdessä tai erikseen. Talvella pelkän kuivaosion käytöllä voidaan saavuttaa haluttu jäähdytysteho, ja kuumilla ilmoilla kuivajäähdytystä ei tarvita, koska höyrypilven muodostumisen riskiä ei ole. Hybridijärjestelmän avulla voidaan saavuttaa matalat vedenkulutuslukemat. Veden kulutus voi olla jopa alhaisempaa kuin suljetussa jäähdytysjärjestelmässä. [13.] Veden kulutus ei kuitenkaan ole ollut ongelmana Vantaan Energialla [16].

6 Avoin märkääjäähdytysjärjestelmä eli VG-järjestelmä

VG-jäähdytysjärjestelmä on Vantaan Energialla käytetty avoin jäähdytysjärjestelmä, jossa on kaksi märkääjäähdytystornia. Jäähdytysjärjestelmän tarkoituksena on jäähdyttää vettä, joka jäähdyttää erinäisiä jäähdytyspisteitä. [16.] Jäähdytysvedet laskevat raakavesialtaaseen, mikä saa aikaan raakavesialtaan lämpötilan nousun [15]. Raakavesialtaan lämpötilan ollessa yli 22 °C tai pinnan ollessa alle 45 % johdetaan altaaseen kaupungin vesijohtovettä. Raakaveden kemiallista puhtautta voidaan seurata johtokykymittauksen avulla. Johtokyky on suoraan verrannollinen vedessä olevien ionien määrään. [16.]

Raakavesialtaasta pumpataan vettä myös ioninvaihtosarjoille [16]. Raakavesialtaalla ei tarkoiteta tässä yhteydessä luonnon pohja- ja pintavesistä koostuvaa allasta, vaan sinne tuleva vesi tulee suurimmalta osalta kylmän lisävesisäiliön ylijuoksuna, pehennys-suotimilta ja käänteisosmoosilta [5, s.11].

Ioninvaihtosarjoille menevän veden lämpötilan pitäisi olla noin 18–22 °C:n välillä, koska korkeampi lämpötila tuhoaa ioninvaihtohartsia. Jos märkääjäähdytystornit eivät pysty jäähdyttämään veden lämpötilaa kyseiselle alueelle, voidaan sarjoille menevän veden lämpötilaa laskea lisäämällä joukkoon viileää talousvettä. [5, s.11.] Talousveden lisääminen kuitenkin nostaa veden johtokykyä ja rasittaa ioninvaihtosarjoja [16].

6.1 Rakenne ja toiminta

Järjestelmään kuuluu puhtaiden vesien raakavesiallas, joka on tilavuudeltaan 50 m³. Altaan vesissä ei ole öljyä. Allas sijaitsee pohjatasolla ja sen ylivuotovesi ohjataan sadevesiviemäriin. Altaaseen tulevat vedet tulevat sihdin kautta; mekaanisten epäpuhtauksien estämiseksi ja sihdit puhdistetaan vuosittain. Altaan keskellä on väliseinä eli pato, joka jakaa raakavesialtaan kuumaan ja kylmään puoleen. [10.] Jako on suoritettu, jotta on voitu estää öljyn pääsy lämmönvaihtimilta ioninvaihtosarjoille. Kuuman puolen lämpötila on noin 30 – 40 °C ja kylmän puolen 18 – 22 °C. [16.] Kylmä puoli koostuu vesistä, jotka tulevat pääasiassa kylmän lisävesisäiliön ylijuoksuna, pehennys-suotimilta tai käänteisosmoosilta. Kuuma puoli taas koostuu prosessin jäähdytysvesistä. [15.]

Talousveden linjasta syötetään lisävettä raakavesialtaaseen. Raakavesialtaan kylmältä puolelta pumpataan vettä märkääjäähdytystorneille. Jäähdytystorneja on kaksi, joista toisen puhallin ohjautuu jäähdyttimiltä poistuvan veden lämpötilan mukaan. Puhaltimet saavat ilmaa jäähdyttimen alaosassa olevien aukkojen kautta, ja jäähdytettävä vesi virtaa jäähdyttimen sisäseiniä pitkin. Ilman imuaukon kohdalla ilma virtaa vesiverhon läpi jäähdyttäen sitä. Ilman jäähdyttämä vesi virtaa jäähdytysvesisäiliöön, joka on kooltaan 20 m³. Jäähdytysvesisäiliöstä vesi virtaa painovoimaisesti raakavesialtaan kylmälle puolelle, josta se ohjataan suolanpoistoon. [10.]

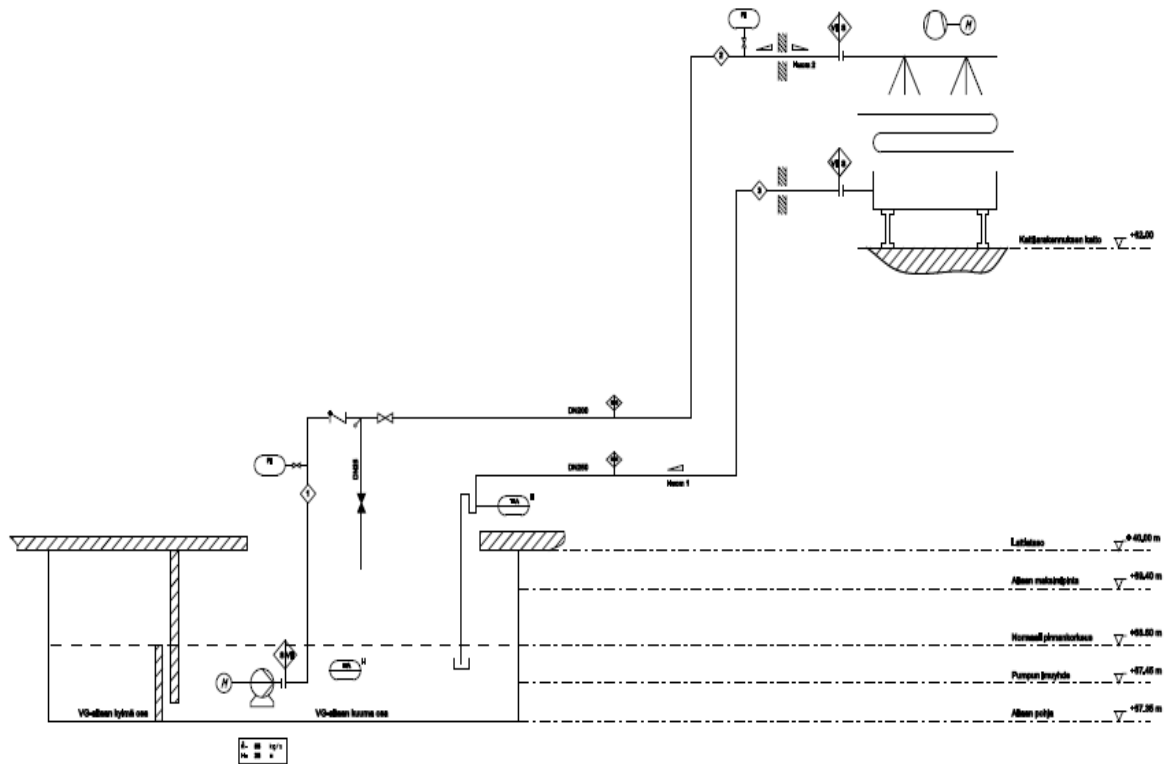
6.2 Teho

Teho kertoo, kuinka nopeasti työ tehdään. Tehon laskeminen suoritetaan jakamalla työ siihen kuluneella ajalla. Tehon yksikkö on J/s \approx W. [34.] Avoin jäähdytysjärjestelmä pystyy jäähdyttämään veden ulkona olevaa lämpötilaa matalammalle, toisin kuin suljettu jäähdytysjärjestelmä. Ilman kosteus vaikuttaa kuitenkin oleellisesti avoimen jäähdytysjärjestelmän tehoon, koska tehokas jäähtyminen perustuu osaksi veden haihtumiseen. [16.] Veden haihtuminen hidastuu ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa [17]. Ilman suhteellinen kosteus kertoo, kuinka monta prosenttia ilmassa on vesihöyryä valitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta [18]. Ilman suhteellisen kosteuden saavuttaessa 100 % myös haihtuminen loppuu [17].

Vuodenaikojen vaihtelut vaikuttavat oleellisesti jäähdytysjärjestelmän tehoon. Talven kylmillä ilmoilla veden jäähtyminen on suurempaa kuin kesäisin. Levän kasvu vaikuttaa tehon laskuun. Levä kerääntyy lämmönvaihtimien pinnalle ja näin estää tehokasta lämmön siirtymistä. [16.] Märkääjäähdyttimen teho oli ennen levän poistoa noin 268 kW ja poiston jälkeen 403 kW. Levän poiston ansiosta jäähdytysteho nousi noin 34 %. Jäähdytystehon laskeminen on esitetty liitteessä 4.

6.3 Lisäjäähditys

VG-järjestelmään lisätään ylimääräinen märkäjäähdystorni. Uuden märkäjäähdystornin PI-kaavio on esitetty kuvassa 3. Tämä auttaa veden jäähtymisessä kesäisin, jolloin jäähdysteho ei ole ollut riittävä. [16.]



Kuva 3. VG-järjestelmän lisäjäähditys. Raakavesialtaan puolelta pumpataan vettä uppopumpun avulla märkäjäähdyttimen yläosaan. Vesi virtaa painovoimaisesti jäähdystornin yläosasta kohti pohja-allasta. Jäähdytynyt vesi laskee pohja-allasta raakavesialtaan kuumalle puolelle. Kuvan oikealla puolella olevat merkinnät ovat korkeuseroja. Nollatasona pidetään meren pintaa.

Lisäjäähditys tulee olemaan toiminnassa vain kesäisin. Jäähdystornille vesi pumpataan raakavesialtaan kuumalta puolelta ja palautetaan samalle puolelle. Palautus tapahtuu kuumalle puolelle, jotta vesi sieltä ei pääsisi loppumaan. Kuumalta puolelta pumppaaminen on mahdollista, koska öljyä jäähdyttävät lämmönvaihtimet on nykyään hitsattu. Hitsatuissa lämmönvaihtimissa ei oleteta esiintyvän vuotoja, koska ne ovat tiiviimpiä kuin muilla tavoilla valmistetut vaihtimet. [16.]

6.4 Puhdistus

VG-järjestelmän teho laskee, kun se likaantuu erilaisista kiintoaineista ja orgaanisesta kasvustosta. Putkiston puhdistus tehdään kerran vuodessa hypokloriitin ja peretikkahapon avulla. Puhdistus tapahtuu kahdessa vaiheessa. [15, s.12.]

Ensimmäisessä vaiheessa VG-järjestelmään syötetään 10 % natriumhypokloriittia (NaClO), joka pumpataan märkääjähdystorneille. [15, s.12.] Hypokloriitti ja kloori muodostavat hypokloorihappoa (HClO) reagoiessaan vedessä. Hypokloorihappo hajoo helposti hypokloriitiksi ja vetyioneiksi, joka taas pelkistyy hydroksidi- ja kloridiioneiksi. [38.] Hypokloorihappo tappaa leväsoluja hyökkäämällä sen soluseinän lipideihin ja tuhoamalla sen entsyymejä ja solun sisällä olevia rakenteita. Tämä johtaa leväsolun hapettumiseen. [39.]

Toisessa vaiheessa huuhdellaan natriumhypokloriitti pois, kunnes pH on vähintään 6,5. Tämän jälkeen raakavesialtaaseen syötetään peretikkahappoa (C₂H₄O₃). Peretikkahapon tehokkuus perustuu sen kykyyn tunkeutua solukalvon lävitse ja tuhota entsyymijärjestelmä hapettamalla. [38.] Pesun vaikutuksesta irronneet rauta ja orgaaninen aines kerääntyvät raakavesialtaaseen. Lopuksi raakavesiallas tyhjenetään ja huuhdellaan. [15, s.11.]

7 Levät

Levät ovat alkeellisia aitotumallisia eliöitä, jotka tuottavat yhteyttäessään happea. Ne voivat olla joko yksi- tai monisoluisia. Levät eivät muodosta tieteellisen luokittelun kannalta kehityshistoriallisesti yhtenäistä ryhmää, vaan luokittelu viittaakin lähinnä tiettyihin elintapoihin ja ulkoisiin piirteisiin. Tutkimusten mukaan levät ovat kehittyneet erilaisista alkueliöistä, jotka ovat ottaneet soluihinsa endosymbionteiksi syanobakteereja tai muita yhteyttäviä yksisoluisia eliöitä. [20.] Levien luokittelu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Leväryhmät [21, s.11].

Nielulevät	Yksisoluisia planktonleviä joilla on siima. Ne viihtyvät hyvin ruskeissa, humuspitoisissa vesissä.
Sinilevät	Eivät varsinaisesti ole leviä, vaan ne ovat mikroskooppisen pieniä sinibakteereita eli syanobakteereita. Sinilevät pystyvät yhteyttämään kasvien ja levien tavoin ja esiintyy yleensä lukuisista leväsoluista koostuneina yhdyskuntina tai rihmamaisina solujonoina, jotka ovat voineet muodostua eri muotoisiksi.
Panssarisiimalevät	Esiintyy yleensä suolaisessa vedessä, jossa niiden laji- a muotorigkaus on parhaimmillaan. Panssarisiimalevät voivat muodostaa suolaisen veden pinnalle laajojakin esiintymiä.
Tarttumalevät	Yksisoluisia, pieniä, siimallisia leviä. Niillä on erityinen siima, jolla ne voivat tarttua pintaan. Pääosin tarttumaleviä esiintyy merissä, mutta joitain lajeja esiintyy myös makeissa vesissä.
Kultalevät	Esiintyy varsinaisesti vain makeissa vesissä. Ne viihtyvät ravinneköyhissä, happamissa ja kylmissä vesissä. Suuria määriä kultalevää sisältävä vesi voi haista kalalle.
Piilevät	Ovat piikuorisia pieniä leviä. Näitä eviä tavataan monen tyyppisissä vesissä ja niitä voi esiintyä sekä keijuvina että kiinnittyneinä pintaan. Piilevää esiintyy runsaimmin syksyllä ja keväällä.
Limalevät	Ovat siimallisia, yksisoluisia leviä. Niitä esiintyy erityisesti makeissa ja runsasravinteisissa järvissä
Viherlevät	Esiintyy sekä yksisoluisina että monisoluisina muotoina. Nämä levät ovat yleisiä rannikoilla ja rehevissä järvissä. Kehittyneimmät viherlevät muistuttavat ulkomuodoltaan kasveja.
Ruskolevät	Tavataan pääasiassa meressä ja ne voivat olla jopa usean metrin mittaisia. Suuret ruskolevät voivat muodostaa valtameren pohjaan levämetsiköitä. Rihmamaista, hennompaa ruskolevää kasvaa rannikoilla kiinteillä pinnoilla.
Punalevät	Ovat suurleviä, joita esiintyy kiinnittyneinä kallion pinnoille rannikoilla ja järvissä

Eri leväryhmien voidaan ajatella kuuluvan itsenäisiin pieniin eliökuntiin, joita kutsutaan yhteisnimityksellä protistit. Viher- ja sinilevät eivät kuitenkaan kuulu tähän eliökuntaan. Viherlevät luetaan samaan eliökuntaan kasvien kanssa ja sinilevät bakteerien kanssa. [20.] Sinilevää kutsutaankin yleisesti syanobakteeriksi. Useimmat levät ovat vesiorganismeja, mutta ne elävät myös kallioissa, puiden rungoissa, jäässä ja maaperässä. Useimmat meressä elävistä levistä ovat planktonisia. Planktoniset levät ovat kelluvia yksisoluisia leviä. Levät voivat elää myös alustaan kiinnittyneinä. Nämä makrolevät muistuttavat ulkomuodoltaan varsinaisia kasveja, mutta niillä ei ole varsinaisia juuria, lehtiä tai vartta. Levät eivät myöskään kuki kasvien tapaan. Tärkeimpiä ravinteita levän kasvuun ovat typpi ja fosfori. [21.]

