

# Vesiruton energia ja ravinteet talteen

## Elodea II -hankkeen loppuraportti

Ritva Nilivaara, Lea Hiltunen, Erkki Joki-Tokola, Joonas Kahiluoto,  
Jaakko Karvonen, Minna Kuoppala, Timo Lötjönen,  
Johanna Niemistö, Maarit Satomaa, Heikki Tahkola, Teemu Ulvi,  
Anna-Liisa Välimaa, Seppo Hellsten





# Vesiruton energia ja ravinteet talteen

## Elodea II -hankkeen loppuraportti

Ritva Nilivaara, Lea Hiltunen, Erkki Joki-Tokola, Joonas Kahiluoto, Jaakko Karvonen, Minna Kuoppala, Timo Lötjönen, Johanna Niemistö, Maarit Satomaa, Heikki Tahkola, Teemu Ulvi, Anna-Liisa Välimaa, Seppo Hellsten



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto





Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9 | 2022

Suomen ympäristökeskus

Vesikeskus

Kirjoittajat: Ritva Nilivaara<sup>1)</sup>, Lea Hiltunen<sup>2)</sup>, Erkki Joki-Tokola<sup>2)</sup>, Joonas Kahiluoto<sup>1)</sup>, Jaakko Karvonen<sup>1)</sup>, Minna Kuoppala<sup>1)</sup>, Timo Lötjönen<sup>2)</sup>, Johanna Niemistö<sup>1)</sup>, Maarit Satomaa<sup>3)</sup>, Heikki Tahkola<sup>3)</sup>, Teemu Ulvi<sup>1)</sup>, Anna-Liisa Välimaa<sup>2)</sup>, Seppo Hellsten<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Suomen ympäristökeskus SYKE

<sup>2)</sup> Luonnonvarakeskus (Luke)

<sup>3)</sup> ProAgria Oulu

Vastaava erikoistoimittaja: Ahti Lepistö

Rahoittaja: Euroopan aluekehitysrahasto

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Ritva Nilivaara

Kannen kuva: Adobe Stock

Julkaisu on saatavana veloituksetta internetistä: [www.syke.fi/julkaisut](http://www.syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke)

ISBN 978-952-11-5465-2 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisuvuosi: 2022

## Tiivistelmä

### Vesiruton energia ja ravinteet talteen – Elodea II

Kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*) on haitalliseksi vieraslajiksi luokiteltu uposkasvi, joka on levinnyt satoihin järviin Suomessa. Vesirutto voi kasvattaa laajoja, jopa koko järven laajuisia massakasvustoja, syrjäyttää muita alkuperäisiä lajeja, aiheuttaa hajotessaan happikatoa sekä heikentää järvien virkistyskäyttömahdollisuuksia. Vuosina 2019–2021 toteutetun Elodea II -hankkeen tavoitteena oli kehittää kustannustehokkaita keinoja vesiruton poistamiseksi sekä biomassan ja sen sisältämien ravinteiden hyödyntämiseksi.

Vesiruton biomassan poistoon kehitettiin tätä kohdetta varten optimoitu raivausnuotta, jolla biomassan poisto onnistui hankkeen tarpeita varten. Raivausnuottaus on kuitenkin työlästä ja hidasta monine työvaiheineen, joten menetelmä vaatii vielä jatkokehitystä. Vesiruton poiston haitalliset vaikutukset veden laatuun jäivät vähäisiksi, mutta raivausnuottauksen mukana poistetut harvinaiset vesikasvit näyttivät palautuvan nopeasti.

Biomassan sisältämien ravinteiden hyödyntämismahdollisuutta selvitettiin käyttämällä sitä viherlannoitteena peruna- ja kokoviljasäilörehukasvustoille. Biomassan käsittely ja peltolevitys onnistuivat maatalouskoneilla hyvin. Biomassan lisäyksestä viherlannoitteena ei kuitenkaan saatu odotettuja lannoitevaikutuksia peltokokeissa. Toisaalta siitä ei ollut haittaa testikohteina käytetyille viljelykasveille, minkä perusteella peltolevitys voisi tarjota toimivan ja kustannustehokkaan ratkaisun vesiruton loppusijoitukseen.

Laboratoriokokeissa vesiruton pinnalta eristettiin yli 200 erilaista mikrobia. Alustavien tulosten perusteella muutamat bakteeri-isolaatit estivät tehokkaasti perunarupea aiheuttavien *Streptomyces*-bakteerien ja kohtalaisesti perunaseittiä aiheuttavan *Rhizoctonia solani* -sienen kasvua. Perunaseitin osalta sama vaikutus oli havaittavissa myös peltokokeissa.

Vesiruton soveltuvuutta biokaasuntuotannon lisäyötteenä sekä biomassan säilöntämahdollisuuksia selvitettiin laboratorio- ja maatilamittakaavan kokeissa. Tavanomaiset nurmirehun korjuu- ja varastointimenetelmät soveltuvat biomassan käsittelyyn, mutta työ on hitaampaa pieneksi silppuuntuvan ja määrän materiaalin vuoksi. Biomassan paalaus biokaasulaitokselle kuljetettavaksi oli mahdollista, kun biomassaa seostettiin nurmen kanssa. Pelkän biomassan säilöntä minisiiloissa käymiseen perustuvalla menetelmällä onnistui varsin heikosti aistittavan laadun, happamuuden ja mikrobien määrän perusteella. Käymistä rajoittivat biomassan varsin vähäinen kuiva-ainepitoisuus ja todennäköisesti myös niukka liukoisten hiilihydraattien pitoisuus. Nurmirehun lisäys kuitenkin edisti säilönnän onnistumista. Vesiruton biomassaa parantaa biokaasutuksen metaanisaantoa ja sen käyttö on tietyin reunaehdoin jopa kannattavaa.

Toimenpiteiden kannattavuutta arvioitiin ja kehitettiin toimintamalleja, joiden avulla voidaan luoda vesiruton poistamiseen liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia paikallisille yrittäjille.

**Asiasanat:** *Elodea canadensis*, Vesirutto, Vieraslaji, Biokaasu, Vesistön kunnostus

## Sammandrag

### Nytta av vattenpestens näringsämnen och energi

Den kanadensiska vattenpesten (*Elodea canadensis*) är en undervattenväxt som är klassad som en skadlig främmande art och som har spridit sig till hundratals sjöar i Finland. Vattenpesten kan växa sig stora (till och med sjöomfattande) massgrödor, kan tränga undan andra inhemska arter, orsaka syrebrist när den bryts ned och således försämra sjöarnas rekreationspotential. Målet med Elodea II-projektet, som genomfördes under 2019–2021, var att utveckla kostnadseffektiva sätt att eliminera vattenpesten och samtidigt nyttja biomassan och de näringsämnen den innehåller.

För att avlägsna vattenpestens biomassa från vattnet utvecklades ett optimerat rensningsnät för, med vilket det lyckades att ta bort biomassan för projektets behov. Att röja nät är dock en mödosam och långsam process med många arbetsmoment, så att metoden fortfarande behöver utvecklas vidare. De skadliga effekterna som borttagningen hade på vattenkvaliteten var små, och de sällsynta vattenväxter som samtidigt togs bort med nätet verkade återhämta sig snabbt.

Möjligheten att nyttja näringsämnena i biomassan undersöktes genom att använda den som grön gödsel för potatis- och ensilagegrödor. Bearbetningen och appliceringen av biomassan på åkermark med jordbruksmaskiner var framgångsrik. Tillsatsen av biomassa som grön gödsel gav dock inte de förväntade gödningseffekterna i fältförsöken. Å andra sidan påverkade det inte de grödor som odlades på testplatsen negativt, vilket indikerar att användning som grön gödsel skulle kunna vara en hållbar och kostnadseffektiv kvittblivningslösning för vattenpesten.

I laboratorieexperiment isolerades mer än 200 olika mikrober från vattenpestens yta. Baserat på preliminära resultat var några bakterieisolat effektiva för att hämma tillväxten av vanlig skorv orsakad av *Streptomyces*-bakterier och måttligt effektiva för att hämma tillväxten av lackskorv orsakad av svampen *Rhizoctonia solani*. När det gäller lackskorv, observerades samma positiva effekt även i fältförsök.

Lämpligheten av vattenpest som material för biogasproduktion och dess potential för att konservera biomassa undersöktes i laboratorieexperiment och med hjälp av gårdsbaserad biogasproduktion. Konventionella metoder för skörd och lagring av gräsfoder lämpar sig för hantering av biomassan, men arbetet går långsammare på grund av att materialet är blött och rivs lätt sönder. Balning av biomassa för transport till en biogasanläggning visade sig vara möjlig när biomassan blandades med gräs. Konservering av biomassan (utan tillsats av annat material) genom fermentering i minisilos var inte särskilt framgångsrik på grund av materialets dåliga kvalitet, dess surhet och mikrobiella sammansättning. Fermenteringen begränsades av biomassans relativt låga torrsubstanshalt och troligen också av den låga koncentrationen av lösliga kolhydrater. Tillsatsen av gräsfoder bidrog dock till att fermenteringen lyckades. Vattenpestbiomassan förbättrade metanutbytet i biogasproduktion och dess användning är till och med ekonomiskt lönsam under vissa förutsättningar.

Åtgärdernas lönsamhet utvärderades och verksamhetsmodeller utvecklades för att skapa affärsmöjligheter för lokala företagare relaterade till pestens utrotning.

**Nyckelord:** *Elodea canadensis*, vattenpest, biomassa, nyttbruk, näringsämnen, jordförbättringsmedel, biogas, vattenvård

## Abstract

### Utilization of nutrients and energy of common waterweed

Canadian waterweed (*Elodea canadensis*) is a submerged plant classified as an invasive alien species. It has spread in hundreds of lakes in Finland. It propagates vigorously forming dense stands, displaces other native species, causes oxygen depletion and hinders recreational activities on lakes. The Elodea II project, implemented in 2019–2021, aimed to develop cost-effective means of harvesting waterweed and utilizing the biomass as a co-substrate for biogas generation or as a soil amendment.

Harvesting of waterweed was successful using the seine net developed in the project. However, using the seine is a laborious and slow method consisting of many steps, and therefore, the method still needs further development. Harvesting of waterweed only had minor effects on water quality and rare aquatic plants removed in the process of harvesting with the seine appeared to recover rapidly.

Waterweed biomass contains many nutrients essential for plant growth, and therefore, it has potential as an organic fertilizer. The use of the biomass as a soil amendment was investigated in field experiments on potato and whole grain silage crops. The biomass was successfully applied using agricultural machinery. However, the addition of the waterweed biomass did not give the expected yield increase in the field trials. On the other hand, it did not adversely affect the test crops, which indicates that field application may provide a viable and cost-effective solution for the disposal of harvested waterweed biomass.

More than 200 different microbes were isolated from leaf surfaces of waterweed. Based on the preliminary results from laboratory experiments, many bacterial isolates were effective in inhibiting the growth of *Streptomyces spp.* or *Rhizoctonia solani* causing potato common scab or potato black scurf, respectively.

The suitability of waterweed as a co-substrate in biogas generation and the possibilities of preserving biomass were investigated in laboratory and farm-scale experiments. Conventional methods of harvesting and storing grass fodder were suitable for handling waterweed biomass, but the work was slower due to the shredding and wet material. Baling of biomass worked well when the biomass was mixed with grass and made the long-distance transport of waterweed possible. The preservation of waterweed biomass alone by fermentation, which was tested in mini-silos, worked poorly in terms of perceptible quality, acidity and microbial count. Fermentation was limited by the relatively low dry matter content of biomass and probably also by the low content of soluble carbohydrates. However, the addition of grass contributed to the success of the preservation. The waterweed biomass increased the methane yield in the biogas process and under certain conditions its use may even be profitable.

The profitability of the different methods of utilizing waterweed was assessed and models for operating procedures were developed. This will allow local entrepreneurs to create new business opportunities related to the harvesting and use of waterweed.

**Keywords:** *Elodea canadensis*, Canadian waterweed, Invasive alien species, Biogas, Restoration of water ways





## Esipuhe

Haitallinen vieraslaji, kanadanvesirutto (*E. canadensis*), on levinnyt moniin Koillismaan ja Etelä- ja Keski-Suomen järviin, joissa se muodostaa vesien käyttöä ja monimuotoisuutta haittaavia massakasvustoja. Kasvustojen poisto on työlästä ja vesistöstä poistetaan merkittäviä määriä ravinteikasta biomassaa. Aiemmassa *Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (Elodea)* -esitutkimushankkeessa selvitettiin erilaisia vesiruton hyödyntämistapoja, ja näistä lupaavimmiksi osoittautuivat vesiruton käyttö suoraan ravinteena pellolla tai biokaasulaitoksen raaka-aineena. Tässä *Vesiruton energia ja ravinteet hyötykäyttöön (Elodea II)* -hankkeessa kehitettiin menetelmiä vesiruton poistamiselle vesistöistä ja suurten biomassojen hyödyntämiselle. Toimenpiteiden kannattavuutta arvioitiin ja kehiteltiin toimintamalleja, joiden avulla voidaan luoda vesiruton poistamiseen liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia paikallisille yrittäjille. Hanke toteutettiin 1.1.2019-31.12.2021. Toteuttajatahoina olivat Suomen Ympäristökeskus (SYKE), Luonnonvarakeskus (Luke) sekä ProAgria Oulu.

Hankkeen vastuullisena johtajana toimi Seppo Hellsten ja toteutuksesta vastasivat SYKEssä Ritva Nilivaara, Minna Kuoppala, Jaakko Karvonen, Teemu Ulvi, Joonas Kahiluoto, Jukka Hirvonen, Kirsti Leinonen, Pauli Jokikokko, Mika Visuri sekä Tuomas Hirvonen. Luonnonvarakeskuksessa hankkeessa työskentelivät Lea Hiltunen, Timo Lötjönen, Anna-Liisa Välimaa, Erkki Joki-Tokola, Timo Mikkonen, Anne-Mari Möttönen, Tiina Väyrynen ja Outi Holappa sekä ProAgria Oulussa Heikki Tahkola, Maarit Satomaa, Jarmo Tuuppainen sekä Anna-Maija Rautiainen.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat SYKEstä Seppo Hellsten, Ari Mäkelä (2019-2020), Laura Härkönen (2020-2021) ja Ritva Nilivaara (asiantuntijajäsen), Lukesta Erja Huusela (ent. Huusela-Veistola) ja Lauri Urho, ProAgriasta Esko Viitala (ohjausryhmän puheenjohtaja) ja Marika Tuomikoski, Kuusamon energia- ja vesiosuuskunnasta Mika Mankinen ja Kimmo Viinikka, Koneyrittäjät ry:stä Ville Järvinen ja Matti Peltola, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksesta Timo Yrjänä, Arto Iwendorff ja Anne-Maaria Kurvinen (asiantuntijajäsen), MTK:sta Matti Tyhtilä, Jaana Juvani ja Tuomo Tamminen, viljelijäedustajana Jari Käkilehto ja Klaus Kilpivaara sekä Kuusamon kaupungista Teemu Junttila, Raisa Nikula ja Vesa Kuoksu.

Koneurakointipalveluja tarjosivat Jari Käkilehto, Ossi Käkälä, Tuomo Pulkkanen/Kuusamon halkopaja, Heikki Kämäräinen, Klaus Kilpivaara sekä Osmo ja Henri Kantola. Kiitämme myös Vuotungin yhteisen kalaveden osakaskuntaa sekä Vuotungin maa- ja kotitalousnaisia hankkeen maastotöiden mahdollistamisesta. Biokaasukokeiden osalta kiitämme Markku Pelkosta JahoTecistä sekä Timo Seppälää ja Kauko Jarvaa JokiEdusta. Videotuotannosta kiitämme Haukimedian Kati Jurkkoa ja Antti Pylvästä. Kiitokset heille hyvin sujuneesta ja rakentavasta yhteistyöstä.

Elodea II -hankkeen päärahoittaja oli Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) Pohjois-Pohjanmaan Elinkeino- liikenne ja ympäristökeskuksen kautta. Muita rahoittajia olivat Koneyrittäjät Ry, Marjatta ja Eino Kollin Säätiö sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry.

Kiitämme kaikkia projektin rahoittajia ja yhteistyökumppaneita, jotka mahdollistivat projektin toteuttamisen. Erityisesti haluamme kiittää hankkeen ohjausryhmää, joka antoi projektille arvokasta tietoa ja palautetta koko projektin toteutusajan.

