

## LOPPURAPORTTI

VTT-R-06478-17



## Resurssikontti: tuotteita jätevedestä

Kirjoittajat: Hanna Kyllönen, Juha Heikkinen, Lotta Sorsamäki, Hanne Wikberg, Tommi Kaartinen, Antti Grönroos ja Mona Arnold

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b> Resurssikontti: tuotteita jätevedestä		
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b> Ympäristöministeriö, Ari Kangas, Aleksanterinkatu 7, FI-00023 Valtioneuvosto		<b>Asiakkaan viite</b>
<b>Projektin nimi</b> Resurssikontti: tuotteita jätevedestä		<b>Projektin numero/lyhytnimi</b> Resurssikontti
<b>Raportin laatija(t)</b> Hanna Kyllönen, Juha Heikkinen, Lotta Sorsamäki, Hanne Wikberg, Tommi Kaartinen, Antti Grönroos ja Mona Arnold		<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b> 13/61
<b>Avainsanat</b> Jätevesi, puhdistaminen, ravinteiden talteenotto, hiilen hyödyntäminen, konttipuhdistamo		<b>Raportin numero</b> VTT-R-06478-17
<b>Tiivistelmä</b> <p>Yhdyskuntajätevesiä ja osin myös teollisuuden jätevesiä voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin hiilen ja ravinteiden lähteinä. Toisaalta on tarve löytää toimivaa tekniikkaa käsittelykapasiteetin laatu- ja määrävaihteluihin. Pienen mittakaavan jätevesiratkaisuihin tähtäävässä Resurssikontti-hankkeessa vietiin näitä asioita eteenpäin. Hanke toteutettiin ympäristöministeriön Raki 2 -ohjelmassa aikavälillä 1.12.2016 - 31.12.2017. Hankkeessa selvitettiin jäteveden puhdistuksessa ja ravinteiden talteenotossa parhaat fysikaalis-kemialliset yksikköoperaatiot ja laskettiin alustavasti niiden teknistaloudellisuus. Tulosten perusteella valittiin tutkituista yksikköoperaatioista parhaat konseptit, joista yksi testattiin Paraisten jätevedenpuhdistamolla. Tutkittu konsepti piti sisällään kiintoaineen flokkauksen ja viirasuodatuksen, typen adsorption ja eluonin ammoniumsulfattina, fosforin saostuksen ja erotuksen kalsiumfosfaattina, veden lopullisen puhdistuksen kalvosuodatuksella tai aktiivihiilellä ja kiintoaineen käsittelyn HTC:llä laboratoriossa.</p> <p>Yhden m<sup>3</sup>/h mittakaavassa kunnallisesta jätevedestä hyödynnettävinä tuotteina syntyi laimea ammoniumsulfattiliuos, puhdas kalsiumfosfaattisakka, vähän raskasmetalleja mutta kylläkin ravinteita sisältävä biohiili ja puhdas vesi. Vedestä poistui konseptissa kiintoaine 100 %, kemiallinen hapenkulutus 99 %, fosfaattifosfori 99 % ja ammoniumtyppi 87 %. Ravinteiden tuotto laimeasta jätevedestä osoittautui kuitenkin teknistaloudellisessa arvioissa melko kalliiksi. Jäteveden puhdistaminen maksoi ko. kapasiteetilla 4,4 €/m<sup>3</sup> jätevettä, kun se ravinteiden talteenoton kanssa maksoi 9,1 €/m<sup>3</sup>. Kunnallisten jätevesien osalta pääasiallisina kohde konttipuhdistamolle olisikin puhtaan veden tuottaminen paikallisesti pienissä yksiköissä, esimerkiksi saaristossa, jossa puhtaan veden tuottaminen ja jäteveden käsittely on kallista. Konttiratkaisulla huomattavasti pienemmät määrät kiintoainetta ja konsentraatteja voitaisiin kuljettaa ja käsitellä keskitetysti tähdäten em. tuotteisiin. Ravinteiden talteenotto tulee kannattavammaksi, jos jätevesi sisältää huomattavasti enemmän ravinteita tai jos jäteveden määrä on esimerkiksi kymmenkertainen.</p>		
<b>Luottamuksellisuus</b>	Julkinen	
Jyväskylässä 14.12.2017		
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>	<b>Hyväksyjä</b>
Hanna Kyllönen Erikoistutkija	Mona Arnold Liiketoiminnan kehityspääll.	Tuulamari Helaja Tutkimuspäällikkö
<b>VTT:n yhteystiedot</b> hanna.kyllonen@vtt.fi		
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> Ympäristöministeriö, Resurssikontti -projektin ohjausryhmä, työryhmä		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

## Alkusanat

---

Resurssikontti-hanke toteutettiin ympäristöministeriön Raki 2 -ohjelmassa aikavälillä 1.12.2016-31.12.2017. Hankkeen toisena rahoittajana, päävalmistelijana ja tukijaorganisaationa toimi VTT. Hankkeen valmistelijana toimi myös Baltic Sea Action Group (BSAG). Yritysosapuolina, jotka antoivat hankkeelle materiaaleja, laitteita tai osaamista, olivat Aquaminerals, Dewaco, Kemira, Haarla, OWACO/Ajon Apu, Sarlin, Sofi Filtration ja WatMan. Koeajopaikan jätevedenpuhdistamolle järjesti Paraisten kaupunki. Hankkeessa Eeva Salmi teki opinnäytetyö Turun ammattikorkeakoululle. Pöyry vastasi hankkeen kustannus- ja sisältöraportoinnin valvonnasta

Hankkeen ohjausryhmässä toimivat Ari Kangas (YM), Anne Salminen (varalla Karoliina Jaatinen, Pöyry), Marja Koljonen/Nicholas Wardi (BSAG), Marko Rusi (Paraisten kaupunki), Tero Luukkonen/Esther Takaluoma (Aquaminerals), Jari Virtanen/Riku Kettunen (Dewaco), Outi Grönfors (Kemira), Jaakko Pellinen (OWACO), Ville Hakala (Sofi Filtration), Juha Lintujärvi/Ilkka Suppula (WatMan), ja Mona Arnold (VTT). Lisäksi hankkeen ohjausryhmätyöskentelyyn osallistui Anna Mikola/Ari Järvinen Aalto Yliopistosta. VTT:n avaintutkijoina toimivat Juha Heikkinen, Tommi Kaartinen, Antti Grönroos, Hanne Wikberg, Lotta Sorsamäki ja Hanna Kyllönen, joka toimi myös projektipäällikkönä.

