

24.2.2024

Sisältö

1.	Biobros Oy:n jatkuvuustestaus -palvelu.....	2
2.	Elektrokoagulaation (EC) teoriaa.....	2
2.1.	Elektrokoagulaation sähkökemialliset reaktiot	3
3.	Tutkimuslaitteisto, tutkittava jätevesi ja näytteenotto	3
3.1.	Tutkittava jätevesi	4
3.2.	Pilottiajojen näytteenotto	4
4.	Sähkösaostuspilotoinnin tavoitteet	5
5.	Pilotointiajot.....	6
6.	Pilotointiajojen tulokset	7
6.1.	Ensimmäinen pilotointiajo.....	7
6.2.	Toinen pilotointiajo	8
6.3.	Kolmas pilotointiajo	8
6.4.	Neljäs pilotointiajo	9
6.5.	Viides pilotointiajo	10
6.6.	Kuudes pilotointiajo	11
6.7.	Seitsemäs pilotointiajo.....	11
6.8.	Kahdeksas pilotointiajo	12
6.9.	Yhdeksäs pilotointiajo	13
6.10.	Kymmenes pilotointiajo	14
6.11.	Yhdestoista pilotointiajo.....	15
6.12.	Kahdestoista pilotointiajo	15
6.13.	Kolmastoista pilotointiajo.....	16
6.14.	Neljästoista pilotointiajo.....	17
6.15.	Viidestoista pilotointiajo.....	18
7.	Liete ja flokkitestit	19
7.1.	Lietenäyte	19
7.2.	Kokeiden suoritus.....	19
7.3.	Lietetestien johtopäätökset	20
8.	Yhteenveto ja johtopäätökset	20
8.1.	Elektrokoagulaation tarvitsema energia.....	20
8.2.	Alumiini elektrodien kulutus	20
8.3.	Biobros:n EC-laitteiston kuvaus Jätekukon suotoveden käsittelyyn	21
8.4.	Lietteen määrä sen jatkokäsittely.....	21

24.2.2024

1. Biobros Oy:n jatkuvuustestaus -palvelu

Biobros Oy on vedenpuhdistusratkaisuihin erikoistunut palvelu- ja toimittajayritys. Kehitetyn Biobros EC -puhdistusjärjestelmän avulla puhdistamme jätevesistä epäpuhtauksia ja haitallisia aineita.

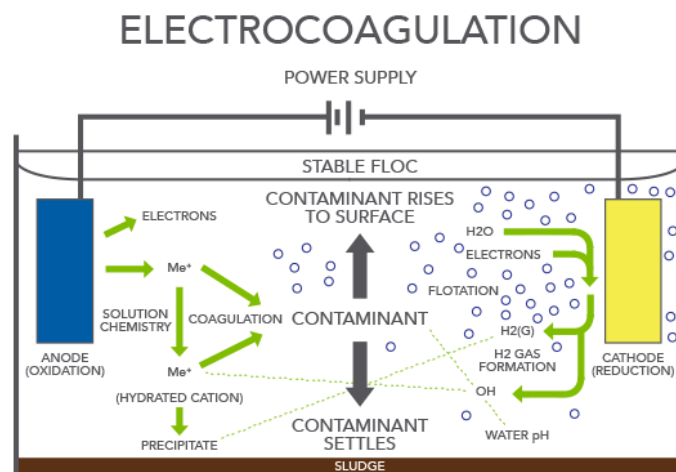
Jatkuvuustestauspalvelussa asiakkaalle tehdään paikan päällä omille vesille-/jätevesille koeajosarja (tyypillisesti 10 - 30 vrk.) patentoidulla Biobros EC - järjestelmällä.

Testiajojakson aikana pyritään optimoimaan järjestelmän virrankulutusta halutun tilavuusvirran ja puhdistustuloksen suhteessa. Ennen testejä sovitaan asiakkaan kanssa tavoitteet, joihin testiajoissa pyritään.