Toimittajat

# Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract.....	5
Esipuhe.....	7
Sisällys.....	8
<b>1 Johdanto.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Vesiruton raivausnuottoaus.....</b>	<b>13</b>
2.1 Johdanto.....	13
2.2 Aineisto ja menetelmät.....	13
2.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	14
2.4 Johtopäätökset.....	22
<b>3 Vesiruton levitys pellolle maanparannusaineeksi tai sen korjuu paalaamalla.....</b>	<b>23</b>
3.1 Kuormaus levityspevävaunuihin.....	23
3.2 Levitys pellolle maanparannusaineeksi/lannoitteeksi.....	23
3.3 Paalaus biokaasulaitoksen syötteenksi.....	26
3.3.1 Vuoden 2019 paalauskokeilut.....	26
3.3.2 Vuoden 2020 paalauskokeilut.....	26
3.4 Työmenekkiä mittaaminen.....	32
<b>4 Vesiruton säilöntäkokeet.....</b>	<b>33</b>
4.1 Johdanto.....	33
4.2 Aineisto ja menetelmät.....	33
4.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	36
4.3.1 Vesiruton säilöntä.....	37
4.3.2 Vesiruton ja nurmen seoksen säilöntä.....	38
4.4 Johtopäätökset.....	40
<b>5 Vesiruton hyödyntäminen lannoitus- ja maanparannusaineena.....</b>	<b>41</b>
5.1 Tausta ja tavoitteet.....	41
5.2 Aineisto ja menetelmät.....	41
5.2.1 Perunan peltokokeet.....	41
5.2.2 Kokoviljakokeet.....	43
5.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	44
5.3.1 Kasvukausien sää.....	44
5.3.2 Perunan peltokokeet.....	45
5.3.3 Kokoviljakokeet.....	48
5.4 Johtopäätökset.....	49
<b>6 Vesirutosta eristetyt mikrobit.....</b>	<b>51</b>
6.1 Tausta ja tavoitteet.....	51
6.2 Aineisto ja menetelmät.....	51
6.2.1 Kasvitaudinaiheuttajien kasvun esto.....	52
6.2.2 Isolaattien vaikutus haitallisten elintarvikemikrobien kasvuun.....	53
6.2.3 Entsyymiaktiivisuus.....	53

6.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	54
6.3.1 Kasvitaudinaiheuttajien kasvun esto .....	54
6.3.2 Isolaattien vaikutus haitallisten elintarvikemikrobien kasvuun .....	55
6.3.3 Entsyymiaktiivisuus .....	55
6.4 Johtopäätökset.....	56
<b>7 Vesiruton hyödyntäminen biokaasuntuotannossa .....</b>	<b>57</b>
7.1 Johdanto .....	57
7.2 Aineisto ja menetelmät .....	57
7.2.1 Laboratoriomittakaavan metaanintuottopotentiaali .....	57
7.2.2 Maatilamittakaavan biokaasutuotantotestaus .....	58
7.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	58
7.3.1 Laboratoriomittakaavan metaanintuottopotentiaali .....	58
7.3.2 Maatilakokoluokan biokaasutestaus.....	60
7.4 Johtopäätökset.....	62
<b>8 Vesistövaikutusten arviointi .....</b>	<b>63</b>
8.1 Johdanto .....	63
8.2 Aineisto ja menetelmät .....	63
8.2.1 Vedenlaatuanalyysit .....	63
8.2.2 Ilmakuvat.....	64
8.2.3 Kasvillisuusnäytealat ja päävyöhykelinjat .....	65
8.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	67
8.3.1 Vedenlaatu.....	67
8.3.2 Kasvillisuusnäytealat ja päävyöhykelinjat .....	70
8.3.3 Ilmakuvat.....	72
8.4 Johtopäätökset.....	73
<b>9 Vesiruton hyödyntämisen kannattavuuden arviointi.....</b>	<b>75</b>
9.1 Johdanto .....	75
9.2 Lannoitearvo .....	75
9.3 Korjuun työmenekki, kustannukset ja päästöt .....	77
9.4 Paalaus, biokaasuntuotanto sekä biokaasuntuotannon kannattavuus .....	79
9.5 Ilmastovaikutukset .....	81
9.6 Arvioinnin rajoitteet.....	81
9.7 Johtopäätökset.....	81
<b>10 Toimintamallit .....</b>	<b>83</b>
<b>11 Yhteenveto.....</b>	<b>87</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>89</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>92</b>
LIITE 1. Vuotunki-järvestä vuosina 2019 ja 2020 nostetun vesiruttobiomassan fysikaalis-kemialliset ominaisuudet sekä alkuainepitoisuudet .....	92
LIITE 2. Maan ravinnepitoisuudet perunan peltokokeissa 2020 .....	93
LIITE 3. Maan ravinnepitoisuudet perunan peltokokeissa 2021 .....	94

LIITE 4. Maan raskasmetallipitoisuudet perunan peltokokeissa ennen kokeiden perustamista keväällä 2020 ja 2021. ....	95
LIITE 5. Maanäyteanalyysien tulokset kokoviljakokeelta syksyllä 2019. ....	96
LIITE 6. Maanäyteanalyysien tulokset kokoviljakokeelta syksyllä 2021. ....	97

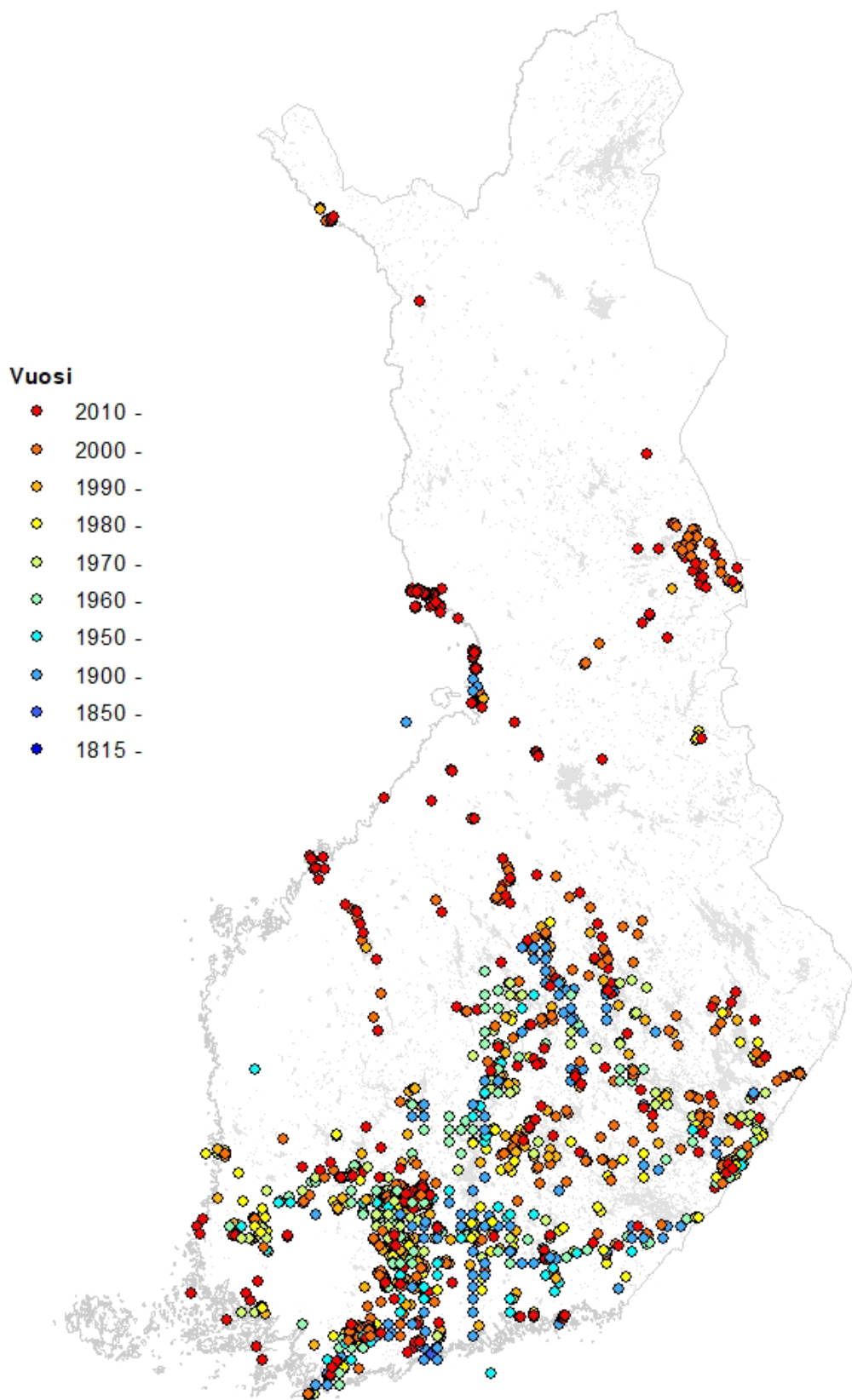
# 1 Johdanto

Kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*) on Suomessa vieraslaji, joka on levinnyt Etelä- ja Keski-Suomen lisäksi laajasti Koillismaan järviin (Kuva 1). Suomessa se on määritelty haitalliseksi vieraslajiksi kansallisessa vieraslajistrategiassa (MMM 2012). Laji on erittäin herkkä leviämään versomaisen kasvutapansa ja kasvullisen lisääntymisen takia, joten pienestäkin versonpalasesta voi kehittyä massakasvusto suotuisissa olosuhteissa. Vesirutto viihtyy erityisesti kirkasvetisissä, matalissa ja lievästi rehevöityneissä järvissä, lammissa, hitaasti virtaavissa jokivesissä, suurissa ojissa sekä vähäsuolaisissa merenlahdissa. Vesirutto ei menesty happamissa, humuspitoisissa vesissä, vaan sen kasvuympäristön pH-optimi on jopa 9–9,5. Tiheiden kasvustojen yhteyttäminen nostaa veden pH:ta päivällä ja laskee öisin. Voimakas pH:n vaihtelu aiheuttaa muulle eliöstölle ongelmia. Biomassan hajoaminen vapauttaa kasvien sitomat ravinteet takaisin veteen, mutta myös kuluttaa veden happea. Hapettomat olosuhteet puolestaan kiihdyttävät ravinteiden vapautumista myös sedimentistä. Massaesiintymä saattaa jäädä muutaman vuoden mitaiseksi, mutta erityisesti rehevissä vesissä se voi kestää vuosikymmenestä toiseen. Vesiruton vaivaamat järvet ovat yleensä kirkasvetisiä, koska uposlehtisenä kasvina se hyötyy runsaan valon määrästä.

Koillismaan luontomatkailun ja kalastuksen kannalta vesirutto on osoittautunut hyvin ongelmalliseksi. Puhtaasta luonnosta tunnettu alue kärsii vesiruton esiintymisestä, joka haittaa vesistöjen virkistyskäyttöä ja kalastusta. Toisaalta vesirutto sitoo runsaasti ravinteita biomassaan ja samalla estää haitallisten leväkukintojen synnyn. Vesiruton poistamiseksi Kuusamossa on kokeiltu sedimentin käsittelyä fosforia sitovalla Phoslock®-kemikaalilla (Väisänen 2014), mutta menetelmän kalleuden takia se soveltuu ainoastaan hyvin rajallisille alueille, kuten uimarannoille tai venevalkamiin.

Vesiruttokasvuston poistaminen on mahdollista raivausnuotalla tai koneellisesti. Näistä koneellinen poisto on suhteellisen kallista, ja molemmat poistomenetelmät ovat työläitä vaatien talkootyövoimaa ja aktiivisia paikallisia toimijoita. Lisäksi vesiruton poistaminen voi joissain tapauksissa jopa edistää kasvin leviämistä pienistä palasista sekä lisätä levien massaesiintymiä. Biomassan poistaminen vesistöistä vähentää kuitenkin vesistön ravinnemääriä. Vesirutto pystyy juuristonsa kautta ottamaan sedimentistä ravinteita ja näin kehittämään nopeasti uuden kasvuston. Tämän takia vesiruton valtaamassa järvessä sitä joudutaan poistamaan toistuvasti.

Vesiruttokasvuston poiston mukana vesistöistä poistetaan huomattavia, mutta vaihtelevia määriä ravinteita, joiden hyödyntäminen on ravinnekiertoa ajatellen kannatettavaa – onhan määrässäkin vesirutossa noin puolet tyypillisen karjanlannan ravinnemäärästä. Vastanostettuna vesirutto on kuitenkin erittäin märkää ja sen valuttaminen on tarpeen, mikäli sitä aiotaan kuljettaa hyödynnettäväksi nostopaikalta edes muutamia kilometrejä. Vesiruton ravinteita voidaan hyödyntää levittämällä kerätty biomassalla silputtuna suoraan peltoon ja mahdollisesti maahan muokkaamalla tai biokaasutuksen jälkeen muodostuneen rejektin käytöllä. Suoran viherlannoitekäytön luvallisuus ja sen vaikutus esimerkiksi luomustatukseen tulee tarkastaa viranomaiselta ennen toimenpiteitä. Biokaasutuskokeiden mukaan vesirutto parantaa biokaasun tuottoa, kun se lisätään naudan lietelantaa pääsyötteenä käyttävään bioreaktoriin lisäsyötteenä. Jos biokaasulaitos on lyhyen etäisyyden päässä nostokohteesta, on vesiruton biomassaa taloudellisesti järkevää käyttää ensin biokaasuntuotannossa lisäsyötteenä ja kierrättää muodostunut rejekti lannoitteena. Biokaasun voi käyttää joko suoraan energiaksi tai jalostaa liikennebiokaasuksi. Energian hintamuutokset vaikuttavat suoraan biokaasun tuotannon kannattavuuteen sähkön ja lämmöntuotannon osalta. Liikennebiokaasun tilanne on hieman erilainen, sillä se kilpailee suoraan vain maakaasun kanssa.



Kuva 1. Vesiruton leviäminen Suomessa (Huusela-Veistola ym. 2020).

## 2 Vesiruton raivausnuottaus

Heikki Tahkola, Maarit Satomaa, Ritva Nilivaara & Veikko Nevala

### 2.1 Johdanto

Kuusamon kaupungin ja ProAgria Oulun hallinnoimissa vesienhoitoon liittyvissä hankkeissa on testattu monia erilaisia menetelmiä vesikasvien poistamiseksi vesistöistä. Yhtä oikeaa, toimivaa ja kustannustehokasta menetelmää vesikasvien poistoon ei ole löytynyt. Tässä hankkeessa valittiin kehitettäväksi menetelmäksi raivausnuottaus. Siitä oli saatu eniten positiivisia kokemuksia vesiruton poistamiseen esimerkiksi Kuusamon Partasenlahdella tehdyissä koenuottauksissa. Kesällä 2018 VYYHTI II -hankkeessa tehty raivausnuottauksen työnäytös ei onnistunut odotetulla tavalla, koska raivausnuotta oli rakenteeltaan vääränlainen. Tässä hankkeessa raivausnuotan rakennetta ja työtekniikoita oli mahdollista lähteä kehittämään ja testaamaan käytännössä. Raivausnuottaukseen pyydettiin hanketoimijoiden toimesta alueen kalatalousosuuskunnalta lupa sekä tehtiin ruoppaus- ja niittoilmoitus Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskukselle.

### 2.2 Aineisto ja menetelmät

Oulun Kalatalouskeskus ja kuusamolainen kalastusyrittäjä Veikko Nevala (NetVeke) suunnittelivat yhteistyössä vesiruton keräämiseen soveltuvan raivausnuotan. Nuotta testattiin ennalta Kuusamojärven Partasenlahdella kesällä 2019 ja se todettiin hyvin toimivaksi.

Hankkeessa kehitettiin vesiruton poistoon tarkoitetun nuotan rakenteellisia ominaisuuksia. Varsinkin alapaulan eri malleja ja vaihtoehtoja testattiin useita erilaisia (Kuva 2). Veikko Nevala vastasi varsinaisen pyydyksen rakentamisesta. Nuotan rakennetta paranneltiin vuoden 2019 kokemusten perusteella vuoden 2020 maastokokeisiin.



Kuva 2. Raivausnuotan materiaalivaihtoehtoja esillä suunnittelupalaverissa Oulun Kalatalouskeskuksessa keväällä 2019. Kuva: Heikki Tahkola, Oulun kalatalouskeskus.

### 2.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Ensimmäinen vesiruton niitto ja keräysnuottaus tehtiin kesällä 2019 Vuotunkijärvessä, Isoniemen etäpuoleisella lahdella. Raivausnuottaus aloitettiin maanantaina, jotta raaka-ainetta olisi valmiina heti tiistaamuna kenttätutkimuksia varten paikalle saapuville tutkijoille. Ensimmäisen koevedon tärkeimpänä tarkoituksena oli testata, toimiiko rakennettu raivausnuotta myös Vuotunkijärvessä, missä pohja oli täysin erilainen kuin aiemmassa testipaikassa Kuusamojärvellä. Nuotta todettiin toimivaksi, mutta ensimmäisestä nuottauskohteesta vesiruttoa ei saatu riittävästi. Kesän 2019 toinen koeveto tehtiin Vuotunkijärven Isoniemen pohjoispuolella (kuva 3).

Nuotta laskettiin ensin loivalle kaarelle niittoalueen ulkoreunalle, jonka jälkeen vesiruttoa niitettiin vesikasvien niittokoneella järjestelmällisesti koko kohdealueelta nuotan sisäpuolelta (Kuva 4). Näin oli tarkoitus estää niitetyn vesiruttokasvuston leviäminen järvessä nuottausalueen ulkopuolelle. Niittoa hankaloitti merkittävästi runsas ja tiheä vesiruttokasvusto, jonka läpi oli hankala päästä perämoottorin avulla. Varsinainen nuotan rantaan veto tehtiin niittämisen jälkeen kahdella kalastusnuottauksessa käytettävällä kelauskoneella, jotka oli ankkuroitu rantaan noin 50 metrin etäisyydelle toisistaan.