Tekijät kiittävät lämpimästi kaikkia Resurssikontti-hankkeeseen osallistuneita!

Jyväskylässä 14.12.2017

Tekijät

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo.....	3
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	4
2. Hankeen osapuolet ja menetelmät.....	5
3. Hankkeen tulokset .....	5
3.1 Tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen.....	5
3.1.1 Kokeellinen tutkimus laboratoriossa.....	5
3.1.2 Konseptin testaus Paraisten puhdistamolla.....	6
3.1.3 Teknitaloudellinen arviointi.....	8
3.2 Tavoitteiden toteutuminen.....	9
3.3 Poikkeamat verrattuna suunnitelmiin ja poikkeamien syyt.....	10
4. Hankkeen vaikuttavuus/vaikutukset .....	10
5. Viestintäsuunnitelman toteutuminen.....	11
6. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen.....	11
7. Talousraportti.....	12
8. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten .....	12
9. Johtopäätökset /Yhteenveto hankkeesta ja päätuloksista .....	12
Lähdeviitteet.....	13
Liitteet .....	13

## 1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

---

Suomen tahtotilana on edetä ravinteiden kierrättämisen esimerkkialueeksi. Tavoitteena on optimoitu ravinnekierro, jossa ravinteet kohdennetaan elintarviketuotantoon yhä tehokkaammin, ja ympäristöä haittaavat ravinnehävikit vähenevät olennaisesti. Tässä yhteydessä keskeisiä ravinteita ovat typpi ja fosfori.

Yhdyskuntajätevedet ovat resurssi, jota voitaisiin hyödyntää huomattavasti nykyistä tehokkaammin ravinnekierrossa. Suomessa muodostui vuonna 2010 460 miljoonaa kuutiota yhdyskuntajätevesiä, ja ne sisälsivät käsittelemättöminä noin 4 000 tonnia fosforia, 25 000 tonnia typpeä ja 128 000 tonnia orgaanista ainetta /1/. Samana vuonna fosforia myytiin keinolannoitteina maataloille noin 13 000 tonnia ja typpeä noin 157 000 tonnia /2/. Nykyiset kunnallisen jäteveden käsittelymenetelmät perustuvat ajatteluun, jonka mukaan jätevedettä puhdistetaan poistamalla haitta-aineita, ravinteita ja taudinaiheuttajia siihen pitoisuuteen, että ympäristönormien mukaan se voidaan laskea vastaanottavaan vesistöön. Toteutusratkaisut pohjautuvat pääosin 70-luvulla kehitettyyn tekniikkaan, jossa käytetään mekaanisen ja fysikaalisen erotuksen, kemiallisen saostuksen ja biologisen hiilen ja ravinteiden sidonnan menetelmiä. Ratkaisut vaativat tyypillisesti suuren tilan, pitkät viipymäajat ja rakennusvaiheessa mittavat investoinnit sekä itse laitoksen että vesien keräilyn osalta. Käsittely on paikkaan sidottu eikä jäteveden määrän tai laadun vaihteluita voida helposti huomioida. Käsittelyssä valtaosa tyydestä ja osa hiilestä ja fosforista menetetään ilmakehään ja/tai ei-hyödylliseen loppusijoitukseen. On arvioitu, että jäteveden käsittelyssä menetetään Suomessa useiden kymmenien miljoonien eurojen arvosta ravinteita ja hiiltä /3/. Lisäksi nämä samat aineet kuormittavat vesistöjä.

Käytännössä jäteveden sisältämien ravinteiden ja hiilen hyödyntäminen on tähän asti tapahtunut ainoastaan jätevesilietteen kautta. Lietteen käytön mahdollisuudet lannoitteena ovat kuitenkin rajalliset, sillä kaikki lietteen sisältämä fosfori ei ole kasveille helppokäyttöisessä muodossa. Lietteen sisältämät raskasmetallit, patogeenit, pysyvät orgaaniset yhdisteet ja lääkeaineet sekä lietteen jäteluonne heikentävät myös sen käyttömahdollisuuksia maataloudessa. Lisäksi lietteen käytössä on logistisia ja ravinneannostuksen säätöön liittyviä haasteita. Tällä hetkellä käsitelty liete ohjautuu suurimmaksi osaksi viherrakentamiseen. Näin ollen tarvitaan innovatiivisia ratkaisuja jäteveden sisältämien arvokkaiden komponenttien, ravinteiden ja hiilen talteen ottamiseksi ja palauttamiseksi takaisin kierto.

Resurssikontti-hankkeen tavoitteena oli parantaa yhdyskuntien jäteveden sisältämien ravinteiden ja hiilen hyödynnettävyyttä, vähentää jätevesien negatiivisia ympäristövaikutuksia sekä tuottaa uusia toimivia konsepteja, jotka tuottavat toiminnanharjoittajille taloudellista lisäarvoa. Tuloksena tavoiteltiin jäteveden käsittelyyn ratkaisuja, jotka pohjautuvat fysikaalis-kemiallisiin yksikköoperaatioihin, ja joilla tuotettaisiin nykyisiin lietepohjaisiin lannoitevalmisteisiin nähden paremmin hyödynnettävissä olevat lannoitetuotteet. Ratkaisulla pyrittiin vastaamaan nopeasti kausiluontoisiin käsittelykapasiteetin vaihteluihin ja alueellisiin väestönmuutoksiin. Konseptin etuna tavoiteltiin hiilen ja ravinteiden talteenottoa suoraan hyötykäytettävässä muodossa, prosessin joustavuutta ja helppokäyttöisyyttä, räätälöitävyyttä, pientä kokoa sekä alhaisempia investointikustannuksia. Mikäli konsepti saataisiin skaalattua monistettavaan mittakaavaan, se voisi tuoda uuden cleantech -liiketoimintamahdollisuuden

myös Suomen ulkopuolella toimiville osaprosessitoimittajille, konseptin integraattorille sekä jäteveden puhdistusta palveluna tuottaville yrityksille.