2. Elektrokoagulaation (EC) teoriaa

Elektrokoagulaatio on sähkökemiallinen vesien ja jätevesien käsittelymenetelmä, jossa käsiteltävään veteen liuotetaan elektrolyysin avulla anodimateriaalina olevaa metallia (tyypillisesti Al tai Fe). Liuennut metalli hydrolysoituu ja saa aikaan vedessä olevien haitta-ainepartikkelien destabiloitumisen ja tätä seuraavan flokin ja lietteen muodostuksen. Samanaikaisesti anodireaktion kanssa vesimolekyylit hajoaa katodilla, tuottaen vetykaasua (H_2) ja hydroksidi-ioneja (OH^-). Muodostuneet mikroskooppiset vetykuplat nousevat pintaan nostamalla yleensä samalla saostuneet haitta-aineet veden pinnalle, mutta saostunut liete voi laskeutua myös astian pohjalle. Hydroksidi-ionit säätelevät veden pH arvoa tyypillisesti kohti neutraalia.

EC-menetelmän periaate on esitetty kuvassa 1.



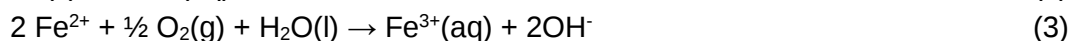
Kuva 1 EC-menetelmän periaate

24.2.2024

2.1. Elektrokoagulaation sähkökemialliset reaktiot

EC:n pääasialliset sähkökemialliset reaktiot on esitetty yhtälöissä (1) - (4). Liukoinen happi hapettaa anodilta elektrolyytisesti liuenneen ferro-ionin (Fe^{2+} ks. yhtälö (2)) ferri-ioniksi (Fe^{3+}) yhtälön (3) mukaisesti.

Anodireaktiot:

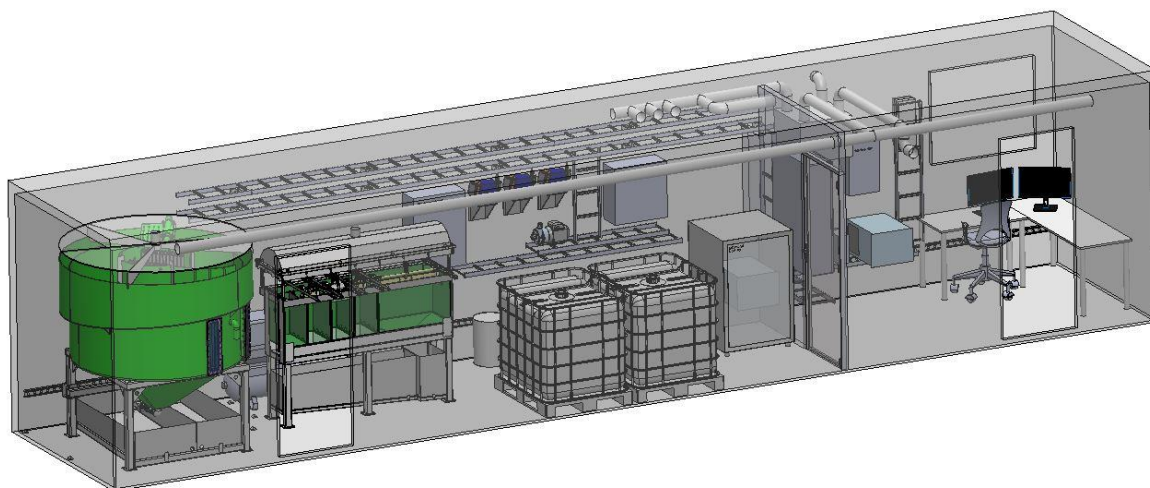


Katodireaktio:



3. Tutkimuslaitteisto, tutkittava jätevesi ja näytteenotto

Biobros Oy:n elektrokoagulaatioon perustuva pilottilaitteisto on asennettu 12 metrin merikonttiin (kuva 2). Kontti on jaettu kahteen osaan; prosessi- ja valvomopuoli. Prosessipuolella on kaksi EC-pilottilaitteistoa, veden esikäsitteilyn IBC-säiliö, puhdistetun veden jälkikäsitteilyn IBC-säiliö, 50 kW virtalähde, kolme annostelupumppua ja tarvittavat letkut, pumput ja venttiilit vesien pumppaamiseen ja sopivan tilavuusvirran hallintaan. Valvomopuolella on prosessin ohjaamiseen liittyvä PC-pohjainen automaatiojärjestelmä, päävirtakaappi, automaatiokaappi ja kontin ilmastointilaitte.