7.1 Leväsolun rakenne

Suurin osa levistä on yksisoluisia, ja niiden luokittelu perustuu pitkälti solun kemiassa oleviin tuntomerkkeihin ja hienorakenteeseen. Yhteyttämisspigmentit, solunarastoaineet, plastidit, uintisiimat sekä solunjakautumisen ja mitoosin yksityiskohdat ovat hyviä tuntomerkkejä levien luokitteluun. Aitotumallisilta leviltä löytyy useimmille kasveille, sienille ja eläimille ominaiset solurakenteet ja toiminnot. Levien rakenteessa ja toiminnassa voi esiintyä myös piirteitä, joita ei esiinny pitkälle kehittyneissä aitotumallisissa soluissa. [19.]

Yksisoluisilla levillä on usein soluseinässään kuitenkin siimoja, joiden avulla se pystyy uimaan vedessä. Joillakin lajeilla soluseinä ei ole jäykkä, jolloin ne pystyvät liikkumaan kuten amebat. [19.] Levät ovat rakenteeltaan joko rihmamaisia, sekovartisia tai yksisoluisia [20]. Levien soluseinä muodostuu verkostosta, joka on rakentunut selluloosa- ja sähäikeistä. Tähän verkostoon on liittynyt polysakkarideja kuten pektiiniä, mannaania, ksylaania, algiinihappoa, kitiiniä tai kalsiumkarbonaattia. Piilevän soluseinän koostumukseltaan pektiiniä, ja siihen on liittynyt runsaasti silikaattia. Silmälevillä ei muista leväryhmistä poiketen ole soluseinää. Soluseinät sisältävät noin 3–5 nm suuruisia huokoisia, joiden kautta vesi, kaasut, epäorgaaniset ionit ja metaboliaan ja kasvuun tarvittavat ravinteet pääsevät soluun. [36.]

7.2 Levien kasvuvaatimukset

Leväsolu tarvitsee elääkseen valoa, vettä, hiilidioksidia ja ravinteita. Kasvuun vaikuttavia tärkeitä muuttujia ovat lämpötila, pH, vuorokauden pituus, sekoitus ja hapen määrä. [23.] Monet levät kasvavat myös pimeässä heterotrofisesti, jolloin ne pystyvät kasvaamaan sidotuilla hiilyhdisteillä eikä vain hiilidioksidilla [22]. Levien kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa valon laatu ja määrä, veden suola- ja ravinnepitoisuus, veden virtaus, altaan avoimuus, pohjan laatu, kemialliset yhdisteet ja leviä syövät eläimet. Makrolevien ja korkeamman asteen levien kasvuvaatimukset eivät poikkea toisistaan. [24.] Levälle optimaalisia olosuhteita ei voida yleistää, sillä levälajeja on noin 100 000 ja kasvuvaatimukset vaihtelevat suuresti. [23.]

7.3 Levät ja ravinteet

Levien kasvun edellytys on ravinteiden saanti oikeassa suhteessa. Vain osa vedessä olevista ravinteista on levälle käyttökelpoisessa muodossa. Levä pystyy käyttämään pääosin vain epäorgaanisessa muodossa olevia ravinteita. Näistäkin vain osa on leville käyttökelpoisessa muodossa. Jotkin levälajit pystyvät käyttämään myös orgaanisessa muodossa olevia ravinteita, mutta tämä on melko harvinaista. Levien tärkeimmät ravinteet ovat fosfori ja typpi. [25.] Muita levälle tärkeitä ravinteita ovat rauta ja pii [26].

Levien joukossa esiintyy sekä fotolitoautotrofeja että kemo-organoheterotrofeja. Useimmat aitotumalliset levät ja syanobakteerit ovat fotolitoautotrofeja, jotka sitovat auringon valoenergiaa orgaanisiin yhdisteisiin. Tämä tarkoittaa sitä, että ne pystyvät itsenäisesti hyödyntämään auringon valoenergiaa ja niiden pelkistävänä yhdisteenä toimii epäorgaaninen yhdiste. Tämä ryhmä saa tarvitsemansa pelkistysvoiman vedestä ja hiilen hiilidioksidista. Kemo-organoheterotrofit saavat hiilen ja pelkistävän yhdisteen orgaanisesta yhdisteestä. Ne ovat myös riippuvaisia autotrofien sitomasta energiasta. Levät pystyvät muuttamaan ravinnon ottoaan vallitsevien olosuhteiden mukaan. Levät voivat olla myös auktotrofeja. Tällöin ne pystyvät yhteyttämään, mutta ne eivät pysty valmistamaan kaikkia kasvuun tarvitsemiaan ravinteita itse, kuten B-ryhmän vitamiineja. [19.]

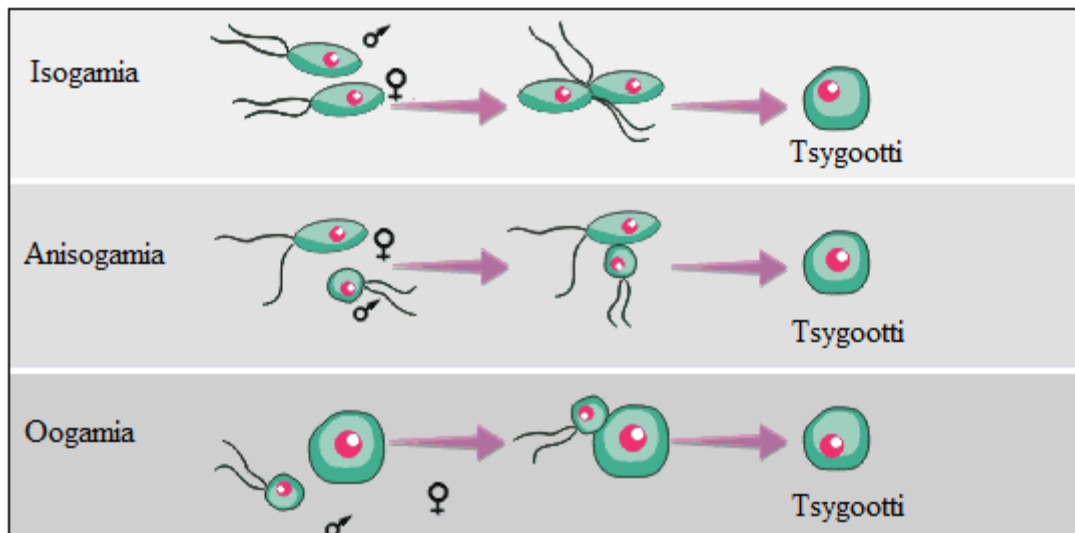
7.4 Levien lisääntyminen

Osa levistä lisääntyy suvullisesti ja osa suvuttomasti. Esitumallinen sinilevä ei lisäännä suvullisesti. Aitotumallisten levien ryhmissä on sekä suvullisesti että suvuttomasti lisääntyviä lajeja. Esimerkiksi silmälevän ei ole havaittu lisääntyvän suvullisesti. Yksisoluiset levät lisääntyvät useimmin suvuttomasti. Suvuttomassa lisääntymisessä emosolu jakaantuu kahtia mitoosin jälkeen. Tämä saa aikaan kahden identtisen tytär-solun muodostumisen. [19.]

Toisiinsa takertuvilla, uintisiimattomilla levillä solujen jakaantuminen johtaa väistämättä myös leväyhdykskunnan kasvuun. Monet sekovarrelliset ja rihmastolliset levät lisääntyvät suvuttomasti kasvullisen lisääntymisen kautta. Tässä tapahtumassa emäsolusta irtoaa kappale, josta kehittyy uusi yksilö. Toisilla levillä kasvulliset solut voivat muuttua suvuttomia itiöitä tuottaviksi itiöpesäkkeiksi. Itiöistä voi syntyä joko uintisiimattomia autosporeja tai uintisiimallisia parveiluitiöitä itiöitä. Olosuhteiden ollessa epäsuotuisat voi levä alkaa mahdollisesti myös tuottaa paksuseinäisiä lepoitiöitä. Joidenkin levien sukusolut ja uintisiimalliset itiöt ovat rakenteeltaan samanlaisia, mutta ympäristöolot muuttavat niiden toimintaa halutuksi. Useimmiten nämä ovat kuitenkin rakenteeltaan ja toiminnaltaan erilaisia. [19.]

Sukusolut voivat myös kehittyä uusiksi yksilöiksi ilman hedelmöitystä. Tällöin puhutaan partenogeneettisestä eli neitseellisestä lisääntymisestä. Yksisoluisilla levillä koko eliö voi toimia sukusoluna. Monisoluisten lajien sukusolut muodostuvat moni- tai yksisoluisissa gametangioissa. [19.]

Levälajit lisääntyvät kullekin lajityypille ominaisella tavalla. Levän suvullinen lisääntyminen voi olla isogamista, anisogamista tai oogamista. Isogamisessa lisääntymisessä sukusolut ovat rakenteeltaan ja kooltaan samanlaisia, kun taas anisogamisessa lisääntymisessä ne ovat erilaisia. Oogaminen lisääntyminen on anisogamian muoto, jossa sukusolut eroavat toisistaan muodoltaan, kooltaan ja toiminnaltaan. Suvullinen lisääntyminen on esitetty kuvassa 4.

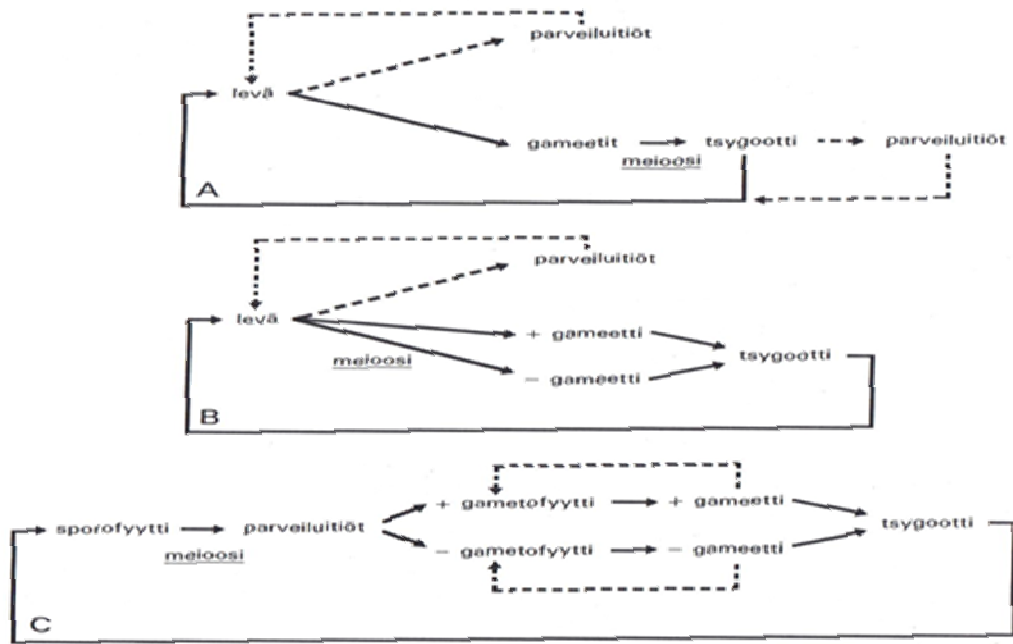


Kuva 4. Levälajit lisääntyvät kullekin lajityypille ominaisella tavalla. Levän suvullinen lisääntyminen voi olla isogamista, anisogamista tai oogamista. Isogamisessa lisääntymisessä sukusolut ovat rakenteeltaan ja kooltaan samanlaisia, kun taas anisogamisessa lisääntymisessä ne ovat erilaisia. Oogaminen lisääntyminen on anisogamian muoto, jossa sukusolut eroavat toisistaan muodoltaan, kooltaan ja toiminnaltaan. [19.]

Anisogamisissa ja oogamisissa levissä sukusolut syntyvä joko yhdessä tai kahdessa eri levässä. Tällöin levä on joko yksi- tai kaksikotinen, eli se on joko koiras tai naaras. Yksikotinen oogami ja anisogami ja isogamiset levät voivat olla hetero- tai homotallisia. Homotallisen levän tuottamat sukusolut voivat yhtyä keskenään, kun heterotalliset levät tarvitsevat kahden eri pariutumistyyppin sukusoluja. [19.]

7.5 Levien elinkierto

Levien elinkierrolla tarkoitetaan sitä kiertoa, joka sisältää eliön kehittymisen yksisoluisesta nuoruusvaiheesta lisääntymisvaiheiden kautta luonnolliseen kuolemaan. Levien elinkierrot vaihtelevat paljon toisistaan. Levien joukossa on diplontteja, haplontteja ja diplohaplontteja lajeja. Useat viherlevät ovat elinkierroltaan haplontteja. [19.] Levien elinkiertotyypit on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Levien elinkiertotyyppjä. A. Haplontissa elinkierrossa sukusolut ovat diploideja tai polyploideja. Hedelmöitynyt munasolu muodostuu ilman koirassolun hedelmöitystä jakaantumisella. Tsygootti on identtinen emämunan kanssa. B Diplontissa elinkierrossa levä muodostaa haploideja muna- ja siittiösoluja. Hedelmöityneestä munasolusta kasvaa diploidi levä. C. Diplohaplontissa elinkierrossa levä on diploidi sporofyytti, joka tuottaa yksisoluisia uintisiimallisia yhtymäitiöitä. Yhtymäitiöstä kasvaa pieniä haploideja naaras- ja koiras gametofyyttejä. Koirasgametofyyteistä vapautuvat siittiösolut hedelmöittävät naarasgametofyyteissä olevat munasolut, jolloin muodostuu tsygootti. Tsygootista muodostuu uusi diploidi leväyksilö. [19, s.62.]

Haplontissa elinkierrossa, sukusolujen yhtyessä, syntyvä hedelmöitynyt munasolu eli tsygootti on ainoa kromosomistoltaan haploidi solu elinkierron aikana. Diplonteilla levillä vain sukusolut ovat haploideja. Diplohaplonteilla levillä elinkiertoon kuuluu ilmiö, jossa jokainen sukupolvi koostuu kahdesta itsenäisestä yksilöstä, joista toinen lisääntyy suvullisesti ja toinen suvuttomasti. [19.]

8 Yhteyttäminen

Yhteyttämisellä eli fotosynteesillä tarkoitetaan auringon säteilyenergian muuttamista kemialliseksi energiaksi. Levät ovat riippuvaisia yhteyttämisestä, jotta ne saavat energiaa ja rakennusaineita. Levät tarvitsevat yhteyttämisestä raaka-aineiksi vettä ja hiilidioksidia. [27.] Levän yhteyttämisessä tapahtuva reaktio näkyy kaavassa 2.