## 2. Hankeen osapuolet ja menetelmät

---

Hankkeen päärahoittaja oli ympäristöministeriön Raki 2 -ohjelma. Hankkeen toisena rahoittajana, valmistelijana ja tukijaorganisaationa toimi VTT. Hankkeen toisena valmistelijana toimi Baltic Sea Action Group (BSAG). Yritysosapuolina, jotka antoivat hankkeelle materiaaleja, laitteita tai osaamista, olivat Aquaminerals (adsorbentit), Dewaco (vedenerotusviirat), Kemira (flokkauskemikaalit), Haarla (biopolymeeripohjainen flokkulantti), OWACO/Ajon Apu (haihdutinosaminen), Sarlin (Salsnes-viiralaitteisto), Sofi Filtration (mikrosuodatin) ja WatMan (aktiivihiihi). Konseptin koeajopaikan jätevedenpuhdistamolle ja apua koeajoissa antoi Paraisten kaupungin jätevedenpuhdistamo. Hankkeessa teetettiin opinnäytetyö Turun ammattikorkeakoululle aiheesta ”Suodatus esikäsitteilymenetelmänä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa”/Eeva Salmi. Pöyry vastasi hankkeen kustannus- ja sisältöraportoinnin valvonnasta.

Resurssikontti-hankkeessa pyrittiin osoittamaan kokeellisesti osaprosessien tekninen toimivuus integroidulle ratkaisulle (proof-of-concept) sekä laskemaan alustavat investointi- ja käyttökustannukset kahdelle parhaalle konseptille. Hanke koostui seuraavista työpaketeista:

1. Konseptimallin rakentaminen
2. Kokeellinen testaus
3. Pre-feasibility tarkastelu kokonaiskonseptille

Tämän hankkeen jatkohankkeessa on tarkoituksena rakentaa kehitetty konsepti konttiin, jolloin yritysten rooli kehitystyössä korostuu.

## 3. Hankkeen tulokset

---

### 3.1 Tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen

#### 3.1.1 Kokeellinen tutkimus laboratoriossa

Eri tekniikoiden toimivuutta osana vedenpuhdistus- ja ravinteiden/hiilen talteenottokonseptia tutkittiin ensin erillisinä yksikköoperaatioina laboratorio-olosuhteissa (liite 1). Valittujen yksikköoperaatioiden tuli olla helppokäyttöisiä, konttipuhdistamoon sopivia tekniikoita. Yksikköoperaatioista muodostettiin 21 erilaista konseptia ravinnetuotteiden ja puhtaan veden valmistukseen, jotka laboratoriokokeiden edetessä joko hylättiin tai hyväksyttiin jatkotutkimuksiin.

Laboratoriomittakaavaiset tutkimukset tehtiin pääasiassa Jyväskylän Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon sisään tulevalla jätevedellä. Kokeellinen työ aloitettiin tutkimalla jäteveden kiintoaineen erottamista vedestä. Menetelminä käytettiin kemiallista koagulointia/flokkausta kiintoaineen saattamiseksi suurempaan partikkelikokoon sekä mikrosuodatusta, viirasuodatusta ja sentrifugointia kiintoaineen erottamiseksi nestejakeesta. Jatkossa tutkittiin ravinteiden talteenottoa ja veden puhdistusta. Tutkittuja erotustekniikoita olivat saostus, kalvosuodatus (ultrasuodatus, nanosuodatus ja käänteisosmoosi), adsorptio ja haihdutus. Erotustekniikan toimivuus selvitettiin puhdistetun veden/ravinteiden saannon ja laadun perusteella. Laadun seurantaparametreina käytettiin pääasiassa kuiva-aine- ja kiintoainepitoisuutta, orgaanisen hiilen pitoisuutta tai kemiallista hapenkulutusta sekä

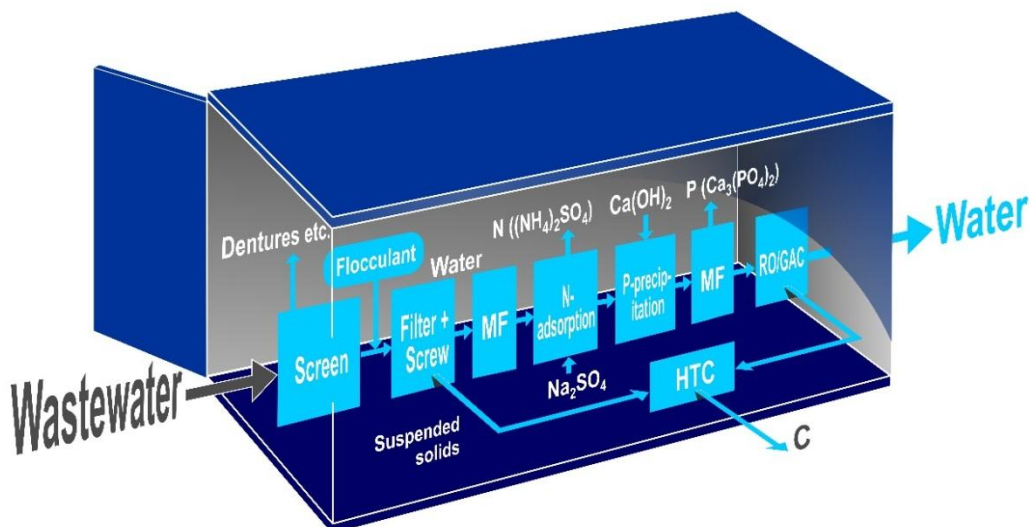
fosfaattifosforin ja ammoniumtyypen pitoisuutta. HTC-käsittelyä (HTC, hydrothermal carbonization) arvioitiin (esitetty kohdassa 3.1.2) hiilisaannon, lämpöarvon nousun ja biohiilen laadun perusteella.

Kiintoaineen talteenotossa hyviksi kemikaaleiksi valikoituivat Kemiran Superfloc flokkulantit C-492, C-1594 ja C-1592RS sekä Haarlän biopolymeeri. Näillä kemikaaleilla jätevettä saatiin flokattua niin, että sen viirasuodatus oli mahdollista. Kemiran flokkulanteilla kiintoaineen poistuma oli viiralla yli 90 %. Kiintoaineen mukana poistui vesijakeesta yli 70 % hiiliyhdisteistä, 20 % fosfaattifosforista ja alle 1 % ammoniumtyypeistä. Sofi-mikrosuodattimella saavutettiin hyvä veden laatu valitsemalla riittävän pieni suodattimen huokoskoko tai flokkaamalla jätevesi. Sen sijaan kuitua sisältävällä jätevedellä suodatin likaantui voimakkaasti. Sentrifugointi toimi kiintoaineen erotuksessa, mutta tuleva jätevesi todettiin kuitenkin sentrifugoinnille liian vähän kiintoainetta sisältäväksi.

