



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Topi Vitikkala

SÄHKÖFLOTAATIOELEMENTTIEN MATERI- AALIEN VALINTA JA OPTIMOINTI

Tekniikka
2022

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniologia

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Topi Vitikkala
Opinnäytetyön nimi	Sähköflotaatioelementtien materiaalien valinta ja optimointi
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	32
Ohjaaja	Asseri Laitinen

Suomen SähköFlotaatio Oy kehittää sähköflotaatio-laitteita puhtaan veden tuotantoon ja ravinteiden talteenottoon jätevesistä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erilaisten metallien soveltuvuutta vesien käsittelyyn, sekä metallielementtien optimaalisinta asemointia laitteistossa.

Alumiini ja käytössä ollut SSF-elementti osoittautuivat parhaaksi vaihtoehdoksi kiintoaineksen poistamiseen.

Jäteveden ravinteiden talteenottoon Suomen SähköFlotaatio Oy on löytänyt oman metalliseoksen, jolla jätevedestä saadaan poistettua tehokkaasti typpeä ja fosforia. Typen osalta koe ei onnistunut, mutta fosforin poistuma oli 80-90% luokkaa.

Kokeita tehtiin myös suolan poistamiseksi merivedestä ja raudan poistamiseksi ruosteisesta porakaivovedestä. Suolapitoisuus ei vähentynyt sähköflotaatiolla, mutta rauta saatiin poistettua.

Opinnäytetyön aikana tehtyjä huomioita olivat myös, että reaktioastian muotoilu vaikuttaa olennaisesti reaktionopeuteen ja lopputuloksen laatuun. Elementtien etäisyys, vesinäytteiden suolapitoisuus ja kiintoaineen määrä olivat tärkeimmät puhdistustuloksen ja siihen kuluneen ajan määrittävät tekijät.

Avainsanat sähköflotaatio, alumiini, optimointi, vedenpuhdistus

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES)
Ympäristötekniologia

ABSTRACT

Author	Topi Vitikkala
Title	Optimization of electroflocculation elements
Year	2022
Language	Finnish
Pages	32
Name of Supervisor	Asseri Laitinen

Suomen SähköFlotaatio has developed an electroflocculation system in small scale for means of water purification. We have tried different kinds of metals and concluded that aluminium elements work best in producing clean water and for treatment of waste water a mix of different metals for nutrient recovery of water. The element package differs from the competition in the clean-up process, voltage and design.

In this thesis focus on the effect on results based on different types of metal alloys and distance of the elements for purifying different kind waters, but mainly for removing solids from waste water.

Experiment were also performed to remove salt from seawater and iron removal from borehole water. Desalting was not successful but system was effective for iron removal

In the third chapter we present the key observations, results, conclusions and interpretations of research.

Keywords electroflocculation, aluminium, optimization, water purification

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.
2	SUOMEN SÄHKÖFLOTAATIO OY	8
	2.1 Sähköflotaatio vesien käsittelyssä	9
	2.2 Sähköflotaation käyttö historiassa ja kehitys tulevaisuudessa	10
3	ELEMENTIT, PARAMETRIT JA MITTAUSLAITTEISTO	12
	3.1 Elementtien metalliseokset	12
	3.1.1 Merialumiini	12
	3.1.2 Rauta	12
	3.1.3 SSF erikoisseosmetalli	12
	3.1.4 Alumiini	12
	3.1.5 Mangaani.....	12
	3.2 Parametrit	13
	3.2.1 pH	13
	3.2.2 TDS	13
	3.2.3 Johtokyky.....	14
	3.2.4 Saliniteetti	14
	3.2.5 Sameus	14
	3.3 Mittauslaitteet	15
	3.3.1 YSI Professional Plus -yhdistelmämittari.....	15
	3.3.2 EZ-9909-yhdistelmämittari	16
	3.3.3 Hach dr 2010 spektrofotometri	17
4	TYÖN SUORITUS	19
	4.1 Jätevesi.....	20
	4.2 Jokivesi	20
	4.3 Rautapitoinen porakaivovesi	21

4.4	Merivesi.....	21
5	TULOKSET	22
5.1	Jätevedet.....	22
5.2	Jokivesi	29
5.3	Porakaivovesi	30
5.4	Merivesi.....	30
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
	LÄHTEET	32

LYHENNE- JA TERMI LUETTELO

Flotaatio	Yleensä kemikaalin, esim. PAX-XL100, ja vesi-ilmaseoksen avulla saadaan kiintoaines eroteltua nesteestä. Kemikaalin ionit vetävät puoleensa kiintoainepartikkeleita, jotka nousevat pintaan ilmakuplien mukana.
Sähköflotaatio	Sähkön avulla irrotetaan metallielementeistä ioneja, happea ja vetyä. Metallionit keräävät kiintoainesta ja nousevat vedyn ja hapen mukana pintaan.
pH	Ilmoittaa liuoksen happamuuden, eli vapaiden H ⁺ -ionien määrän moolia kohti
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i> , kaikki liuokseen liuenneet kiintoaineet (mineraalit, metallit, orgaaninen aines)
Merialumiini	Laivoissa ja veneissä käytettävä alumiiniseos, joka sisältää magnesiumia (AW-5754)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, minkälaiset materiaalit soveltuvat parhaiten elektrodiksi sähköflotaatiolla tehtävään vedenpuhdistukseen ja miten elementtien välimatka toisiinsa vaikuttaa puhdistustulokseen.