Yhteyttäminen tapahtuu viherhiukkasissa, jotka sisältävät yhteyttämisväriaineita. Levi- en sisältämiä yhteyttämisväriaineita ovat a-klorofylli, c-klorofylli, b-klorofylli, fokosyaniini ja fokoerytriini. Kaikki leväryhmät sisältävät a-klorofylliä, ja c-klorofylliä on kulta-, pii-, panssari- ja nielulevissä. Silmä- ja viherlevissä on b-klorofylliä, ja sinilevissä on fokosyaniiniä ja fokoerytriiniä [28.] Yhteyttämisreaktio voidaan jakaa valo- ja pimeäreaktioon [27].

8.1 Valoreaktiot

Valoreaktiot tapahtuvat viherhiukkasten yhteyttämiskalvostoissa, ja niihin tarvitaan aina valoa. Reaktiossa klorofylli eli lehtivihreä virittyy. Tämän johdosta syntynyt elektronivaje korvataan elektroneilla, jotka saadaan veden hajotuksesta. Veden hajotuksessa syntyy happea ja vetyioneja. Happi poistuu levän ilmarakojen kautta, jos levä ei käytä sitä hengityksessään. Vetyionit taas liittyvät yhteen vedynsiirtäjän kanssa, jolloin vedynsiirtäjä pelkistyy. Vedynsiirtäjäentsyymit luovuttavat kuljettamansa vedyn pimeäreaktiossa. Reaktio saa aikaan energian sitoutumisen runsasenergiisiin yhdisteisiin. Runsasenergi- sistä yhdisteistä tärkein on ATP (adenosiinitrifosfaatti). ATP:hen sitoutunutta energiaa tarvitaan pimeäreaktioissa. [29.]

8.2 Pimeäreaktio

Pimeäreaktiot tapahtuvat viherhiukkasen stroomassa. Pimeäreaktiot tapahtuvat myös valossa, mutta ne eivät tarvitse valoa toimiakseen. Reaktion lähtöaineina toimivat ilmarakojen kautta saatava hiilidioksidi ja valoreaktion avulla tuotettu vety. Vety vapautuu reaktioon vedynkuljettajan hapettuessa. ATP-molekyyleistä saadaan reaktioon tarvittava energia, kun niistä irrotetaan fosfaattiryhmä. [29.]

Monivaiheisen reaktion lopputuotteena saadaan glukoosia, johon sitoutuu pääosa valo-reaktioissa sidotusta energiasta. Glukoosin muodostumisen reaktiosarjaa kutsutaan nimellä Calvinin kierto. Glukoosi toimii yleensä esimerkiksi valkuaisaineitten, rasvojen, selluloosan tai ligniinin lähtöaineena. Sokerin lyhytaikaisessa varastoinnissa se muutetaan tärkkelykseksi. [29.]

8.3 Yhteyttämiseen vaikuttavat tekijät

Yhteyttämiseen vaikuttavia tekijöitä ovat hiilidioksidin määrä, veden ja ravinteiden saatavuus, valon laatu, valon määrä, lämpötila sekä otsonikerros. Valo saa yhteyttämisen alkamaan yön jälkeen. Valoa ei kuitenkaan tarvitse olla kuin muutama prosentti päivänvalosta. Valo koostuu eri aallonpituisista säteilyistä, jotka voidaan jakaa väreihin. Punainen (700 nm) ja sininen (460 nm) säteily ovat yhteyttämisen kannalta tärkeimpiä. Vihreä valo heijastuu lehdistä pois, koska se on vähiten käyttökelpoista. Tämän vuoksi vihreät kasvit nähdään vihreänä. Sininen valo saa aikaan pituuskasvun estymisen, kun taas punainen valo edistää sitä. [27.]

Useimmat kasvit tarvitsevat lämpöä yhteyttämiseen. Yleensä kasvukausi alkaa, kun vuorokauden lämpötila on noin 5 °C. Tässä lämpötilassa kasvit yhteyttävät nopeammin orgaanista ainesta kuin kuluu niiden soluhengityksessä. Lämpötilan kasvaessa yhteyttäminen ja soluhengitys nopeutuvat. Soluhengitys kasvaa yhteyttämistä nopeammin, jolloin kasvu jää pienemmäksi. Useimmilla kasveilla ihannelämpötila on noin 20–25 °C. [27.]

Hiilidioksidi on tärkeä elämää ylläpitävä kaasu, jota esiintyy luonnossa yhtenä ilman aineosana sekä veteen liuenneena. Hiilidioksidi on hajuton, väritön ja ilmaa raskaampi kaasu. [32.] Hiilidioksidin määrä on yhteyttämässä yleensä rajoittava tekijä. Ilmassa on hiilidioksidia noin 0,04 %. Kasvien kannalta paras hiilidioksidipitoisuus olisi kuitenkin moninkertainen normaaliin verrattuna. Kuivalla ja tuulisella ilmalla kasvit sulkevat ilmarakonsa, jotta haihtuminen olisi mahdollisimman vähäistä. Tällöin hiilidioksidia ei pääse lehtiin ja yhteyttäminen vähenee tai saattaa jopa lakata. [27.]

Otsoni (O₃) rakenteeltaan hapen kolmeatominen muoto, ja sitä esiintyy ilmakehässä. Otsonikerroksen tehtävänä on suojata maapalloa lyhytaaltoiselta ultraviolettisäteilyltä. Otsonikerroksen paksuus vaihtelee vuodenajan, paikan ja vuorokaudenajan mukaan. Otsonin määrä on pienimmillään talvella ja yöllä. Suurimmillaan se on iltapäivisin sekä

kesäisin. Tämä johtuu siitä, että reaktiot, jotka muodostavat otsonia, tarvitsevat toimiakseen auringon valoa. [33.] Otsonikerros vaikuttaa fotosynteesin pimeäreaktioihin. Fotosynteesiteho laskee selvästi, jos yhdessä kuutiometrissä ilmaa on 100 µg otsonia. [27.]

9 Levän poisto

Levää voidaan poistaa erityyppisillä menetelmillä. Menetelmät voivat olla joko kemiallisia, fysikaalisia tai muihin luokiteltavia. Kemiallisessa menetelmässä voidaan käyttää joko desinfiointia tai koagulointia ja flokkausta. Kemiallisessa desinfioinnissa käytettäviä reagensseja ovat muun muassa kloori, kloorioksidi, otsoni ja hypokloriitti. Otsoni on tehokkain ja pysyvin kemiallisista desinfiointiaineista. Fysikaalisia poistomenetelmiä ovat UV-säteilyllä desinfiointi, terminen käsittely, suodatus, mekaaninen puhdistus ja valon esto. Muihin levänpoistomenetelmiin voidaan luokitella hopean ja bioksidien käyttö. [9.]

9.1 Kemialliset menetelmät

Kemialliset menetelmät perustuvat desinfiointiaineiden käyttöön. Desinfioinnin tehokkuuteen vaikuttavat muun muassa käytettävä desinfiointiaine, vaikutusaika, liuoksen vahvuus, käyttölämpötila, pH, veden kovuus ja pinnan materiaali. Desinfiointiaineita tulisi vaihdella, koska muuten mikrobit tulevat vastustuskykyisiksi desinfiointiaineen vaikuttavalle osalle. [30.]

9.1.1 Desinfiointi

Kloori (Cl_2) on erittäin reaktiivinen kaasu, joka alkaa heti annostelun jälkeen reagoida mm. sulfidin, sulfiitin ja raudan kanssa. Tämän vuoksi vain osa kloorista reagoi veden kanssa muodostaen hypokloriittia. Viipymäajan täytyy olla vähimmillään 30 minuuttia, kun jäännösklooripitoisuus on noin 1 mg/l. Sivutuotteena muodostuu kloramiineja ja THM-yhdisteitä (trihalometaaneja). Kloori on erittäin myrkyllinen kaasu. [9.]

Hypokloriittia saadaan nestemäisenä (NaOCl) ja kiinteänä (Ca(OCl)_2). Tämä on desinfiointiaineista tehokkain etenkin bakteereja, sieniä ja viruksia vastaan. Reagoidessaan hypokloriitti hajoaa hapeksi ja natriumkloridiksi. Reagenssi ei kestä pitkiä säilytysaikoja, sillä sadan päivän aikana tehokkuudesta on enää jäljellä noin puolet. Optimaalinen säilytysaika on alle yksi kuukausi ja pH:n tulee olla välillä 11–11,2, jotta hypokloriitin hajoaminen ei ole nopeata. Raudan ja kuparin pitoisuudet pitäisi myös olla pienet, koska ne katalysoivat hypokloriitin hajoamista (n. 0,5 mg/l). [9.]

Kloramiinit sisältävät klooria ja ammoniakkia. Hyvänä puolena on tässä se, että sivutuotteena ei ole THM-yhdisteitä (trihalometaaninyhdiste). Reagointiaika on hitaampaa kuin kloorilla, mutta aktiivisuus kestää kauemmin. Toiminta ei ole yhtä tehokasta kuin kloorin. Tätä käytettäessä ammoniakki ja kloori (NaOCl) syötetään samaan vesilinjaan. [9.]

9.1.2 Koagulointi eli flokkaus

Koaguloinnilla voidaan poistaa vedestä levää. Koaguloinnissa pyritään levän pintavaurauksen neutraloimiseen, jolloin repulsiivoimat pienenevät. Tämä saa aikaan levien kerääntymisen isommiksi ryppäiksi, jotka on helppo poistaa. [40.]

Peroksidit, kuten kloori, kloorioksidit, otsoni tai permanganaatti, saavat aikaan levän koaguloitumisen. Peroksidit voivat toimia inaktiivomalla soluseinän, aiheuttaa epävakautta leväsolussa tai vapauttaa solun ulkoisen orgaanisen aineen. Kloori tunkeutuu ensiksi leväsolun soluseinän läpi. Tämän jälkeen se tuhoaa solun sytoplasmassa olevat entsyymit. [40.]

9.2 Fysikaaliset menetelmät

Fysikaalisia desinfiointimenetelmiä ovat muun muassa höyryllä, ilmalla, kuumalla vedellä, öljyllä, UV-valolla tai ultraäänellä desinfiointi [9]. Tehokkain fysikaalinen desinfiointikeino on kuumen ilman käyttö yhdistettynä tarpeeksi pitkään vaikutusaikaan. Veden lämpötilan tulisi olla vähintään 80 °C, jolloin vaikutusaika olisi noin 10 min. [30 ; 9.] Kuumalla vedellä desinfiointi ei ole mahdollista kuitenkaan Vantaan Energian märkääjähdytysjärjestelmässä, koska putken muovin mekaaninen kestävyys ei riitä [16].

9.2.1 Lämpökäsittely

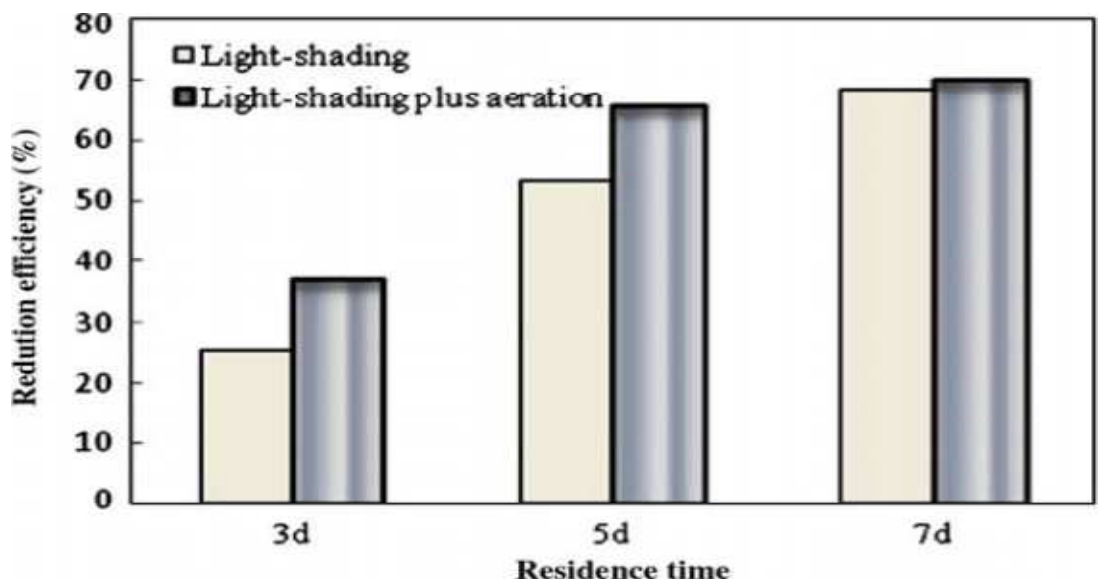
Lämpökäsittelyssä veden lämpötilaa nostetaan, jolloin levä kuolee. Lämpökäsittely voi olla joko lyhyt- tai pitkäkestoista. Lämpökäsittelyn tehokkuuteen vaikuttavat altistus aika ja veden lämpötila. [38.] Vantaan Energian VG-järjestelmän puhdistuksessa on koetettu höyrypesua, joka on todettu hyödyttömäksi [16].

9.2.2 Desinfiointi

UV-desinfiointi on tehokas ja nopea tapa, mutta tarvitsee jälkidesinfioinnin. Yliannostuksen vaaraa ei ole, eikä suolapitoisuus nouse. UV-valon tehokkuuteen vaikuttavat veden sameus ja kiintoaineet. Desinfiointiteho perustuu UV-valon viipymäaikaan ja intensiteettiin. Nanosuodatus pidättää parhaiten kahden ja kolmenarvoisia ioneja. Tätä käytetään poistamaan väriä, orgaanista ainetta, bakteereja ja veden kovuutta. Nanosuodatus parantaa myös veden mikrobiologista laatua. [9.]

9.2.3 Valon esto ja ilmastus

Levän valonmäärän estämisellä on todettu olevan merkittävä vaikutus levän kasvuun. Valon esto yhdistettynä ilmastukseen vähensi levän määrää noin 65 %. [40.] Valon eston ja ilmastuksen vaikutus levän poistoon on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Levän poiston tehokkuus käytetyn ajan funktiona. Kuvassa on vertailtu olosuhteita, joissa on joko valon esto tai valon esto ja ilmastus. Käytetty aika suosi selkeästi levän vähentymistä. Ilmastuksen lisääminen tehosti levämäärän vähentymistä. Viidennen päivän jälkeen levämäärä oli vähentynyt noin 66 %, kun käytössä oli valon esto ja ilmastus.

Ilmastuslaitteen vaikutuksesta veteen liuenneen hapen määrä lisääntyy. Ilmastuslaitteella syötetään veteen ilmaa, jonka kuplista liukenee veteen happea. Veden runsashappisuudella on todettu olevan positiivisia vaikutuksia levän poistossa. Levän kuoleminen ja hajoaminen saavat aikaan hiilidioksidipitoisuuden nousun vedessä. Korkea hiilidioksidin määrä edesauttaa uusien leväyksilöiden kasvua. Runsashappisissa vesis-

sä hajoaminen on nopeampaa ja ilmastuksen avulla hiilidioksidia poistuu vedestä. [44.] Orgaanisen aineen hidas hajoaminen vähähappisissa olosuhteissa johtaa sen pitoisuuden kasvuun vedessä. Tämä saa aikaan veden happipitoisuuden laskun entisestään ja samalla typpi ja fosfaattipitoisuudet nousevat. Typpi ja fosfaatti toimivat levän ravinteina ja edesauttavat levän kasvua. [46.] Ilmastuslaite saa aikaan veden jatkuva liikkumisen, mikä myös vaikeuttaa levän kasvua [44]. Aerobiset bakteerit eivät pysty toimimaan tehokkaasti vähähappisessa tai hapettomassa vedessä. Lisääntynyt happipitoisuus vedessä edesauttaa aerobisten bakteerien kasvua, joista jotkin käyttävät ravinnokseen samoja ravinteita levien kanssa. Ravinteiden väheneminen vähentää levän kasvua. [45.]

