

Loppuraportti FLOC+ TKI-hanke, VN/9321/2023 Flocon Technologies Oy

Hankkeen nimi ja toteuttaja

| | |
|-----------------------------|---|
| Hanke: | FLOC+ Ravinteiden erottelu yhdyskuntajätevesistä sähkökemiallisella Flocon-vedenpuhdistusmenetelmällä yhdistettynä täydentäviin teknologioihin |
| Hankkeen toteuttaja: | Flocon Technologies Oy |
| Hankkeen kesto: | 1.4.2023 – 30.11.2024 |

Rahoituslähteen tiedot

Hanke on saanut rahoitusta Ympäristöministeriöltä: Hankkeet yhdyskuntien jäte- ja sivuvirtojen ravinne- ja energiapotentiaalin hyödyntämiseksi, VN/9321/2023.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli ravinteiden erottelu yhdyskuntajätevesistä sähkökemiallisella Flocon-menetelmällä yhdistettynä täydentäviin teknologioihin tehokkaan kokonaisratkaisun kehittämiseksi. Hankkeessa hyödynnettävän Flocon-sähkökemiallisen vedenpuhdistusmenetelmän tiedettiin soveltuvan lähtökohtaisesti hyvin ravinteiden talteenottoon yhdyskuntajätevesistä. Flocon-menetelmän merkittävin hyöty verrattuna perinteisiin vedenpuhdistusmenetelmiin on eroteltujen aineiden sitoutuminen itsestään kuivuvaan flokkiin, joka on korkean kuiva-ainepitoisuutensa ansiosta helppo hyödyntää lannoitteena. Puhdistustulos Flocon-prosessissa on myös laaja-alainen ja prosessi on välitön, mikä mahdollistaa nykyistä tehokkaampien yhdyskuntajäteveden puhdistamoiden rakentamisen, mahdollisesti yhdistettynä muihin teknologioihin.

Yhteenvedona koeajon laadullisista tuloksista voidaan sanoa, että Flocon reaktori toimi odotusten mukaisesti. Kiintoaineen ja fosforin reduktio oli erinomainen, yli 99%. Ammoniumtyypen poistoon tarvittiin Flocon-reaktorin lisäksi täydentävä menetelmä ja hankkeessa testattiin eri menetelmiä ammoniumtyypen erotteluun tai muuntamiseen nitraatiksi.

Testatuista menetelmistä onnistuneimpia oli yhdistelmä, jossa jätevesi kävi ensi läpi biologisen puhdistuksen aerobisen vaiheen (nitrifikaatio), jonka jälkeen se johdettiin Flocon-prosessiin. Tällä yhdistelmällä päästiin parempaan puhdistustulokseen kuin nykyisellä kemiallisen ja biologisen puhdistuksen yhdistelmällä, esimerkiksi kokonaistypen reduktion suhteen.

Toinen toimiva menetelmä oli jäteveden käsittely Flocon-prosessin jälkeen käänteisosmoosi (RO) -membraanilla. Tällöin syntyy flokin lisäksi membraanin jälkeinen ammoniumtyppi-konsentraatti.

Kolmas teknis-taloudellisesti järkevä ratkaisu saatiin johtamalla normaalisti lingolle menevä liete Flocon-prosessiin. Tässä ratkaisussa saavutettiin huomattavasti korkeampi kuiva-aine kuin lingon jälkeen ja vielä tärkeämpänä, lietteestä eroteltu vesi oli puhtaampaa kuin lingolta palautuva vesi, joka siis palautetaan prosessiin ja se kuormittaa laitosta enemmän kuin laitokselle saapuva jätevesi.