Kuva 2 Biobros Oy:n EC-pilottilaitteisto

24.2.2024

3.1. Tutkittava jätevesi

Pilottiajoissa testattiin Jäte kukon Heinä lamminrinteen tasausaltaan jäte vettä Savonia AMK:n MBBR-prosessin jälkeen. Kyseistä jäte vettä syntyy 100 000 – 150 000 m³/vuosi. Jäte vesi syntyy pääosin kierrätyskeskuksen kenttä- ja suotovesistä, jotka kerääntyvät alueella sijaitsevaan tasausaltaan. Nykyisin tasausaltaan vesi pumpataan tasaalstaan pumppauskaivon kautta Kuopion veden operoimalle kunnalliselle jäte veden puhdistamolle.



Kuva 3 Ilmakuva Jäte kukon tasaalstaan ja pilotoitinkonteista

3.2. Pilottiajojen näytteenotto

Pilottiajojen vesien näytteenotto toteutettiin Savonia AMK:n ja Biobros Oy:n toimesta. Jokaisesta testiajosta otettiin sekä ns. 0-näyte MBBR-prosessin jälkeen ja elektrokoagulaatioprosessin jälkeen. Otettujen näytteiden vesianalyyseiden perusteella arvioidaan EC-prosessin puhdistustehokkuutta. Jokaisen pilottiajojen näytteistä tehtiin seuraavat analyysit Savonia AMK:n vesilaboratoriossa:

- sähkönjohtavuus (mS/m)
- ammoniumtyppi (NH₄-N, mg/l)
- nitraattityppi (NO₃-N, mg/l)
- kokonaisfosfori (PO₄-P, mg/l)
- kemiallinen hapen kulutus (COD, mg/l)

Kokonaismetallit:

- kupari (mg/l tai µg/l)
- sinkki (mg/l tai µg/l)
- kadmium (mg/l tai µg/l)

24.2.2024

- lyijy (mg/l tai µg/l)
- rauta (mg/l tai µg/l)
- kromi (mg/l tai µg/l)
- nikkeli (mg/l tai µg/l)

Liukoiset metallit:

- kupari (mg/l tai µg/l)
- sinkki (mg/l tai µg/l)
- kadmium (mg/l tai µg/l)
- lyijy (mg/l tai µg/l)
- rauta (mg/l tai µg/l)
- kromi (mg/l tai µg/l)
- nikkeli (mg/l tai µg/l)

4. Sähkösaostuspilotoinnin tavoitteet

Sähkösaostuspilotointijakson tavoitteena oli pyrkimys todentaa seuraavat asiat:

- saadaanko jäteveden sisältämä nitraattityppi ja fosfori saostettua lietteeseen, jota voidaan jatko hyödyntää edelleen ravinnekäytössä?
- saadaanko jätevedestä poistettua metalleja (kupari, sinkki, kadmium, lyijy, rauta, nikkeli ja kromi)?
- saadaanko jätevedet puhdistettua ympäristöluvan vaateiden mukaisesti niin, että ne voidaan käyttää alueella tai laskea ympärysojiin?

Biobros EC-laitteisto (12 m merikontti) toimitettiin Jätekukon tasausaltaan viereen 23.11.2023. Jätekukko toimitti erillisen 5,0 m3 altaan Savonia AMK:n MBBR kontin ja Biobros:n EC kontin väliin jäteveden keräystä varten. Puhdistettava jätevesi pumpattiin EC-laitteistolle 5,0 m3 välisäiliöstä, johon vesi kerättiin Savonia AMK:n MBBR-pilottilaitteistolta.

Biobros Oy:n EC-pilotointijakson toimitukseen sisältyivät seuraavat asiat:

- Testauspaikalle toimitettu 12 metrin merikontti, jossa EC-testauslaitteisto
- Sähkönkulutusmittari pilottilaitteistolle
- Merikontin edellyttämät aluspuut
- 125 A sähkökaapeli (25 metriä)
- Puhdistettavan jäteveden pumppaukseen liittyvät pumpput, letkut ja tarvittavat saattokaapelit letkujen sulana pitoon
- Välisäiliöt (3 kpl IBC-kontit)

Testauspalvelun avulla tuotetun tiedon ja puhdistustulosten myötä voidaan arvioida järjestelmän soveltuvuutta, kannattavuutta ja hyötyjä tasausaltaan jäteveden käsittelyssä.