Suomen SähköFlotaatio Oy:n toimeksiannosta koottiin testilaitteisto opinnäytetyön tekijän autotalliin ja aloitettiin tutkimus edellä mainittujen muuttujien merkityksestä erilaisten vesien puhdistustuloksiin. Tarkoituksena oli optimoida puhdistustulos ja nopeus mahdollista jätevedenpuhdistamon yhteyteen rakennettavaan koelaitosta varten. Testattaviksi elektrodi materiaaleiksi valittiin erityyppisiä alumiini- ja metalliseoksia sekä SSF-erikoisseos.

1.1 Suomen SähköFlotaatio Oy

Suomen SähköFlotaatio Oy on kolmen ympäristötekniikan insinöörin perustama yritys. 2020 perustettu yritys suorittaa erilaisia konsultointeja vesienkäsittelyyn liittyen. Lisäksi se valmistaa ja kehittää erilaisia sähköflotaatoratkaisuja. Yhtiöllä on myös kehitteillä oma kemikaali typen saostamiseen jätevedestä. Tällä hetkellä yrityksen suurin projekti on tekoölyn kaupallistaminen ja typen saostamiskemikaalin pilotoinnit. Tekoöly on yhden omistajan näkemys siitä, kuinka jätevedenpuhdistamoa kuuluisi ohjata.

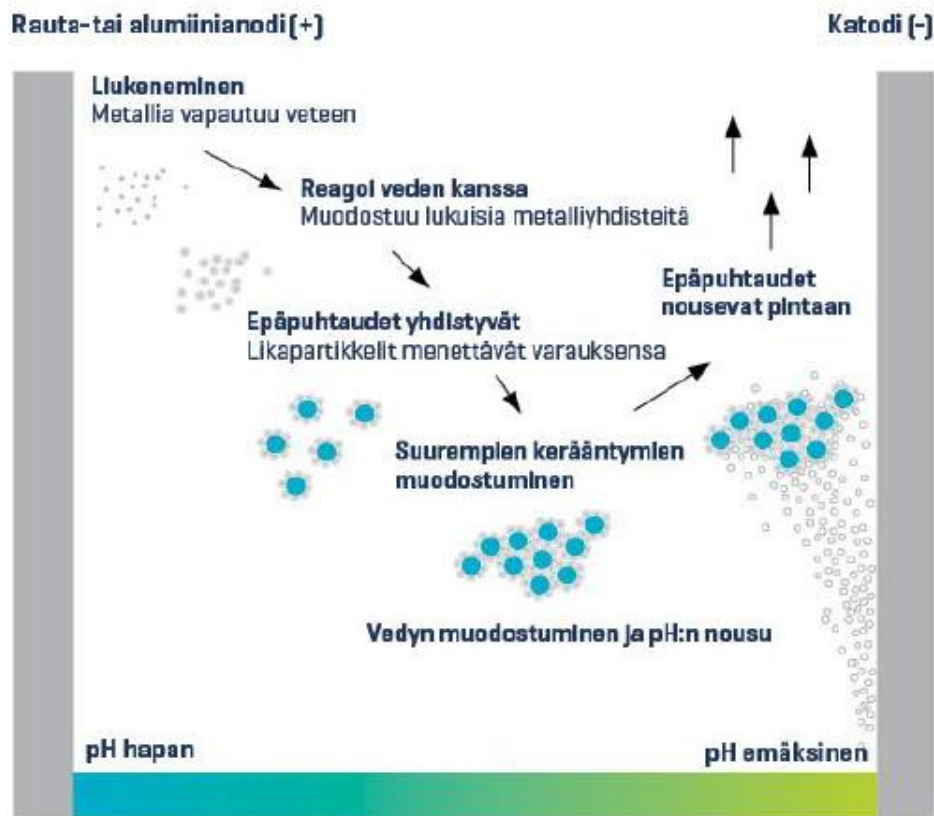
2 SÄHKÖFLOTAATIO VESIEN KÄSITTELYSSÄ

Yleisimmin käytössä olevat vesienkäsittelyprosessit ovat biologisia ja kemiallisia menetelmiä. Biologiset menetelmät ovat tehokkaita, mutta vaativat pitkän käsittelyajan lisäksi suuret käsittelyaltaat ja ovat kalliita ylläpitää. Kemiallisissa prosesseissa nimensä mukaisesti käsiteltävään veteen lisätään kemikaaleja ja ne ovat tehokkaita poistamaan kohdennettuja epäpuhtauksia, mutta saattavat toisaalta aiheuttaa sekundaarisen saastumisen. Lisäksi ne tuottavat suuren määrän lietettä /1, s. 24-26/.

Sähköflotaatio tai sähkökemiallinen vesien käsittely on paitsi yksinkertainen ja edullinen, myös hyvin tehokas menetelmä poistamaan epäpuhtauksia vedestä. Prosessi on monipuolinen poistettavien epäpuhtauksien suhteen ja se on suhteellisen helposti automatisoitavissa /1, s. 24-26/.