Sisällysluettelo

| | | |
|----|----------------------|---|
| 1. | Hankkeen tausta | 4 |
| 2. | Hankkeen toteutus | 4 |
| 3. | Hankkeen tulokset | 5 |
| 4. | Hankkeen vaikutukset | 6 |
| 5. | Talousraportti | 7 |
| 6. | Yhteenveto | 8 |
| | Liitteet | |

1. Hankkeen tausta

Nykyisellään yhdyskuntajätevesien käsittely on monivaiheinen prosessi, jossa kemiallinen ja biologinen prosessi vaativat viiveen toimiakseen tehokkaasti. Lisäksi prosessin tuloksena syntyy suuri määrä lietettä, jossa on korkea vesipitoisuus. Lietteiden kuivatus hyödynnettäväksi vie energiaa, eikä sille löydy sellaisenaan sijoituspaikkoja sen sisältämien haitallisten aineiden vuoksi.

Hankkeessa hyödynnettävän Flocon-sähkökemiallisen vedenpuhdistusmenetelmän tiedettiin soveltuvan lähtökohtaisesti hyvin ravinteiden talteenottoon yhdyskuntajätevesistä. Flocon-menetelmän merkittävin hyöty verrattuna perinteisiin vedenpuhdistusmenetelmiin on eroteltujen aineiden sitoutuminen itsestään kuivuvaan flokkiin. Puhdistetun veden ja flokin rajapinta on selkeä, eikä muita jakeita tai hankalasti kuivuvaa lietettä synnytetä. Flokki kuivuu ilman ulkopuolista energiaa ilmassa olevan hapen vaikutuksesta. Flokin kuivattamiseen ei tarvita siten lisäenergiaa, kuten perinteisen lietteen käsittelyssä.

Orgaaninen aines siirtyy Flocon-erottelutekniikalla myös lähes täysin vedestä flokkiin ja siten lannoitteessa saadaan siirtymään orgaaniset aineet peltoon. Tämä tukee peltojen hiilitasetta sekä Suomen hiilineutraalisuus tavoitteita.

Kun tarkastellaan yhdyskuntajätevesien puhdistusta ja ravinteiden erottelua käytettäväksi lannoitteena on haasteeksi jäänyt ammonium-tyyppi, jota ei saada eroteltua vedestä flokkiin pelkästään Flocon-reaktorilla vaan tarvitaan mahdollisesti täydentävä menetelmä. Näitä tulisi testata, jotta varmistettaisiin yhdistelmän toiminta ja teho ennen niiden käyttöönottoa laajemmin yhdyskuntajätevesien käsittelylaitoksissa. Lisäksi Flocon-reaktorin kapasiteettia tulisi saada nostettua käyttökustannusten pienentämiseksi ja uskottavamman ratkaisun kehittämiseksi yhdyskuntajätevesien volyymeille.

2. Hankkeen toteutus

Hankkeessa testattavia menetelmiä täydentämään Flocon-menetelmää ammonium-typen talteenotossa olivat struviittisaostus, biologinen nitrifikaatio (aerobinen vaihe), kemiallinen hapetus kemikaalien avulla, tehostelulla ilmansyötöllä, otsonointi sekä kalvotekniikoista käänteisosmoosi ja nanosuodatus.

Täydentäviä menetelmiä varten tehtiin kirjallisuusselvitys mahdollisista tekniikoista ammoniumtypen poistossa LUT Erottelutekniikan (CST) osaston kandidaattityönä ja lisäksi kirjallisuushakuja tehtiin myös omin voimin. Etenkin tietoa haettiin ammoniumtypen poistosta ja sen hapetuksesta nitraatiksi.

Floconin laitteiston osalta kehitystarpeena oli käyttökustannusten vähentäminen, joka toteutettiin rakentamalla yhdyskuntajätevesille soveltuva reaktorimalli, jonka kapasiteetti on noin 10 m³/h reaktoria kohden, eli 10x enemmän kuin entinen. Toimivan reaktorimallin kehitys oli tärkeää, koska sen jälkeen laitteiston kokonaiskapasiteetti saadaan nostettua modulaarisesti reaktoreiden lukumäärää nostamalla ja laitteiston tehokkuus sekä kustannukset ovat tällöin uskottavammalla tasolla ajatellen yhdyskuntajätevesien puhdistusta.