24.2.2024

5. Pilotointiajot

Elektrokoagulaatio pilotointiajot ajoituivat 30.11.2023 – 14.2.2024 välille. Pilottiajoja toteutettiin yhteensä 15 kpl. Biobros:n puolesta pilotoinneissa oli mukana prosessinhoitaja Johan Nordqvist ja teknologiajohtaja Anssi Suhonen.

Pilottiajoissa pyrittiin löytämään ja optimoimaan prosessin ajoparametrit testiajojen tavoitteiden täyttämiseksi. Elektrokoagulaatioprosessissa tyypillisimmät säädettävät ajoparametrit ovat seuraavat:

- Veden virtaama (m³/h)
- Käytetty sähköteho (kWh/m³)
- Veden pH
- Veden konduktanssi (mS/m)
- Käytettyjen elektrodien materiaali
- Saostuksen tehostava polymeeri

Pilotointiajoissa muutetaan em. ajoparametrejä yksi kerrallaan, kun haetaan optimaalista puhdistustulosta mahdollisimman kustannustehokkaasti.



Kuva 4 Elektrokoagulaation visuaalinen tulos ennen ja EC-käsittelyn jälkeen

24.2.2024

Pilotointiajojen toteutuspalvelun sisältö oli:

- Jäteveden testiajot, 15 vrk (tilavuusvirta: 500 – 10 000 l / h välillä)
 - 5 - 8 h/vrk prosessinhoitajan ja 2 h/vrk asiantuntijan työtä
 - Vesinäytteiden otto jokaisesta testiajosta
- Dokumentointi, ajoraportti ja tulokset
- Biobros osallistui hankintayksikön kanssa pidettäviin palavereihin, jotka koskevat kyseistä pilotointijaksoa.

6. Pilotointiajojen tulokset

6.1. Ensimmäinen pilotointiajo

Ensimmäinen pilotointiajo suoritettiin 30.11.2023. Vettä ajettiin yhteensä n. 5 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Tässä pilotointiajossa vedelle ei tehty lainkaan esikäsittelyä (pH, konduktanssi, saostuspolymeerit, yms). Käytetty teho tässä ajossa oli **2,9 kWh/m³**.

Ensimmäisen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,96	8,62	229	165,2

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
79,2	66	17 %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
42	28,71	32 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
1,893	0,074	96 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
282	111	61 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
86,73	40,53	53 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
113,22	89,59	21 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

24.2.2024

6.2. Toinen pilotointiajo

Toinen pilotointiajo suoritettiin 7.12.2023. Vettä ajettiin yhteensä n. 5 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,2 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **2,6**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 33% HCl-liuosta. Suolahappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,27 l/m³**.

Toisen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,8	7,4	232	116,3

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
69,6	26,4	62 %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
46,8	16,8	64 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
1,7	<0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
286	36,7	87 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
90,3	14,9	83 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
114,2	40,5	65 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.3. Kolmas pilotointiajo

Kolmas pilotointiajo suoritettiin 8.12.2023. Vettä ajettiin yhteensä n. 5 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **1,9 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **4,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 33% HCl-liuosta. Suolahappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,1 l/m³**.

24.2.2024

Kolmannen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,8	5,5	232	261

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
69,6	69	1 %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
46,8	40,8	13 %

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
1,7	<0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
286	76,8	73 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
90,3	15,3	83 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
114,2	38,4	66 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.4. Neljäs pilotointiajo

Neljäs pilotointiajo suoritettiin 9.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 2,5 kuutiota virtaamalla **0,5 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **3,7 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **4,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 33% HCl-liuosta. Suolahappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,1 l/m³**.

Neljännen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,5	6,8	213	120

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
17,3	26,8	- %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
105	89,4	15 %

24.2.2024

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
2,2	<0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
258	120	53 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
88,7	33,7	62 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
117,2	114,7	2 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.5. Viides pilotointiajo

Viides pilotointiajo suoritettiin 10.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 2,5 kuutiota virtaamalla **0,5 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **4,1 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **5,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 33% HCl-liuosta. Suolahappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,03 l/m³**.