Kuva 3. Nuottausalue Vuotunkijärvessä vuosina 2019–2020. Kuva: Minna Kuoppala



Nuottaa kelattiin hitaasti rantaa kohden. Nuottaa vedetään ns. ”harusköyden” avulla, jolloin veto kohdistuu yhtä aikaa alapaulaan ja yläpaulaan (nuotta kulkee hieman pussimaisessa muodossa, keräten kasvuston tehokkaammin) (Kuva 5).

Rannan tuntumassa talkoovoimin läjitettiin vesiruttoa käsin hankojen ja erilaisten talikoiden avulla tiiviimpiin kasoihin, josta se sitten nostettiin metsäkoneen kahmarilla traktorin etukauhaan ja vietiin jatkokotomienpiteisiin. Metsäkoneen kahmariin rakennettiin tavallista kahmariä tiheämpi lisäosa, jolla vesiruton käsittely onnistui paremmin (Kuva 6). Kahden päivän aikana vesiruttoa nostettiin yhteensä noin 9 tuoretonnia, mikä riitti kenttäkokeisiin. Nuottaus todettiin tehokkaaksi tavaksi kerätä vesiruttomassoja pois järvestä, mutta toimenpide vaatii aikaa, koska nuottaa ei voida vetää liian nopeasti, jotta kasvusto kelluisi ja tulisi nuotan mukana rantaan asti.



Kuva 4. Vesikasvien niittokoneella leikataan vesiruttokasvustoa raivausnuotan sisäpuolelta.  
Kuva: Joonas Kahiluoto, SYKE.



Kuva 5. Nuotanvedossa käytettävä harusköysi. Kuva: Heikki Tahkola, Oulun kalatalouskeskus.



Kuva 6. Metsäkoneen kahmariin rakennettu lisäosa vesiruton kokoamiseen ja kuormaamiseen.  
Kuva: Ritva Nilivaara, SYKE.

<b>Nuotta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 m korkeasta havaksesta.</li> <li>• Pyyntikorkeus n. 2,5 m.</li> <li>• Havas polyeteeni, lankavahvuus 1,2 mm. Silmäharvuus 60 mm.</li> <li>• Nuotan pituus n. 130 m.</li> </ul>
<b>Yläpaula</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puoliksi auki” eli 0 % ja alapaula -5 %.</li> <li>• Käytännössä tarkoittaa että 60 mm:n havas kiinnitetään yläpaulaan 60 mm:n välein ja alapaula kiinnitetään 57 mm:n välein)</li> </ul>
<b>Alapaula</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lyijyköyttä (300 g/m) (Kuva 8)</li> <li>• Taskupainot 10 cm leveitä (170 g/kpl n. 30 cm välein) (Kuva 9)</li> </ul>
<b>Kohot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kantavuus 340 g</li> <li>• Kohojen väli n. 120 cm</li> </ul>
<b>Vetonopeus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuotanvedon alussa n. 5 m minuutissa mutta riippuu kasvimassan määrästä</li> <li>• Mikäli alussa vähän kasvillisuutta/vastusta voidaan kelata myös hieman nopeammin, mutta vastuksen kasvaessa kelausta hidastettava</li> <li>• Huomioitava myös tuulen nopeus, suunta, vaikutus kasvuston liikkeeseen</li> </ul>

Kuva 7. Raivausnuotan rakenne kesällä 2019.



Kuva 8. Nuotan alapaulana lyijyköysi (300 g/m). Kuva: Heikki Tahkola, Oulun kalatalouskeskus.



Kuva 9. Riippa-alanen havaittiin parhaiten soveltuvaksi alapaulaksi. Kuva: Heikki Tahkola, Oulun kalatalouskeskus.

<p><b>Nuotta</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Havaksen lankavahvuutta nostettiin 1,8 mm:</li> <li>• Kestää paremmin myös kiinni tarttumisen, eikä kasvusto tartu niin tiukasti kiinni vaan sen saa helpommin ravistelemalla irti.</li> <li>• Havaksen lankavahvuutta ei voi juurikaan tästä enää nostaa, koska silloin nuotan käsiteltävyys ja kuljetus hankaloituu (vahva ja jäykkä nuotta, ei mahdu isoonkaan veneeseen ja erittäin kömpelö käsitellä).</li> </ul>
<p><b>Alapaula</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alapaulan rakenteessa toimivin oli riippa-alanen:</li> <li>• Alapaula ei lähtenyt kiertymään vetovastuksen kasvaessa, nuotta säilytti hyvin muotonsa ja kuljetti kasvuston tehokkaasti mukanaan.</li> </ul>
<p><b>Kohot</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuotan kohot edelleen 340 g, mutta kiinnitys n. 60 cm välein:</li> <li>• Vastuksen lisääntyessä pikalukkokenkeillä kiinnitettiin 10 l lisäkanistereita n. 10 m välein, tarpeen mukaan - huomioitava tuulen ja aallokon vaikutus</li> </ul>

Kuva 10. Raivausnuottaan vuonna 2020 tehdyt muutokset.

Osassa testinuottoauksista alapaulana käytettiin pelkästään lyijyköyttä, osassa lyijyköyden ja taskupainon yhdistelmää, ja osassa pelkästään taskupainoa (Kuva 8 ja 9). Näillä erilaisilla yhdistelmillä testattiin nuotan alapaulan toimivuutta Vuotunkijärven pehmeässä pohjassa eli sitä, miten alapaula kuljettaa kasvit mukanaan uppoamatta pohjamutaan. Jykevä, raskas lyijypaula ei ollut toimiva, koska se upposi vastuksen kasvaessa pohjalietteeseen. Niin sanottu ”riippa-alanen” todettiin parhaiten toimivaksi. Vuodelle 2020 raivausnuottaan tehtiin muutoksia aiempien havaintojen ja kokemusten perusteella (kuva 10).

Elokuun 2020 maastokokeissa testattiin myös vesiruton poiskeräämistä raivausnuotalla ilman että vesiruttokasvustoa olisi ensin niitetty. Kokeen yhteydessä havaittiin, ettei vesiruttokasvusto lähde nuotan mukaan ilman niittämistä. Kun nuottaa vedettiin ja vesiruttokasvusto alkoi tiivistyä nuotta vasten, nuotta alkoi punoutumaan kierteelle ja veto piti keskeyttää. Koetta toistettiin eripituisilla vetomatoilla ja vetonopeuksilla, mutta tulos oli sama. Kun vesiruttokasvusto niitettiin ennen poiskeräämistä, nuotan vedossa ja kasvuston poiskeräämisessä ei ilmennyt ongelmia. Yleisohje vesiruton poistamiseen on kuitenkin välttää niittoa, koska kasvi leviää kasvullisen kasvutavan vuoksi pienistäkin kasvinpalasista. Useissa järvissä vesiruton on havaittu olevan löyhästi pohjassa kiinni, mutta Vuotunkijärvessä kasvi oli kiinnittynyt juurillaan tiukasti pohjaan ja niitto oli välttämätöntä kasvuston poistamiseksi.

Hankkeessa testattiin myös nuotan vetämistä erittäin kaukaa. Nuotta laskettiin veteen noin 350 metrin päässä rannasta. Heti nuotan laskun jälkeen nuotta alettiin hitaasti kelata rantaa kohti kahden polttomootorikäyttöisen kelauslaitteen avulla. Kelauslaitteet olivat noin 100 metrin päässä toisistaan rantatörmällä kettingin avulla ankkuroituna puuhun. Nuotta vedettiin rantaa kohti hevosenkengän mallisessa muodossa. Samaan aikaan vesikasvustoa alettiin niittämään nuotan edestä rantaa kohti siirtyen. Näillä toimilla pyrittiin nopeuttamaan nuotanvetoprosessia. Koko vetoajan seurattiin veneestä nuotan ulkopuolelta nuotan käyttäytymistä. Vesikasvustomassan lisääntyessä lisättiin muutamia pikakiinnitteisiä kohoja nuotan yläpaulaan, joiden avulla nuotta saatiin pysymään halutussa muodossa.

Nuotan lähestyessä rantaa kelauslaitteita siirrettiin lähemmäs toisiaan ja kohtaan, jossa oli tarkoitus läjittää vesikasvillisuus rantaan ja nostaa se vedestä pois (Kuva 11). Kasvuston tihentyessä nuotta vasten kasvuston veden läpäisy heikkeni ja vetolaitteisiin kohdistuva vastus kasvoi. Vastuksen kasvaessa oli vaarana, että nuotta ei toimisi enää toivotulla tavalla ja kasvusto karkaisi pois nuotasta. Ongelma ratkaistiin jakamalla iso hevosenkengän muotoinen nuotta kahdeksi pienemmäksi hevosenkengän malliseksi kuvioksi vetämällä nuotta yläpaulaan kiinnitettyjen apunarujen avulla keskivaiheilta rantaan.

Nuotanvedon jälkeen voitiin drooni-kuvausten (Kuva 12) avulla todeta, että vaikka vesikasvuston niitossa oli paikotellen jäänyt ”tuppaita” niittämättä, niin ne eivät oleellisesti vaikuttaneet nuotanvetoon tai sen onnistumiseen, koska nuotta kulki tuppaiden yli. Kokeen tuloksena voitiin todeta, että nuotan vetonopeus voi olla vedon alussa (vähän vetovastusta) nopeampi ja vastuksen kasvaessa nopeutta tulee hidastaa.

Testatuilla menetelmillä tässä vesistöissä vesirutto ei lähtenyt raivausnuotan mukaan ilman niittämistä. Jatkossa nuottaan voisi kokeilla hieman raskaampaa kettinkialasta, joka voisi ”leikata” vesiruttoa joka sen jälkeen irtoaisi paremmin nuotan mukaan.

Nuotan lähestyessä rantaa vastus kasvaa ja mikäli massaa on todella paljon, kannattaa apaja jakaa kahtia, eli apuköyden avulla hevosenkengän muotoinen veto jaetaan kahtia ja vastus kevenee. Apajan ollessa lähellä suunniteltua läjityspaikkaa ja nostoaluetta, kannattaa kasvustoa vähentää apajasta esimerkiksi puutavarakuormaimen avulla. Paikalliset aktiivit ovat myös oiva apu kasvuston tiivistämisessä, mikä nopeuttaa kasvuston poiskeräämistä (Kuva 13).

Paikallistoimijoiden kanssa sovittiin vesiruton niittämisen ja poiston käytännön töistä molempina hankkeen maastokausina, sekä suunniteltiin erilaisia apuvälineitä vesiruton nostamiseksi maalle. He rakensivat traktorin perään kiinnitettävän pitkäpuomisen haravan, jonka avulla rantaan kerättyä vesiruttomassaa vedettiin rantatörmälle (Kuva 14). Kun traktorin peruutti vetokoukku myöten veteen, saattoi edestakaisin ajamalla haravalla vetää suurimmat kasat rantaviivan tuntumaan. Työn onnistumisen edellytyksenä on, että ranta on kovapohjainen ja sopivan loiva.

Haravan avulla saatiin vedettyä biomassaa vedestä pois, mutta ongelmana oli erittäin vesipitoisen ja määrän biomassan polkeutuminen rantatörmään traktorin renkaiden alla. Polkeutunutta biomassaa ei pystytty hyödyntämään peltokokeissa. Toimivin biomassan keräystapa oli edelleen veteen peruutetun metsäkoneen kourapiikit, joilla pystyttiin nostamaan massa tehokkaasti maalle ja suoraan traktorin peräkärriin jatkotoimia varten.



Kuva 11. Raivausnuotta vedettynä rannan läheisyyteen. Kuva: Maarit Satomaa, ProAgria Oulu.



Kuva 12. Vesiruttokasvusto vuonna 2020 ensimmäisen nuottauksen ja niiton jälkeen. Kuva: Joonas Kahiluoto, SYKE.



Kuva 13. Vesiruton kokoamista järvestä käsin ja metsäkoneen kahmarilla. Kuva: Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 14. Traktorin perään rakennettu haravalisäosa. Kuva: Ritva Nilivaara, SYKE.

## 2.4 Johtopäätökset

Vesikasvien lisääntyminen on kasvava ongelma vesistöissä erityisesti virkistyskäytön ja kalastuksen kannalta. Erilaisia menetelmiä ja ratkaisuja on testattu, mutta yhtä ja ainoa tehokasta menetelmää ei ole ongelman ratkaisuksi löydetty.

Raivausnuottaus on herättänyt paljon valtakunnallista kiinnostusta. Raivausnuottauksen avulla pystytään kunnostamaan vesistön tilaa suhteellisen nopealla menetelmällä täsmäiskuilla, esimerkiksi tärkeillä virkistyskäyttökohteilla.

Raivausnuottaukseen tarvittava kalusto on jo olemassa, ja sitä on ollut ammattikalastajilla käytössä jo pitkään. Kalusto on helposti siirrettävissä eri kohteille. Raivausnuottauksen kustannustehokkuutta voidaan kasvattaa lastauskaluston tehokkuutta lisäämällä. Tulisi kehittää erilaisia menetelmiä, joilla saadaan nopeutettua ja tehostettua vesikasvien siirtämistä rantavedestä maalle, jotta käsityön osuus raivausnuottausurakassa olisi minimaalinen. Vesikasvien raivausnuottaus on myös mahdollisuus lisätä ja monipuolistaa alueellista yritystoimintaa.

Raivausnuottaa on pystytty hyödyntämään muissakin ProAgria Oulun työnäytöksissä, esimerkiksi Rokuan Tulijärvellä ja Sotkamon Haapalanlahdella. Veikko Nevala on hyödyntänyt hankkeessa kehitettyä raivausnuottaa omilla työkohteillaan eri puolilla Suomea.



## 3 Vesiruton levitys pellolle maanparannusaineeksi tai sen korjuu paalaamalla

**Timo Lötjönen**

### 3.1 Kuormaus levityspöytävaunuihin

Vesiruton biomassan kuormaukseen käytettiin metsäkoneita, jonka kahmariin oli rakennettu leveät ja tiheät säilörehupiikit (Kuva 6). Kuormattava pöytävaunu peruutettiin rantaviivan tuntumaan metsäkoneen viereen (Kuvat 15 ja 16). Metsäkoneen etuna on sen kouran laaja ulottuvuus sekä se, ettei koneella tarvitse ajaa rantavedessä edestakaisin, kuten esimerkiksi etukuormaajaa käytettäessä täytyy tehdä. Mitä taustemme mukaan metsäkoneella voi kuormata vähintään 10 t/h vesimärkää vesiruttomassaa, jos sitä on koko ajan saatavilla.

Koska metsäkoneella kuormataan käytännössä järvessä, hydraulikkaletkujen kunnosta tulee huolehtia ennakoivasti ja mahdollisuuksien mukaan käyttää kasviöljypohjaisia öljyjä. Mineraaliöljyjä käytettäessä hydrauliletkun puhkeaminen järvessä aiheuttaisi paikallisen ympäristövahingon, koska metsäkoneissa käytetään suuritehoisia pumppuja ja hetkelliset öljyvirtaamat ovat suuria, jolloin vuotomäärä voi nousta yli sadan litran suuruiseksi.

### 3.2 Levitys pellolle maanparannusaineeksi/lannoitteeksi

Vesiruton biomassan peltolevitys on järkevää, mikäli nostopaikan läheisyydessä on peltoa, joka on tarkoitus muokata seuraavan puolen vuoden aikana. Näppituntumalla voi sanoa, että nosto- ja levityspaikan välisen etäisyyden kasvaessa yli kilometriin kannattane käyttää erillisiä siirtopöytävaunuja maantietä ja aumata biomassaa levityspöydän laitaan. Näin saadaan myös pelivaraa järvestä noston ja suhteellisen tehokkaan peltolevityksen välille. Lyhyemmällä matkalla voidaan biomassaa kuormata suoraan levityspöytävaunuun. Aumat biomassaa alkaa lämmentä ja hajota nopeasti, joten levitys olisi tehtävä alle viikon kuluessa järvestä nostosta.

Kokeissamme sopiva kovapohjainen peltolohko sijaitsi nostopaikan vieressä. Käytimme peltolevityskokeisiin Pichon-merkkistä kuivalannan tarkkuuslevitintä, joka on varustettu kahdella pystysuuntaisella levitinkelalla ja hydraulisella peräportilla. Pyrimme säätämään levitysmäärän noin 30–40 märkätonniin/ha. Määrän arviointiin käytettiin paikalla olleen pöytävaunun vaakaa.

Peltolevitys sujui kuivalannan tarkkuuslevittimellä molempina koevuosina erittäin hyvin (Kuva 17 ja 18). Maanparannustarkoitukseen levitetty vesiruttobiomassa hajosi niin pieneksi silpuksi, ettei pellon kynnessä myöhemmin syksyllä ollut mitään ongelmia. Massa oli niin pienijakeista, että todennäköisesti pelto olisi massan puolesta voitu kyntää tai kevytmuokata vaikka heti ilman muokkauskaluston tukkeutumiso ongelmia. Silmämääräisesti arvioiden kuormassa olleet, kuormauksen aikana syntyneet ”mällit” aiheuttivat jonkin verran vaihtelua levitystasaisuudessa, mutta eivät kuitenkaan jääneet kasoiksi pellolle.