Teknologian testausta toteutetaan Floconin tiloissa Otaniemessä laboratoriotilassa ja pilot-hallissa sekä aidossa ympäristössä Vihdin Veden jätevedenpuhdistamolla, jossa testattiin eri vesijakeita ja saimme käyttää tiloja koejakson loppuun asti. Kalvotekniikan yhdistäminen Floconin prosessiin suunniteltiin mahdollisesti toteutettavaksi Mikkelin Ecosairilassa, mutta kyseinen testausympäristö valmistuu käyttöön vasta vuoden 2025 puolella. Niinpä päädyttiin testaamaan kalvotekniikat VTT Jyväskylän toimesta laboratoriomittakaavassa.

3. Hankeen tulokset

Yhteenvedona koeajojen laadullisista tuloksista voidaan sanoa, että Flocon reaktori toimi odotusten mukaisesti. Kiintoaineen ja fosforin reduktio oli erinomainen (99–100 %). Hyvät reduktiotulokset saatiin myös COD:lle, öljylle ja raskasmetalleille. Odotusten mukaisesti ammoniumtyypen poistoon tarvitaan Flocon-reaktorin lisäksi täydentävä menetelmä. Koeajojen perusteella ilmastuksen (nitrifikaation) jälkeisen veden puhdistus Flocon-prosessilla on toimiva yhdistelmä veden puhdistukseen jopa puhtaammaksi kuin perinteisellä kemi-biologisella prosessilla.

Kalvotekniikoita ammoniumtyypen poistoon Flocon-prosessin läpi menneestä vedestä testattiin VTT Jyväskylän toimesta laboratoriomittakaavassa. Ammoniumtyypen pitoisuus RO-kalvon läpi menneessä jakeessa saatiin laskemaan 62mg/l:sta 12mg/l:aan eli reduktio oli 80%. Kyseinen tulos on sillä tasolla, että kalvon läpi mennyt jae voitaisiin laskea luontoon. Kalvon toiselle puolelle jäävän jakeen ammoniumtyyppipitoisuus nousi 62mg/l:sta 543mg/l:ssa.

Parhaiden menetelmien selvittyä, tehtiin kustannusten vertailua eri prosessikokonaisuuksien ja nykyisesti käytössä olevien menetelmien välillä. Investointikustannusten osalta Flocon yhdistettynä membraaneihin on edullisempi kokonaisuus kuin perinteisen kemi-biologisen puhdistamon rakentaminen. Käyttökustannusten osalta kokonaisuutemme on perinteistä kalliimpi. Kustannussäästöjä, kapasiteetin nostoa ja puhdistustuloksen parantumista on mahdollista saavuttaa korvaamalla linko Flocon-prosessilla. Kolmas ajotapa on ottaa Flocon prosessiin ilmastuksen (nitrifikaatio) jälkeinen vesi, jolloin päästään alhaisempaan tyyppipitoisuuteen puhdistetussa vedessä kuin perinteisellä kemi-biologisella prosessilla, eikä tarvita rautasulfaattia fosforin poistoon, anaerobista prosessia tai linkoa.

Hankkeessa saavutettiin tavoitteena ollut reaktorin kapasiteetin nosto, jonka myötä myös prosessin ajettavuus parani. Hankkeessa saatiin myös varmistettua kolme vaihtoehtoista prosessia, joilla saavutetaan perinteistä kemi-biologista prosessia parempi puhdistustulos tai säästetään kustannuksissa.

Viestintä toteutettiin julkaisemalla hankkeesta ja Vihdin koejaksosta Floconin internet-sivuilla ja LinkedInissä. Hankkeen tuloksista kootaan yhteenvetoja julkaistavaksi kotisivuillamme sekä esityksiin asiakkaille ja yhteistyökumppaneille.