Viidennen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
5,5	6,8	233	230

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
14,5	22,6	- %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
109	93,3	14 %

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
1,2	<0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
248	67,7	73 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
82,2	34,4	58 %

24.2.2024

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
126,6	117	7 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.6. Kuudes pilotointiajo

Kuudes pilotointiajo suoritettiin 11.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 2,5 kuutiota virtaamalla **0,5 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **6,4 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **5,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 33% HCl-liuosta. Suolahappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,03 l/m³**.

Kuudennen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,5	7,5	215	199

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
13,6	17,9	- %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
110	94,7	14 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
2,2	<0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
312	90,2	71 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
91,4	30,8	66 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
122,1	116,6	5 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.7. Seitsemäs pilotointiajo

Seitsemäs pilotointiajo suoritettiin 15.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 2,5 kuutiota virtaamalla **0,5 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **3,0 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon

24.2.2024

säädettiin tulevan veden konduktanssi **400 mS/m**. Sähkönjohtavuuden säätämiseksi käytimme tavallista ruokasuolaa (NaCl). Ruokasuolaa sähkönjohtavuuden säätämiseen tarvittiin n. **1,5 kg/m3**.

Seitsemännen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,9	8,6	225	312

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
18	83	21 %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
109	94,7	24 %

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
2,4	0,05	98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
319	122	62 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
95,1	47,6	50 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
123,6	104,4	16 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.8. Kahdeksas pilotointiajo

Kahdeksas pilotointiajo suoritettiin 16.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 2,5 kuutiota virtaamalla **0,5 m3/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,5 kWh/m3**. Tähän pilotointiajoon säädettiin tulevan veden konduktanssiarvo **400 mS/m**. Sähkönjohtavuuden säätämiseksi käytimme tavallista ruokasuolaa (NaCl). Ruokasuolaa sähkönjohtavuuden säätämiseen tarvittiin n. **1,5 kg/m3**.

Kahdeksannen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,9	8,6	225	403

24.2.2024

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
18	17	5 %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
109	98,6	10 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
2,4	< 0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
319	123	61 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
95,1	46,7	51 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
123,6	111,5	10 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.9. Yhdeksäs pilotointiajo

Yhdeksäs pilotointiajo suoritettiin 17.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 2,5 kuutiota virtaamalla **0,5 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,5 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädettiin tulevan veden konduktanssi arvoon **400 mS/m**. Sähkönjohtavuuden säätämiseksi käytimme tavallista ruokasuolaa (NaCl). Ruokasuolaa sähkönjohtavuuden säätämiseen tarvittiin n. **1,5 kg/m³**.

Yhdeksännen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,9	8,8	225	595

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
18	17,9	1 %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
109	97,6	10 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
2,4	< 0,05	yli 98 %

24.2.2024

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
319	126	61 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
95,1	47,1	50 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
123,6	113,8	8 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.10. Kymmenes pilotointiajo

Kymmenes pilotointiajo suoritettiin 22.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 4,0 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,2 kWh/m³**. Tässä pilotointiajossa vedelle ei tehty lainkaan esikäsittelyä (pH, konduktanssi, saostuspolymeerit, yms).

Kymmenennen testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,6	8,5	237	247

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
31,8	29,8	6 %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
102	93,3	9 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
2,6	< 0,06	98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
300	141	53 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
103,7	55,1	47 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
133,9	114,9	14 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

24.2.2024

6.11. Yhdestoista pilotointiajo

Yhdestoista pilotointiajo suoritettiin 23.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 4,0 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Tässä ajossa käytettiin edellisen pilotointiajon puhdistettua vettä, testataksemme parantuuko puhdistustulokset useammalla käsittelykerralla. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,3 kWh/m³**. Tässä pilotointiajossa vedelle ei tehty lainkaan esikäsittelyä (pH, konduktanssi, saostuspolymeerit, yms).