Sähköflotaatio on menetelmänä yksinkertainen. Järjestelmä koostuu anodista, katodista, elektrolyyttiliuoksesta (jätevesi) ja tasavirtalähteestä. Anodille johdetaan +-merkkistä virtaa, joka saa sen hapettumaan.

Sähköflotaation toimintaperiaate on samankaltainen kuin kemiallisen koagulantin käytössä. Erona on se, että sähköflotaatiossa koagulantin lisäys tapahtuu jatkuvana. Sähkövirran vaikutuksesta anodi hapettuu ja liuokseen liukenee metalli-ioneja. Vesi reagoi näiden metalli-ionien kanssa muodostaen polymeerisia metalli-hydrokseja, jotka metalli-ionien tavoin reagoivat läsnä olevien partikkelien kanssa. Metallionit vetävät puoleensa sähkövarauksellisia partikkeleita eli epäpuhtauksia ja muodostuu flokkeja, jotka joko laskeutuvat liuoksen pohjalle tai nousevat vaahdona liuoksen pintaan. /2/ Sähköflotaation toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. /3/



Kuva 1. Sähköflotaation toimintaperiaate /3/

2.1 Sähköflotaation käyttö historiassa ja kehitys tulevaisuudessa

Sähkön käytöstä vesien käsittelyssä alettiin puhua jo 1889 Isossa-Britanniassa. Vuonna 1909 alumiini- ja rautaelektrodien käyttö jäteveden käsittelyssä patentoitiin Yhdysvalloissa. Menetelmä oli tässä kohtaa jo käytössä useassa laitoksessa Brittein saarilla, mutta sen käyttö väheni kalliin sähkön ja tilalle tulleiden kemiallisten käsittelyaineiden yleistyttyä. /1, s. 9-10/

Sen hyvin monipuolisen epäpuhtauksien poistokyvyn myötä sillä on alettu käsitellä laajasti esimerkiksi erilaisia teollisuuden jätevesiä, joissa on runsaasti raskasmetalleja, kuten kaivosteollisuuden jätevesiä. Myös käyttö juomaveden valmistuksesta sähköflotaation avulla on ollut tutkimuksen aiheena. /1, s. 9-10/

Suomen SähköFlotaatio Oy kertoo, että sen tarkoituksena on hyödyntää tulevaisuudessa aurinko-, tuulienergiaa, sekä prosessista sivutuotteena syntyvää vetyä ja lämpöä energian lähteenä. Kaksi viimeksi mainittua tekniikkaa vaatii vielä tuotekehitystä.

Ravinteiden osalta tekniikalla on päästy hyviin puhdistustuloksiin, yli 85% typen ja fosforin osalta rauta ja alumiini elektrodeilla. /3/

3 ELEMENTIT, PARAMETRIT JA MITTAUSLAITTEISTO

3.1 Elementtien metalliseokset

Työssä testattiin erilaisia metalliseosparien toimivuutta sähköflotaatiossa. Alla eroteltuna tarkemmin erilaiset elementit.

3.1.1 Merialumiini

Merialumiini sisältää alumiini lisäksi noin 3 % magnesiumia, joka parantaa alumiinin korroosionkestoa, eli vähentää liukoisuutta. Sähköflotaatiossa on kuitenkin tarkoitus saada elementistä liukenemaan ioneja, joten merialumiini ei lähtökohdaisesti olisi paras vaihtoehto. Käytetyt levyt olivat mitoiltaan 100x100x2 mm.

3.1.2 Rauta

Rautaa on yleisimmin käytetty sähköflotaatioelementtinä, joten se kuului testattaviin elementtimateriaaleihin

3.1.3 SSF erikoisseosmetalli

Erikoisseosmetallielementit koostuvat yrityksen löytämästä metalliseoksesta. Seos koostuu metalleista, joista osa on reaktiivisia typelle ja osa fosforille. Kyseisellä seoksella on saatu erittäin lupaavia tuloksia ravinteiden saostamisesta kiinteään muotoon. Yritys ei halua paljastaa materiaalin tarkkaa koostumusta.

3.1.4 Alumiini

Alumiini on sähköflotaatiolaitteiston elementiksi erinomainen materiaali sen fysikaalisten ominaisuuksien, keveyden ja korroosionkeston ansiosta

3.1.5 Mangaani

Mangaani on yleinen metalli. Se on haurasta ja hapettuu helposti. Materiaali on työssä mukana kokeellisessa mielessä.

3.2 Parametrit

Opinnäytetyössä käytetyllä mittauslaitteistolla mitattiin seuraavia parametreja:

- pH
- O₂
- Johtokyky
- TDS
- Saliniteetti
- Alumiini, Al
- Typpi, NH₄
- Fosfori, P
- Sameus

3.2.1 pH

pH ilmaisee liuoksen happamuutta tai emäksisyyttä. Yleensä pH-asteikon ajatellaan olevan 0–14, mutta todellisuudessa arvot voivat ylittää asteikon molemmista päistä. Varsinaisesti pH ilmaisee liuoksen vapaiden H⁺-ionien määrää eli konsentraatiota ja luku tulee konsentraation negatiivisesta logaritmista. Työssä tavoiteltiin puhdistetulle vedelle neutraalia pH-arvoa 7

3.2.2 TDS

Total dissolved solids eli liuoksen kiintoaineen kokonaismäärä kertoo veteen liuoksen kiintoaineen kokonaismäärän, kertomatta kuitenkaan tarkemmin mitä kiintoaine on. Käytetään yleisesti veden tutkimuksen tukena ja seuranta tietona. Puhdistusprosessin toimiessa oikein TDS luku pienenee eli kiintoaineen määrä laskee.