4. Hankkeen vaikutukset

Hankkeessa kehitetyt prosessit yhdyskuntajäteveden puhdistamiseen ja ravinteiden erotteluun mahdollistaa kierrätyslannoitteiden valmistamisen yhdyskuntajätevesistä helpommin ja käyttämällä vähemmän energiaa. Puhdistetun veden laatu paranee fosforin ja kiintoaineen pitoisuuksien suhteen ilman rautasulfaatin käyttöä ja ammoniumtypen poistossa päästään parempaan tulokseen. Vaikutukset veden laatuun nähdään heti teknologiaa käyttöönotettaessa. Flokista valmistettavien kierrätyslannoitteiden käyttöönotto laajemmin voi viedä pidemmän ajan, mutta turvallisuuden varmistamisen, tutkimisen ja viestinnän kautta sitä voidaan nopeuttaa.

Pienten vesilaitosten puhdistustulokset ovat usein heikompia kuin suurempien laitosten, joissa on mahdollista panostaa monivaiheisiin prosesseihin. Päästörajojen kiristyessä pienemmillä puhdistamoilla ollaan ajautumassa siirtoviemäreiden rakentamiseen, mikä on kallis ratkaisu, eikä myöskään täysin riskitön. Menetelmämme mahdollistaa investointikustannuksiltaan alhaisen puhdistusprosessin, jonka avulla jätevedet voidaan puhdistaa jatkossakin paikallisesti.

Hankkeen onnistuminen reaktorin kapasiteetin noston suhteen oli ammoniumtypen poiston lisäksi toinen päätavoite ja sen avulla Flocon pystyy tarjoamaan uskottavaa ratkaisua myös muiden vesien käsittelyyn, joissa volyymit ovat suuremmat.

Hankkeen tulokset ovat julkisia ja niitä voidaan hyödyntää tulevaisuuden jäteveden puhdistamoiden suunnittelussa ja rakentamisessa Suomessa ja laajemminkin.

5. Talousraportti

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 182700 €, josta Ympäristöministeriön tukiosuus oli 60%, 109620€.

Koko hankkeen aikana 1.4.2023 - 30.11.2024 toteutuneet kustannukset on esitetty yhteenvetona alla olevassa taulukossa.

Hankkeen toteutuneet kustannukset vs. budjetoitu koko hankkeen aikana 1.4.2023-30.11.2024

| | Hyväksytyt | Toteutuneet | Erotus |
|------------------------------------|------------|-------------|----------|
| | Budj. EUR | Tot. EUR | EUR |
| Henkilöstökustannukset | 68000 | 48060,72 | 19939,28 |
| Väline- tarvike- ja laitehankinnat | 52200 | 45310,33 | 6889,67 |
| Ostopalvelut | 51000 | 30931,50 | 20068,50 |
| Yleiskustannukset | 11500 | 11328,81 | 171,19 |
| Kokonaiskustannukset | 182700 | 135631,36 | 47068,64 |

Hankkeen toteutuneet kustannukset olivat 135 631,36 euroa, josta tuen osuus on 60%, 81 378,82 euroa.

Koko hankkeen aikana toteutuneet kustannukset ovat budjetoitua alhaisemmat. Hankkeen alkuvaiheessa päästiin liikkeelle suunniteltua hitaammin, kun koeajojen laitteistoihin tarvittavissa hankinnoissa kesti ennakoitua kauemmin. Budjettia saatiin kyllä hankkeen kuluessa kiinni, sen jälkeen, kun laitteisto saatiin asennettua Vihdin Veden tiloihin ja koeajot rullasivat. Loppujaksolla kustannuksia säästy, koska suunniteltuja kalvotestejä ei päästy toteuttamaan Mikkelissä, vaan ne toteutettiin pienemmässä mittakaavassa laboratoriotesteillä VTT:n toimesta.