Ilmastuslaitteet voidaan jakaa karkeasti pinta- ja pohjailmastimiin. Ilmastuslaitteen valintaan vaikuttavat altaan koko ja syvyys. Yleensä pienissä altaissa käytetään pintailmastimia, kuten suihkulähteitä tai vesiputouksia. [46.] Vesissä, joissa leväkonsentraatio on suuri, voidaan käyttää levän esipoistoa ennen ilmastusta ja valon estoa. Ilmastuksen ja valon eston avulla levä voidaan saada vähentymään jopa 80 %. Ilmastusta ei kuitenkaan tulisi käyttää ilman valon estoa, koska joidenkin tutkimusten mukaan ilmastus yksinään saattaa lisätä leväkasvuston määrää. [40.]

Kokeellinen osuus

Kokeellisen osuuden tarkoituksena oli todentaa VG-järjestelmässä olevien levien mahdolliset kasvupaikat. Näytteitä otettiin myös veden käsittelystä, koska puhdistetun veden laatu vaikuttaa jäähdytysjärjestelmässä kiertävän veden laatuun. Näytepisteissä olevan orgaanisen aineen määrä analysoitiin KMnO_4 -titrauksen avulla. Ravinteiden määrittäminen prosessivesistä kuvastaa leväkasvuston mahdollisuutta kasvaa vedessä. Kokeellisessa osuudessa määritettiin myös leväkasvusto mikroskopoinnin avulla. Kokeellinen osuus tehtiin noin kolme kuukautta VG-järjestelmän vuosittaisen pesun jälkeen.

10 Materiaalit ja menetelmät

10.1 Vedessä olevan orgaanisen aineen määrän määrittäminen

Vedessä olevan orgaanisen aineen määrä määritettiin kaliumpermanganaatti (KMnO_4) titrauksen avulla. Titrimetria on analyysimenetelmä, jolla määritetään näytteessä olevan tunnetun aineen pitoisuus. KMnO_4 -kuluman suuruus kuvaa kemiallisesti hapettuvien aineiden määrää. KMnO_4 -titrauksessa hyödynnetään hapettumis-pelkistymisreaktioita. KMnO_4 luovuttaa herkästi happea hapettuvien aineiden läsnä ollessa. Veden orgaaniset ja muut hapettuvat aineet hapetetaan ylimäärällä KMnO_4 -liuosta happamassa liuoksessa keittäen, jolloin seitsenarvoinen mangaani pelkistyy kahden arvoiseksi. Mangaanin pelkistyminen on esitetty kaavassa 3.



KMnO_4 -kulutus määritetään takaisintitrauksessa hapetuksen jälkeen.

10.1.1 Välineet ja reagenssit

- 2 mM KMnO_4 -liuos
Kantaliuos (0,1N) valmistetaan ampullista
- 5 mM Oksaalihappo-liuos ($\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2$)
1N kantaliuos valmistetaan punnitsemalla 6,303 g kiinteää oksaalihappoa, joka laimennetaan mittapullossa 1000ml:ksi
- Rikkihappoliuos (H_2SO_4)
Valmistetaan väkevästä rikkihaposta laimentamalla ionivaihdettuun veteen 1:1

10.1.2 Työn suoritus

Erlenmeyer-kolviin pipetoitiin 100 ml näytettä, jossa oli keitinkiviä. Kolviin lisättiin 2,5 ml rikkihappoa. Liuos kuumennettiin sähkölevyllä kiehuvaaksi, jolloin siihen pipetoitiin 20 ml KMnO_4 -liuosta. Liuoksen annettiin tämän jälkeen kiehua 10 min. Odotuksen jälkeen liuokseen lisättiin 20 ml oksaalihappoa ja liuos titrattiin KMnO_4 -liuoksella vaalean punaiseen. Liuoksen tehokerroin määritettiin lisäämällä titrattuun liuokseen 20 ml oksaalihappoa ja titraamalla liuos hennon punaiseen.

10.1.3 Tulosten laskeminen

$$3,16 \cdot \left[\left(\frac{a}{b} \right) \cdot (x + 20) - 20 \right] = \text{KMnO}_4\text{-luku [mg/l]} \quad (4)$$

a = tehokertoimen määrityksessä lisätty oksaalihapon määrä [ml]

b = KMnO_4 -kulutus tehokertoimen määrityksessä [ml]

x = näytteiden KMnO_4 -kulutus [ml]

10.2 Levän monimuotoisuuden selvittäminen

Mikroskopoimalla selvitettiin veden sisältämä levälajivalikoima. Yleensä levänäytteitä mikroskopoidaan käänteismikroskoopilla. Mikroskopointia varten objektilasille laitetaan tippa näytettä ja peitetään peitinlasilla. Suurimmat levälajit voidaan havaita jo 20–50-kertaisella suurennuksella.[31]

10.2.1 Välineet ja reagenssit

Valomikroskooppi Nikon Labophot 2.

10.2.2 Työn suoritus

Levänäytteet otettiin jäähdytysvesisäiliöstä, jossa levää kasvoi silmin havaittavasti. Näytteet otettiin hieman ennen vuosittaista puhdistusta, jolloin levää oli säiliössä runsaasti. Levänäytettä kaavittiin säiliön pohjasta, koska pelkän veden mikroskopoinnissa ei näkynyt kasvustoa. Mikroskopoinnissa leväsolut tulivat selkeästi esille vasta 400-kertaisella suurennuksella. Suurin osa mikroskopoinneista tehtiin 1000-kertaisella suurennoksella immersioöljyn kanssa, koska silloin levän solut erottuivat parhaiten.

10.3 Ravinteiden määrittäminen VK-altaan tulovesistä

VK-altaan tulovesistä mitattiin levien ravinteita. Määritettävät ravinteet olivat fosfaatti, rauta, silikaatti, nitraatti, nitriitti ja sulfaatti. Ravinteiden määrittämiseen käytettiin kromatografisia ja spektrofotometrisiä analyysejä. Näytepisteitä olivat käänteisosmoosi, VG-paluujäähdytysvesi, pehmennyssuodin, sekavaihdin, jäähdytystornin jäähdytysvesiallas ja VK-allas.

10.3.1 Ionikromatografinen analyysi

Kromatografia on erotusmenetelmä, joka perustuu tutkittavan aineen komponenttien erilaiseen jakautumiseen liikkuvan faasin ja stationäärifaasin eli paikallaan pysyvän faasin välillä [42]. Ioninvaihtokromatografiassa ionit tarttuvat sähköisillä voimilla stationäärifaasin (ioninvaihtohartsin) pintaan. Ioninvaihtohartsissa on varattuja kohtia, joihin vastakkaismerkkiset ionit voivat kiinnittyä. Tasapainoon vaikuttaa myös ionien liukoisuus eluenttiin. Tämä saa aikaan näytteen jakaantumisen komponentteikseen ja kulkeutumisen detektorille eri aikoina, jonka avulla ne voidaan tunnistaa. Menetelmä soveltuu hyvin epäorgaanisten ionien analysoimiseen. [43.]

10.3.1.1 Välineet ja reagenssit

- Ionikromatografi (Metrohm 761 Compact IC)
Kolonnityyppi: Metrospt C2 250, näytetilavuus 2 ml, eluentin virtaus 0,70 ml/min ja paine 6,1 MPa
- Eluentti (3,2 Na₂CO₃ mM / 1,0 NaHCO₃ mM)

10.3.1.2 Työn suoritus

Näyte käsiteltiin suodattamalla siitä rauta pois, koska se olisi voinut olla haitaksi kolonnille. Tämän jälkeen näyte syötettiin ruiskulla nailonsuodattimen läpi ionikromatografian kolonniin.

10.3.2 Raudan määrittäminen

Ammoniakkisessa liuoksessa kolmen arvoinen rauta muodostaa tioglykolin kanssa punavärisen kompleksin, joka on esitetty kaavassa 5.



Hapattavien aineiden ollessa läsnä tioglykolin happo pelkistää kolmenarvoisen raudan kahdenarvoiseksi. Vaikealiukoiset kolloidiset rautayhdisteet hajoavat noin 80-prosenttisesti, kun näytettä kuumennetaan 30 minuuttia vesihauteessa. Näytteen absorbanssi mitataan aallonpituudella 530 nm. Määrittämissä 0 – 0,1 mg/l.

10.3.2.1 Välineet ja reagenssit

- 80 % tioglykolin happoliuos (pA-laatu)
- 25 % ammoniakkiliuos (pA-laatu)
- Spektrofotometri (Perkin-Elmer Lambda 25 UV/VIS Spectrometer)

10.3.2.2 Työn suoritus

Mittapulloon mitattiin 100 ml näytettä ja lisättiin 2 ml tioglykoli-happoa. Lisäyksen jälkeen pullo suljettiin ja ravisteltiin. Liuosta kuumennettiin 90 °C:ssa 30 min ajan. Näytteet jäädytettiin huoneen lämpöiseksi vesihauteessa. Jäähtyneeseen näytteeseen lisättiin 4 ml ammoniakkia. Lisäyksen jälkeen näytteen absorbanssi mitattiin välittömästi ($\lambda = 530 \text{ nm}$). Nollanäyte tehdään kuten muutkin näytteet, mutta näytteen tilalla käytetään ionivaihdettua vettä. Näytteiden mukana oli vertailunäyte, jonka avulla pystyttiin arvioimaan mittauksen oikeellisuutta. Vertailunäytteen pitoisuus oli 20 $\mu\text{g/l}$.

10.3.3 Fosfaatin määrittäminen

Liukoinen fosfaatti (P_2O_5) muodostaa ammoniummolybdaatin kanssa fosforimolybdeenihapon, joka pelkistetään aminohappoliuoksella siniseksi. Silikaatin häiritsevä vaikutus estetään määrittämisessä tekemällä näyte voimakkaasti happamaksi. Absorbanssi mitataan 30 min odotuksen jälkeen. Näyte mitataan absorbanssilla 810 nm. Analyysin määrittämiss raja 0 – 6 mg/l. [41.]

10.3.3.1 Välineet ja reagenssit

- 10 % ammoniummolybdaattiliuos
- 100 g ammoniummolybdaattia laimennetaan 1000 ml:ksi ionivaihdetulla vedellä
- Rikkihappo 1:1
0,5 l väkevää rikkihappoa sekoitetaan 0,5 l:aan täyssuolapoistettua vettä
- Aminohappoliuos
Mustaan muovipulloon punnitaan 2,5 g 1-amino-2-hydroksyyli-naftaliinia, 5 g natriumsulfiittia, ja 137 g natriumpyrosulfiittia. Lisätään 955 ml ionivaihdettua vettä. Aineet liuotetaan vesihauteessa samalla magneettisauvalla sekoittaen. Liuoksen annetaan jäähtyä ja kiteytyä vähintään 2 vuorokauden ajan. Liuos suodatetaan mustaan muovipulloon ja lisätään 10 ml amyylialkoholia.
- Spektrofotometri (Perkin-Elmer Lambda 25 UV/VIS Spectrometer)

10.3.3.2 Työn suoritus

Mitattiin 100 ml näytettä ja lisättiin 6 ml rikkihappoa, 4 ml ammoniummolybdaattiliuosta ja 4 ml aminohappoliuosta. Näyte sekoitettiin reagenssilisäysten välissä ja niiden jälkeen. Näytteen annettiin reagoida reagenssien kanssa 30 min, jonka jälkeen se mitattiin spektrofotometrillä ($\lambda = 810 \text{ nm}$). Nollanäytteessä käytetään näytteen tilalla ionivaihdettua vettä ja reagenssilisäykset tehdään päinvastaisessa järjestyksessä. Näytteiden mukana oli vertailunäyte, jonka avulla pystyttiin arvioimaan mittauksen oikeellisuutta. Vertailunäytteen pitoisuus oli 1 mg/l.

10.3.4 Silikaatin määrittäminen

Ammoniummolybdaatti reagoi liukoisen silikaatin kanssa muodostaen pH:ssa 1,2 siliikaattimolybdeenihappoa, joka pelkistetään aminohappoliuoksella siniseksi. Ammoniummolybdaatti muodostaa myös fosforin kanssa värillisen kompleksiyhdisteen, mikä häiritsee mittausta. Tämän kompleksiyhdisteen estämiseksi liuokseen lisätään oksaalihappoa. Näyte mitataan aallonpituudella 820 nm. Analyysin määrittäminenalue on 0 – 0,3 mg/l. [41.]

10.3.4.1 Välineet ja reagenssit

- 10 % ammoniummolybdaattiliuos
100 g ammoniummolybdaattia laimennetaan 1000 ml:ksi ionivaihdetulla vedellä
- Aminohappoliuos
Valmistetaan kuten fosfaatissa
- Suolahappo 1:1
Valmistetaan laimentamalla väkevää suolahappoa (37 %) 1:1 ionivaihdetulla vedellä
- Oksaalihappoliuos
Valmistetaan liuottamalla 100 g oksaalihappoa 930 ml:aan ionivaihdettua vettä
- Spektrofotometri (Perkin-Elmer Lambda 25 UV/VIS Spectrometer)

10.3.4.2 Työn suoritus

Työssä oli käytettävä vain muovisia astioita, koska lasiastioista voi liueta silikaattia näytteeseen. 100 ml:aan näytettä lisättiin 4 ml ammoniummolybdaattiliuosta ja 2 ml suolahappoa. Viiden minuutin odotuksen jälkeen lisättiin 3 ml oksaalihappoliuosta. Minuutin odotuksen jälkeen lisättiin 4 ml aminohappoliuosta. 10 min odotuksen jälkeen näytteiden absorbanssit mitattiin spektrofotometrillä ($\lambda = 820 \text{ nm}$). Nollanäytteessä käytetään näytteen tilalla ionivaihdettua vettä ja reagenssilisäykset tehdään päinvastaisessa järjestyksessä. Näytteiden mukana oli vertailunäyte, jonka avulla pystyttiin arvioimaan mittauksen oikeellisuutta. Vertailunäytteen pitoisuus oli $20 \mu\text{g/l}$.

10.4 pH ja johtokyky

pH-mittauksessa mitataan liuoksessa olevien vety- tai hydroksidi-ionien määrää. Mittauslaitteisto sisältää ioniselektiivisen elektrodin ja vertailuelektrodin muodostaman sähköparin. Elektrodit upotetaan nesteeseen ja niiden välinen jännite mitataan pH-mittarilla. Ioniselektiivisen elektrodin potentiaaliin vaikuttaa mitattavan ionin määrä ja vertailuelektrodin potentiaali on vakio.

Sähkönjohtavuuden mittausta käytetään veden puhtauden mittaukseen, koska usein puhtaat vedet ovat huonoja sähkönjohteita. Nesteeseen liuenneet aineet, kuten suolat ja hapot, tekevät veden johtavaksi. Sähkönjohtokykyelektrodi sisältää katodin (negatiivinen elektrodi) ja anodin (positiivinen elektrodi). Kun näiden elektrodien välille kytetään jännite, siirtyvät anionit anodille ja katodit kationille. Elektrodien välille syntyy sitä suurempi ionivirta, mitä enemmän vapaita ioneja nesteessä on. Vapaiden ionien määrä on soraan verrannollinen sähkönjohtavuuteen. Sähkönjohtokyvyn mittausta käytetään voimalaitoksessa prosessivesien puhtauden analysointiin. Tulos saadaan yksikössä $\mu\text{S/cm}$.