Yhdennetoista testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
8,5	9,3	247	179

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
29,8	37,1	- %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
93,3	81,9	12 %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
0,06	< 0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
141	114	19 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
55,1	43,2	22 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
114,9	110,8	4 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.12. Kahdestoista pilotointiajo

Kahdestoista pilotointiajo suoritettiin 24.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 4,0 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Tässä ajossa käytettiin edellisen pilotointiajon puhdistettua vettä, testataksemme parantuuko puhdistustulokset useammalla käsittelykerralla. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,5 kWh/m³**. Tässä pilotointiajossa vedelle ei tehty lainkaan esikäsittelyä (pH, konduktanssi, saostuspolymeerit, yms).

24.2.2024

Kahdennentoista testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
9,3	9,7	179	156

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
37,1	42,1	- %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
81,9	70,6	14 %

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
< 0,05	< 0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
114	108	5 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
43,2	41,6	4 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
110,8	109,7	1 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.13. Kolmastoista pilotointiajo

Kolmastoista pilotointiajo suoritettiin 25.1.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 4,0 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,3 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **5,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 10% H₂SO₄-liuosta. Rikkihappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,01 l/m³**.

Kolmannentoista testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,87	8,85	156	175,8

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
42,1	44,1	- %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
70,6	66,2	6 %

24.2.2024

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
< 0,05	< 0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
108	85,2	21 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
41,6	31,26	25 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
109,7	98,4	10 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.14. Neljästoista pilotointiajo

Neljästoista pilotointiajo suoritettiin 8.2.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 4,0 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,6 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **5,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 10% H₂SO₄-liuosta. Rikkihappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,01 l/m³**.

Neljännentoista testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,84	7,23	244	200,7

NH4-N, mg/l (0-näyte)	NH4-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH4-N Reduktio
78,4	55,4	29 %

NO3-N, mg/l (0-näyte)	NO3-N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO3-N Reduktio
84,7	61	28 %

PO4-P, mg/l (0-näyte)	PO4-P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO4-P Reduktio
2,16	< 0,05	yli 98 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
316	106	66 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
114,6	39	66 %

24.2.2024

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
133	102,6	23 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

6.15. Viidestoista pilotointiajo

Viidestoista pilotointiajo suoritettiin 14.2.2024. Vettä ajettiin yhteensä n. 4,0 kuutiota virtaamalla **1,0 m³/h**. Käytetty teho tässä ajossa oli **2,2 kWh/m³**. Tähän pilotointiajoon säädetiin tulevan veden pH-arvoksi **6,0**. Happamuuden säätämiseksi käytimme 10% H₂SO₄-liuosta. Rikkihappoa pH:n säätämiseen tarvittiin n. **0,005 l/m³**.

Viidennentoista testiajon analyysitulokset ovat tässä:

pH (0-näyte)	pH (EC:n jälkeen)	Sähkönjohtavuus, mS/m (0-näyte)	Sähkönjohtavuus, mS/m (EC:n jälkeen)
7,39	6,35	263	277

NH ₄ -N, mg/l (0-näyte)	NH ₄ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NH ₄ -N Reduktio
160,5	141	12 %

NO ₃ -N, mg/l (0-näyte)	NO ₃ -N, mg/l (EC:n jälkeen)	NO ₃ -N Reduktio
2,3	15	- %

PO ₄ -P, mg/l (0-näyte)	PO ₄ -P, mg/l (EC:n jälkeen)	PO ₄ -P Reduktio
2,8	0,1	96 %

COD, mg/l (0-näyte)	COD, mg/l (EC:n jälkeen)	COD Reduktio
428,5	227	47 %

TOC, mg/l (0-näyte)	TOC, mg/l (EC:n jälkeen)	TOC Reduktio
157,1	79,7	49 %

TN, mg/l (0-näyte)	TN, mg/l (EC:n jälkeen)	TN Reduktio
143	138,7	3 %

Metallianalyysien perusteella voidaan todeta, että metallit saostuvat vedestä yli 97% reduktiolla.

24.2.2024

7. Liete ja flokkitestit

7.1. Lietenäyte

Liete kerättiin EC-pilotoinnin yhteydessä altaan pinnalle syntyvästä pintalietteestä 14.2.2024. Keräyksen aikana pilotilla käsiteltiin Heinälammimirrinteen jätekeskuksen tasausaltaan jätevettä. Jäteveden pH säädettiin n. 6,0 ennen käsittelyä ja jäteveteen lisättiin EC käsittelyn jälkeen polymeeria SNF A905 2 mg/l.