Kiintoaineen poiston jälkeen ravinteiden talteenotossa fosfaattifosfori saatiin saostettua kalkkimaidolla yli 90 %:sti niin, että ammoniumtyyppi ja hiilikomponentit jäivät nestejakeeseen. Avoimella nanosuodatuksella saatiin fosfaattifosfori myös hyvin talteen, mutta vain osittainen hiiliyhdisteiden pidättyminen nanokalvolle oli ongelmallista puhtaiden jakeiden tuottamiseksi.  $\text{NH}_4\text{-N}$  reduktio laboratoriossa Aquamineralin adsorbenttien kolonnikokeissa oli 98 % mallijätevedelle, jossa  $\text{NH}_4\text{-N}$  -pitoisuus oli noin 45 mg/l. Reduktio säilyi hyvänä, kunnes noin 10 mg  $\text{NH}_4\text{-N/g}$  adsorbenttia oli kiinnittynyt patjaan, jolloin reduktio alkoi pienentyä selvästi. Käänteisosmoosikalvo ja aktiivihiili pidättivät puolestaan kaikki ravinteet yli 80 %:sti. Kalvosuodatus ja aktiivihiili soveltuivat talteenottokonseptissa yksikköoperaatioketjun loppupäähän edellyttäen, että fraktiointi oli tehty muilla tekniikoilla. Haihdutuksella oli mahdollista saada ammoniumtyyppi erilleen fosfaattifosforista ja hiiliyhdisteistä.

### 3.1.2 Konseptin testaus Paraisten puhdistamolla

Laboratorio-olosuhteissa parhaiten toimivista yksikköoperaatioista laadittiin vedenpuhdistus- ja/tai ravinteiden talteenottokonsepteja, joista yksi valittiin koeajoihin Paraisten kaupungin jätevedenpuhdistamolle (kuva 1).



Kuva 1. Paraisten puhdistamon konsepti.

Paraisten puhdistamon pilot-laitteistolla (kuva 2) testattiin konsepti, joka sisälsi ensimmäisessä vaiheessa kiintoaineen flokkauksen Kemiran Superfloc flokkulanteilla ja viiraerotuksen Salsnes SF1000 -laitteella käyttäen viiraa, jonka reikäkoko oli 350  $\mu\text{m}$  (liite 1). Kiintoaineen osuus jätevedestä oli vain 0,3 %. Viiralle tulevan kiintoaineen kuiva-aineksi saatiin 8 %, josta

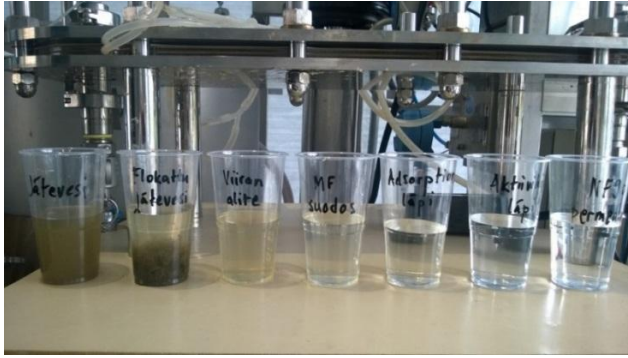
liete meni edelleen ruuville saavuttaen 20 %:n kuiva-aineen. Sekä viiralta että ruuvilta saataville lietteille tehtiin HTC-käsittely laboratorio-olosuhteissa. Biohiileksi muutettujen lietteiden lämpöarvot molemmissa tapauksissa nousivat 23 MJ/kg. Hiiltä saatiin parhaimmillaan siirtymään 74 % biohiileen, joka voitaisiin käyttää esimerkiksi maanparannukseen tai polttoaineeksi. Biohiili sisälsi vain vähän raskasmetalleja, mutta sen sijaan siinä oli lannoitteen kaltaisia komponentteja, kuten fosforia. Biohiilen nikkelpitoisuus ylittyi lannoitteille annetuista raja-arvoista, mutta nikkelin epäiltiin liukenevan reaktorista. HTC-käsittelyn rejektivedessä oli korkea kemiallinen hapenkulutus, fosfaattifosforipitoisuus ja ammoniumtyppipitoisuus, mutta sen määrä jäteveden määrään nähden oli hyvin pieni.



*Kuva 2. Koeajot Paraisten puhdistamolla.*

Viiraerotuksen jälkeen vesijae johdettiin ensin fosforin saostukseen kalsiumfosfaatiksi, josta vesijae jatkoi mikrosuodatuksen kautta typen adsorptioon (kuva 3) Aquamineralsin typpiadsorbentilla. Typpiadsorptio ei kuitenkaan toiminut hyvin, kun veteen oli lisätty huomattava määrä kalsiumia, joten typpiadsorptio ja fosforin saostuksen järjestystä vaihdettiin. Vesijae johdettiin siten ensin mikrosuodatuksen kautta typen adsorptioon ja vasta tämän jälkeen fosforin saostukseen. Näin saatiin jäteveden typestä noin 50 % talteen. Tämä oli kuitenkin laboratoriotestauksessa saatua saantoa selvästi alhaisempi, ja liian alhainen kaupalliseen konseptiin. Eron epäiltiin johtuvan adsorbenttien erilaisesta rakenteesta pilot- ja laboratorikokeissa. Ammoniumtypen eluonnissa natriumsulfaatilla ei saatu riittävää typpikonsentraatiota lannoitetuotetta ajatellen. Typen talteenotto adsorptiolla vaatii vielä kehitystyötä. Fosforista saatiin kalkkimaidolla saostamalla talteen 93 %. Jätevedestä tuotettu kalsiumfosfaatti-jae ei sisältänyt raskasmetalleja, mutta sen fosforipitoisuus suhteessa kalsiumpitoisuuteen jäi alhaiseksi, jonka vuoksi se toimisi enemmänkin kalkitsemisaineena kuin ravinteena. Kalsiumpitoisuuden laskemiseksi pitäisi miettiä saostuksessa käytetyn kalkkimaidon kierrättämistä. Viimeisessä vaiheessa orgaaninen aines poistettiin jätevedestä tiukalla nanosuodatuksella tai vaihtoehtoisesti aktiivihiilellä. Nanosuodatus ja aktiivihiili toimivat puhdistusmielessä lähes yhtä hyvin vedessä vielä jäljellä olevan typen poistoa lukuun ottamatta. Typen poistuminen jäi molemmilla tekniikoilla alhaiseksi kalvosuodatuksen ollen kuitenkin adsorptiota hieman tehokkaampi. Typen poistoa kalvosuodatuksessa voisi tarvittaessa parantaa vaihtamalla nanokalvo tiukempaan käänteisosmoosikalvoon. Tarvetta ei kuitenkaan ole, mikäli typen talteenotto toimii hyvin jo edeltävässä adsorptio-prosessissa. Kokonaisreduktiot tutkimuksessa konseptissa olivat kiintoaineelle 100 %, kemialliselle hapenkulutukselle 99 %, fosfaattifosforille 99 % ja ammoniumtyypelle 87 %.