Suurinta työlevyettä ei mitattu, koska levityskokeessa perustettiin samanaikaisesti lannoitusvaikutusten kaistakoe, jossa levityskaistat olivat vain 6 m:n levyisiä. Levityspöydän valmistaja ilmoittaa karjanlannan levityksessä maksimityölevydeksi 20 m. Todennäköisesti vesiruttoa levitettäessä ajouraväliä joudutaan hieman tihentämään, sillä irtovedestä vapaan vesiruton tilavuuspaino lienee alempi kuin keskimääräisen kuivalannan, eikä pieneksi silpuuntuva massa siten lennä yhtä kauas kuin karjanlanta.



Kuva 15. Vesiruton kuormausta metsäkoneella apevaunuun. Kuva Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 16. Vesiruton kuormausta lannanlevitysvaunuun. Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 17. Vesirutto hienontui hyvin ja levisi tasaisesti kuivalannan tarkkuuslevittimellä.  
Kuva: Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 18. Lannanlevittimen repijäruuvit ja levityslautaset. Kuva: Timo Lötjönen, Luke.

### 3.3 Paalaus biokaasulaitoksen syötteenä

Jotta vesiruttoa kannattaisi kuljettaa pidempiä matkoja biokaasutukseen tai muuhun hyötykäyttöön, biomassan kuiva-aineen tilavuuspainoa pitää saada nostettua luonnontilaisesta. Toisaalta biomassan pilaantumisen pitää myöskin estää, sillä biokaasureaktoriin voidaan syöttää vain rajallinen määrä lisäsyötteitä kerrallaan, toisin sanoen varastointia tarvitaan. Pyöröpaalaus ja paalien käärintä muovikalvoon on yksi ratkaisumahdollisuus molempiin haasteisiin. Toinen ratkaisu voisi olla biomassan aumaus pellon laitaan säilörehun tapaan, mutta tätä ei tässä hankkeessa kokeiltu. Aumauksessa saattaa vapautua suuria määriä ravinnepitoista puristenestettä, koska järvestä nostettu vesiruttomassa on erittäin märkää.

Järvestä nostetun vesiruton kuiva-ainepitoisuus on yleensä vain alle 10 % (Karjalainen ym. 2017). Nurmirehun paalaus vaatii onnistuakseen, että heinämassan kuiva-ainepitoisuus on 20–30 % tai suurempi. Siten pääteltiin, että biomassaa on esikuivatettava pellolla jonkin aikaa, ennen kuin paalausta kannattaa yrittää.

#### 3.3.1 Vuoden 2019 paalauskoekäytöt

Ensimmäisen vuoden 2019 paalauskoekäytöissä rannan läheisyydessä olleelta nurmipellolta korjattiin ensin kasvanut nurmisato pois. Sen jälkeen biomassaa levitettiin pellolle karjan rehun jakoon tarkoitettulla apevaunulla. Seko-merkkisessä vaunussa on kaksi pystysekoitinta ja sivupurku. Vaunu muodosti vesirutosta korkean ja kapean karheen. Massan silppuuntumista yritettiin välttää vaunun kierroslukua pienentämällä. Silppuuntuminen tapahtuu hauraalla vesirutolla kokemuksiemme mukaan hyvin helposti. Kaikkiaan karheelle levitettiin vajaa 5 tuoretonnia vesiruttoa (Kuva 19).

Vesirutto levitettiin pellolle illansuussa ja sen päätettiin antaa kuivahtaa seuraavaan aamupäivään. Yöllä kuitenkin satoi sääennusteesta poiketen ja massa oli paalausta aloitettaessa lähes yhtä märkää kuin edellisiltanakin. Paalaukseen oli käytettävissä Kuhn-merkkinen muuttuvakammioinen yhdistelmäpaalain (Kuva 20). Silppuuntunutta ja märkää vesiruttomassaa ei saatu kunnolla nousemaan noukkimelta eteenpäin ja koekäyttö oli lopetettava siihen. Epäonnistuminen ei ole paalainmerkin, paalaintyyppin tai kuljettajan vika, olosuhteet eivät vain olleet suosiolliset. Lisäksi todettiin, että vesirutto pakkautuu heinä-sänkeä vastaan todella tiiviisti, eikä sitä luultavasti saada millään konetyypillä kaikkea noukittua.

#### 3.3.2 Vuoden 2020 paalauskoekäytöt

Toisena vuonna peltolevityksen ja paalauksen taktiikaksi otettiin se, että järvestä nostettu biomassa levitetään niitetyn nurmiheinäkerroksen päälle, mahdollisimman vähän silputen. Nurmiheinäkerroksen tarkoituksena oli estää rihmamaisen biomassan painuminen liian tiiviisti pellon sänkeen ja toisaalta toimia tukimateriaalina paalauksessa.

Vuonna 2019 nurmiheinä korjattiin ensin pois levitysalueelta, nyt se jätettiin tietoisesti pellon pinnalle. Heinä oli niitettäessä 20–30 cm pitkää (toisen säilörehukorjuukerran odelma, ilman lannoitusta). Vesirutto levitettiin tämän päälle ns. säilörehukelalla varustetulla yleisperävaunulla (YLö) (Kuva 21), joka silppuaa materiaalia vähemmän kuin edellisvuonna käytetty apevaunu (Kuva 19). Levitys sujuikin yleisperävaunulla hyvin.



Kuva 19. Vesiruton levitystä apevaunulla paalausta varten. Kuva Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 20. Märän vesiruttomassan paalausyritys vuonna 2019. Kuva: Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 21. Itsepurkava yleisperävaunu. Kuva Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 22. Heinämatto ja vesiruttomatto kuivumassa. Kuva: Timo Lötjönen, Luke.

Heinä-vesirutto-biomassan kokoamiseen karheille kokeiltiin kahta jo 70–80-luvuilla kehitettyä karhotintyyppiä: kelapöyhintä (Elho) ja ketjuharavaa (Pomo) (Kuva 23). Näistä jälkimmäinen toimi selvästi paremmin ja sillä jatkettiin kokeilua. Tarkoituksena oli antaa massan kuivahtaa seuraavaan päivään, mutta koska sateet uhkasivat yöllä, päätettiin paalausta kokeilla jo levityspäivän iltana.

Vesiruton levitykseen heinämaton päälle käytettiin kahta taktiikkaa: ensimmäisessä vesirutto levitettiin suoraan niitetyn luo'on päälle ja karhotettiin muutaman tunnin kuivumisen jälkeen. Osittain luoko oli niin ohutta, että vesirutto painui kuivumisen seurauksena sängin joukkoon, joten karhottimella oli hankaluuksia koota kaikkea massaa karhoille. Käytännössä alue jouduttiin karhottamaan kahdesti riittävän tarkan työjäljen saavuttamiseksi.

Toisessa taktiikassa niitetty heinä karhotettiin ensin noin 2,5 m leveiksi matoiksi, jonka päälle vesiruttomassa levitettiin. Heinä oli paljon helpompaa irrottaa karhottimella pellon pinnasta kuin vesiruttomassa. Siten karheiden lopullinen muotoilu noin 1,2 m:n levyisiksi paalainta varten onnistui helpommin kuin ensimmäisessä taktiikassa (Kuva 24). Tässä menetelmässä heinämatto jäi alimmaiseksi, jolloin myös paalaus oli helpompaa ja keruujälki tarkempaa kuin ensimmäisessä menetelmässä.

Paalaukseen oli nyt käytettävissä kiinteäkammioinen Agronic-yhdistelmäpaalain, jolla pystytään myös muovittamaan paalit (Kuva 25). Muovimääräksi säädettiin 7 kerrosta/paali, jolloin yhdellä rullalla käärii reilut 20 paalia (1500 mm leveä rulla). Silppurin terät kytkettiin pois. Säilöntäaineena käytettiin Kärki Sil-All 4X4-merkkistä biologista valmistetta noin 5 litraa/tonni.

Paalaus onnistui nyt käytännössä lähes ongelmitta. Ajonopeus oli alhaisempi kuin normaalissa säilörehun paalauksessa, mutta heinämassan ja pidemmän silpun ansiosta noukkimen tukkeentumisongelmia ei tapahtunut, kuten vuoden 2019 kokeilussa. Alle tunnin aikana saatiin 5 paalia tehdyksi ja käärityksi säilöntämuoviin (Kuva 26). Työnopeutta heikensi se, että paalauksen aikana jouduttiin tekemään säätöjä ja tarkastelemaan työnjälkeä. Paaleissa oli arviolta puolet vesiruttoa ja puolet heinää, ja analyysien perusteella paalien kuiva-ainepitoisuus oli 22–48 %. Niittotuoreen nurmiheinän kuiva-ainepitoisuus on yleensä noin 20 % tai alle sen. Paalien painot olivat 730–970 kg. Paalit varastoitiin läheisen maatilan pihapiirissä ja kuljetettiin lokakuun alussa kuorma-autolla Haapajärven koulutilan biokaasulaitokselle ja käytettiin lietelannan rinnalla lisäsyötteenä.



Kuva 23. Ketjuharavapöyhin. Kuva Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 24. Ketjuharavapöyhimellä kootut karhot odottamassa paalausta. Kuva: Ritva Nilivaara, SYKE.





Kuva 25. Kiinteäkammioinen yhdistelmäpaalain. Vesiruton paalauksessa kriittinen vaihe on noukinta. Kuva Timo Lötjönen, Luke.



Kuva 26. Vuonna 2020 paalaus sujui ongelmitta. Kuva: Timo Lötjönen, Luke

### 3.4 Työmenekkien mittaus

Työmenekkien mittauksen tavoitteena oli selvittää, ovatko vesiruton biomassan käsittelyn työvaiheet hitaampia, kuin vastaavat lannanlevityksen tai säilörehun korjuun työvaiheet. Työmenekkimittauksia varten työvaiheet pellolla videoitiin samalla kun eri työvaiheiden sujumista ja koneiden säätöjä testattiin. Ajetut matkat mitattiin ja käsitellyn biomassan paino arvioitiin apevaunussa olleen vaa'an perusteella (vaaka oli käytössä vain v. 2019). Työvaiheisiin kuluneet ajat mitattiin videoilta jälkikäteen ja muutettiin TTS Työtehoseuran standardiaikajärjestelmää käyttäen hehtaari- tai tonnikohtaisiksi työsaavutuksiksi (Orava 1980).

Lähes kaikissa työvaiheissa biomassan käsittely oli hitaampaa kuin kuivalannan tai säilörehun käsittely (Taulukko 1). Eniten poikkesi irtotavaran kuormauksen työmenekki. Vesiruton kuormauksessa biomassassa oli rantavedessä suhteellisen pieninä kasoina, jotka vielä saattoivat levitä kellumaan veteen. Kuormaaja joutui myös odottelemaan, jotta biomassaa saatiin koottua kasoihin joko traktoriharavalla tai talkoolaisten hangoilla, talikoilla ja käsiharavoilla. Mikäli biomassaa olisi ollut koko ajan riittävästi tarjolla, metsäkoneella tapahtuneen kuormauksen työsaavutus olisi noussut huomattavasti.

Peltolevitys kuivalantavaunulla tai yleisperävaunulla sujuivat ongelmitta, ja työsaavutus oli kuivalannan levityksen luokkaa. Paalauksen työsaavutus jäi suurin piirtein puoleen normaalin säilörehun paalauksen työsaavutuksesta. Biomassan liiallinen kosteus ja silppuuntuminen edeltävissä työvaiheissa aiheuttivat ongelmia noukkimella, minkä takia ajonopeutta ei voitu nostaa normaaliksi. Biomassan parempi esikuivaus saattaisi helpottaa tätä asiaa. Paalin muodostuminen, verkotus ja käärintä muoviin sujuivat ongelmitta ja ”normaalilla” nopeudella.

Koko ketjun työsaavutusta tai kannattavuutta arvioidessa pitää huomata, että vesiruton biomassan paalauksen työketju sisältää enemmän työvaiheita kuin säilörehun paalauksen työketju. Työvaiheet, siirtymiset työvaiheesta toiseen, mahdolliset ongelmat ja rikkoontumiset pitää osata arvioida realistisesti, jotta laskelmasta tulisi totuudenmukainen.

Taulukko 1. Mitatut työsaavutukset vesiruton käsittelyssä ja Työtehoseuran (TTS) arvoja vastaavissa kuivalannan ja säilörehun käsittelyn työvaiheissa. Levitysmääräksi on oletettu 35 tuoretonnia/ha. (TTS-Kone, TTS-Manager ja TTS:n aiemmat tutkimukset, Palva ym. 2004 (TTS:n maataloustiedote 564)) Huom! Luvut ovat suuntaa antavia. Työsaavutukset voivat poiketa huomattavasti tässä esitetystä, konetyypistä ja olosuhteista johtuen.

Työvaihe	Käytetty konetyyppi	Työsaavutus tässä tutkimuksessa		Työsaavutus TTS:n mukaan säilörehua tai kuivalantaa käsitellessä	
Kuormaus perävaunuun	Metsäkone rehukahmarilla	10	tonni/h	40	tonni/h
Levitys peltoon lannoitteeksi	Kuivalannan levitin	1,6	ha/h	1,7	ha/h
Nurmen niitto		-		2,0	ha/h
Levitys pellolle paalauksen varten	Yleisperävaunu	1,7	ha/h	1,7	ha/h
Karhotus	Ketjuharavapöyhin	1,0	ha/h	1,5	ha/h
Paalaus + muovikäärinä	Kiinteäkammioinen yhdistelmäpaalain	10	paalia/h	20	paalia/h

## 4 Vesiruton säilöntäkokeet

Erkki Joki-Tokola & Anna-Liisa Välimaa

### 4.1 Johdanto

Vedestä korjatun vesiruton biomassan hajoaminen käynnistyy maalle kasatun massan pintakerroksissa hapettumalla ja sen sisäosissa mätänemällä heti kasvuston vedestä noston jälkeen (Joyce 1990). Hajoaminen synnyttää kaasumaisina päästöinä ilmaan muun muassa kasvihuonekaasuina tunnettuja hiilidioksidia ja metaania. Lisäksi varastoitavasta massasta irtoaa runsaasti puristenestettä, joka sisältää osan vesiruton ravinteista ja tuottaa siten ympäristön kuormitusriskin ja voi synnyttää lisäksi myös haju- ja hygieniahaitan.

Vesiruton varastointi tulee tehdä riittävän etäällä puhdistettavasta vesistöstä ja asutuksesta. Korjattulle biomassalle on hyvä löytää myös jokin jatkokäyttö. Yksinkertaisinta on levittää biomassaa peltokasvien lannoitteeksi. Vesiruton varsin vaatimattoman kuiva-ainepitoisuuden ja kuiva-aineen niukan ravinnepitoisuuden (Sarvala ja Perttula 1994; Arrajoki 2005; Vakkilainen 2005) takia vesiruton levitysmäärien tulee olla lannoituskäytössä varsin suuret, mikä kasvattaa ratkaisevasti kuljetusten ja varsinaisen levitystyön kustannuksia. Siirtokustannuksia voidaan vähentää, jos lannoituskohde sijaitsee lähellä kunnostettavaa vesialuetta. Viherlannoituskäyttö edellyttää usein vesiruton välivarastointia aina seuraavaan kevääseen saakka. Levitys on mahdollista jo syksyinkin aikana, jos viljelykierto sisältää syksyllä kylvetäviä kasveja. Levitys voidaan tehdä myös ilman sen yhteydessä tapahtuvaa kylvöä, mutta tuolloin osa viherlannoituksen ravinteista voi hukkaantua syksyn ja talven aikana ennen keväällä koittavaa kasvukauden käynnistymistä ja kylvöä.

Vesiruton välivarastointi voidaan toteuttaa kuivikelantojen varastoinnin tapaan aumassa. Aumavarastointi vähentää puristenesteen erittymisen myötä varastoidun massan määrää ja lisää sen kuiva-ainepitoisuutta, eli vähentää lannoituksessa levitystyön määrää. Suuren biomassamäärän varastoinnissa vesirutosta erittyvä puristeneste saattaa tuottaa kuitenkin tuntevan ympäristöhaitan. On myös mahdollista, että talven yli varastoitava vesiruttoauma jäätyy niin pahoin, että sen sulamisen odottaminen voi viivästyttää kevätkylvöä. Puristenestehävikin määrää voidaan vähentää ja biomassan kompostoitumista välivarastoinnin aikana edistää, jos aumaan lisätään esimerkiksi olkea tai nurmirehua.