Lietenäytteeseen ei otettu vaahtoista jaetta mutta siitä huolimatta liete sisälsi paljon ilmaa. Lietenäytettä sekoitettiin ämpäriä ilman poistamiseksi, mutta vielä vuorokauden säilytyksen jälkeenkin lietteen pinnalla oli paljon sakeaa vaahtoa.

Lietteen sakeus oli 2,1 %.

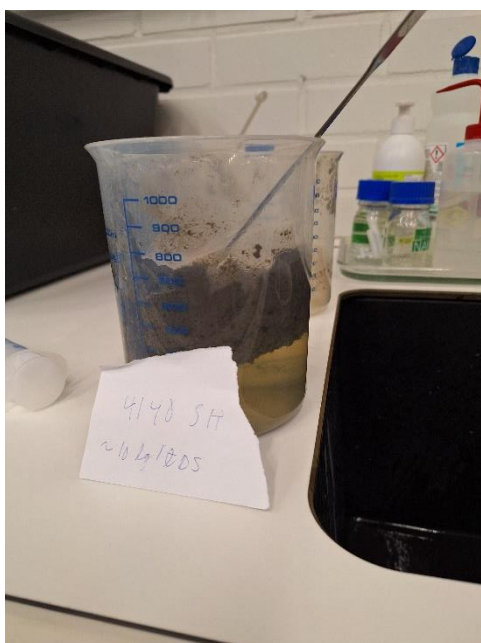
7.2. Kokeiden suoritus

Jari Heikkinen, Jätekukko Oy

Lietteeseen lisättiin polymeeria, jolloin kiintoaine alkoi erottua vedestä. Polymeereina testattiin SNF:n 4140 SH, 4290 SH ja A923. Näistä miedosti kationinen 4140 SH toimi selvästi parhaiten. Tarvittava polymeeriannostus oli luokkaa 7-10 kg/tDS.

Flokkaantumispiste ei ollut selkeä, vaan flokki vahvistui polymeeria lisättäessä. Kirkaste oli erittäin hyvä, ja flokki vahveni hämmennettäessä. Polymeeri ei kuitenkaan vetänyt lietettä alun jälkeen kovinkaan hyvin kokoon, eikä liete ollut käsin puristettavissa. Lietettä ei voisi kuivata viiralaiteella mutta sentrifugi voisi soveltua kuivaukseen.

Liete oli erittäin tahraavaa.



Kuvat 5 ja 6. SNF 4140 SH:lla flokattu liete.

24.2.2024

7.3. Lietetestien johtopäätökset

EC:llä tehdyn lietteen käsittelyssä ensimmäinen ongelma on runsas ilman ja vaahdon määrä. Lietettä ei voi pumpata keskipakopumpulla ilman tehokasta ilmanpoistoa.

Vedenpoisto-ominaisuuksiltaan liete oli kuten vaikeahko tertiääriliete yleensä: lujuus alhainen, sitoo helposti vettä, tarhaavaa, sellaisenaan liki mahdotonta kuivata viiravehkeillä. Linko soveltunee kuivaukseen. Odotetavissa oleva kuiva-aine lingon jälkeen max. 15 %.

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Biobros:n pilottiajoissa testattiin Jätekukon Heinälamminrinteen tasausaltaan jätevetä Savonia AMK:n MBBR-prosessin jälkeen. Elektrokoagulaatio pilotointiajot ajoittuivat 30.11.2023 – 14.2.2024 välille. Pilottiajoja toteutettiin yhteensä 15 kpl. Pilottiajojen aikana testattiin pH:n eri arvojen vaikutusta puhdistustulokseen. Lisäksi sähköjohtavuuden muuttamista ja puhdistetun veden kierrättämistä EC:lle testattiin. Saostuspolymeerien käyttöä testattiin lietteen tiivistämiseen ja käsittelyyn liittyen. Testit suoritettiin kahdella eri virtaama-arvolla (1,0 ja 0,5 m³/h), jonka lisäksi testattiin virran suuruuden vaikutuksia puhdistustulokseen. Testeissä käytettiin uhrattavia alumiinielektrodeja.