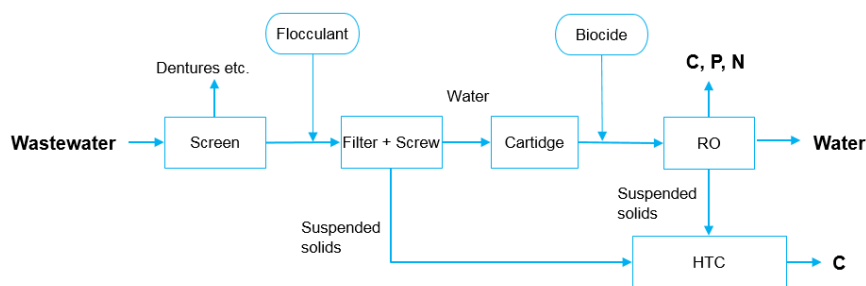




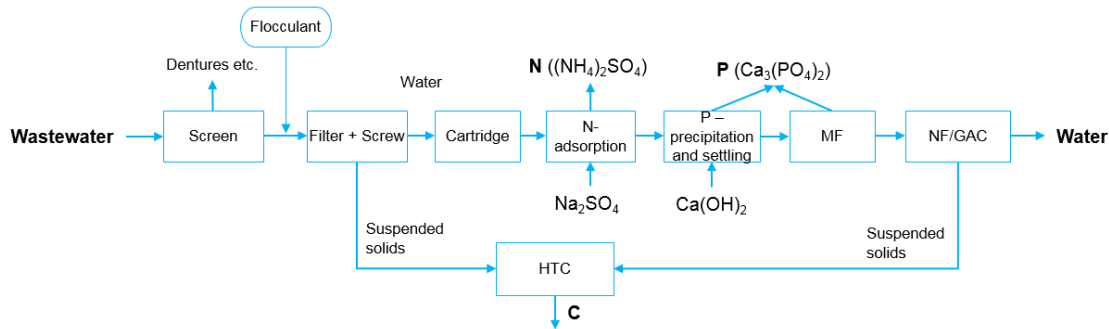
Kuva 3. Veden puhdistuminen konseptilla, jossa mukana olivat flokkauksen, viiräsuodatus, mikro-suodatus, adsorptio ja vaihtoehtoisesti joko aktiivihili tai nanosuodatus.

### 3.1.3 Teknitaloudellinen arviointi

Ravinteiden talteenotolle ja veden puhdistukselle tehtiin alustava teknitaloudellinen analyysi (TEA). Tarkastelussa jätevesikapasiteetiksi valittiin  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , joka vastaa noin 40 talouden jätevesikuormaa (4 hlö/talous, 150 l/hlö/vrk). Teknitaloudellisessa tarkastelussa määritettiin konseptien muuttuvat sekä kiinteät kustannukset ja laskettiin alustava investointikustannusarvio laitteistolle. Puhtaan veden tuottamisen kokonaiskustannuksiksi konseptilla (kuva 4), joka sisälsi flokkauksen, viiräerotuksen, mikro-suodatuksen ja käänteisosmoosin, saatiin  $4,4 \text{ €/m}^3$  sisään tulevaa jätevettä (liite 1). Paraisten jätevedenpuhdistamolla pilotoidun konseptin (kuva 5), joka sisälsi veden puhdistuksen lisäksi ravinteiden talteenoton, kokonaiskustannuksiksi saatiin  $9,1 \text{ €/m}^3$  viimeisen vaiheen ollessa nanosuodatus (NF) ja  $8,1 \text{ €/m}^3$  viimeisen vaiheen ollessa aktiivihiliadsorptio (GAC). Kummankaan konseptin kokonaiskustannuksissa ei ole huomioitu HTC-prosessin aiheuttamia kustannuksia, sillä HTC:n on ajateltu toimivan keskitetysti vastaanottaen raaka-ainetta useammasta eri kohteesta. Investointikustannusten osuus veden tuotannon kokonaiskustannuksista oli huomattava, 47-58 %. Kiinteät kustannukset (mukaan lukien työvoima, laitteiston ylläpito, verot ja vakuutukset) vastasivat 14-21 % ja muuttuvat kustannukset 28-35 % kokonaiskustannuksista. Suurimmat yksittäiset kustannustekijät muuttuvissa kustannuksissa olivat kalvojen puhdistuksesta ja uusimisesta sekä adsorbenttien käytöstä ja regeneroinnista aiheutuvat kustannukset.



Kuva 4. Puhtaan veden konsepti; kokonaistuontantokustannukset jäteveden käsittelylle ovat  $4,4 \text{ €/m}^3$ . Kokonaiskustannuksissa ei ole huomioitu HTC:stä aiheutuvia kustannuksia.



Kuva 5. Paraisten jätevedenpuhdistamolla pilotoitu konsepti, jossa puhtaan veden lisäksi ravinteet otetaan talteen erillisinä jakeina. Kokonaiskustannukset ko. konseptille ovat 8,1-9,1 €/m<sup>3</sup> riippuen viimeisestä käsittelyvaiheesta (NF tai GAC). Kokonaiskustannuksissa ei ole huomioitu HTC:stä aiheutuvia kustannuksia.