Aumavarastointi kuluttaa biomassan hapettumisen ja mätänemisen myötä varastoidun kuiva-aineen määrää, mikä on haitaksi erityisesti silloin, jos sitä halutaan käyttää biokaasulaitoksen syötteenä. Varastoinnin aikaista orgaanisen aineen hapettumisesta aiheutuvaa hävikkiä voidaan välttää, jos biomassaa säilötään ilmatiiiviisti. Orgaanisen aineen hävikkiä voidaan pyrkiä vähentämään hillitsemällä orgaanista ainetta eniten hajottavien mikrobien kasvua samalla, kun tuetaan sitä vähiten kasvussaan kuluttavien mikrobien lisääntymistä. Toimintamalli on tuttu nurmisäilörehun säilönnästä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää laboratoriomittakaavan kokeissa nurmirehujen säilönnässä käytettyjen menetelmien käytettävyyttä vesiruton biomassan säilönnässä. Vesiruton biomassaa sekä vesiruton ja nurmirehun seosta säilöttiin sellaisenaan sekä kemiallisen tai biologisen säilöntäaineen kanssa ilmatiiiviisti minisiiloihin. Siilot avattiin noin kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen ja säilöntöjen laatu arvioitiin sekä aistinvaraisesti että laboratorioanalyysin.

### 4.2 Aineisto ja menetelmät

Hankkeen laboratoriomittakaavaiset vesiruton säilöntäkokeet toteutettiin Kuusamon Vuotunkijärvestä nuottaamalla nostetulla vesiruton biomassalla, joka säilöttiin ja varastoitiin koesiiloihin elokuussa 2019. Säilöntäkokeiden aloituksen aikainen lämpötila oli 12 °C ja sää pilvinen. Vesiruton biomassaa tai vesirutto-nurmiseosta punnittiin 10 kg muovipussiin, säilöntäaine lisättiin säilöttävään massaan ja pussit

suljettiin ilmatiiviisti. Pussit varastoitiin minisiiloihin, joissa oli filmivanerista rakennettu pohja ja kansi. Kannen läpimitta oli hiukan siilon läpimittaa pienempi niin, että kansi liukui putken sisälle, mikä mahdollisti siiloissa olleen massan painotuksen varastoinnin aikana. Biomassa sekä kokeessa säilötty nurmi käsiteltiin pressun päällä (Kuva 27).



Kuva 27. Vesiruton biomassaa minisiilosäilöntäkokeita varten. Kuva: Lea Hiltunen, Luke.

Säilöntäkokeen koekäsittelyt odotettavissa olevine vaikutuksineen olivat:

### **Biomassan silppuaminen**

Silppuaminen toteutettiin joko leikkaamalla säilöttävä massa käsin saksilla tai koneellisesti rehujen silppuamiseen ja sekoitukseen käytettävällä sekoitusvaunulla. Sekoitusvaunulla silputtu massa muuttui silppuamisen yhteydessä jossain määrin sosemaiseksi massaksi, kun taas saksilla silputussa massassa säilötävät kasvit säilyivät silmämääräisesti chyempinä.

Säilöttävän biomassan silppuaminen lisää sen tiivyyttä, mikä vähentää massaan jäävän hapen määrää ja vähentää hapettumisen kautta syntyviä hävikkejä sekä edesauttaa suoraan ja välillisesti tavoitellun käymismallin kilpailukykyä (Weinberg & Muck 1996; Merry ym., 1997). Välillinen vaikutus perustuu siihen, että säilöttävän massan tiivyyden lisääntyminen johtaa kasvien soluseinien rikkoontumiseen ja solunsisällyshiilihydraattien vapautumiseen maitohappobakteerien energiaksi.

### **Säilöntäaineen käyttö**

Säilöntäkokeen säilöntäaineina olivat muurahai-shappopohjainen, kemiallinen, kaupallinen säilöntäainevalmiste (AIV ÄSSÄ NA) ja kaupallinen biologinen säilöntäainevalmiste (Kärki Sil-All 4 X 4). Kontrollikäsittely oli säilöntä ilman säilöntäainetta.

Muurahaishapon tehtävänä on lisätä säilöttävän massan happamuutta niin, että se estää säilönnän alkuvaiheessa sen onnistumista vaarantavien mikrobien lisääntymistä (Weinberg & Muck 1996). Muurahaishapon lisäysmäärä oli 10 l/1 000 kg (=10 ml/kg) massaa. Lisäysmäärä oli noin kaksi kertaa nurmirehujen säilönnässä suositeltua levitysmäärää suurempi. Suuren annostelumäärän perusteena oli ennakoitavasti vaikeasti säilöttävissä oleva massa.

Biologiset säilöntäaineet sisältävät tyypillisesti maitohappobakteereja ja entsyymejä. Bakteerilisyksen tavoitteena on tukea happamuutta tuottavan maitohappokäymisen vallitsevuutta ja entsyymien tehtävänä on hajottaa säilöttävän massan sisältämiä hiilihydraatteja maitohappobakteerien energiaksi (Weinberg & Muck 1996). Biologinen säilöntäaine sisälsi erilaisia bakteerikantoja sekä entsyymejä. Se annosteltiin valmistajan ohjeen mukaisesti vesijohtoveteen laimennettuna niin, että levitysmäärä oli 4 litraa/1 000 kg säilöttävää massaa, jolloin maitohappobakteerien laskennallinen levitysmäärä oli 106 pmy/g (pmy = pesäkettä muodostavaa yksikköä).

Molemmat säilöntäaineet sekoitettiin mahdollisimman tasaisesti koko massaan. Säkeistä poistettiin ilma avaamalla säkin suuta ja painamalla säkki tiiviisti rehumassan pintaa vasten. Säkit suljettiin ja sidottiin ilmatiiviisti ja siirrettiin minisiiloihin, joiden kansi painettiin tiiviisti säkin päälle.

### **Säilöttävän biomassan esikuivaus**

Esikuivausta ei voitu toteuttaa vällinneissa sääolosuhteissa, joten koekäsittelystä luovuttiin. Sen sijaan toteutettiin säilöntä, jossa biomassaan (9 kg) sekoitettiin nurmirehua (1 kg), mikä samalla lisäsi säilöttävän massan kuiva-ainepitoisuutta.

Esikuivauksen tavoitteena on vähentää säilöttävän biomassan määrää, mikä tuottaa kustannussäästöjä massan säilöntään, varastointiin ja kuljetuksiin (McDonald ym. 1991). Liiallisen veden poistaminen vähentää lisäksi puristenestehävikkää ja sen myötä syntyvää ravinnehävikkää, ympäristökuormitusriskiä ja hygieniahaittaa. Märkä massa jäätyy lisäksi helposti, mikä saattaa vaikeuttaa sen jatkokäyttöä. Kuiva-ainepitoisuuden lisääntyminen parantaa käymiseen perustuvan säilönnän onnistumista ja siitä on etua erityisesti silloin, kun säilöntäaineena käytetään biologista säilöntäainetta. Minisiilot kuljetettiin Kuusamossa tehdyn säilönnän jälkeen välittömästi varastoitaviksi Luonnonvarakeskuksen Ruukin toimipisteseen. Siellä minisiilojen kannen päälle lisättiin varastoinnin ajaksi painoksi 10 litran muovämpäri, joka täytettiin hienojakoisella kivimurskalla niin, että ämpäriin paino oli runsaat 20 kg. Varastointipaikka oli lämmittämätön huoneterila (Kuva 28), jonka lämpötila oli 3 °C–16 °C (keskimäärin 10 °C) ja suhteellinen kosteus (RH) 76–65 % varastointikauden aikana.

Säilöntöjen varastointiaika oli noin 3 kk niin, että säilönnät avattiin 19.11.2019. Säilöntöjen säilönnällinen laatu arvioitiin aistinvaraisesti sekä kemiallisin ja mikrobiologisin analyysein. Purkamisen yhteydessä säilönnät arvioitiin aistinvaraisesti ulkonäön ja hajun perusteella. Säilönnöistä otettiin tuolloin myös edustavat näytteet, joista analysoitiin happamuus (pH-luku), kuiva-ainepitoisuus sekä maitohappobakteerien ja hiivojen määrä. Etukäteen valituista säilönnöistä otettiin myös edustavat näytteet biokaasutuotantopotentiaalın selvittämiseksi (ks. kpl 7.2.1, 7.3.1). Kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen tehtiin kuiva-aineuunissa kuivaamalla näytteitä aluksi neljä tuntia 60 °C ja sen jälkeen 18 tuntia 105 °C lämpötilassa. Näytteiden happamuus mitattiin pH-mittarilla. Hiivojen ja homeiden määrä määritettiin Potato Dextrose Agar (PDA) -kasvatusalustalla inkuboimalla aerobisissa olosuhteissa 25 °C lämpötilassa viisi vuorokautta. Maitohappobakteerien pitoisuus määritettiin MRS Agarilla inkuboimalla anaerobisissa olosuhteissa 25 °C lämpötilassa viisi vuorokautta. Mikrobiologisten määritysten tulokset ilmoitetaan pmy/g näytettä.

Jokaisesta säilönnästä tehtiin kolme kerrannetta. Koekäsittelyjen välisten erojen tilastollista merkittävyyttä testattiin varianssianalyysillä. Testauksessa käytettiin SAS-ohjelman Mixed- ja GLM-proseduureja. Testauksen tulokset esitetään varianssianalyysistä saatuina P-arvoina. Käsitteilyjen välistä eroa pidetään yleensä tilastollisesti merkitseväenä, jos P-arvo on pienempi kuin 0,05.



Kuva 28. Säilöntäkoheet minisiiloissa kivimurskalla painotettuna. Kuva: Anna-Liisa Välimaa, Luke.

### 4.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Säilöntäkoheen tulokset käsitellään kahdessa osassa niin, että ensimmäisessä osassa tarkastellaan vesirutto biomassan säilöntätulokset ja toisessa osassa tarkastellaan biomassan ja siihen lisätyn nurmirehun seossäilönnän tulokset.

### 4.3.1 Vesiruton säilöntä

Säilötyn biomassan kuiva-ainepitoisuus oli varsin vaatimaton. Sen kuiva-ainepitoisuutta lisäsi massan silppuaminen käsin, mutta lisäyksellä ei ollut mitään käytännön merkitystä (Taulukko 2). Ero johtui siitä, että koneella silputtu massa soseutui siinä määrin, että se todennäköisesti pidatti paremmin vettä.

Taulukko 2. Käsin saksilla ja rehujen sekoitusvaunulla silputun ja ilman säilöntäainetta (kontrolli) tai muurahais-hapolla (happo) ja biologisella säilöntäaineella (BSA) ilmatiiviisti säilötyn vesiruton biomassan koostumus ja säilönnällinen laatu kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen. Koekäsittelyiden keskiarvojen välisten erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin varianssianalyysillä. Testitulokset (P-arvo) esitetään taulukossa.

Ominaisuus	Silppuaminen käsin			Silppuaminen koneella			P-arvo	
	Kontrolli	Happo	BSA	Kontrolli	Happo	BSA	Silppuamistapa	Säilöntäaine
Kuiva-aine g/kg	8,25	8,34	7,79	7,11	7,52	7,26	0,04	0,63
pH	5,18	5,53	5,52	5,45	5,01	5,25	0,80	0,84
Maitohappobakteerit pmy/g (log <sub>10</sub> )	5,98	6,78	5,92	7,24	7,48	7,26	0,002	0,21
Hiivat ja homeet pmy/g (log <sub>10</sub> )	6,04	7,79	7,02	7,34	7,30	7,54	0,04	0,01

Säilöntöjen pH-arvot eivät poikennet silppuamistapojen tai säilöntäaineen käytön suhteen tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Säilöntäaineen lisääminen pyrki lisäämään hiukan voimakkaammin koneella kuin käsin silputun massan happamuutta (Taulukko 2), mutta koekäsittelyjen yhdysvaikutus ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä (P=0,27).

Maitohappobakteerien lukumäärä oli koneella silputuissa säilönnoissä suurempi kuin käsin silputuissa säilönnoissä. Säilöntäaineen käyttö tai säilöntään lisätyn säilöntäaineen koostumus eivät vaikuttaneet ratkaisevasti maitohappobakteerien lukumäärään.

Homeiden määrää voidaan käyttää säilönnon aikaisisten ilmavuotojen indikaattorina, koska homeet voivat lisääntyä vain hapellisessa ympäristössä. Ne esiintyvät säilönnoissä pääosin pintakerroksessa. Rehujen säilönnessä homeiden kasvu rehussa voi lisätä sekä tuotantoeläinten että eläintenhoitajien sairastumisriskiä, sillä ne voivat tuottaa säilöttävään massaansa homemyrkyjä ja voivat tuottamiensa itiöiden mukana kulkeutua hengitysilmaan. Hiivat voivat lisääntyä sekä hapettomassa, että hapellisessa ympäristössä. Hapettomassa ympäristössä niiden tuottama käyminen synnyttää etanolia, joka ei kuitenkaan alenna säilönnessä tavoitellusti säilöttävän massan happamuutta (McDonald ym. 1991). Hapellisessa ympäristössä hiivat voivat hajottaa myös maitohappoa, mikä on säilönnon onnistumisen kannalta varsin haitallista (McDonald ym. 1991).

Homeiden esiintyminen havainnoitiin kokeessa silmämääräisesti säilöntöjen avaamisen yhteydessä (Taulukko 3). Niiden määrä analysoitiin lisäksi myös kustakin säilönnoistä otetusta edustavasta näyttestä. Analyysitulosten tulkinta on kuitenkin vaikeaa, koska homeiden ja hiivojen määrä ilmoitettiin molempien summana (Taulukko 2). Tuloksista voidaan kuitenkin havaita, että hiivojen ja homeiden kokonaismäärää lisääntyi, kun vesirutto silputtiin koneellisesti tai säilöttävään massaansa lisättiin säilöntäaine. Säilöntöjen onnistumista arvioitiin myös hajun perusteella. Kaikkien koneella silputtujen säilöntöjen haju oli paha. Käsin silputuilla hajujen kirjo oli suurempi.

Taulukko 3. Vesiruton säilöntöjen laadun aistinvarainen arviointi säilöntöjen avaamisvaiheessa. Tuloksissa mukana kaikkien kerranteiden tulokset.

Säilöntä	Kerranne	Ulkonäkö	Haju
<b>Käsin silputtu</b>			
Ei säilöntäainetta	1	Hometta	Paha haju
	2	Hometta	Hyvä haju
	3	Hometta	Ei arvioitu
Muurahaishappo	1	Hometta	Mieto, paha haju
	2	Ei hometta	Mieto, paha haju
	3	Ei hometta	Mieto, paha haju
Biologinen säilöntäaine	1	Ei hometta	Raikas, hapan
	2	Ei hometta	Raikas, hapan
	3	Hometta	Raikas, hapan
<b>Koneella silputtu</b>			
Ei säilöntäainetta	1	Hometta	Paha haju
	2	Ei hometta	Paha haju
	3	Hometta	Paha haju
Muurahaishappo	1	Ei hometta	Paha haju
	2	Hometta	Paha haju
	3	Hometta	Paha haju
Biologinen säilöntäaine	1	Ei hometta	Paha haju
	2	Ei hometta	Paha haju
	3	Hometta	Paha haju

#### 4.3.2 Vesiruton ja nurmen seoksen säilöntä

Nurmirehun lisääminen vesiruton säilöntään lisäsi selvästi säilönnän kuiva-ainepitoisuutta (Taulukko 4). Samalla säilöttävä massa muuttui ulkonäöltään (Kuva 29). Säilöntöjen pH-luvut (happamuus) vastasivat nyt nurmisäilörehun säilönnässä asetettuja tavoitteita. Alhainen pH-luku ja korkeampi maitohappobakteerien määrä kuin pelkän vesiruton säilönnässä osoitti, että säilönnöissä oli tapahtunut tavoiteltua käymistä. Säilöntäaineen lisääminen säilöntöihin pyrki varmistamaan säilönnän onnistumista, vaikka säilöntöjen väliset erot eivät muodostuneet tilastollisesti merkitseviksi, kun merkitsevyyden raja-arvona pidetään P-arvoa, joka on pienempi kuin 0,05.



Taulukko 4. Ilman säilöntäainetta, muurahaishapolla ja biologisella säilöntäaineella ilmatiiviisti säilötyn vesiruton ja nurmirehun seosmassan (tuorepaino 9:1) koostumus ja säilönnällinen laatu kolmen kuukauden varastoinnin jälkeen. Koekäsittelyiden keskiarvojen välisten erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin varianssianalyysillä. Testitulos (P-arvo) esitetään taulukossa.

Säilöntä	Kuiva-aine g/kg	pH	Maitohappo- bakteerit pmy/g (log <sub>10</sub> )	Hiivat ja homeet pmy/g (log <sub>10</sub> )
Kontrolli (Ilman säilöntäainetta)	14,9	4,57	8,53	8,13
Muurahaishappo	16,15	3,92	7,25	6,81
Biologinen säilöntäaine	16,14	4,14	8,92	8,75
P-arvo	0,78	0,15	0,14	0,1

Säilönnöissä esiintyneiden homeiden määrä ja haju rekisteröitiin aiemmin esitetyllä tavoin (Taulukko 5). Tuloksista voidaan todeta, että kaikissa ilman säilöntäainetta tehdyissä säilönnöissä esiintyi hometta samalla, kun biologisella säilöntäaineella tehdyissä säilönnöissä ei vastaavasti todettu lainkaan hometta. Säilöntöjen erittämät hajut olivat pääosin miellyttäviä.