Pilotointiajojen tavoitteista saavutettiin kaikki muut paitsi nitraattitypen reduktiot. Nitraattitypen pitoisuus pienimmillään oli 16,8 mg/l, joka oli ensimmäisten pilotointiajojen tuloksia jolloin Savonia AMK:n MBBR prosessi ei ollut vielä täysin ylösajettu. Pilotointiajojen keskimääräinen nitraattitypen pitoisuus oli 72,5 mg/l ja keskimääräinen reduktio oli 19%.

Pilotointiajoissa saostuneiden metallien reduktiot olivat yli 97% ja fosforin reduktiot olivat yli pääsääntöisesti yli 98%.

8.1. Elektrokoagulaation tarvitsema energia

Elektrokoagulaatiossa käytetyn sähköenergian määrä on n. 85 % kaikista operatiivisista kustannuksista. Näissä testiajoissa käytetty energiamäärä vaihteli 1,75 – 6,4 kWh/m³ välillä. Kaikkien pilotointiajojen keskimääräinen energian kulutus oli 2,9 kWh/m³. Paras puhdistustulos saatiin ajossa nr. 2, jossa sähköenergian kulutus oli **2,2 kWh/m³**.

Nykyisillä tasausaltaan virtaamilla elektrokoagulaation vuosittainen sähkön kulutus olisi n. **220 – 330 MWh**.

8.2. Alumiini elektrodien kulutus

Anodinmateriaalin liukeneminen noudattaa Faradayn lain yhtälöä (5). Missä mA on massa liuenneen anodin massa (g), I on virta (A), t on toiminta-aika (s), Mw on anodin molekyylimassa (alumiini, 29,89 g/mol), F on Faradayn vakio (96,487 C/mol) ja z on reaktioon osallistuvien elektronien lukumäärä.

$$mA = \frac{I \times t \times Mw}{z \times F} \quad (5)$$

24.2.2024

Näissä pilotointiajoissa alumiinin kulutus oli n. 134 g / h, joka vastaa vuosikulutusta n. **1200 kg/a**. Tuotannollisen mittakaavan EC-laitteiston elektrodipaketti voidaan suunnitella siten, että uhrattavat alumiinin elektrodit vaihdetaan kerran vuodessa.

8.3. Biobros:n EC-laitteiston kuvaus Jätekukon suotoveden käsittelyyn

Jätekukon tasausaltaan jätevedenkäsittelyyn mitoitettu elektrokoagulaatioprosessin käsittelykapasiteetti olisi **15 – 20 m³/h**. Tällä käsittelykapasiteetilla katetaan suurin osa tasausaltaan vuosittaisesta virtaamasta. Tasausaltaan pinnan säädöllä voidaan tasata suurimpien tilavuusvirtaamien jaksoja. Laitteisto mahtuu 12 metrin merikonttiin ja se ei vaadi erillistä operaattoria. Laitteiston operointi, huolto ja elektrodien vaihto onnistuu tavanomaiselta laitos- / huolto-operaattorilta.

Laitteisto mitoitetaan, suunnitellaan ja toimitetaan ns. "avaimet käteen" periaatteella.

8.4. Lietteiden määrä sen jatkokäsittely

Tasausaltaan jätevedessä on keskimäärin kiintoainetta n. **40 mg / l**. Viime vuosien aikana kiintoainetta on ollut n. **3 000 – 4 500 kg/vuosi**. Sähkökemiallisella saostuksella kiintoaineesta saadaan saostumaan lietteeksi yli 95%. Lietetestien perusteella lietteiden määrä vuositasolla voisi olla **19 000 – 38 500 (ka 10 - 15%) m³ / vuosi**.

Syntynyt liete voidaan linkouksen jälkeen toimittaa jatkokäsiteltäväksi Gasum:n biokaasuprosessiin tai Kekkilän multa-asemalle.

Biobros Oy on valmis tarjoamaan Jätekukko Oy:lle kehittämänsä EC-teknologiaan perustuvan laitteiston Heinälamminrinteen tasausaltaan jäteveden käsittelyyn.

Raportin laati:

Anssi Suhonen
Biobros Oy

Kappale 7, Jari Heikkinen, Jätekukko OY