Haihdutus osana konseptia nosti käsittelyn hintaa huomattavasti. Mikäli puhtaan veden konseptissa (kuva 4) mikro-suodatus korvattaisiin haihdutuksella, kokonaiskustannukset olisivat 14 €/m<sup>3</sup>. Lisäksi haihduttimen koko valitussa mittakaavassa on jo niin suuri, ettei puhdistusyksikön siirtäminen paikasta toiseen ole helppoa. Tällöin menetetään alkuperäinen idea helposti siirrettävissä olevasta konttipuhdistamosta.

Mikäli konttipuhdistamon kapasiteetti olisi kymmenkertainen (10 m<sup>3</sup>/h), jäteveden puhdistus- ja ravinteiden talteenotokustannukset Paraisten jätevedenpuhdistamolla pilotoidussa konseptissa olisivat selvästi pienemmät, 3,8 €/m<sup>3</sup>. Tässä mittakaavassa prosessi olisi edelleen joustava ja helppokäyttöinen.

## 3.2 Tavoitteiden toteutuminen

Tutkimus eteni suunnitellusti kokeellisesta laboratoriotyöstä koeajoihin jäteveden puhdistamolla ja alustavaan teknistaloudelliseen tarkasteluun. Konseptin etuna tavoiteltiin hiilen ja ravinteiden talteenottoa suoraan hyötykäytettävässä muodossa, prosessin joustavuutta ja helppokäyttöisyyttä, räätälöitävyyttä, pientä kokoa sekä alhaisempia investointikustannuksia.

Tutkimuksessa selvitettiin ravinnetuotteiden kaupallistamismahdollisuuksia. Eviran mukaan kierrätyslannoitteet ovat näinä vuosina suuren murroksen alla, joten määräkysyä jätevedestä tehtyjen tuotteiden käytölle lähitulevaisuudessa ei vielä tiedetä. Resurssikontti-konseptissa tuotetut epäorgaaniset lannoitetuotteet ovat kuitenkin tuotteen karakterisoinnin kannalta helpompia kuin sekä epäorgaanista että orgaanista sisältävät ravinteet. Sekä hidasliukoinen kalsiumfosfaatti että ammoniumsulfaatti ovat lannoitteita, joille löytyy käyttökohteita. Tässä hankkeessa tuotetut ravinteet ja biohiili eivät sisältäneet epäpuhtautena raskasmetalleja, mutta niiden ravinnepitoisuudet jäivät vielä alhaisiksi. Kalsiumfosfaattisakka sisälsi eniten kalsiumia, 380 g/kg, kun taas fosforipitoisuus oli vain 5,9 g/kg. Ammoniumsulfaattiliuos sisälsi parhaimmillaan 118 mg/l ammoniumtyyppiä.

Resurssikontti on joustava ja helppokäyttöinen jäteveden käsittelyssä. Koska se ei perustu biologiseen käsittelyyn, prosessi voidaan tarvittaessa pysäyttää ja käynnistää, ja se sietää laadultaan erilaisia jätevesiä. Resurssikontissa voidaan käyttää jo olemassa olevaa tekniikkaa. Tarvittavat yksikköoperaatiot pitää kuitenkin valita aina tapauskohtaisesti. Konseptilla tuotetun veden kokonaiskustannuksissa investointikustannus näyttelee merkittävää osaa ollen noin puolet kokonaiskustannuksista. Kuluttaja maksaa esimerkiksi Jyväskylässä puhtaasta vedestä ja jäteveden käsittelystä 4,6 €/m<sup>3</sup>. Resurssikontilla tuotetun veden tuotantokustannukset ovat täten samaa suuruusluokkaa. Huomioitavaa on kuitenkin, että kaukana keskitetystä jätevedenpuhdistuksesta sijaitsevien kohteiden puhtaan veden tuotanto- ja jäteveden

käsittelykustannukset saattavat olla moninkertaiset tähän verrattuna. Tarvittavat fysikaalis-kemialliset yksikköoperaatiot mahdollistavat monistettavan Resurssikontti-konseptin, joka voisi tuoda liiketoimintamahdollisuuksia osaprosessi-toimittajille ja konseptin integraattorille.

### 3.3 Poikkeamat verrattuna suunnitelmiin ja poikkeamien syyt

Ravinetuotteiden määrä jäi kunnallisen jäteveden käsittelyssä hyvin pieneksi johtuen jäteveden sisältämien ravinteiden alhaisista konsentraatioista. Tähän voitaisiin jatkossa vaikuttaa valitsemalla väkevempiä jätevesiä käsiteltäväksi. Sekä typen että fosforin tuottoon käytetyt yksikköoperaatiot ovat periaatteeltaan toimivia eivätkä tuota jätevirtoja, mutta ne edellyttävät vielä kehitystyötä. Yksikköoperaatioiden likaantuminen pitäisi selvittää pitkäaikaisessa testauksessa, johon tässä hankkeessa ei ollut vielä mahdollisuutta. HTC-tutkimuksen osuus hankkeessa jäi suunniteltua vähäisemmäksi, koska se lisäprosessina tässä mittakaavassa osoittautui kustannuksia selvästi lisääväksi. HTC-käsittelyä pitäisi vertailla muihin vastaaviin hiilituotteita tuottaviin tekniikoihin, kuten polttoaineiden tuottamiseen kuivauksella ja pyrolyysillä, biokaasun tuottoon tai fermentointiin ja sen mahdollisiin tuotteisiin.

## 4. Hankkeen vaikuttavuus/vaikutukset

---

Hankkeessa selvitettiin pienen mittakaavan (1 m<sup>3</sup>/h) kunnallisen jäteveden käsittelyä, jolla on koko Itämeren ajateltaessa vähäinen, mutta paikallisesti mahdollisesti hyvinkin merkittävä positiivinen vaikutus erityisesti Itämeren kuormitukseen sekä ravinteiden kiertoon. Jätevettä ei yleensä kannata kuljettaa vaan se on järkevää puhdistaa paikallisesti. Jos jätevettä ei käsitellä ollenkaan tai jos nykyinen käsittely toimii hyvin huonosti, kuormituksesta voidaan Resurssikontti-konseptilla vähentää lähes kaikki kiintoaineesta, kemiallisesta hapenkulutuksesta ja fosfaattifosforista sekä 87 % ammoniumtypestä. Itämeren saaristossa tämän hetkisten jätevedenkäsittely-yksiköiden haasteena on niiden häiriöherkyys jäteveden laadun, kuormituksen ja lämpötilan vaihteluille, joihin Resurssikontti-tekniikka tuo toimintavarmuutta.