Kuva 29. Vasemmalla kemiallisella säilöntäaineella (muurahaishappo) säilötty vesiruton biomassassa ja oikealla vastaavalla säilöntäaineella säilötty vesirutto-nurmiseos. Kuva: Anna-Liisa Välimaa, Luke.

Taulukko 5. Vesiruton ja nurmirehun seosmassan säilöntöjen laadun aistinvarainen arviointi säilöntöjen avaamisvaiheessa. Tuloksissa mukana kaikkien kerranteiden tulokset.

Säilöntä	Kerranne	Ulkonäkö	Haju
Ei säilöntäainetta	1	hometta	miellyttävän hapan
	2	hometta	pinnassa paha haju, sitten säilörehun haju
	3	hometta	normaali säilörehun haju
Muurahaishappo	1	hometta	miellyttävän hapan
	2	ei hometta	miellyttävän hapan
	3	ei hometta	miellyttävän hapan
Biologinen säilöntäaine	1	ei hometta	paha haju
	2	ei hometta	miellyttävän hapan
	3	ei hometta	miellyttävän hapan

#### 4.4 Johtopäätökset

Vesiruton säilöntä käymiseen perustuvalla menetelmällä onnistui säilöntäkokeessa varsin heikosti. Käymistä rajoittivat vesiruton varsin vähäinen kuiva-ainepitoisuus ja todennäköisesti myös niukka liukoisten hiilihydraattien pitoisuus. Säilöntäaineen käyttö tai säilöntään lisätyn säilöntäaineen koostumus eivät näyttäneet vaikuttavan ratkaisevasti säilönnän onnistumiseen.

Molempia käymistä rajoittavien tekijöiden synnyttämää haittaa voitiin kuitenkin vähentää, kun säilöttävään massaun lisättiin nurmirehua, jolloin happamuus ja maitohappobakteerien määrä olivat lähempänä nurmisäilörehun säilönnässä asetettuja tavoitteita. Säilöntäaineen lisääminen säilöntöihin näytti edistävän säilönnän onnistumista. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan siitä, kuinka paljon nurmirehua on lisättävä vesiruton biomassaan säilönnän onnistumisen varmistamiseksi. Lisäksi tarvitaan tutkimusta siitä, riittääkö säilöntä ilman säilöntäainetta ja mikä on vesiruton biomassan biokaasuntuottopotentiaali tässä tapauksessa.

# 5 Vesiruton hyödyntäminen lannoitus- ja maanparannusaineena

Lea Hiltunen, Timo Lötjönen & Jaakko Karvonen

## 5.1 Tausta ja tavoitteet

Vesirutto sisältää monia kasvien tarvitsemia pää- ja hivenravinteita (Lizama ym. 1988; Muñoz Escobar ym. 2011; Hiltunen & Virtanen 2017) ja ravinnekoostumuksensa puolesta se soveltuisi sellaisenaan orgaaniseksi lannoitteeksi peltoviljelyssä. Ravinteiden lisäksi vesirutto toisi peltoon orgaanista ainesta. Vesiruton käyttöä lannoitus- ja maanparannusaineena on tutkittu melko vähän. Aiemmissä tutkimuksissa ongelmallisena on pidetty rihmamaisen biomassan hidasta hajoamista maassa, minkä vuoksi se voisi hankaloittaa viljelytoimenpiteitä (Muñoz Escobar ym. 2011). Toisaalta eloperäisen aineen hitaalla hajoamisella on pitkäaikainen vaikutus maan rakenteeseen ja mikrobistoon, ja siten se on hyödyllinen ominaisuus maanparannusvaikutuksen kannalta (Joona 2013).

Peltokokeiden tavoitteena oli selvittää vesiruton biomassan hyödyntämismahdollisuuksia lannoitus- ja maanparannusaineena sekä mahdollisia taudinestovaikutuksia pelto-olosuhteissa. Kohdekasvustoina olivat peruna ja kokoviljasäilörehu. Lisäksi testattiin maatalouskoneiden soveltuvuutta vesiruton leviytykseen. Saatujen tuloksien avulla arvioidaan vesiruton hyödyntämisen kannattavuutta maanparannus- ja lannoituskäytössä.

## 5.2 Aineisto ja menetelmät

### 5.2.1 Perunan peltokokeet

Vesiruton biomassan hyödyntämistä lannoitus- ja maanparannusaineena perunanviljelyssä selvitettiin kahdessa peltokokeessa vuosina 2020 ja 2021. Eri vuosina kokeet sijoitettiin samalle peltolohkolle mutta lohkon eri osiin. Biomassaa levitettiin koelalle käsin kokeen perustamista edeltävänä syksynä (Kuva 30). Levityskaistojen väliin jätettiin verranteeksi kaistoja ilman vesiruton biomassan lisäystä.



Kuva 30. Vesirutto levitettiin pellolle käsin kokeen perustamista edeltävänä syksynä. Kuva: Lea Hiltunen, Luke.

Vesiruton biomassan käyttömäärä oli 30 t/ha, joka siitä tehtyjen analyysien perusteella (Liite 1) toi vesiruttokoealoille vuonna 2020 liukoista typpeä 18 kg/ha (kokonaistyppeä 90 kg/ha) ja vuonna 2021 14 kg/ha (kokonaistyppeä 126 kg/ha) (Taulukko 7). Puolet koealasta kynnettiin syksyllä ja toinen puoli keväällä (Taulukko 6). Kokeet perustettiin kesäkuun alussa. Perustamisen yhteydessä ensimmäisenä koevuonna koko koealalle annettiin peruslannoituksena Yara HEVI 3 (N-P-K: 11 %-4,6 %-18 %) -lannoitetta 290 kg/ha (Taulukko 7). Sen lisäksi alalle oli levitetty koetta edeltävänä vuonna naudnan lietelantaa noin 40 t/ha, jonka jälkivaikutukseksi arvioitiin 8 kg/ha liukoista typpeä (Rajala 2006). Toisena koevuonna osa koealasta jätettiin ilman peruslannoitusta.

Kasvukauden aikana seurattiin kasvuston kehitystä ja tautioireiden esiintymistä (Kuva 31). Sato korjattiin käsin, lajiteltiin kokoluokkiin ja punnittiin. Sadosta määritettiin tärkkelyspitoisuus ja ulkoinen laatu. Lisäksi koeruuduilta otettiin maanäytteitä syksyllä vesiruton levityksen jälkeen, seuraavana keväänä ennen kokeen perustamista ja syksyllä sadonkorjuun jälkeen maan ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksien määrittämistä varten. Kauppakelpoiseksi sadoksi määriteltiin mukulakooltaan (halkaisijaltaan) 30–60 mm:n perunat, joissa ei esiintynyt ankaraa (yli 10 % perunan pinnasta oireiden peitossa) perunarupea tai perunaseittiä eikä muita tautioireita tai fysiologisia vioituksia.

Taulukko 6. Perunakokeiden toteutuksen vaiheet ja ajankohdat.

	Vesiruton levitys	Syyskyntö	Kevätkyntö	Kokeen perustaminen	Sadonkorjuu
Koe 1/2020	14.8.2019	8.10.2019	4.6.2020	5.6.2020	1.-2.9.2020
Koe 2/2021	19.8.2020	15.10.2020	2.6.2020	4.6.2021	7.-8.9.2021

Taulukko 7. Kokeissa käytetyn vesiruton ja peruslannoituksen määrä sekä niiden sisältämä liukoisen typen määrä. Vesirutto levitettiin kokeen perustamista edeltävänä syksynä ja Yara HEVI 3 kokeen perustamisen yhteydessä.

	Vesirutto		Yara HEVI 3	
	Käyttömäärä t/ha	Typpi (liukoinen) kg/ha	Käyttömäärä kg/ha	Typpi (liukoinen) kg/ha
<b>Koe 1/2020</b>				
Kontrolli + peruslannoitus	0	0	290	32
Vesirutto + peruslannoitus	30	18	290	32
<b>Koe 2/2021</b>				
Kontrolli + peruslannoitus	0	0	290	32
Vesirutto + peruslannoitus	30	14	290	32
Kontrolli	0	0	0	0
Vesirutto	30	14	0	0



Kuva 31. Perunakasvusto 29.6. (vasemmalla) ja 22.7. (oikealla) vuoden 2020 kenttäkokeessa. Kuvat: Lea Hiltunen, Luke.

### 5.2.2 Kokoviljakokeet

Kokoviljakokeissa päätavoite oli testata kuivanlannan tarkkuuslevittimen (Pichon) soveltumista vesiruton peltolevitykseen. Samalla perustettiin kaistakoe, jossa viljeltiin kokoviljasäilörehuksi sopivia kasvustoja vuosina 2020 ja 2021. Kaksi 5,5 m levyistä ja 40 m pituista kaistaa sai vesiruton biomassaa noin 30 tuoretonnia hehtaarille. Levitykset tehtiin puolivälissä elokuuta vuosina 2019 ja 2020. Kaksi vesirutokaistojen välistä kaistaa jätettiin vertailun vuoksi lannoittamatta. Toinen puoli kokeesta kynnettiin syksyllä ja toinen puoli keväällä. Kokoviljakokeen kaistat olivat molempina vuosina samalla paikalla. Koepelto sijaitsi Vuotunkijärven rannassa. Maalajiltaan se oli multavaa hietamoreenia. Esikasvina oli vanha säilörehunurmi. Maanäytteet otettiin käsittelyittäin syksyllä 2019 ja syksyllä 2021 (liitteet 5 ja 6).

Kaistakokeessa oli vain kaksi kerrannetta, koska vesiruttoa oli käytettävissä niukasti. Lisäksi ison levitysvaunun säätö/kalibrointi kulutti levitettävää materiaalia. Kalibroinnissa voitiin käyttää apuna paikalla ollutta apevaunun vaakaa ja toteutuneita tietoja kuivanlannan levityksestä. Lannanlevittimessä oli sivuluukut, joilla levityskuviota voitiin kaventaa kokeen kaistaleveyteen eli 5,5 metriin. Levitystasaisuus sivusuunnassa näytti hyvälle, mutta koska vesiruttomateriaalia oli niukasti käytettävissä, vaunua ei voitu lastata täyteen. Tästä johtuen pitkittäissuuntainen levitystasaisuus vaihteli jonkin verran levitystilanteesta otetun videon perusteella. Levityskaistat 1 ja 2 ajettiin eri suuntiin, minkä voi olettaa tasanneen tilannetta, tosin paras ratkaisu olisi ollut tehdä lisää kerranteita.

Koska vesiruton käyttömäärät per hehtaari olivat samat kuin perunakokeissakin, vesirutosta tulleet ravinteet olivat taulukon 7 mukaisia ( $N_{liuk}$  18 ja 14 kg/ha). Lisäksi molempina vuosina käytettiin täydennyslannoitteena YaraMila Y3 (N 23, P 3, K 8) lannoitetta 175 kg/ha, jolloin täydennyslannoitteesta tuli  $N_{liuk}$  40 kg/ha. Liukoisien typen käyttömäärät olivat siis laskennallisesti 58 ja 54 kg/ha vuosina 2020 ja 2021. Täydennyslannoituksen määrä pidettiin niukkana, jotta vesiruttolevityksen vaikutus näkyisi sadon määrässä. Karjanlantaa ei käytetty kumpanakaan vuonna.

Syyskyntö tehtiin molempina vuosina syys-lokakuun vaihteessa ja kevätkyntö toukokuussa. Koepelto muokattiin S-piikkiäkeellä ja kylvettiin kesäkuun alussa. Ensimmäisenä vuonna kylvö ja lannoitus tapahtuivat käsin haravalla peittäen ja toisena vuonna yhdistelmäkoneella, jossa oli myös piensiemennäite. Vuonna 2020 kylvettiin pelkäästään ohraa 200 kg/ha, mutta vuonna 2021 ohran lisäksi kylvettiin myös raiheinää 20 kg/ha. Lajikkeet olivat peitattu Wolmari-ohra ja Mondora-italianraiheinä. Tarkoituksena oli tuottaa kokoviljasäilörehuksi sopivaa raaka-ainetta, koska ajateltiin Kuusamon olevan liian pohjoisessa, jotta ohra ehtisi tuleentua puitavaksi.

Sadon määrittämistä varten kasvustosta otettiin 0,5 m<sup>2</sup>:n kehikonäytteitä (2 näytettä per koeruutu, yhteensä 16 näytettä). Näytteet otettiin molempina vuosina 20.8. sähkösaksa apuna käyttäen ja noin 3 cm:n sänkeen leikatun (Kuva 32). Näytteenottoaikat määriteltiin mittanauhan avulla ennalta

määrättyihin pisteisiin, koeruutujen keskilinjalle. Näytteistä mitattiin tuorepaino ja määritettiin kuiva-ainepitoisuus uunikuivauksen avulla (105 °C, 24 h).

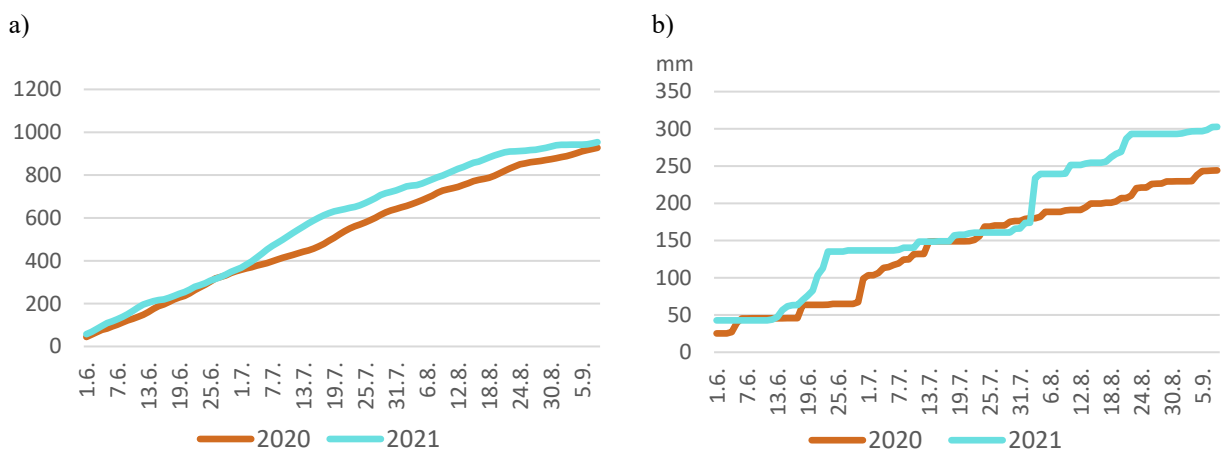


Kuva 32. Kehikonäytteen otto sähkösaksilla. Kuva: Timo Lötjönen, Luke.

## 5.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 5.3.1 Kasvukausien sää

Vuosien 2020 ja 2021 kasvukauden lämpösumma- ja sadekertymätiedot saatiin Ilmatieteenlaitoksen Kuusamon Välikankaan mittausasemalta, joka sijaitsee noin 23 km:n etäisyydellä peltokokeista. Kokonaislämpösummaa oli 1.6. mennessä kertynyt alle 100 °C vrk, ja 5.9. mennessä noin 950 °C vrk, vuonna 2021 kuitenkin hieman enemmän kuin vuonna 2020. Alkuvuodet olivat lämpösumman kertymän osalta likimain samanlaiset, mutta vuonna 2021 heinäkuun alkupuolisko oli lämpimämpi. Elokuun loppu ja syyskuun alku olivat puolestaan viileämpiä vuonna 2021 kuin vuonna 2020, mikä tasasi lämpösummakertymän vuosien välillä (Kuva 33).



Kuva 33. Kasvukausien 2020 ja 2021 a) tehoisan lämpötilan kertymä ja b) kumulatiivinen sademäärä Ilmatieteen laitoksen virallisella havaintoasemalla Kuusamon Välikankaalla.

Sadekertymä 1.6.–5.9. välillä oli vuonna 2020 selvästi vähäisempi (noin 250 mm) kuin vuonna 2021 (noin 300 mm). Myös sateiden ajoittuminen oli erilaista; vuonna 2021 sateet painoutuivat kolmeen suu-rempaan sadejaksoon kesäkuun puolivälissä, elokuun alussa ja elokuun kolmannella viikolla. Juhannuksesta heinäkuun loppuun asti sadekertymää ei juurikaan tullut. Vuonna 2020 sadekertymä oli vähäistä ennen heinäkuuta, minkä jälkeen sadekertymä nousi tasaisesti tarkastelujakson loppuun asti.

Koevuosien säätä verrattiin Ilmatieteenlaitoksen hila-aineistoon vuosilta 1991–2020 (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>). Hila-aineisto ei ole yhtenevä mittausasemien kanssa, mutta antaa hyvän kuvan säästä ja oli tarkastelua varten nopeasti saatavilla. Kuusamon sää kesinä 2020 ja 2021 erosi vuosijakson 1991–2020 keskiarvosta vaihtelevasti eri kuukausina ja eri vuosina. Molempina koevuosina kesäkuu oli lämpimämpi, mutta sen jälkeen vuodet erosivat toisistaan keskilämpötilan osalta selvästi. Sateiden osalta huomataan erityisesti kuivuus vuoden 2021 heinäkuussa ja vastaavasti sateisuus elokuussa (Taulukko 8).