10.4.1 Välineet ja reagenssit

- Johtokykymittari (WTW InoLab Level 1)
- pH-mittari (pH-mittaria WTW InoLab Level 1)
pH-mittari kalibroidaan kerran viikossa puskuriliuoksilla, joiden pH:t ovat seitsemän ja kymmenen.

11 Tulokset

Vedessä olevien ravinteiden määrät vaihtelivat hieman näytteenottopäivästä riippuen. Ionikromatografilla tärkeimpiä mitattuja anioneja olivat nitriitit, nitraatit, sulfaatit ja fosfaatit. Työn tulokset on nähtävissä liitteessä 3. Spektrofotometrisellä mittauksella määritettiin vesistä fosfaatti-, silikaatti- ja rautapitoisuudet. Tämän lisäksi näytteistä määritettiin KMnO_4 -kuluma, pH ja johtokyky.

Taulukko 2. Prosessivesien analyysituloksia.

Näyte	Silikaattipitoisuus (mg/l)	Fosfaattipitoisuus (mg/l)	Rautapitoisuus (mg/l)	KMnO_4 -analyysissä saatu orgaanisen aineen pitoisuus (mg/l)	pH	Johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Pehmennys-suodin 1	2,660	-	0,093	3,43	8,1	149,2
VG-paluu	0,203	-	0,006	1,56	6,8	15,9
Käänteisosmoosi	0,076	-	-	1,56	6,7	1,7
Sekavaihdin 1 (Sarja 1)	-	-	-	1,25	6,5	0,9
Jäähdytystorni	0,379	-	0,007	2,33	6,8	7,1
VK-allas	0,383	-	0,005	1,71	6,5	7,0
Vertailunäyte	0,019	0,98	0,021			

Silikaatin määrittämisessä jäähdytystornin, pehmennysuotimen ja VK-altaan näytteistä tehtiin kymmenenkertaiset laimennokset. Tuloksissa on otettu laimennoskertoimet huomioon. Sekavaihtimen näytteen silikaattipitoisuus on alle määrittämissä. Fosfaatin määrittämisessä kaikkien näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittämissä. Raudan määrittämisessä sekavaihtimen ja käänteisosmoosin näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittämissä.

Virheitä tuloksiin ovat voineet aiheuttaa kontaminaatiot sekä näytteiden säilytyksen ja analysoinnin väliset ajat. Näytteiden oikeellisuutta pyrittiin arvioimaan rinnakkaisnäytteiden ja vertailunäytteiden avulla.

12 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Levän monimuotoisuus oli hyvä selvittää mikroskopoinnilla oikeanlaisten poistokeinojen löytämiseksi. Mikroskopoinnissa huomattiin, että leväsoluja ei näkynyt näytteissä, joissa oli pelkkää nestettä. Tästä voisi päätellä, että jäähdytysaltaassa on levälajeja, joille on tyypillistä alustaan kiinnittyminen. Mikroskopoinnissa huomattiin myös, että leväpopulaatiossa oli sekä yksisoluisia että monisoluisiakin leviä. Sekapopulaation vuoksi levän poisto on vaikeampaa, koska ei voida määrittää spesifistä menetelmää kaikille leville. Levän joukossa havaittiin myös muita pieniä eliöitä. Levän mikroskopointikuvat ovat liitteessä 2.

14.9.2012 ionikromatografilla analysoitujen näytteiden ravinnepitoisuudet olivat samasta paikasta otettujen rinnakkaisten kanssa selkeästi matalampia. Tämä voi johtua siitä, että näytteen oton ja analysoinnin välissä oli kolmen päivän odotusaika. Eniten ravinteita sisälsi pehmenyysuotimesta otettu näyte. Pehmenyysuotimessa oli huomattavasti enemmän sulfaattia ja kloridia kuin muissa näytteissä. Verrattaessa pehmenyysuotimen kromatogrammia talousveden kromatogrammiin huomattiin, että ne ovat melkein identtiset. Tämä on normaalia, koska pehmenyysuotimelle tulevasta talousvedestä on puhdistettu tässä prosessin vaiheessa vasta kovuutta aiheuttavat suolat (Mg^+ ja Ca^+). VK-altaan, käänteisosmoosin ja märkäähdystornin jäähdytysvesialtaan kromatogrammeissa esiintyi kloridin ja fluoridin välissä piikki, jota laite ei osannut tunnistaa. Yleensä tässä kohdassa oleva piikki johtuu asetaatista tai formiaatista. Asetaatin tai formiaatin esiintyminen viittaa yleensä mikrobikasvustoon.

pH oli pehmenyysuotimen jälkeen selkeästi korkeampi kuin muissa näytteissä. Allasvesissä oletetaan, että pH:n ollessa yli 7,4 levän kasvu lisääntyy. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että levää ei voisi kasvaa myös alemmassa pH:ssa. Tämän osoittaa myös jäähdystornin jäähdytysvesiallas, jossa levää kasvaa selkeästi, mutta pH oli vain 6,8. Johtokyky oli suurin pehmenyysuotimessa. Tämä on normaalia, koska tässä vaiheessa prosessia vedestä on poistettu vain kovuutta aiheuttavat suolat. Muissa näytteissä johtokyky oli melko alhainen.

Käänteisosmoosista ja sekavaihtimesta otetut näytteet olivat selkeästi muita ravinnepöyhempitä ja puhtaampia. Ravinteina voidaan olettaa toimivan typen lisäksi silikaatin ja sulfaatin, joita vedet sisälsivät pieniä määriä. Silikaatin läsnäolo mahdollistaa piilevän kasvun, joka käyttää silikaattia ravinteekseen. Voidaan olettaa käänteisosmoosin, se-

kavaihtimen, VK-altaan ja VG-paluuveden ravinneköyhyyden ja kaliumpermanganaatti-analyysin perusteella, että näissä paikoissa ei kasva levää. Samalla perusteella voidaan olettaa levää kasvavan märkääjäähdytystornin jäähdytysaltaassa ja pehmennys-suotimessa.

Pehmennysuotimen ioninvaihtohartsit toimii hyvänä kiinnitysalustana levän kasvulle, ja pehmennysuotimien hetkellinen seisonta mahdollistaa levän kiinnittymisen hartsiin. Ravinteita tässä kohtaa prosessia on vielä runsaasti, koska vedestä on poistettu vasta kovuuksia aiheuttavat suolat. Pehmennysuotimeen ei tule valoa, mutta monet levät kasvavat myös pimeässä heterotrofisesti, jolloin ne pystyvät kasvamaan sidotuilla hiihdydisteillä.

VG-jäähdytysjärjestelmään ei voida laittaa jatkuvatoimista reagenssilisäystä, koska jäähtynyt vesi jatkaa matkaansa kohti VK-allasta, josta vesi pumpataan ioninvaihtosarjoille. Ioninvaihtosarjojen sisällä oleva ioninvaihtohartsit ei kestäisi reagensseja tai elvytyksen tarve lisääntyisi huomattavasti. Avoimen järjestelmän muuttaminen suljetuksi ei tule kyseeseen, koska avoimen jäähdytysjärjestelmän jäähdytys-teho on suljettua kuivaa järjestelmää suurempi. Suljettu märkä jäähdytysjärjestelmä ei ole mahdollinen, koska Martinlaakson voimalaitos ei sijaitse vesistön lähetyvillä, ja näin ollen jäähdytysveden saanti olisi hyvin kallista. Kuumen veden johtaminen VG-järjestelmään ei myöskään ole mahdollista, koska muovien mekaanisen kestävyysraja on noin 50 °C ja levän poistoon tarvittava lämpötila olisi noin 80 °C.

Talvisin leväkasvustoa ei silmämääräisesti ole havaittavissa, eikä siitä näin ollen ole haittaa prosessissa. Epäsuotuisan olosuhteen vallitessa levä muodostaa paksuseinäisiä lepoitiöitä, jonka avulla se säilyy ääriolosuhteissa. Lämpötilan kohotessa lepoitiöistä muodostuu kuitenkin aktiivisesti kasvavaa leväsolukkoa, joka haittaa suurina määrinä.

Kesäisin olevaan leväongelmaan voidaan käyttää valon estoa yhdistettynä ilmastukseen. Sopivinta ilmastuslaitetta levän kasvun hallintaan kysyttiin T&A Mämmelä Oy:stä sekä Water Plan Finland Oy:stä. Kokemusta kyseisestä levänpoistomenetelmästä yrityksille ei ollut. Yritykseltä Water Plan Finland Oy:stä saamieni tietojen mukaan altaaseen, jonka tilavuus on 20 m³ ja syvyys noin 0,5 m, voisi laittaa ilmastuslaitteen, jos altaan korkeus olisi noin yhden metrin korkeampi. Altaaseen tarvitsisi laittaa ilmastuslaitteen lisäksi myös kompressorin. Ilmastuksen on arveltu yhdessä valon eston kanssa vähentävän levän määrää jopa 65 %. Valmiita valokatteita en löytänyt markkinoilta,

mutta sellaisen tekeminen paksusta ja tummasta muovista tai pellistä ei ole vaikeaa. Ilmastuslaitteen yhteydessä on aina käytettävä valon estoa, koska muuten leväkasvu lähtee nousuun.

Jatkotutkimusta voitaisiin jatkaa hapen määrän optimoinnilla ja pehmennyssuotimesta otetun veden leväkasvuston varmentamisella. Pehmennyssuotimessa olevan leväkasvuston mahdollisuutta ei voida sulkea pois, koska pehmennyssuotimessa on, veden vähäisen käsittelyn vuoksi, levälle runsaasti ravinteita.

Lähteet

- 1 Energiaa elämään. Verkkodokumentti. Vantaan Energia. <<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/Sivut/default.aspx>>. Luettu 31.1.2012.
- 2 Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitos. Verkkodokumentti. Martinlaakso. <<http://www.martinlaakso.net/ml-voimala.htm>>. Luettu 1.2.2012
- 3 Hassinen, Anne. 2008. Martinlaakson kaasuturbiinin jäähdytysjärjestelmän parantaminen. Insinööriyö. Verkkodokumentti. <<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/38802/stadia-1212051411-4.pdf?sequence=1>>. 24.2.2008. Luettu 25.3.2012.
- 4 Jätevoimala - uuden ajan energiaa. Verkkodokumentti. Vantaan Energia. <<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/jatevoimalahanke/Sivut/default.aspx>>. Luettu 1.2.2012.
- 5 Laxman, Iina. 2010. Insinööriyö; Suolan poiston toiminnan optimointi voimalaitosympäristössä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kemianteeniikan koulutusohjelma.
- 6 Voimalaitoksen vedenkäsittelyn perusteet. Energiataloudellinen Yhdistys. Martinlaakson voimalaitoksen tuotantotiloissa säilytettävä koulutuskansio. Otaniemi 1992.
- 7 Voimalaitoksen vedenkäsittely. Energia Ekono. Jaakko Pöyry Group. 22.1.1998
- 8 Krämer, Tanja. 2009. Välttämätön vesi. Hyvinvointi-luonto-tulevaisuus. Minerva kustannus Oy.
- 9 Voimalaitoksen vesien käsittely; vesien valmistus. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitoksen tuotantotiloissa säilytettävä kansio.
- 10 VG-järjestelmä. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitoksen tuotantotiloissa säilytettävä video.
- 11 Kattilaveden käsittely. Kemira Oy. Martinlaakson voimalaitoksen tuotantotiloissa säilytettävä koulutuskansio
- 12 Teollisuuden jäähdytysjärjestelmät. Verkkodokumentti. Valtio ympäristöhallinnon verkkopalvelu. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=11872&lan=FI>>
- 13 Pitkänen, Henri. 2011. Teollisuuden jäähdytysvesijärjestelmät. Insinööriyö. Verkkodokumentti. <<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69533/nbnfi-fe201104291487.pdf?sequence=3>>. Luettu 3.3.2012.
- 14 Korroosio vesihöyryjärjestelmässä. Verkkodokumentti. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. <<http://ylivieska.cop.fi/karip/kemia/031S01Y/vesikemian%20perusteet.pdf>>. Luettu 10.3.2012

- 15 Uuksulainen, Juha. 1998. Avoimen jäähdytysjärjestelmän massataseen ja vesikierrätysaltaan veden laatu. Insinööri työ.
- 16 Tarmo Mansner, laboratoriomestari, Vantaan Energia Oy. Suulliset kommentit 1.1.2012–24.7.2012.
- 17 Olomuodot ja niiden muutokset. Verkkodokumentti. Helsingin yliopisto. <<http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/mbl/lampo/olomuodot.htm>>. Luettu 22.2.2012.
- 18 Kosteus. Verkkodokumentti. Turun yliopisto. <<http://www.astro.utu.fi/zubi/weather/humidity.htm>>. Luettu 20.2.2012.
- 19 Rikkinen, Jouko. 1999. Leviä, sieniä ja leväsieniä; Johdatus levien ja sienten monimuotoisuuteen. Yliopistopaino.
- 20 Levät. 2006. Verkkojulkaisu. Solunetti. <<http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/levat/2/>>. Luettu 27.3.2012.
- 21 Rissanen, Johanna. 1999. Ympäristöopas. 100 kysymystä levistä. Erweko Painotuote Oy.
- 22 Uusi tehokas öljyntuottaja –levät. 2011. Verkkojulkaisu. Taloussanomat. <<http://www.taloussanomat.fi/auto-vihertyy/2011/04/26/uusi-ja-tehokas-oljyntuottaja--levat/20115771/286>>. Luettu 2.4.2012.
- 23 Levästä uusiutuvia tuotteita. 2011. Verkkojulkaisu. Tekes. <http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_403_994_2095_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/programmes/biorefine/documents/seminariaineistot/markuslatvala.pdf>. Luettu 2.4.2012.
- 24 Blomster, Jaanika. 1996. Luonto ja luonnonvarat; ravinnekuormituksen vaikutus rantavyöhykkeen leväyhteisöihin ja vaikutusten arvioinnissa käytetyt menetelmät. Suomen ympäristökeskus.
- 25 Ravinteet. 2011. Verkkojulkaisu. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=76262>>. Luettu 18.4.2012
- 26 Pirkola, Titta. 2011. Mikrobit solutehtaina. Solutehtaat, entsyymit ja kestävä kehitys -opintojakson opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 27 Solu - fotosynteesi. Verkkojulkaisu. Nokian lukio. <<http://www.koulut.nokiankaupunki.fi/noklu/oppilaat/solu/fotosynteesi.htm>>. Luettu 25.3.2012.
- 28 Kasviplanktonlajiston tunnistus. Verkkojulkaisu. Pyhäjärvi-instituutti. <http://www.pyhajarvi-instituutti.fi/image/pdf-tiedostot/kasviplankton_24_8_11.pdf>. Luettu 18.2.2012.
- 29 Viherhiukkasen toiminta. 2012. Verkkojulkaisu. Internetixopinnot. <http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/bi/bi2/05_solun_toiminta/03_viherhiukkasen_toiminta?C:D=hRyA.hQ2D&m:selres=hRyA.hQ2D>. Luettu 25.2.2012.