6. Yhteenveto

Hankkeen tavoitteena oli ravinteiden erottelu yhdyskuntajätevesistä sähkökemiallisella Flocon-menetelmällä yhdistettynä täydentäviin teknologioihin tehokkaan kokonaisratkaisun kehittämiseksi. Hankkeessa hyödynnettävän Flocon-sähkökemiallisen vedenpuhdistusmenetelmän tiedettiin soveltuvan lähtökohtaisesti hyvin ravinteiden talteenottoon yhdyskuntajätevesistä. Flocon-menetelmän merkittävin hyöty verrattuna perinteisiin vedenpuhdistusmenetelmiin on eroteltujen aineiden sitoutuminen itsestään kuivuvaan flokkiin, joka on korkean kuiva-ainepitoisuutensa ansiosta helppo hyödyntää lannoitteena. Puhdistustulos Flocon-prosessissa on myös laaja-alainen ja prosessi on välitön, mikä mahdollistaa nykyistä tehokkaampien yhdyskuntajäteveden puhdistamoiden rakentamisen, mahdollisesti yhdistettynä muihin teknologioihin.

Yhteenvetona koeajon laadullisista tuloksista voidaan sanoa, että Flocon reaktori toimi odotusten mukaisesti. Kiintoaineen ja fosforin reduktio oli erinomainen, yli 99%. Ammoniumtyypen poistoon tarvittiin Flocon-reaktorin lisäksi täydentävä menetelmä ja hankkeessa testattiin eri menetelmiä ammoniumtyypen erotteluun tai muuntamiseen nitraatiksi.

Testatuista menetelmistä onnistuneimpia oli yhdistelmä, jossa jätevesi kävi ensi läpi biologisen puhdistuksen aerobisen vaiheen (nitrifikaatio), jonka jälkeen se johdettiin Flocon-prosessiin. Tällä yhdistelmällä päästiin parempaan puhdistustulokseen kuin nykyisellä kemiallisen ja biologisen puhdistuksen yhdistelmällä, esimerkiksi kokonaistypen reduktion suhteen.

Toinen toimiva menetelmä oli jäteveden käsittely Flocon-prosessin jälkeen käänteisosmoosi (RO) -kalvotekniikalla. Tällöin syntyy flokin lisäksi membraanin jälkeinen ammoniumtyypikonsentraatti.

Kolmas teknis-taloudellisesti järkevä ratkaisu saatiin johtamalla normaalisti lingolle menevä liete Flocon-prosessiin. Tässä ratkaisussa saavutettiin huomattavasti korkeampi kuiva-aine kuin lingon jälkeen ja vielä tärkeämpänä, lietteestä eroteltu vesi oli puhtaampaa kuin lingolta palautuva vesi, joka siis palautetaan prosessiin ja se kuormittaa laitosta enemmän kuin laitokselle saapuva jätevesi.

Flokin tai RO-kalvoilla erotellun typpikonsentraatin hyödyntämistä lannoitteena rajoittaa yhdyskuntajätevesistä peräisin oleviin lannoitteisiin kohdistuvat rajoitukset. Flokki sisältää ravinteiden lisäksi myös jätevedessä olevat haitalliset aineet, kuten raskasmetallit, lääkeainejäämät ja mikromuovit. Jos halutaan näistä haitta-aineista vapaata lannoitetta, on ratkaisuna flokin poltto ja fosforin talteenotto tuhkasta. Ammoniumtyppikonsentraatti voidaan puolestaan edelleen hygienisoida tai stripata, jos halutaan tehdä siitä lannoitekäyttöön puhtaampaa. Joka tapauksessa ravinteiden erottelun lisäksi jätevesi pitää puhdistaa ja Floconin teknologia tuo eri jakeet siihen muotoon, että niiden muokkaaminen edelleen lannoitteena hyödynnettäväksi on kannattavampaa.

LIITTEET

- Liite 1 VTT:n raportti, luottamuksellinen
VTT 13.11.2024 Juha Nousiainen, Emma-Liisa Lappalainen, Eliisa Järvelä
Ammonium nitrogen removal using membrane filtration
- Liite 2 Opinnäytetyö, julkinen
Veera Nevala, LUT, 2024
Ammonium nitrogen recovery methods in various wastewater matrices
<https://lutpub.lut.fi/handle/10024/167582>