Taulukko 8. Kuusamon sää Ilmatieteenlaitoksen hila-aineiston mukaisesti vuosina 2020 ja 2021 verrattuna vuosien 1991–2020.

Kuukausi	Lämpötilapoikkeama verrattuna 1991–2020 vertailukauteen	Sadekertymäpoikkeama verrattuna 1991–2020 vertailukauteen (=100 %)
	Kesä	2020: 3,5 °C 2021: 3,5 °C
Heinä	2020: -0,7 °C 2021: 2,1 °C	2020: 96 % 2021: 36 %
Elo	2020: 0,5 °C 2021: -0,4 °C	2020: 78 % 2021: 186 %
Syys	2020: 1,1 °C 2021: -1,7 °C	2020: 121 % 2021: 129 %

### 5.3.2 Perunan peltokokeet

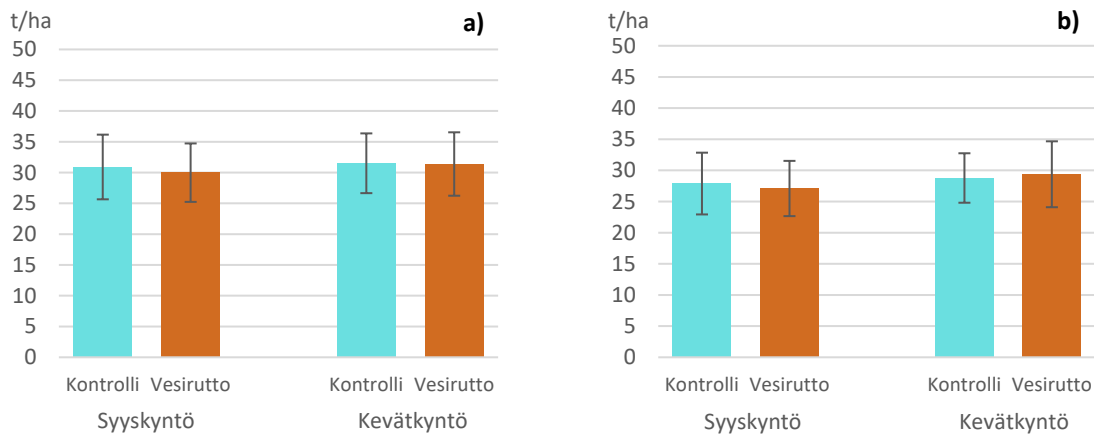
Käsin pellolle levitetty vesiruton biomassa hajosi nopeasti eikä aiheuttanut ongelmia jo samana syksynä tehdyissä kynnöissä, vastoin aiempia tutkimuksia (Muñoz Escobar ym. 2011).

Biomassan lannoitushyöty ei tullut esille kumpanakaan koevuonna sadon määrässä tai laadussa, tai maan ravinnepitoisuuksissa. Maanäytteistä analysoitujen kasveille käyttökelpoisten ravinteiden ja raskasmetallien pitoisuuksissa ei ollut eroja vesirutto- ja kontrolliruuhtujen välillä vesiruton levityksen jälkeisinä kasvukausina, toisin sanoen ennen kokeiden perustamista tai sadonkorjuun jälkeen (Liitteet 2, 3 ja 4). Myöskään kokonaissadoissa ei ollut eroja vesirutto- ja kontrollikäsitteilyjen välillä (Kuvat 34, 35 ja 36). Tämä viittaa siihen, että vesiruton mukana tulleet ravinteet joko huuhtoutuivat maasta tai sitoutuivat kasveille käyttökeltottomaan muotoon levitystä seuraavan syksyn ja talven aikana. On myös mahdollista, että käytetyn vesiruttomassan (30 t/ha) mukana tulleiden ravinteiden määrä oli liian pieni suhteessa maan ravinnetasoon tai muun lannoituksen mukanaan tuomaan ravinnemäärään aiheuttaakseen muutoksia kasvussa. Vesiruton sisältämät ravinteet voisi olla mahdollista saada talteen, jos vesirutto pystyttäisiin levittämään pellolle kasvuston perustamis- tai kasvuvaiheessa. Tällöin vesiruton ravinteet olisivat suoraan viljelykasvin käytettävissä. Toinen mahdollisuus voisi olla kerääjäkasvit, joiden avulla ravinteet sidotaan, kunnes viljelykasvi pystyy ne hyödyntämään. Sopivan kerääjäkasvin löytäminen etenkin pohjoisiin oloihin voi kuitenkin olla haastavaa.

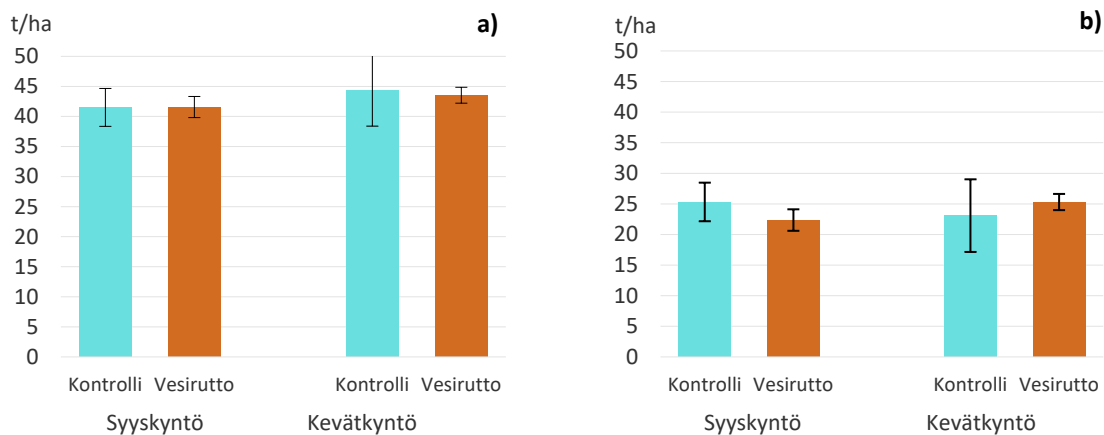
Kumpanakin koevuonna perunakasvustot kehittyivät hyvin eikä niissä havaittu tautioireita kasvukauden aikana. Perunaruttoa ei esiintynyt lainkaan vuonna 2020. Vuonna 2021 muutamia ruttolaikkuja ilmaantui kasvustoon kasvukauden lopulla, mutta satoperunoissa oireita ei havaittu.

Perunasadot olivat runsaita molempina vuosina. Vuonna 2020 kokonaissato oli noin 30 tn/ha (Kuva 34) ja vuonna 2021 jopa yli 40 tn/ha niillä koeruuduilla, joilla käytettiin peruslannoitusta (Kuva 35). Peruslannoittamattomilla koeruuduilla sato oli syyskynnytyissä ruuduissa 23 tn/ha ja kevätkynnytyissä 35 tn/ha (Kuva 36). Suuri ero syys- ja kevätkynnytyksen alueen sadoissa johtui todennäköisesti koealojen eroista, sillä syksyllä kynnetty peruslannoittamaton koeala oli päästeen reunassa, jossa maa oli tiivistyneempää ja kasvusto heikompaa kuin muualla koealalla. Kynnön ajankohta ei vaikuttanut sadon määrään tai laatuun peruslannoitetuilla koeruuduilla.

Vuoden 2020 perunasato oli laadultaan hyvää. Sadosta yli 90 % oli kauppakelpoista (Kuva 34). Kauppakelpoisen sadon määrää vähensivät eniten alikokoiset perunat (mukulan halkaisija alle 30 mm), joita sadosta oli noin 9 %. Sadossa esiintyi vähäisessä määrin perunaruven (*Streptomyces*-lajit), perunaseitin (*Rhizoctonia solani*) ja kuorirokon (*Spongospora subterranea*) oireita, mutta oireet olivat pääosin lieviä, eivätkä vaikuttaneet sadon kauppakelpoisuuteen (Taulukko 9). Perunaseittiä esiintyi jonkin verran vähemmän vesirutolla käsitellyillä koeruuduilla kuin kontrolliruuduilla. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää.

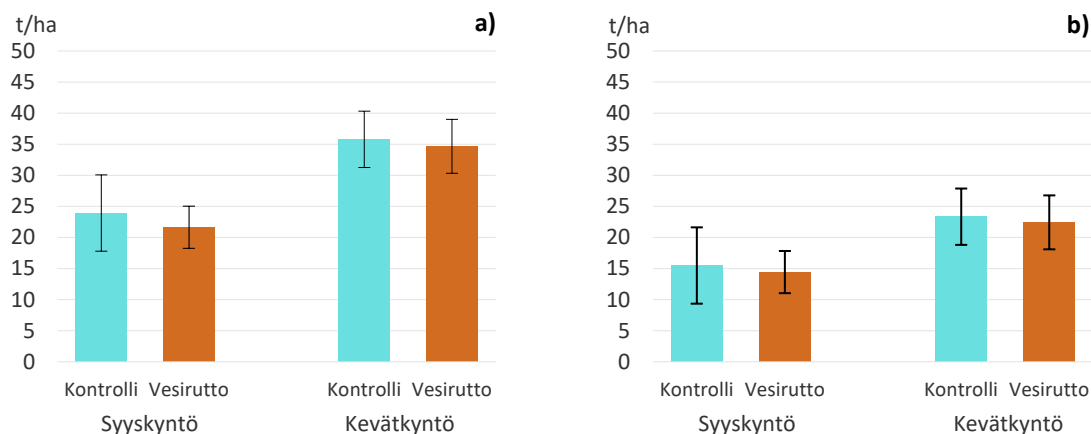


Kuva 34. a) Kokonais- ja b) kauppakelpoinen sato vuoden 2020 peltokokeessa (peruslannoitustaso 32 kg N/ha). Hajontapylväs kuvaa neljän näytteen keskihajontaa.



Kuva 35. a) Kokonais- ja b) kauppakelpoinen sato vuoden 2021 peltokokeessa, kun peruslannoitustasona oli 32 kg N/ha. Hajontapylväs kuvaa neljän näytteen keskihajontaa.





Kuva 36. a) Kokonais- ja b) kauppakelpoinen sato vuoden 2021 peltokokeessa, kun peruslannoitustasona oli 0 kg N/ha. Hajontapylväs kuvaa neljän näytteen keskihajontaa.

Vuonna 2021 kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli peruslannoitetuilla ruuduilla 56 % ja lannoittamattomilla ruuduilla 65 % (Kuvat 35 ja 36). Eniten kauppakelpoisen sadon määrää alensivat vihertyneet mukulat, joita sadosta oli noin viidennes (Taulukko 10). Vihertymisen syynä oli perunapenkin pieni koko, minkä seurauksena osa mukuloista kasvoi penkin pinnalla ja altistui valolle. Pieni penkin koko puolestaan johtui siitä, että koealue oli runsaiden sateiden vuoksi märkää eikä penkin oikea-aikainen multaaminen ollut mahdollista. Vihertyneitä mukuloita oli jonkin verran enemmän peruslannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koeruuduilla. Tämä saattoi johtua siitä, että suuremman satomäärän vuoksi myös suurempi osa perunoista oli penkin pinnalla alttiina valolle. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää.

Vuonna 2021 kasvukauden loppupuolen olosuhteet suosivat mukulakoon kasvua, minkä seurauksena huomattava osa (noin 10 %) satoperunoista oli ylisuuria (mukulan halkaisija yli 60 mm). Sadossa esiintyi yleisesti perunaseitin oireita (seittirupipahkoja), mutta oireet olivat pääosin lieviä (oireen peittäminen alle 10 % mukulan pinnasta) (Taulukko 10). Muutoin sato oli hyvälaatuista.

Taulukko 9. Sadon tärkkelyspitoisuus sekä oireettomien ja yleisimpien voituusten osuus sadossa kasvukaudella 2020 (Koe 1). Vesiruton käyttömäärä oli vesiruttokäsittelyssä 30 t/ha ja kontrollissa 0 t/ha. Kummassakin käsittelyssä annettiin peruslannoituksena typpeä 32 kg/ha. Suluissa keskihajonta.

		Osuus sadossa, paino-%				
		Oireelliset perunat				
Kytäntö	Käsittely	Tärkkelyspitoisuus, %	Oireettomat perunat	Perunaseitti*	Perunaruvi*	Kuorirokko
Syys	Kontrolli	11,4 (±1,2)	87 (±10,3)	8,2 (±6,7)	1,2 (±1,6)	1,7 (±2,8)
	Vesirutto	11,6 (±1,1)	95 (±3,3)	2,2 (±1,6)	1,8 (±2,0)	0,6 (±1,1)
Kevät	Kontrolli	10,9 (±1,4)	89 (±15,0)	9,9 (±13,7)	0,9 (±0,6)	0,5 (±1,0)
	Vesirutto	11,0 (±0,8)	92 (±7,3)	6,5 (±6,3)	1,6 (±0,7)	0,5 (±0,7)

\*Perunaseitin ja perunaruven oireet olivat lieviä (alle 10 % perunan pinnasta oireiden peitossa) eivätkä siten vaikuttaneet sadon kauppakelpoisuuteen.

Taulukko 10. Sadon tärkkelyspitoisuus sekä oireettomien ja yleisimpien vioitusten osuus sadossa kasvukaudella 2021 (Koe 2). Vesiruton käyttömäärä oli vesiruttokäsittelyssä 30 t/ha ja kontrollissa 0 t/ha. Suluissa keskihajonta.

Peruslannoitus N kg/ha	Kyntö	Käsittely	Tärkkelyspitoisuus, %	Osuus sadossa, paino-%			
				Oireettomat perunat	Oireelliset perunat		
					Perunaseitti*	Vihertyneet	
32	Syys	Kontrolli	9,5 (±0,5)	44 (±14)	32 (±31)	26 (±10,2)	
		Vesirutto	9,2 (±0,1)	46 (±18)	26 (±24)	29 (±3,3)	
	Kevät	Kontrolli	8,9 (±0,6)	39 (±6,3)	28 (±24)	32 (±17,5)	
		Vesirutto	8,8 (±0,5)	45 (±19)	28 (±21)	24 (±4,9)	
	0	Syys	Kontrolli	10,5 (±0,3)	61 (±27)	22 (±28)	17 (±6,5)
			Vesirutto	10,6 (±0,3)	60 (±20)	18 (±20)	20 (±3,0)
Kevät		Kontrolli	9,8 (±0,6)	51 (±15)	26 (±21)	20 (±15,9)	
		Vesirutto	9,8 (±0,4)	49 (±20)	23 (±22)	22 (±11,3)	

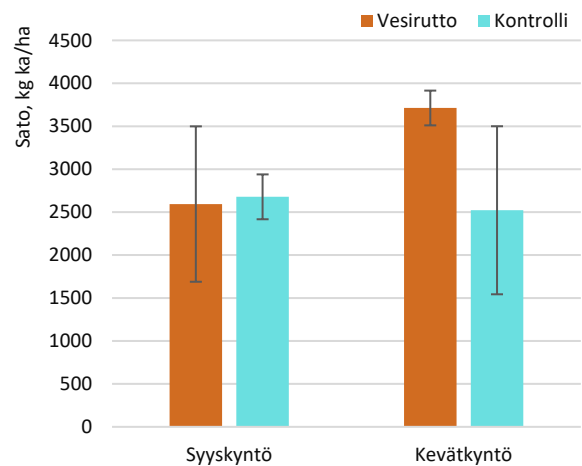
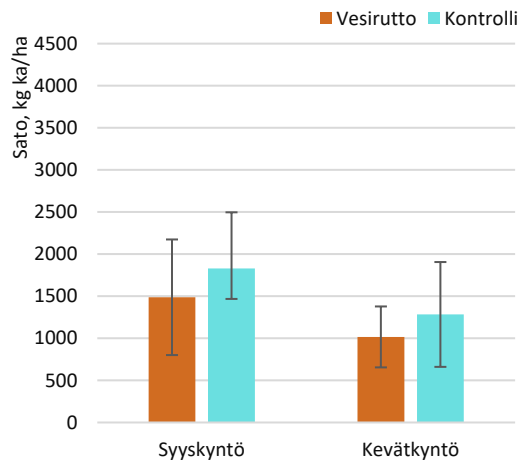
\*Perunaseitin oireet olivat pääosin lieviä (alle 10 % perunan pinnasta oireiden peitossa).

### 5.3.3 Kokoviljakokeet

Kokoviljasadot jäivät molempina vuosina pieniksi, vuonna 2020 jopa erittäin pieneksi (Kuva 37). Ensimmäisenä vuonna satoerot eri käsittelyiden välillä olivat merkityksettömiä, vaikka syyskynnen avulla saatiin hieman parempi sato kuin kevätkynnöllä. Vuonna 2021 vesiruttoa saaneessa ja kevätkynnettyssä käsittelyssä sato oli noin 1000 kg ka/ha parempi kuin muissa käsittelyissä. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä vähäisestä kerranteiden määrästä ja suurista hajonnoista johtuen ( $p_{hav}=0,26$ ).