- 30 Puhdistusohjelma ja puhtauden tarkkailuohjelma hygienialain mukaisessa laitoksessa. 2003. Verkkojulkaisu. Elintarvikevirato. <<http://wwwb.mmm.fi/el/laki/i/i25fi.pdf>>. Luettu 21.2.2012.
- 31 Kasviplanktonopas – Näytteen mikroskopointi. Verkkojulkaisu. Jyväskylän yliopisto. <<http://www.jyu.fi/bio/kasviplankton/proto/artikkeli.php?artikkeli=laskenta>>. Luettu 28.3.2012.
- 32 Hiilidioksidi. Verkkojulkaisu. Helsingin yliopisto. <<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/kaasut/hiilidioksidi.html>>. Luettu 1.3.2012.
- 33 Otsoni ilmansaasteena. 2008. Verkkojulkaisu. Ilmanlaatuportaali. <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/otsoni_ilmansaasteena.php>. Luettu 12.4.2012.
- 34 Mekaniikka ja lämpöoppi. Verkkojulkaisu. <<http://opinnot.net/fysiikka/fyperuskoulu/index.php>>. Luettu 10.4.2012.
- 35 Chemical Interactions. Verkkojulkaisu. University of Bristol. http://www.chm.bris.ac.uk/~chdms/Teaching/Chemical_Interactions/page_13.htm. Luettu 29.5.2012.
- 36 Levät. 2006. Verkkojulkaisu. Solunetti <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/levat/3/>
- 37 Plume Abatement. Verkkojulkaisu. Clean Air. www.cleanair.com/services/performanceefficiency/cooltower/plume/index.html>. Luettu 10.7.2012.
- 38 Fouling-torjuntaan käytettävän kemikaalin valintaperusteet. Verkkojulkaisu. Ympäristötekniikan kandidaattityö. <<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/45194/nbnfi-fe200905221533.pdf?sequence=3>>. Luettu 20.7.2012
- 39 Hypokloorihapon teho ja nopeus. Verkkojulkaisu. Easy san. <<http://fi.easysan.eu/Start/Tekninenkuvaus.aspx>>. Luettu 18.7.2012.
- 40 Xuechu Chen, Chengbin He, Yingying Huang, Hainan Kong, Yan Lin, Chunjie Li. 2009. Chemosphere. Laboratory investigation of reducing two algae from eutrophic water treated with light-shading plus aeration.
- 41 Vesilaboratorion analyysiohjeita. Martinlaakson voimalaitoksen tuotantotiloissa säilytettävä kansio.
- 42 Lehtonen, Pekka O & Sihvonen, Marja-Liisa. 2006. Laboratorioalan analyttinen kemia. Opetushallitus. Edita Prima Oy.
- 43 Jaarinen, Soili & Niiranen, Jukka. 2005. Laboratorion analyysitekniikka. Edita Prima Oy
- 44 Algae solutions. Verkkojulkaisu. Kasco Marina, Inc. <http://www.gotalgae.com/algae_solutions.htm>. Luettu 23.11.2012.

- 45 Safe & natural products for any size pond. Verkkojulkaisu. KLM solutions. <<http://pondalgaesolutions.org/2012/02/27/can-adding-a-pond-aerator-can-reduce-algae/>>. Luettu 23.11.2012.
- 46 Pond aeration & algae growth. Verkkojulkaisu. SFGate. <<http://homeguides.sfgate.com/pond-aeration-algae-growth-52613.html>>. Luettu 23.11.2012.

Liitteet

LIITE 1: Prosessikaavio

LIITE 2: Levän mikroskopointikuvia

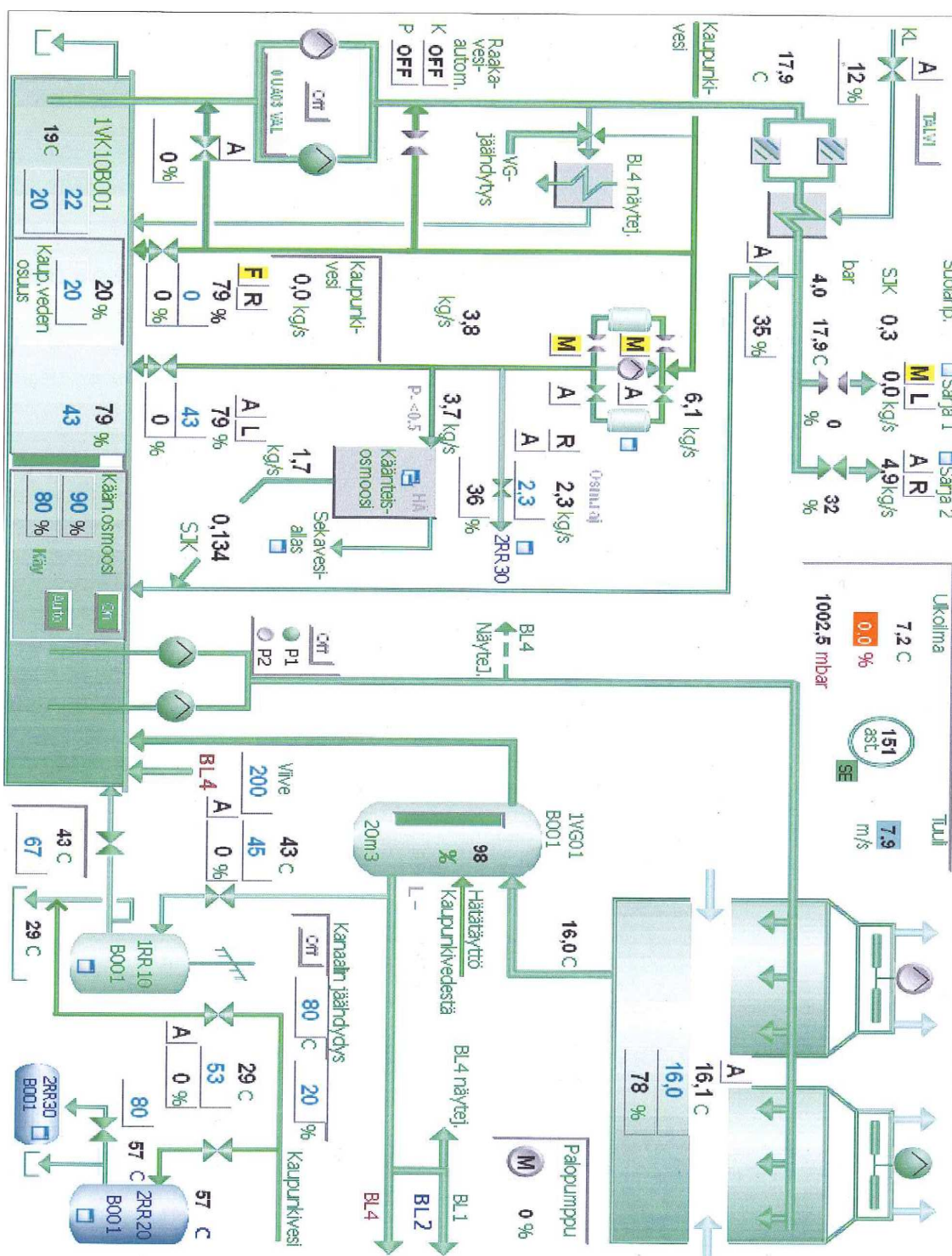
LIITE 3: Kromatogrammit

LIITE 4: Märkäähdytysjärjestelmän jäähdytystehon laskeminen

LIITE 5: Kaliumpermanganaattititrauksen tulokset

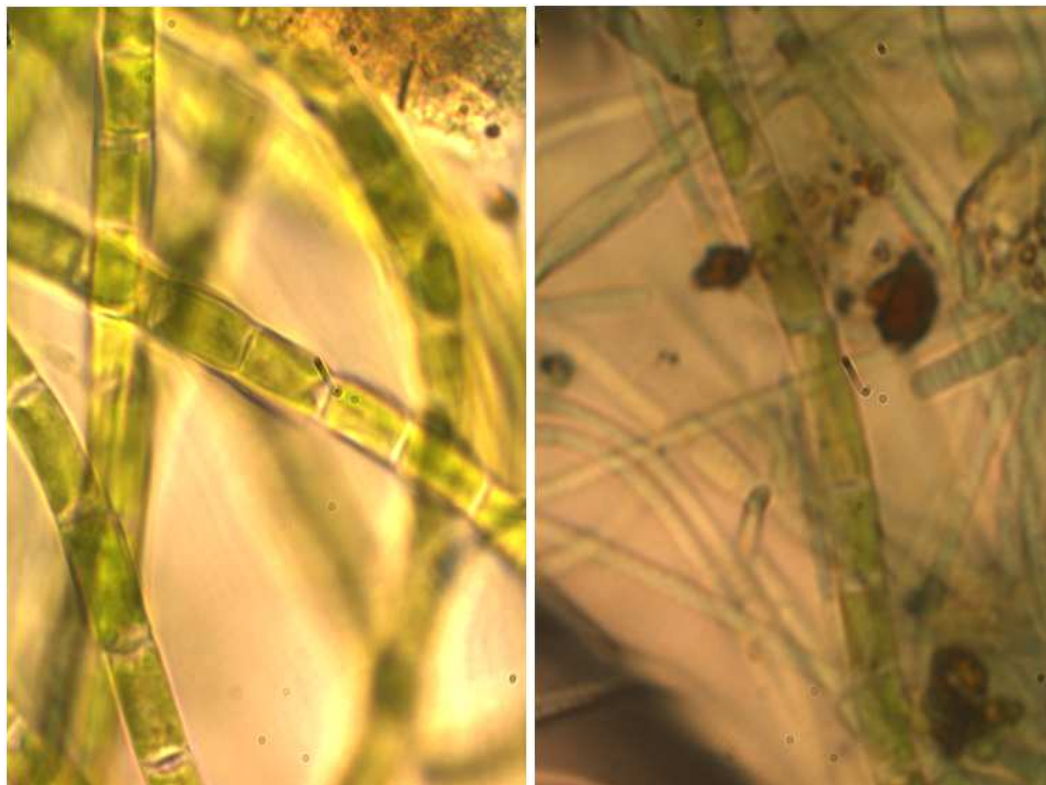
Prosessikaavio

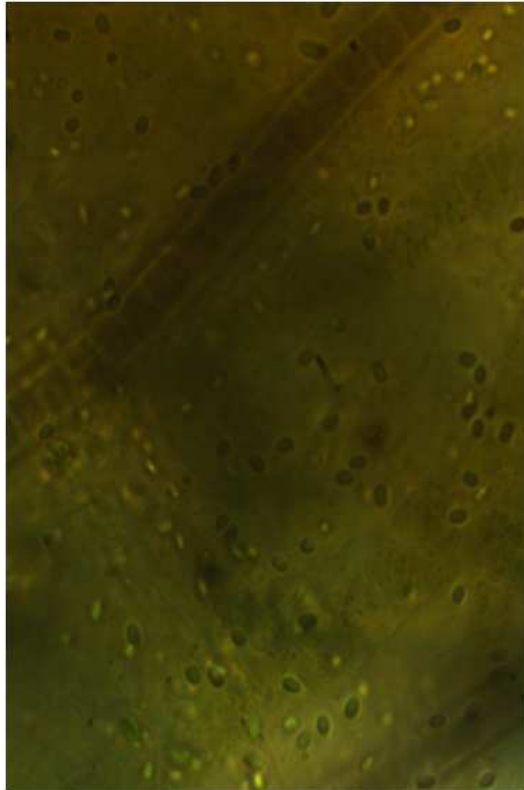
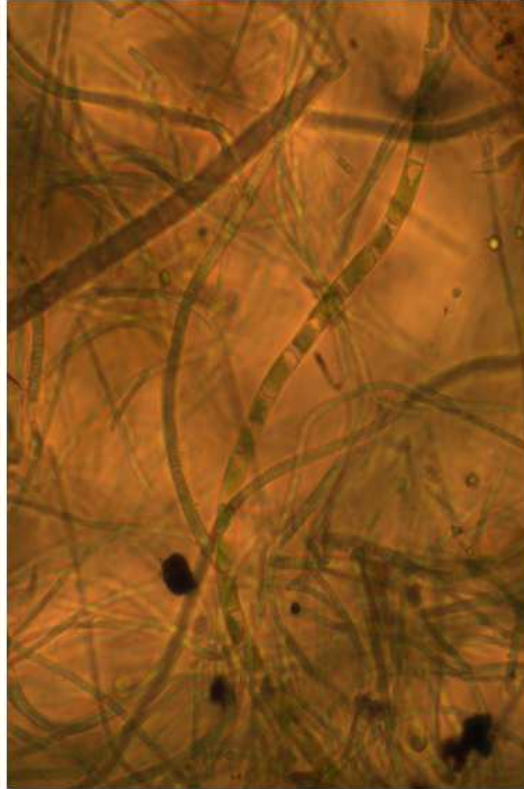
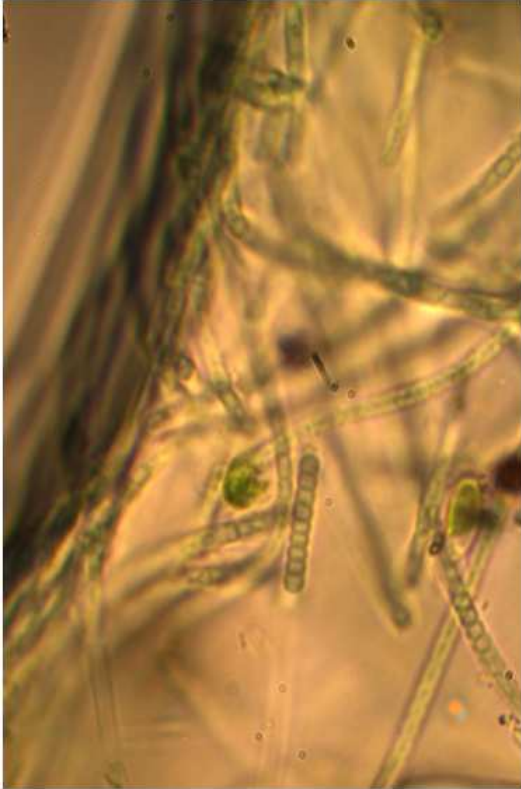
Vedenkäsittely