3.2.3 Johtokyky

Kertoo veteen liuenneiden mineraalien eli suolojen yhteismäärän vedessä. Johtokyky mittaa sähkönjohtavuutta vedessä ja nämä liuenneet ionit toimivat sähkönjohtajina. Yleisimmin positiivisesti varautuneita ioneja ovat natrium (Na^+), kalsium (Ca^{2+}), kalium (K^+) ja magnesium (Mg^{2+}) ja negatiivisesti varautuneita kloridi (Cl^-), sulfaatti (SO_4^{2-}), karbonaatti (CO_3^{2-}), bikarbonaatti (HCO_3^-), nitriitti (NO_3^{2-}) ja fosfaatti (PO_4^{3-})

3.2.4 Saliniteetti, S

Saliniteetti (tunnus S) kertoo johtokykyä selektiivisemmin veden suolapitoisuudesta. Suurin osa veden saliniteetistä tulee natriumkloridista (NaCl), mutta myös yleisesti erilaisista natriumin, kloridin, karbonaatin ja sulfaatin yhdisteistä

3.2.5 Sameus

Sameutta on työssä mitattu silmämääräisesti asteikolla 0-5. Arvon 0 ollessa täysin läpinäkyvä, kirkas vesi (kuva 2) ja arvo 5 täysin läpinäkymätön vesi. Opinnäytetyön suorittajalla on laboratorioalan koulutus ja kokemusta sameuden aistinvaraisesta arvioinnista.



Kuva 2 Jäteveden tavoitetaso, kirkas vesi, sameus 0.

3.3 Mittauslaitteet

Työssä käytettiin Suomen SähköFlotaation omia mittalaitteita, jotka ovat ammattitasoisia veden analysointiin tarkoitettuja laitteita.

3.3.1 YSI Professional Plus -yhdistelmämittari

YSI:n käsimittarit (kuva 3) ovat yksi yleisimpiä ammattimaisten vedentutkimushenkilöiden käyttämiä mittareita, joilla saadaan luettua vedestä erinäisiä parametrejä, muun muassa:

- Liuennut happi
- pH
- Lämpötila
- ORP
- Johtokyky



Kuva 3. YSI Professional Plus -yhdistelmämittari

3.3.2 EZ-9909-yhdistelmämittari

EZ-9909 5-in-1 on yhdistelmämittari (kuva 4), jolla voidaan analysoida vedestä seuraavia parametrejä:

- TDS
- pH
- Lämpötila
- Johtokyky
- Saliniteetti

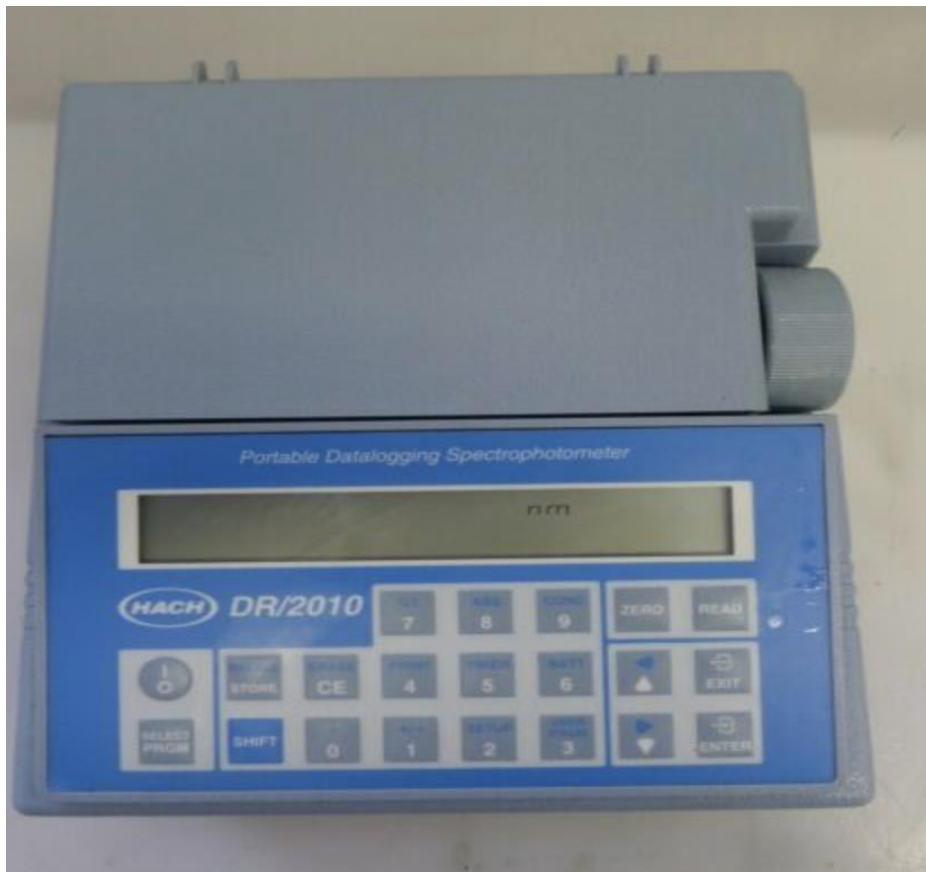


Kuva 4. EZ-9909-yhdistelmämittari

3.3.3 Hach DR 2010 spektrofotometri

Spektrofotometri on mittalaite, jonka toiminta perustuu eri aallonpituuksien absorboitumiseen aineessa (kuva 5). Laitteella pystytään tarkasti määrittämään aineiden yhdisteiden pitoisuuksia, puhtautta ja tunnistamaan ne. /6/

Spektrofotometrilla määritettiin tutkimuksessa typpi-, fosfori-, ja alumiinipitoisuuksia.

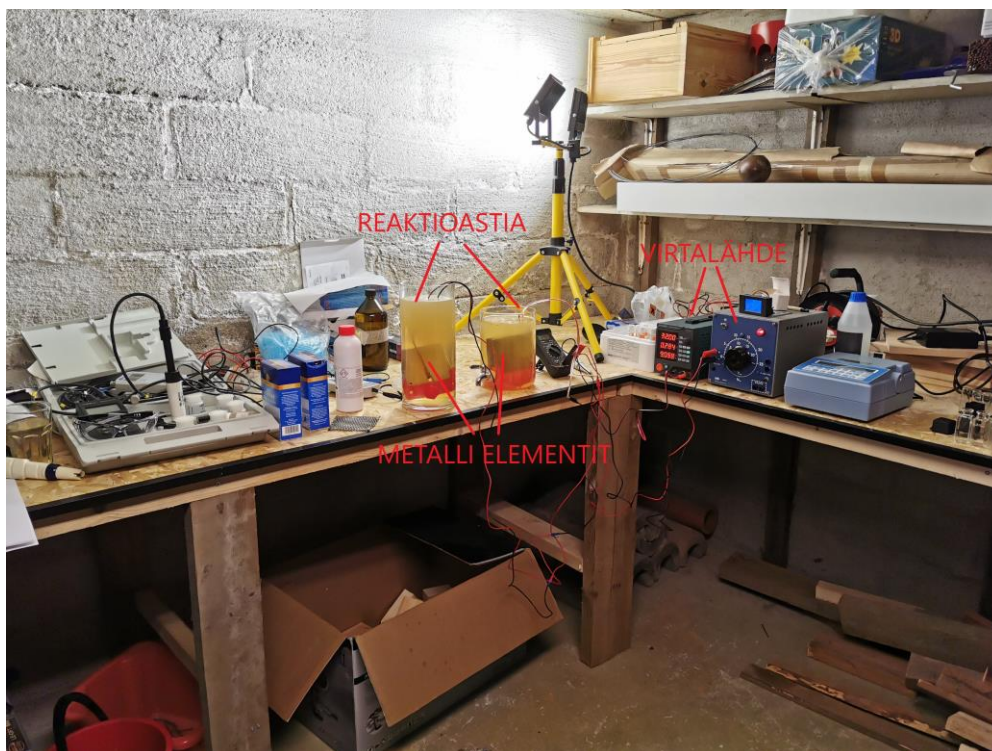


Kuva 5 Hach DR/2010 spektrofotometri

4 TYÖN SUORITUS

Opinnäytetyössä käytettävä sähköflotaatiojärjestelmä koostuu tasavirtalähteestä, jännitemittauksesta, reaktioastiasta ja kahdesta metallielementistä. Elementtien etäisyyksien tarkkaa mittaamista varten niille tehtiin 3D tulostimella säädettävä teline, joka lasketaan reaktioaltaan pohjalle. Laitteistoa on havainnollistettu kuvassa 6. Kokeissa käytetyt elementtien välit ovat 1, 2,5 ja 5 cm.