Teknistoloudellinen laskenta osoitti, että Resurssikontin kaltaisen jätevedenpuhdistuksen hinta ilman ravinteiden talteenottoa oli 4,4 €/m<sup>3</sup> jätevettä ja ravinteiden talteenotto mukaan lukien 8,1-9,1 €/m<sup>3</sup>. Jäteveden puhdistaminen ja hyödyntäminen esimerkiksi kasteluvetenä olisi Resurssikontti-konseptilla halvempaa kuin kaukana keskitetystä jäteveden puhdistuksesta olevilla tekniikoilla/kuljetuksella on tällä hetkellä. Kiintoainetta on puolestaan jätevedessä vähän, luokkaa 0,3 %, ja se voitaisiin eroteltuna helpommin kuljettaa ja käsitellä keskitetysti suuremmissa yksiköissä. Tässä hankkeessa tutkittiin kiintoaineen tuotteistamisessa HTC-tekniikkaa, joka voisi sopia keskitetyksi kiintoaineen käsittelymenetelmäksi. Se tuotti hyvälaatuisen biohiilen ja tuolloin myös ravinteikkaasta jätevedestä voitaisiin ottaa Resurssikontti-konseptilla ravinteet talteen ja hyödynnettäväksi.

Vaikka tutkitulla konseptilla voidaan ottaa talteen puhtaita lannoitustuotteita eli kiinteää kalsiumfosfaattia ja ammoniumsulfaattiliuosta, kunnallinen jätevesi on ravinteiden osalta hyvin laimeaa ja siten ravinteiden talteenotto tulee kannattamattomaksi. Ravinteiden talteenoton kannattavuus nousee, mikäli jätevesi on selvästi väkevempää tai jäteveden määrä kymmenkertaistuu. Väkeville tai laadultaan/määrältään vaihteleville jätevesille tutkittu fysikaalis-kemiallinen Resurssikontti-konsepti on hyvä, koska se voidaan käynnistää ja pysäyttää helposti.

Jäteveden puhdistukseen voisi joustavasta Resurssikontti-puhdistamosta löytyä yrityksille liiketoimintaa lähitulevaisuudessa. Kuitenkin ravinteiden talteenoton osalta tarvitaan vielä kehitystyötä. Lisäksi yksikköoperaatioiden likaantuminen pitäisi selvittää pidempiaikaisessa koeajossa kuin tässä hankkeessa oli mahdollista.

## 5. Viestintäsuunnitelman toteutuminen

---

Viestintää on Resurssikontti-hankkeessa tehty viestintäsuunnitelman (liite 2) mukaisilla foorumeilla. Projektista tehtiin suunnitellusti suomen- ja englanninkieliset lehdistötiedotteet (30.1.2017) ”Jätevedestä raaka-aine typen, fosforin ja hiilen tuotantoon”/”Production of nitrogen, phosphorus and carbon from waste water”. Lisäksi Resurssikontti-hanke oli esillä BSAG:n (Pieta Jarva) lehdistötiedotteessa ”EU lannoitelainsäädännön muutoksen odotetaan synnyttävän sisämarkkinat kierrätysravinteille, Suomalaisyrietykset ajavat ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa yhdessä”. Resurssikontista löytyy internetsivusto (<http://www.vtt.fi/sites/Resurssikontti/etusivu>), jota päivitettiin kuukausittain. Vesihuolto 2017/Vesihuoltopäiville ei tehty suunniteltua abstraktia, mutta tilaisuus hyödynnettiin neuvotteluihin laitevalmistajien (tärkeimpinä Haarla, Ajon Apu, Sarlin) kanssa. Resurssikontti-hankkeen tiimoilta osallistuttiin posterilla ja lyhyellä esityksellä Nordiwan konferenssiin (Århus, Tanska 10.-12.10.2017) ja European Sustainable Phosphorous Platform (ESPP) Phos4You–DG RTD workshopiin (Basel 19.10.2017). ESPP:ssa Baselissa hanketta esiteltiin myös speed-date esityksenä. Hankkeen tuloksista tullaan tekemään julkaisu Vesitalous-lehteen ja kansainväliseen julkaisuun, kuten Water Research tai J. of Cleaner Production -lehteen. Resurssikontista tehtiin tiedote Tekesin sivustolle <https://www.tekes.fi/tekes/tulokset-ja-vaikutukset/caset/asiakkaiden-tuloksia-2017/resurssikontti-ottaa-jateveden-arvokkaat-ravinteet-talteen-ja-laittaa-ne-kiertoon/>. Lisäksi tuloksista ja jatkosta tullaan tekemään lehdistötiedote.

Julkaisut:

1. Arnold, M., Kyllönen, H., Sorsamäki, L., Heikkinen, J., Kaartinen, T., and Wikberg, H., Resource Container as a Seasonal Solution for Pure Water and Valuables, abstract, Poster presentation in Nordiwa 10.-12.10.2017, Aarhus, Denmark.
2. Kyllönen, H., Sorsamäki, L. and Arnold, M., Jätevedestä raaka-aine typen, fosforin ja hiilen tuotantoon –VTT:n Resurssikonttiprojekti, Ympäristö ja terveys lehti 4 2017, 48.vsk., 20-24.
3. Salmi, E., Suodatus esikäsittelymenetelmänä kotitalousjäteveden konttipuhdistamossa, Valmistumassa oleva opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu, Energia ja Ympäristötekniikka, 50 + 1 s.