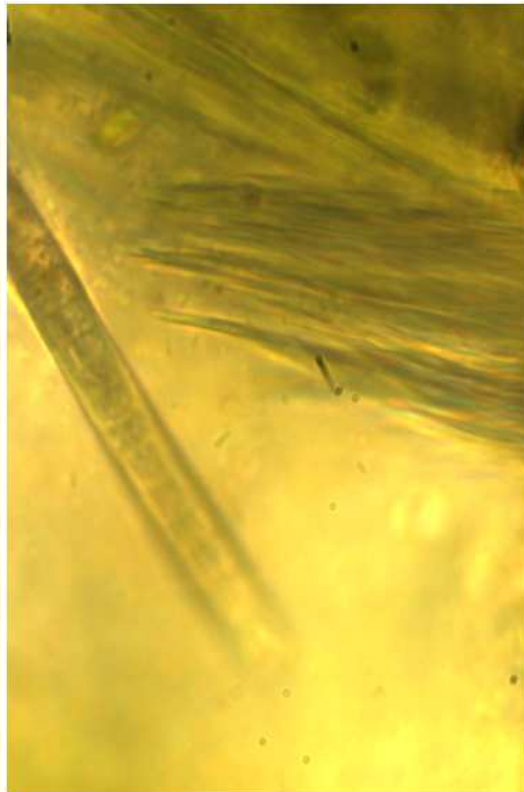
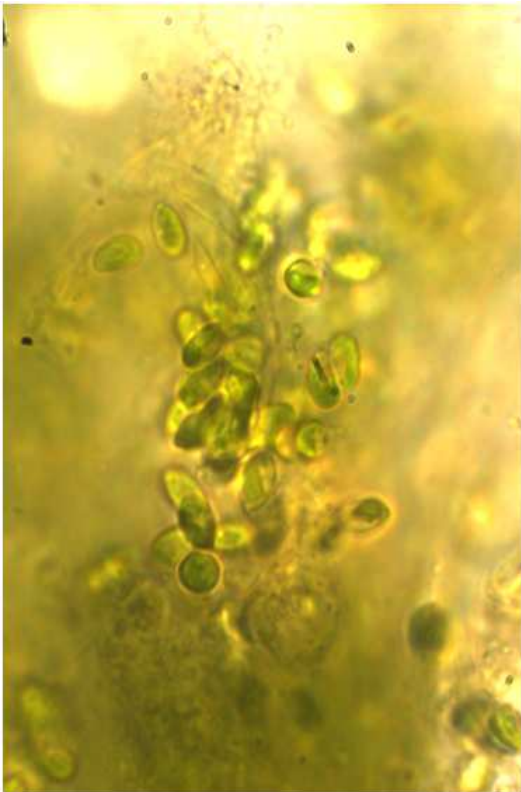
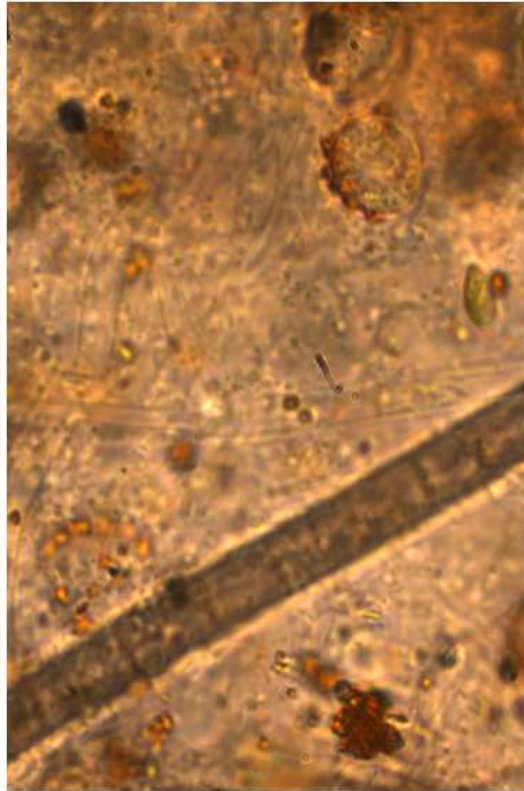


Levän mikroskopointikuvia

Levän mikroskopointinäytteet otettiin märkääjähdetyksaltaan jäähdytysvesialtaasta. Paikka valittiin sen perusteella, missä levää kasvoi silmin havaittavasti. Kuvat on otettu 22.3.2012 ja 20.4.2012 välisenä aikana. Mikroskopoinnissa käytettiin sekä 1000-kertaista että 400-kertaista suurennosta.







Kromatogrammi

Märkijäähdytystornin jäähdytysvesiallas. 14.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:07:27
Printed by:

Ident: Märkijäähdytin
Analysis from: 14/09/2012 11:24:05
File: w9141124.chw
Modified! Manual peaks! Last save: 14/09/2012 08:39:02
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4052

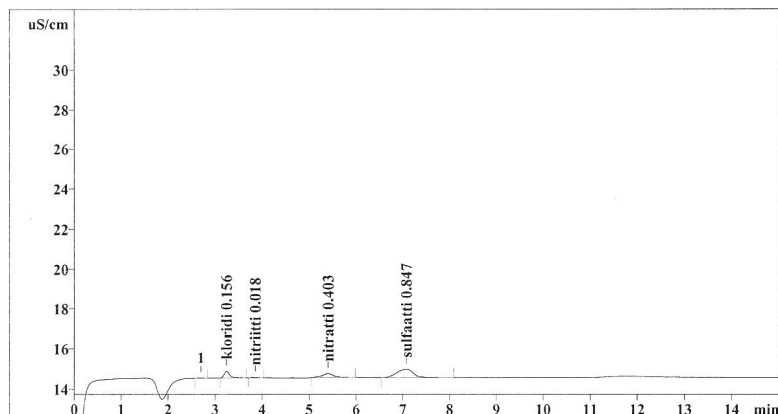
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.1 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.69	0.01	0.152	0.000	
2	3.24	0.32	2.607	0.156	kloridi
3	3.85	0.02	0.205	0.018	nitriitti
4	5.40	0.19	3.303	0.403	nitraatti
5	7.07	0.40	9.978	0.847	sulfaatti
5	15.01	0.96	16.245	1.424	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Märkäähdytystornin jäähdytysvesiallas. 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:01:10
Printed by:

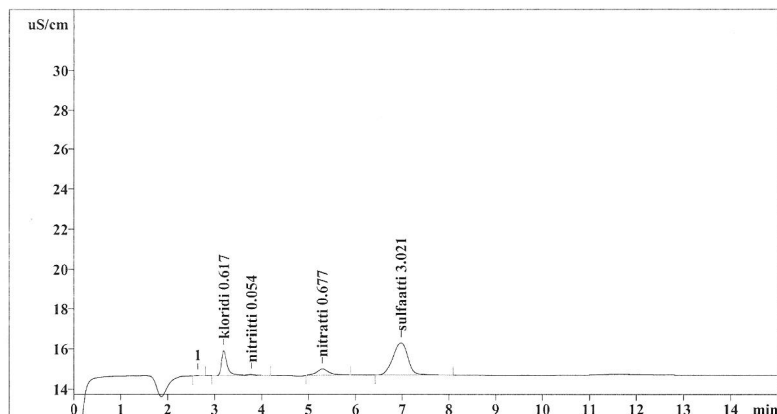
Ident: Märkäähdytin
Analysis from: 18/09/2012 10:10:37
File: w9181010.chw Last save: 18/09/2012 10:50:56
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4057

SAMPLE: Ininööriytyö
Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.2 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.64	0.01	0.112	0.000	
2	3.19	1.23	10.320	0.617	kloridi
3	3.79	0.04	0.615	0.054	nitriitti
4	5.29	0.31	5.552	0.677	nitraatti
5	6.97	1.60	35.782	3.021	sulfaatti
5	15.01	3.20	52.381	4.369	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Märkijäähdytystornin jäähdytysvesiallas. 21.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:20:45
Printed by:

Ident: Märkijäähdytin
Analysis from: 21/09/2012 10:47:48
File: w9211047.chw Last save: 21/09/2012 08:02:44
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4070

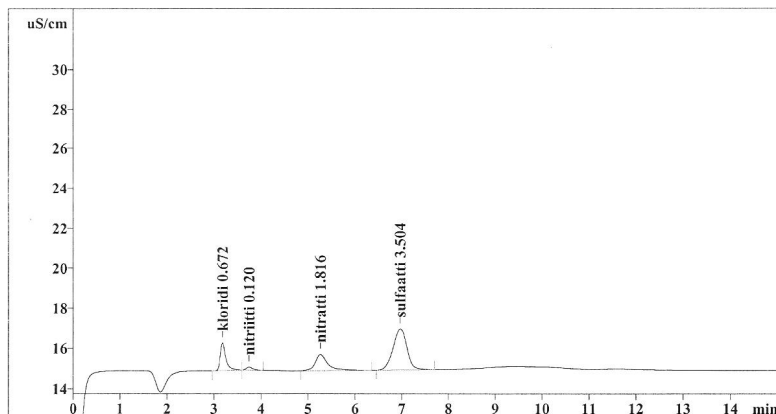
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*scc	Conc. mg/l	Name
1	3.18	1.36	11.241	0.672	kloridi
2	3.74	0.14	1.372	0.120	nitriitti
3	5.26	0.80	14.931	1.816	nitratti
4	6.97	2.03	41.554	3.504	sulfaatti
4	15.01	4.33	69.098	6.112	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

VK-allas. 14.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:09:38
Printed by:

Ident: VK-allas
Analysis from: 14/09/2012 10:48:54
File: w9141048.chw Last save: 14/09/2012 11:44:06
Modified: Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4051

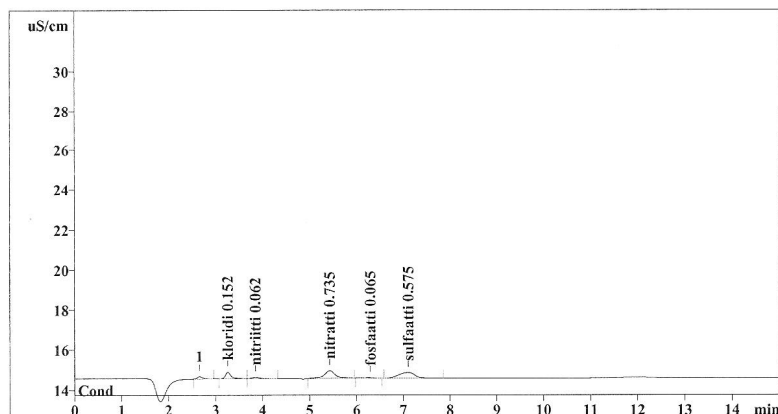
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.66	0.11	0.821	0.000	
2	3.26	0.32	2.537	0.152	kloridi
3	3.84	0.07	0.716	0.062	nitriitti
4	5.43	0.37	6.032	0.735	nitraatti
5	6.28	0.02	0.318	0.065	fosfaatti
6	7.10	0.28	6.762	0.575	sulfaatti
6	15.01	1.16	17.186	1.589	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

VK-allas. 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 11:52:21
Printed by:

Ident: VK-allas
Analysis from: 18/09/2012 09:36:03
File: w9180936.chw
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw
Run operator:
Analysis number: 4056
Last save: 18/09/2012 10:50:50
Last save: 12/09/2012 07:56:18

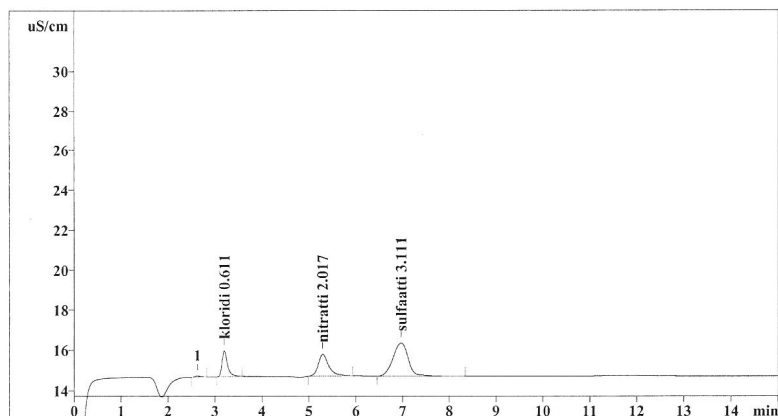
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.2 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.62	0.06	0.459	0.000	
2	3.20	1.28	10.221	0.611	kloridi
3	5.29	1.08	16.589	2.017	nitratatti
4	6.97	1.64	36.849	3.111	sulfaatti
4	15.01	4.05	64.118	5.738	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

VK-allas. 21.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:26:40
Printed by:

Ident: VK-allas
Analysis from: 21/09/2012 11:03:35
File: w9211103.chw
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw
Run operator:
Analysis number: 4071

Last save: 21/09/2012 08:18:32
Last save: 12/09/2012 07:56:18

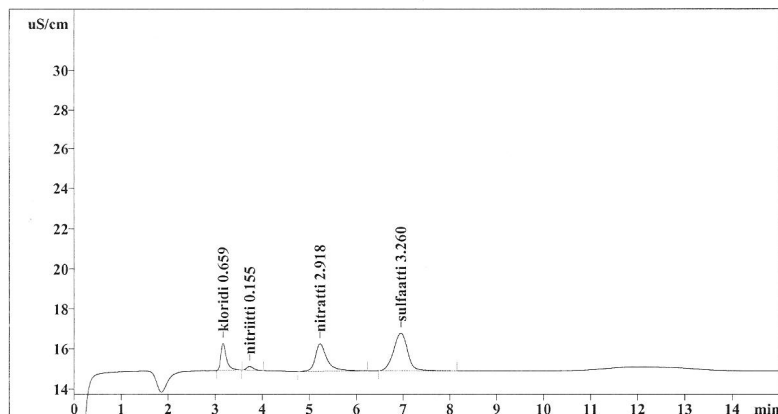
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.2 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	3.17	1.34	11.025	0.659	kloridi
2	3.73	0.18	1.774	0.155	nitriitti
3	5.23	1.37	24.051	2.918	nitratti
4	6.95	1.87	38.637	3.260	sulfaatti
4	15.01	4.77	75.488	6.992	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Pehmennyssuodin 2. 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 11:35:08
Printed by:

Ident: Pehmennyssuodin 2
Analysis from: 18/09/2012 11:37:55
File: w9181137.chw Last save: 18/09/2012 08:52:52
Modified:
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4060

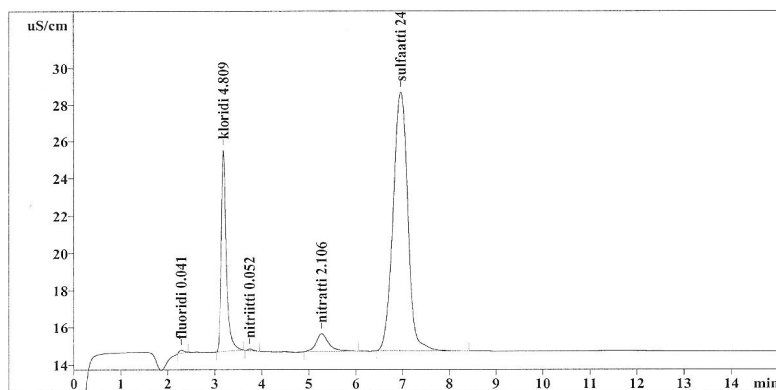
SAMPLE: Ininõõrityõ

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.2 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.28	0.15	1.058	0.041	fluoridi
2	3.19	10.80	81.656	4.809	kloridi
3	3.75	0.08	0.591	0.052	nitriitti
4	5.27	0.95	17.331	2.106	nitratti
5	6.97	13.97	303.819	24.111	sulfaatti
5	15.01	25.94	404.455	31.119	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Pehmennyssuodin 2. 21.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:14:14
Printed by:

Ident: Pehmennyssuodin 1
Analysis from: 21/09/2012 09:44:56
File: w9210945.chw Last save: 21/09/2012 07:14:22
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4067