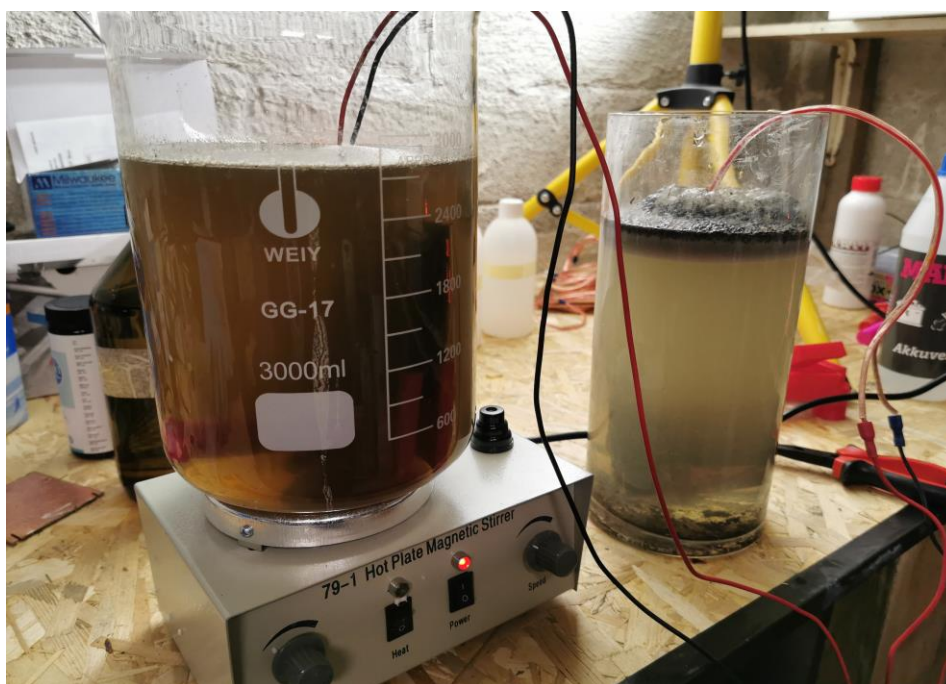
Elementit ovat kytketty virtalähteeseen, ja niihin virtaa tasavirtaa. Sähkön avulla elementit luovuttavat veteen metalli-ionin, joka vetää varautuneita hiukkasia itseensä kiinni ja flokit alkavat nousta pintaan reaktiossa muodostuneiden kaasukuplien avustamana, kun tämä haluttu reaktio toistuu riittävän monta kertaa, vedestä tulee kirkasta.



Kuva 6 Laitteisto. Kuvassa käynnissä kaksi koetta saman aikaisesti

4.1 Jätevesi

Kokeilimme kolmen eri puhdistamon jätevettä erilaisin elementti yhdistelmin (kuva 7). Puhdistamoilla on erilaiset jätevedet keskenään ja on hyvä kokeilla erilaisia jätevesiä, jotta lopputuloksesta tulee laadukkaampi. Käsittelemättömän veden ravinnepitoisuuksista mittasimme typpeä ja fosforia, joihin halusimme enemmän keskittyä.



Kuva 7 Jätevesiä käsittelyssä. Vasemmalla käsittelyn alusta ja oikealla puolella n. 3 minuutin jälkeen.

4.2 Jokivesi

Jokivesi on peräisin Kyrönjoesta, samaa vettä käytetään Vaasassa raakaveden lähteenä. Vesi on hyvin humuspitoista ja kokeiden tarkoitus oli tutkia, voidaanko sähköflotaatiota mahdollisesti käyttää veden esiselkeytyksessä.

4.3 Rautapitoinen porakaivovesi

Vesi sisälsi rautaa ja oli sen johdosta värjäytynyt punertavaksi. Rautapitoisia vesiä käsitellään tavanomaisesti hapettamalla ja hiekkasuodattimella. Porakaivovedelle tehtyjen kokeiden tarkoitus oli saattaa vesi juomakelpoiseksi sähköflotaatiolla, eli raudan poistaminen vedestä. Kyseessä olevan porakaivon omistajan mukaan vesi oli tutkittu laboratoriossa ja oli muilta osin juomakelpoista, mutta ylitti raudan osalta raja-arvot.

4.4 Merivesi

Kokeissa käytetty merivesi oli peräisin Vaasasta. Itämeren vesi on sekoitus valtamerien vettä ja makeaa vettä. Suolapitoisuus on ainoastaan 4-5 promillea, kun maailman valtamerien keskimääräinen suolapitoisuus on 3,5 %./4/

Merivedelle tehtyjen kokeiden tarkoituksena oli tutkia, onko mahdollista vähentää veden suolapitoisuutta sähköflotaatiolla.

5 TULOKSET

5.1 Jätevedet

Ensimmäisessä kokeessa testattiin jäteveden puhdistusta alumiinielementillä. Taulukoista 1, 2 ja 3 on luettavissa, että reaktion nopeus korreloi suoraan elementtien etäisyyteen toisistaan. Hapen määrän väheneminen ja pH:n muutos kertovat kaasujen muodostumisesta, jotka nostattavat kiintoainesta pintaan. Näkyvän kiintoaineen poistaminen vedestä onnistui hyvin nopeasti elementtien ollessa 1 cm etäisyydellä toisistaan. TDS lukema kertoo myös, että liuennutta kiintoainesta poistui lähes 30 %.