## 6. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

---

Resurssikontille Suomessa voisi lähitulevaisuudessa löytyä markkinat esimerkiksi kaukana kunnallisesta puhdistamosta sijaitsevien saaristokuntien tai turistikohteiden jätevesien, veneiden vessavesien, ennen kunnalliselle puhdistamolle johdettavien väkevien teollisuusvesien tai suurien massatapahtumien jätevesien käsittelystä. Kotimaan referenssin jälkeen markkinoita voisi laajentaa ulkomaille, esim. maihin, jossa vettä on vähän saatavilla tai käyttöveden laatu on huonoa. Jäteveden puhdistuksen yhteydessä saatavilla epäorgaanisilla lannoitteilla on sen sijaan vielä tänä päivänä epävarmemmat markkinat. Mikäli lannoitteet on tuotettu jätevedestä/vessavesistä, niitä ei välttämättä haluta ruoan tuotantoon, vaikka ne olisi osoitettu laadullisesti hyväksi. Teollisuusvesistä tuotettujen ravinteiden käyttö voi olla helpompaa. Hiilen hyödyntäminen pienissä yksiköissä voi puolestaan kariutua kalliisiin käsittelykustannuksiin. Sen käsittely keskitetysti parantaa hyödyntämismahdollisuuksia.

## 7. Talousraportti

---

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 353 k€, joka käytettiin kokonaan. 80 % projektin rahoituksesta tuli ympäristöministeriöltä ja 20 % VTT:ltä. Suurin osa budjetista käytettiin henkilökustannuksiin ja siinä kokeellisen työn tekemiseen. Hankkeessa jouduttiin tekemään budjetin uudelleenallokointia, sillä kokeellisen työn tekeminen konseptin selvittämiseksi ja koeajot Paraisilla veivät resursseja suunniteltua enemmän. Talousraportti esitetään erillisenä.

## 8. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

---

Resurssikontti-projekti oli esiselvitystyyppinen paljon riskejä sisältävä hanke, joka sopi Raki 2 -ohjelmaan hyvin. Ohjausryhmä toimi tässä hankkeessa aktiivisesti, joskin kiireisiä yrityksiä oli osaksi vaikea sitouttaa tällaisen hankkeen ohjaukseen ennen kuin tuloksia oli saatavilla. Tässä hankkeessa saatiin koeajoihin verraton apu Paraisten jätevedenpuhdistamolta. Koeajojen toteuttaminen puhdistamolla on kuitenkin helpompaa ja vähemmän kustannuksia vievää, mikäli ne toteutetaan lähempänä tutkijoita/laboratoriotutkimusta.

Jatkohanke pitää olla pääosin yritysten toteuttama. Teollisuuskäyttöön ja globaaleja markkinoita ajatellen on kiinnostavaa pilotoida puhtaan veden tuotto ja kiintoaineen konsentroida kontissa, laskea käsittelykustannukset sekä selvittää kiintoaineelle ja konsentraateille järkevin käsittelymenetelmä ja käyttökohde. Jatkohankkeessa on kiinnostavaa myös pilotoida vastaavalla konseptilla ravinteiden talteenottoa jätevedestä, jonka ravinnepitoisuudet ovat selvästi korkeammat, sekä laskea kannattavuutta ravinteiden talteenotolle.

## 9. Johtopäätökset /Yhteenveto hankkeesta ja päätuloksista

---

Hankkeessa tutkittiin monia erilaisia yksikköoperaatiota Resurssikontti-konseptin kehittämiseksi ja löydettiin muutama hyvä vaihtoehto sekä pelkästään puhtaan veden tuottamiseksi että ravinteiden talteenottamiseksi jätevedestä. Erityisesti ravinteiden talteenotossa käytetyt yksikköoperaatiot vaativat kuitenkin jatkokehitystä.

Alustavassa teknistaloudellisessa tarkastelussa, pelkän puhtaan veden tuotantokustannuksiksi saatiin 4,4 €/m<sup>3</sup> sisään tulevaa jätevettä (liite 1). Paraisten jätevedenpuhdistamolla testatun konseptin, joka sisälsi veden puhdistuksen lisäksi ravinteiden talteenoton, kokonaiskustannuksiksi saatiin 8,1-9,1 €/m<sup>3</sup> riippuen konseptin viimeisestä erotusvaiheesta (nanosuodatus/aktiivihilli). Mikäli konttipuhdistamon kapasiteetti olisi kymmenkertainen (10 m<sup>3</sup>/h), jäteveden puhdistus- ja ravinteiden talteenotokustannukset Paraisten jätevedenpuhdistamolla pilotoidussa konseptissa olisivat selvästi pienemmät, 3,8 €/m<sup>3</sup>. Tässä mittakaavassa prosessi olisi edelleen joustava ja helpokäyttöinen.

Konttipuhdistamolle on nähtävissä markkinarako, joten yritykset ovat kiinnostuneita jatkamaan hanketta yritysveitöisesti. Resurssikontti on käyttökelpoinen, kun jätevettä pitää puhdistaa paikallisesti pienessä yksikössä keskitetyn jätevedenpuhdistamon ollessa kaukana tai kun jätevesi on laadultaan sellaista, että se aiheuttaa biologiselle puhdistukselle vaikeuksia. Resurssikontti-konsepti ei tuota jätevirtoja vaan sillä saadaan tuotettua puhdasta vettä, epäorgaanisia lannoitteita ja kiintoainetta, joka voidaan käsitellä erikseen isommassa yksikössä. Resurssikontti-hankkeessa kehitetyllä konseptilla käsitellyn jäteveden tuotantokustannukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin kuluttajahinnat suurissa kaupungeissa. Huomioitavaa on, että kaukana keskitetystä jätevedenpuhdistuksesta olevien kohteiden puhtaan veden ja jäteveden käsittelyn hinta saattaa olla moninkertainen.

## Lähdeviitteet

---

1. Säylä, J. ja Vilpas, R. 2010. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2010. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 21/2012. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39681/SYKEra\\_21\\_2012.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39681/SYKEra_21_2012.pdf?sequence=1)
2. TIKE 2010. Maatilatilastollinen vuosikirja 2010. Saatavissa: [http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/vuosikirja2010\\_nettiin\\_0.pdf](http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/vuosikirja2010_nettiin_0.pdf)
3. Aho et al., 2015. Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 99. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia99.pdf>

## Liitteet

---

- |         |                           |
|---------|---------------------------|
| Liite 1 | Tekninen raportti         |
| Liite 2 | Viestintäsuunnitelma      |
|         | Talousraportti erillisenä |