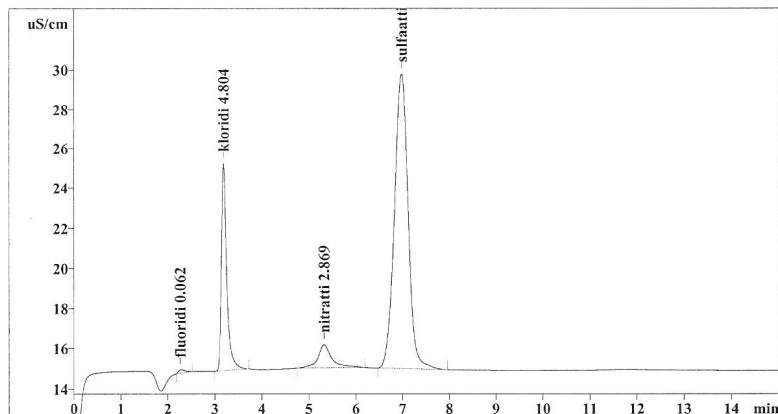
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.5 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.27	0.17	1.613	0.062	fluoridi
2	3.19	10.33	81.563	4.804	kloridi
3	5.32	1.15	23.641	2.869	nitratiti
4	6.98	14.78	299.419	23.787	sulfaatti
4	15.01	26.43	406.237	31.521	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Sekavaihdin 1 (sarja 1). 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 11:56:59
Printed by:

Ident: Sekavaihdin 1 (Sarja2)
Analysis from: 18/09/2012 11:06:31
File: w9181106.chw Last save: 18/09/2012 08:21:28

Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4059

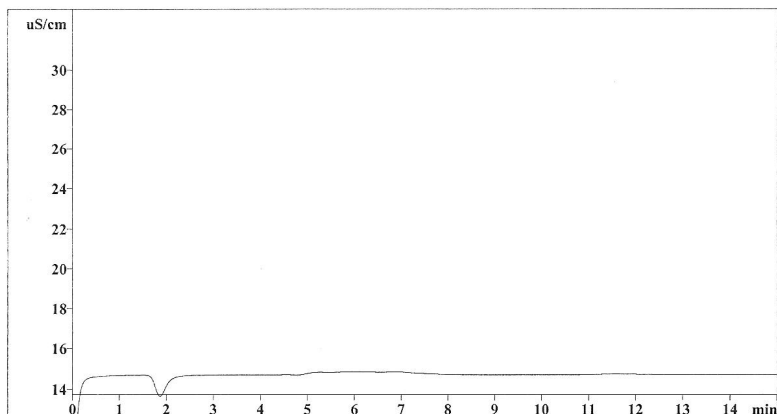
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.1 MPa



Quantitation method: Custom

No peaks
This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Sekavaihdin 1 (sarja 1). 21.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:31:18
Printed by:

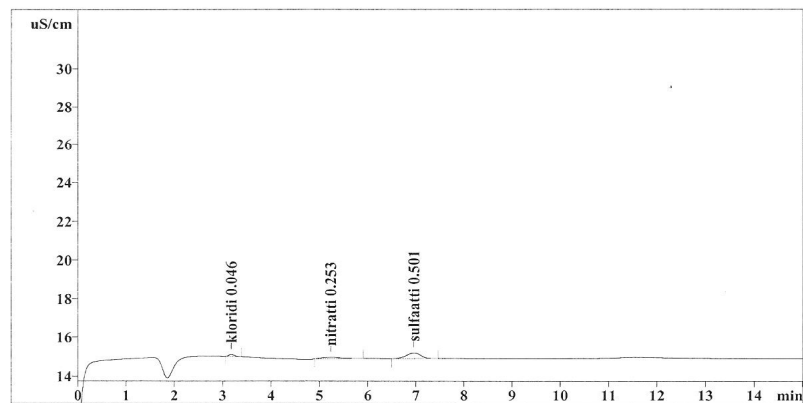
Ident: Sekavaihdin 1 (Sarja1)
Analysis from: 21/09/2012 10:29:14
File: w9211029.chw Last save: 21/09/2012 07:44:12
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4069

SAMPLE: Ininöörityö
Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.3 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	3.18	0.10	0.761	0.046	kloridi
2	5.23	0.07	2.077	0.253	nitratti
3	6.96	0.29	5.894	0.501	sulfaatti
3	15.01	0.47	8.733	0.800	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Käänteisosmoosi. 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 11:47:34
Printed by:

Ident: Käänteisosmoosi
Analysis from: 18/09/2012 10:44:47
File: w9181044.chw Last save: 21/09/2012 08:44:12
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4058

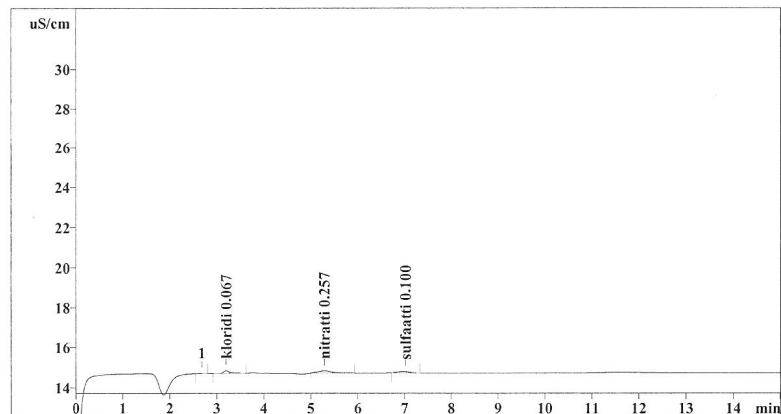
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.3 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.68	0.01	0.086	0.000	
2	3.20	0.13	1.119	0.067	kloridi
3	5.29	0.11	2.109	0.257	nitratiti
4	7.02	0.06	1.180	0.100	sulfaatti
4	15.01	0.30	4.494	0.425	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Käänteisosmoosi. 21.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:32:35
Printed by:

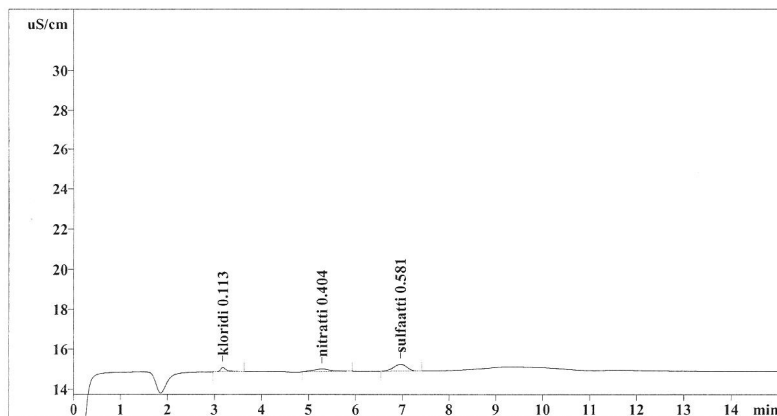
Ident: Käänteisosmoosi
Analysis from: 21/09/2012 10:03:42
File: w9211003.chw Last save: 21/09/2012 07:18:40
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4068

SAMPLE: Ininöörityö
Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.3 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	3.18	0.21	1.882	0.113	kloridi
2	5.29	0.13	3.313	0.404	nitraatti
3	6.96	0.34	6.842	0.581	sulfaatti
3	15.01	0.69	12.037	1.098	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

VG paluu. 21.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:16:01
Printed by:

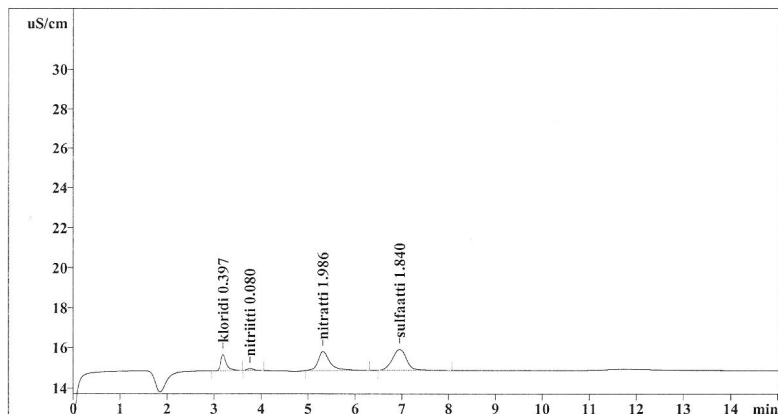
Ident: VG paluu
Analysis from: 21/09/2012 09:22:04
File: w9210923.chw
Modified! Manual peaks! Last save: 21/09/2012 06:42:16
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4066

SAMPLE: Ininöörityö
Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	3.19	0.80	6.635	0.397	kloridi
2	3.76	0.10	0.912	0.080	nitriitti
3	5.32	0.93	16.335	1.986	nitraatti
4	6.95	1.03	21.727	1.840	sulfaatti
4	15.01	2.86	45.609	4.303	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Talousvesi. 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 11:40:55
Printed by:

Ident: Talousvesi
Analysis from: 18/09/2012 12:12:05
File: w9181212.chw Last save: 18/09/2012 10:51:08
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4061

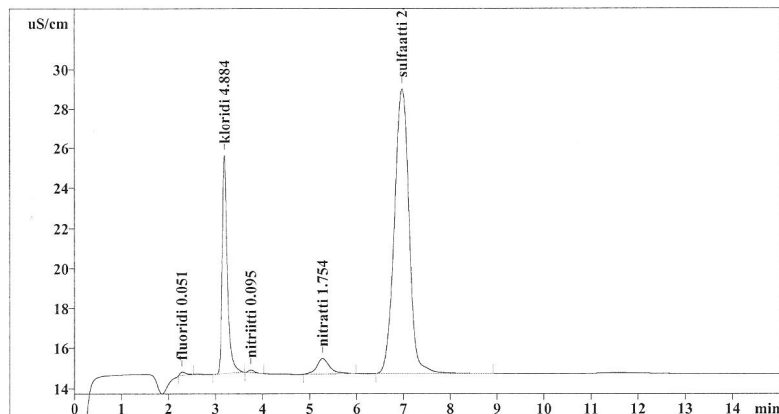
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.3 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	2.29	0.16	1.318	0.051	fluoridi
2	3.19	10.90	82.962	4.884	kloridi
3	3.75	0.13	1.083	0.095	nitriitti
4	5.27	0.76	14.421	1.754	nitraatti
5	6.97	14.27	309.961	24.562	sulfaatti
5	15.01	26.23	409.745	31.346	

This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Millipore. 14.9.2012.

Report date: 21/09/2012 12:11:10
Printed by:

Ident: Millipore
Analysis from: 14/09/2012 11:47:20
File: w9141148.chw
Last save: 14/09/2012 11:44:24

Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw
Last save: 12/09/2012 07:56:18
Run operator:
Analysis number: 4053

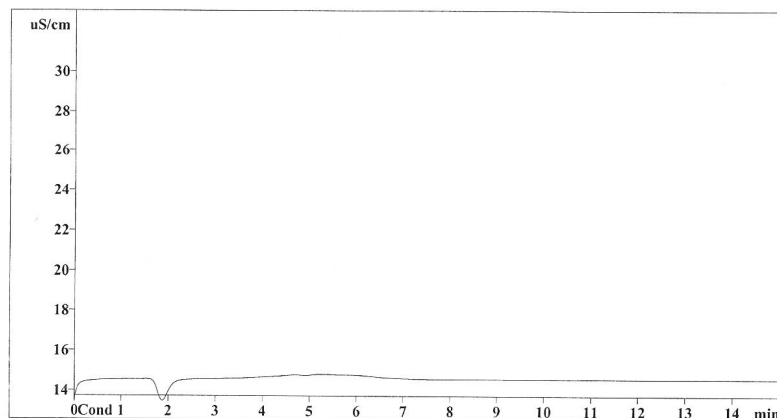
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.2 MPa



Quantitation method: Custom

No peaks
This report has been created by IC Net

Kromatogrammi

Millipore. 18.9.2012.

Report date: 21/09/2012 11:55:13
Printed by:

Ident: Millipore
Analysis from: 18/09/2012 12:34:32
File: w9181234.chw
Modified! Manual peaks!
Method: Anioni 2 ML.mtw
Run operator:
Analysis number: 4062

Last save: 18/09/2012 09:49:30
Last save: 12/09/2012 07:56:18

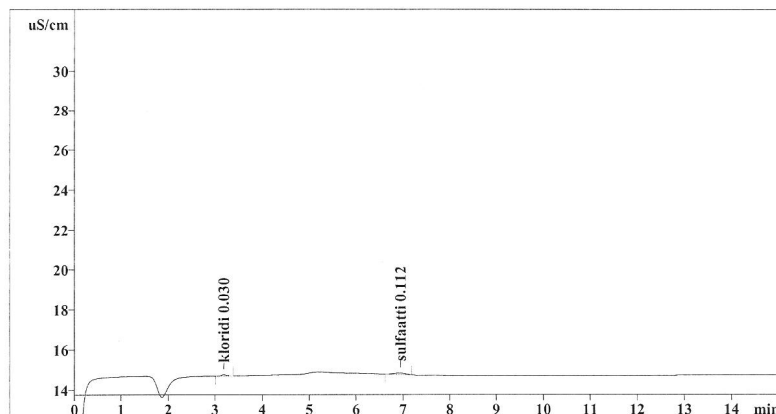
SAMPLE: Ininöörityö

Vial number: 1
Volume: 20.0 µl
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: polyvinyylialkoholi, asupp5, 6.1006.510
Size: 4.0 x 100 mm
Number: 7012742
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3,2 Na2CO3 mmol/l / 1,0 NaHCO3 mmol/l

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 20.0°C
Pressure: 6.1 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height uS/cm	Area uS/cm*sec	Conc. mg/l	Name
1	3.18	0.07	0.499	0.030	kloridi
2	6.94	0.07	1.314	0.112	sulfaatti
2	15.01	0.14	1.813	0.142	

This report has been created by IC Net

Märkäähdytysjärjestelmän jäähdytystehon laskeminen

Märkäähdytystornin teho

Veden ominaislämpökapasiteetti	4,19 kJ / kg °C
Massavirta	22,9 kg / s

Jäähdytystehon kaava
$P(W) = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
m = veden massavirta
c_p = Veden ominaislämpökapasiteetti
ΔT = Lämpötilan muutos

Märkäähdytystornin teho ennen levän poistoa	
Ulkoilman kosteus	44,5 %
Lämpötila ennen märkäähdytystornia	20,2 °C
Lämpötila märkäähdytystornin jälkeen	17,4 °C
$22,9 \text{ kg / s} \cdot 4,19 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C} \cdot (20,2 \text{ } ^\circ\text{C} - 17,4 \text{ } ^\circ\text{C}) = 268,66 \text{ kW}$	

Märkäähdytystornin levän poiston jälkeen	
Ulkoilman kosteus	67,4 %
Lämpötila ennen märkäähdytystornia	26,0 °C
Lämpötila märkäähdytystornin jälkeen	21,8 °C
$22,9 \text{ kg / s} \cdot 4,19 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C} \cdot (26,0 \text{ } ^\circ\text{C} - 21,8 \text{ } ^\circ\text{C}) = 402,99 \text{ kW}$	

KMnO₄-titrauksen tulokset

KMnO₄-kuluma ja orgaanisen aineen määrä näytteissä.

Näyte	KMnO₄-kuluma (ml)	KMnO₄-kuluma (Rinnakkainen)	KMnO₄-analyysissä saatu orgaanisen aineen pitoisuus (mg/l)
Pehmennyssuodin 1	1,4		3,43
VG-paluu	0,8		1,56
Käänteisosmoosi	0,8		1,56
Sekavaihdin 1 (Sarja 1)	0,7		1,25
Jäähdytystorni	1,0	1,1	2,33
VK-allas	0,9	0,8	1,71
Tehokerroin	20,3		