Taulukko 1 Alumiini. Elementtien väli 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	7,89	10	950	428	5
3	8,65	8	860	387	3
6	8,9	5	800	360	2
9	9,6	3	790	356	1
12	10,6	3	685	308	0

Taulukko 2 Alumiini. Elementtien väli 2,5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johtokyky (m/S)	TDS	sameus (0-5)
0	7,9	10	940	423	5
3	8,2	9	920	414	5
6	8,6	8	870	392	4
9	8,9	6	820	369	4
12	9	4	790	356	4
15	9,1	3	770	347	3
18	9,3	3	750	338	3
21	9,3	3	740	333	3

Taulukko 3 Alumiini. Elementtien väli 5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (m/S)	TDS	sameus (0-5)
0	7,78	10	950	428	5
3	7,8	9	950	428	5
6	7,8	9	950	428	5
9	7,8	9	950	428	5
12	7,8	9	940	423	5
15	7,8	9	940	423	5
18	7,9	8	930	419	5
21	7,9	8	920	414	5

Toisessa kokeessa testattiin jäteveden puhdistusta SSF-elementillä. Taulukko 4 kertoo, että kiintoaineen poisto onnistui melko hyvin elementtien etäisyyden ollessa 1 cm. Liuokseen jäi kuitenkin haalean ruskeaa väriä. Reaktio oli elementillä selkeästi hitaampaa ja siitä johtuen kokeita ei jatkettu 12 minuuttia pidempään muilla etäisyyksillä (Taulukko 5 ja 6). SSF- elementeillä mitattiin myös fosforin ja typen poistumaa spektrofotometrillä (Taulukko 7).

Taulukko 4 SSF-elementti. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	7,91	10	930	419	5
3	7,99	9	880	396	4
6	8,35	7	860	387	4
9	8,9	6	810	365	2
12	9,4	4	790	356	1

Taulukko 5 SSF-elementti. Elementtien etäisyys 2,5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (m/S)	TDS	sameus (0-5)
0	7,9	10	940	423	5
3	7,94	9	940	423	5
6	8,05	8	930	419	4
9	8,09	6	930	419	4
12	8,1	4	920	414	4

Taulukko 6 SSF-elementti. Elementtien etäisyys 5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (m/S)	TDS	sameus (0-5)
0	7,86	10	930	419	5
3	7,85	9	930	419	5
6	7,88	9	930	419	5
9	7,9	9	930	419	5
12	7,9	9	930	419	5

Typen ja fosforin poistoa testattiin SSF-elementillä. Mittaus on suoritettu spektrofotometrillä. Tulokset ovat luettavissa taulukosta 7. Typen määrä vedessä lisääntyi, joten koetta voidaan pitää epäonnistuneena. Fosforin määrä putosi huomattavasti, joten sen osalta voidaan todeta, että SSF-elementti poistaa fosforin tehokkaasti jätevedestä.

Taulukko 7 Typen ja fosforin poisto jätevedestä SSF-elementillä.

t (min)	Typpi (NH ₄ ⁺)	
	mg/l	Fosfori P mg/l
0	58	8,9
3	59	6,1
6	62	4,7
9	64	2,9
12	68	1,7

Kolmannessa testisarjassa testattiin merialumiini-elementtejä. Taulukosta 8 voi sameuden osalta lukea, että elementti toimii näkyvän kiintoaineksen osalta samankaltaisesti kuin alumiini, mutta TDS luvun perusteella liuenneiden kiintoainesten osalta samaan tulokseen sillä ei pääse.

Taulukko 8 Merialumiini. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	6,65	10	780	351	5
3	6,9	8	760	342	3
6	7,6	7	730	329	2
9	8,5	6	710	320	1
12	9,1	3	680	306	0

Taulukko 9 Merialumiini. Elementtien etäisyys 2,5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (m/S)	TDS	sameus (0-5)
0	6,6	10	770	347	5
3	6,7	9	770	347	5
6	6,7	9	760	342	4
9	6,9	7	750	338	4
12	7	7	740	333	4
15	7,2	5	730	329	3
18	7,5	5	720	324	3
21	7,8	4	700	315	3

Taulukko 10 Merialumiini. Elementtien etäisyys 5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (m/S)	TDS	sameus (0-5)
0	6,7	10	770	347	5
3	6,7	9	770	347	5
6	6,7	9	770	347	5
9	6,8	9	760	342	5
12	6,8	9	760	342	5
15	6,8	9	750	338	5
18	6,9	9	750	338	5
21	6,9	9	750	338	5

Rauta oli mukana tutkimuksessa, koska se on yleisesti käytetty materiaali sähkölotaatiojärjestelmissä. Rauta poistaa hyvin vedestä näkyvää kiintoainesta ja reaktio on nopea vielä 2,5 cm etäisyydellä, mutta rauta värjää veden ruskeaksi elementtien hapettumisen myötä, joten sameusluku jää korkeammaksi (Taulukko 11, 12 ja 13). Rauta ei myöskään poistanut liuenneita kiintoaineita yhtä tehokkaasti kuin alumiini tai SSF-elementti

Taulukko 11 Rauta. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	6,6	5	760	342	3
3	6,9	4	720	324	3
6	7,4	4	690	311	2
9	8	2	670	302	2
12	8,3	1	660	297	1

Taulukko 12 Rauta. Elementtien etäisyys 2,5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	6,6	6	780	351	3
3	6,7	5	770	347	3
6	6,9	5	760	342	3
9	7,1	3	730	329	3
12	7,3	3	740	333	3
15	7,5	3	730	329	2
18	7,6	2	720	324	2
21	7,8	2	700	315	2

Taulukko 13 Rauta. Elementtien etäisyys 5 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johto- kyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	6,7	5	740	333	3
3	6,7	5	730	329	3
6	6,8	5	730	329	3
9	6,8	5	720	324	3
12	6,8	4	700	315	3
15	6,9	4	690	311	3
18	6,9	4	690	311	3
21	6,9	4	680	306	3

Mangaanielementillä ei tapahtunut kaasunmuodostus reaktiota lainkaan, eikä jäteveden parametreissa tapahtunut muutoksia (Taulukko 14). Mangaani ei tämän kokeen perusteella toimi sähköflotaatio-elementtinä veden puhdistuksessa.

Taulukko 14 Mangaani. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johtokyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	6,9	5	860	387	3
3	6,9	5	860	387	3
6	6,9	5	860	387	3
9	7	5	860	387	3
12	7	5	860	387	3

5.2 Jokivesi

Kyröjoen vedestä haluttiin testeissä poistaa humusta. Taulukosta 15 nähdään, että alumiinielementillä jokivettä saadaan puhdistettua kiintoaineesta. Reaktio on jokivedellä huomattavan paljon hitaampaa johtuen jätevettä alhaisemmasta johtokyvystä ja kiintoaineen määrästä.

Taulukko 15 alumiini elementti. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johtokyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	5,4	9	129	58	2
3	5,6	8	118	53	2
6	5,8	7	109	49	1
9	5,9	6	104	47	1
12	6	5	98	44	1

SSF-elementti ei toimi yhtä hyvin, kuin alumiini jokiveden humuksen poistamiseen (Taulukko 16).

Taulukko 16 SSF-elementti. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	pH	O ₂ (mg/l)	johtokyky (uS/cm)	TDS	sameus (0-5)
0	6,9	9	129	58	2
3	7	8	123	55	2
6	7	8	119	54	2
9	7	6	116	52	2
12	7	6	110	50	1

5.3 Porakaivosi

Porakaivosi käsiteltiin alumiinielementillä raudan poistamiseksi. Rauta poistuu alumiinielementillä. Vesi oli porakaivon omistajan mukaan rautaa lukuunottamatta muiden ohje-arvojen suhteen juomakelpoista. Kokeen tuloksista voidaan todeta, että alumiinia liukenee veteen liikaa. Juomavedessä alumiinia saa olla korkeintaan 200 µg/l /8/.

Taulukko 17 Alumiini. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	alumiini AL µg/l	Sameus
0		1
3		1
6		1
9		0
12	310	0

5.4 Merivesi

Meriveden suolapitoisuutta haluttiin tutkia erikseen alumiinielementillä. Merkittävää suolapitoisuuden muutosta ei testissä havaittu (taulukko 18).

Taulukko 18 Alumiini. Elementtien etäisyys 1 cm.

t (min)	sal (ppm)
0	4023
3	3989
6	3954
9	3902
12	3887
15	3876
18	3868
21	3850

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokeiden perusteella voidaan todeta, että yleisesti sähköflotaatio-järjestelmissä käytössä olevat materiaalit alumiini ja rauta toimivat hyvin. Myös Suomen Sähköflotaatio Oy:n oma materiaali puhdisti vettä kiitettävästi kiintoaineesta ja myös fosforin poistossa onnistuttiin. Tässä työssä oli tarkoituksena optimoida laitteisto puhdistamaan jätevettä, siihen tarkoitukseen alumiinilevyt sopivat ylivoimaisesti parhaiten 1 cm etäisyydellä.

Elementtien tulee olla mahdollisimman lähellä toisiaan parhaan ja nopean tuloksen saavuttamiseksi. Lisäksi likaisempi vesi puhdistuu kirkkaaksi nopeammin kuin puhdas, johtuen todennäköisesti suuremmasta veden sähkönjohtokyvystä ja suuremmasta epäpuhtauksien partikkelikoosta. PH:ta suolahapolla laskemalla puhdistuminen tapahtui myös nopeammin.

LÄHTEET

/1/ Adelaide, D. 2013. Electrocoagulation for Water Treatment: the Removal of Pollutants using Aluminium Alloys Stainless Steels and Iron Anodes. National University of Ireland Maynooth, Department of Chemistry. Maynooth, Ireland.

/2/ Mollah, M., Schennach, R., Parga, J. & Cocke, D. 2001. Electrocoagulation (EC) – Science and applications. Journal of Hazardous Materials B84, 29 – 41.

/3/ Koivuniemi, J. 2016. Teollisuuden jätevesien puhdistukseen liittyvän uuden teknologian kaupallistaminen. s.14-15.

/4/ Käkäräinen, O. 2017. Vaasan edustan merialueen vedenlaatutarkkailu vuonna 2017. KVVY Tutkimus Oy / Tampere. Raportti nro 284/19. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B42A79797-3ADF-4BA8-A780-F4E57B0430C2%7D/146054>

/5/ Hach Company. 1996. DREL/2010 SPECTROPHOTOMETER Soil and Irrigation Water Portable Laboratory Manual. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984900>

/6/ Solunetti. Spektrofotometria. Viitattu 15.5.2022. <https://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/spektrofotometria/>

/7/ Wikipedia. Redox-potentiaali. Viitattu 15.5.2022. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Redoxpotentiaali>

/8/ A 17.5.2001/401. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Liite 2. Talousveden laatuvaatimukset ja suositukset. Finlex.