Keskimääräinen satotaso oli kokeessa alhainen. Esimerkiksi Ruukissa ohrakokoviljasta on saatu koeruuduilta 7–9 t/ha kuiva-ainesatoja (Manni et al. 2021). Käytännön viljelmillä päästään helposti yli 5 t ka/ha satoihin. Toki Ruukin kokeissa typpitaso oli  $N_{liuk}$  90 kg/ha, kun Vuotungin kokeissa se oli laskeutuneesti 50–60 kg/ha. Tämä ei kuitenkaan yksinään selitä näin suurta satoeroa.

Ohra ei kasvanut koealueella kovin hyvin kumpanakaan vuonna. Jälkimmäisenäkin vuonna sato koostui valtaosin raiheinästä. Syitä heikkoon ohran menestymiseen on monia. Koealueen pH oli matala, 5,0–5,4. Tämä on kivennäismaalla liian alhainen arvo ohralle. Koealue oli melko kuiva, poudanarka hietamoreenirinne. Vuonna 2020 kesäkuu oli äärimmäisen kuiva ja vastaavasti vuonna 2021 heinäkuu oli kuiva ja kuuma (Kuva 31). Lisäksi ensimmäisenä vuonna käsin tehty kylvö lienee jäänyt liian pintaan, jotta orastuminen olisi ollut kuivissa oloissa kunnollista. Lisäksi porot vierailivat kesän mittaan koealueella. Toisena vuonna kylvö tehtiin vannaskoneella, jonka jälkeen orastuminen onnistui paremmin. Porojen tuhot estettiin rakentamalla kokeen ympärille poroaita. Koepelto olisi saanut olla maan ominaisuuksiltaan parempi, mutta toisaalta levityskoe oli järkevintä suorittaa vesiruton nostopaikan läheisyydessä. Kyseinen pelto oli myös kovapohjainen, mikä oli eduksi raskailla levitys- ja paalauskoineilla liikuttaessa.



Kuva 37. Kokoviljasäilörehun kuiva-ainesato vuonna 2020 (vasemmalla) ja vuonna 2021 (oikealla). Jana kuvaa neljän näytteenottopisteen välistä keskihajontaa.

Miksi vesiruttolisäys näkyi sitten vain vähän kokoviljakasvuston sadoissa? Lienee niin, että alhainen pH ja kuivuus toimivat kasvun kannalta minimitekijöinä, ei niinkään ravinteiden puute. Lisäksi syyt voivat olla samoja, mitä on esitetty kappaleessa 5.3.2 Perunan peltokokeet. Ravinteet kenties huuhtoutuivat maasta syksyn ja talven aikana tai sitoutuivat kasveille käyttökelvottomaan muotoon. Typen osalta myös haihtuminen ilmaan on potentiaalinen hävikin aiheuttaja. Tämä on todennäköistä, sillä molempina vuosina ja molemmilla koekasveilla peltolevityksen ja maan muokkauksen (syyskyntö) välinen aika oli noin 1,5 kuukautta. Syyskyntö olisi kuitenkin liian aikaista suorittaa elokuun puolivälissä mm. juolavehnen lisääntymisriskin ja eroosioriskin takia. Lisäksi haluttiin, että vesirutto ehtii maata jo hieman ennen muokkausta, jotta kasvimassa ei tuki kyntöauraa. Tässä voisi kuitenkin miettiä välimuokkauksen mielekkyyttä esimerkiksi lautasmuokkaimella heti vesiruton peltolevityksen jälkeen.

Syksyllä 2019 ja 2021 otettujen maanäytteiden tulokset on esitetty liitteissä 5 ja 6. Suurta muutosta eri ravinteiden pitoisuuksiin ei vesiruttolevityksellä saatu aikaan. Fosforin ja kaliumin pitoisuudet nousivat hieman kahden koevuoden aikana. Tämä nousu tapahtui myös kaistoilla, jotka eivät saaneet vesiruttoa. Siten nousu lieneekin peräisin täydennyslannoituksena annetusta mineraalilannoitteesta. Maan multavuutta kuvaava hehkutushäviö näytti nousseen vesiruttolevityksen ansiosta hieman (kontrolliruutujen keskiarvo 6,4 % vs. vesiruttoruutujen keskiarvo 6,7 %). Näin pitäisikin olla, sillä vesiruttoa levitettiin samoille kaistoille kahtena peräkkäisenä vuonna melko suuri määrä. Tosin ero on pieni ja vain suuntaa antava, koska mitatuissa arvoissa oli melko paljon vaihtelua.

## 5.4 Johtopäätökset

Vesiruton koneellinen peltolevitys tarkkuuslevittimellä onnistui hyvin. Sekä koneellisesti että käsin pelolle levitetty vesiruttomassa hajosi nopeasti eikä aiheuttanut ongelmia myöhemmin syksyllä tai keväällä tehdystä kynnössä.

Peltokokeissa vesiruttomassasta ei saatu sellaista lannoitushyötyä, mitä sen sisältämien ravinteiden perusteella olisi voinut olettaa. Hävikkejä syntyi tai sitten ravinteet pidätyivät maahan. Toisaalta vesiruttosta ei näyttänyt olevan haittaakaan peruna- tai kokoviljasäilörehusadolle. Tämä on hyödyllinen havainto, sillä esimerkiksi metsäteollisuuden puupohjaiset sivutuotteet voivat heti peltolevityksen jälkeen laskea peltokasvien satoja. Toisaalta kaikesta hiiltä sisältävästä materiaalista on pitkällä aikavälillä tarkasteltuna hyötyä multavuuden nostajana, ellei pelto jo luonnostaan ole erittäin runsasmultainen tai eloperäinen.

Tässä projektissa selvitettiin vesiruton hyödyntämistä pellolla lannoitteena/maanparannusaineena sekä toimittamista biokaasutukseen. Jälkimmäinen vaihtoehto sisältää lukuisia työvaiheita ja kustannuksia varsinkin, jos vesiruton nostopaikan ja biokaasulaitoksen välinen etäisyys on suuri (luku 9). Myös peltolevitystä voi olla vaikea saada kannattavaksi. Lisätietoa tarvittaisiinkin sopivista käyttömääristä ja kohteista sekä levitys- ja muokkausajankohdista. Toisaalta usein tilanne on se, että vesirutto on järven tilan näkökulmasta saatava pois järvestä, eikä massaa voida jättää rantaan mätänemään. Silloin peltolevitys tarjoaa toimivan ja kustannustehokkaan ratkaisun vesiruton loppusijoitukseen edellyttäen, että taroitukseen sopivaa peltoa on vesiruton nostopaikan läheisyydessä käytettävissä. Myös vesiruton mukana tulevien ravinteiden käyttäytyminen lannoitustarkoituksessa tulisi tuntea paremmin, samoin sen mahdollinen suoja ruosteilta, jotta sille voitaisiin arvioida rahallinen hyötyarvo pellolle levitettynä.

## 6 Vesirutosta eristetyt mikrobit

Lea Hiltunen & Anna-Liisa Välimaa

### 6.1 Tausta ja tavoitteet

Vesiruton lehtien pinnalla on havaittu levän ja partikkelien lisäksi monenlaisia bakteereja, joiden on osoitettu muun muassa suojaavan vesiruttoa kemiallisten aineiden, kuten rikkakasvitorjunta-aineiden, vaikutuksilta (Whitfort 1982; Bowmer ym. 1995). Tarkemmin vesiruton lehtien mikrobiyhteisöjä ei ole kuitenkaan tutkittu. Aiemmassa Elodea -hankkeessa havaittiin, että kasvin palat ja vesiruton ravinneliemeen erittämät aineet pystyivät estämään joidenkin kasvitautinaiheuttajien kasvua (Hiltunen & Virtanen 2017). Lisäksi havaittiin, että erilaisia mikrobeja kasvaa kasvin pinnalla hyvinkin kiinteinä kasvustoina (Välimaa 2017).

Tämän työosion tavoitteena oli eristää Vuotunkijärven vesiruttokasvustoista kerätyistä näytteistä mikrobeja ja selvittää alustavien laboratoriokokeiden avulla niiden ominaisuuksia, kuten kykyä estää kasvi- tai elintarvikepatogeenien kasvua, sekä hyödyntämispotentiaalia kasvitautien torjunnassa ja elintarviketeollisuudessa.

### 6.2 Aineisto ja menetelmät

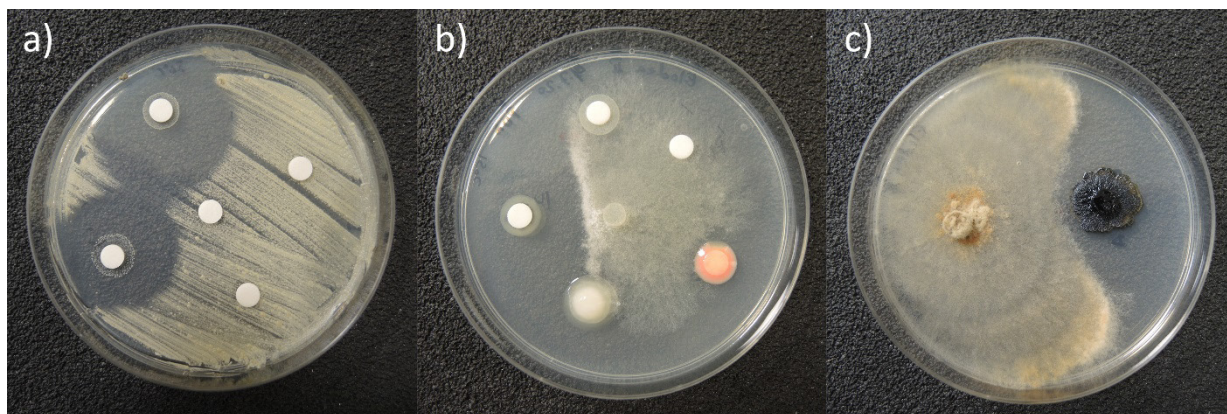
Vuonna 2019 Vuotunkijärven vesiruttokasvustoista otettiin näytteitä mikrobieristykseen kesäkuussa ja elokuussa. Niistä eristettiin mikrobeja Luke Oulun laboratoriossa käyttäen neljää eri kasvatusalustaa ja -lämpötilaa (Taulukko 11). Näin haluttiin varmistaa, että mahdollisimman monenlaiset vesiruton pinnalla kasvavat, mutta erilaisissa oloissa viihtyvät mikrobit saadaan esille. Näytteistä eristettyjä bakteeri- ja sieni-isolaatteja säilöttiin -80 °C myöhempiä tutkimuksia varten. Osa isolaateista sisällytettiin laboratoriokokeisiin, joissa selvitettiin alustavasti kyseisten isolaattien morfologisia ominaisuuksia, entsyymiaktiivisuutta sekä kasvitauti- ja elintarvikepatogeenien kasvunestovaikutuksia.

Taulukko 11. Vesirutosta kesä- ja elokuussa 2019 eri lämpötiloissa ja eri kasvatusalustoilla eristettyjen ja säilöttyjen mikrobi-isolaattien lukumäärä. PDA, perunadekstroosi-agar; PCA, Plate Count -agar (aerobisten mikrobien kasvatusalusta); MRSA, de Man, Rogosa & Sharpe -agar (maitohappobakteerien kasvatusalusta); Lungby -agar (rikkivetyä tuottavien bakteerien kasvatusalusta) PDA, perunadekstroosi-agar; PCA, Plate Count -agar (aerobisten mikrobien kasvatusalusta); MRSA, de Man, Rogosa & Sharpe -agar (maitohappobakteerien kasvatusalusta); Lungby -agar (rikkivetyä tuottavien bakteerien kasvatusalusta).

Eristys- ajan- kohta	Eristys- lämpötila °C	Eristetyt mikrobit, kpl									
		PDA		PCA		MRSA		Lungby		Yhteensä	
		Bakt.	Sieni	Bakt.	Bakt.	Sieni	Bakt.	Sieni	Bakt.	Sieni	
Kesäkuu	30	2	4	1	-	-	-	-	3	4	
	25	-	-	-	7	0	5	1	12	1	
	15	1	0	5	5	4	-	-	11	4	
	6	2	0	5	0	2	-	-	7	2	
Elokuu	30	10	4	5	-	-	-	-	15	4	
	25	-	-	-	1	5	6	0	7	5	
	15	7	12	7	2	6	-	-	16	18	
	6	0	1	11	6	2	-	-	17	3	

## 6.2.1 Kasvitaudinaiheuttajien kasvun esto

Vesirutosta eristettyjen mikrobi-isolaattien antimikrobisia vaikutuksia testattiin ns. agardiffuusio-menetelmällä (Meng'ia ym. 2012). Menetelmä perustuu testattavien isolaattien tuottamiin mikrobien kasvua estäviin aineisiin, jotka leviävät ympäröivään kasvatusalustaan ja estävät taudinaiheuttajamikrobien kasvua. Jos taudinaiheuttajamikrobi on bakteeri, testattavaa isolaattia sisältävän kiekon tai kolon ympärille muodostuneen estovyöhykkeen leveyttä voidaan käyttää kuvaamaan aineen haitallisuutta (Kuva 38 a). Jos taudinaiheuttajamikrobi on sieni, estovaikutuksen voimakkuus voidaan määrittää mittaamalla, kuinka paljon taudinaiheuttajan rihmaston kasvu on estynyt verrattuna kontrolliin (Kuva 38 b, c).



Kuva 38. Vesirutosta eristettyjen bakteeri-isolaattien kasvunestovaikutuksen testaus kasvitautia aiheuttavaa a) sädebakteeria (*S. europaeiscabiei*) ja b) sientä (*R. solani*) vastaan sekä c) sieni-isolaatin testaus taudinaiheuttajaisientä (*R. solani*) vastaan. Kuvat: Lea Hiltunen, Luke.

Taudinaiheuttajiksi valittiin seitsemän Suomessa yleisesti esiintyviä kasvitaudinaiheuttajaa (Taulukko 12). Kasvatus- ja testausalustana käytettiin perunadekstroosi-agaria (PDA). Testattavat sädebakteerit levitettiin tasaisesti koko maljalle ja sienet siirrostettiin agarpalassa maljan reunaan. Bakteeri-isolaatit kasvatettiin yön yli perunadekstroosi (PDB) - tai tryptonisoijaliemessä (TSB), jota pipetoitiin maljalle asetetuille steriileille paperikiekoille. Testattavat sieni-isolaatit laitettiin maljalle rihmastoja sisältävinä agarkiekkoina. Alustavissa kokeissa jokaisella maljalla testattiin 3–5 isolaattia kerrallaan. Maljoja inkuboitiin testattavan isolaatin eristyslämpötilassa tai taudinaiheuttajalle optimaalisessa lämpötilassa. Jokaisesta testi-isolaatin ja taudinaiheuttajan yhdistelmästä tehtiin kolme toistoa. Taudinaiheuttajalle tyypillisen kasvuajan jälkeen estovaikutus määritettiin mittaamalla paperi- tai agarkiekon ympärille muodostuvan estovyöhykkeen leveys tai rihmastonkasvun estyminen. Osa isolaateista testattiin uudelleen edellä kuvatulla tavalla siten, että maljalla oli vain yksi testattava isolaatti.

Taulukko 12. Taudinestotestauksissa käytetyt kasvitaudinaiheuttajat ja niiden alkuperä. Kannat 1) Luke Oulun (Lea Hiltunen) ja 2) Luke Jokioisen (Asko Hannukkala) kokoelmista.

Taudinaiheuttaja	Alkuperä	Tauti
<i>Streptomyces europaeiscabiei</i>	Peruna <sup>1)</sup>	Perunarupi
<i>Streptomyces turgidiscabies</i>	Peruna <sup>1)</sup>	Perunarupi
<i>Botrytis allii</i>	Sipuli <sup>2)</sup>	Sipulinharmaahome
<i>Botrytis cinerea</i>	Mansikka <sup>2)</sup>	Harmaahome
<i>Fusarium avenaceum</i>	Apila <sup>2)</sup>	Apilan juurilaho
<i>Fusarium oxysporum</i>	Istukassipuli <sup>2)</sup>	Sipulinfusarioosi
<i>Rhizoctonia solani</i>	Peruna <sup>1)</sup>	Perunaseitti

## 6.2.2 Isolaattien vaikutus haitallisten elintarvikemikrobien kasvuun

Vesirutosta eristettyjen mikrobi-isolaattien antimikrobisia vaikutuksia elintarvikemikrobien kasvuun testattiin mukailien Välimaan ym. (2020) agardiffuusio-menetelmää. Menetelmässä antimikrobinen vaikutus nähdään testattavaa ainetta sisältävän kiekon tai kaivon ympärille muodostuneena kirkkaana estovyöhykkeenä. Mitä suurempi estovyöhyke on, sitä voimakkaammin testattava aine estää testimikrobin kasvua.

Estovaikutustestauksissa testattavana aineena käytettiin vesiruttomateriaalista maitohappobakteerien kasvatukseen kehitetyllä MRS-agarilla (De Man, Rogosa and Sharpe agar) (Neogen) eristettyjen (Taulukko 11) maitohappobakteereiksi alustavasti identifioitujen isolaattien soluista vapaata supernatanttia El-Mokhtarin ym. (2020) mukaan. Identifiointi tehtiin gram-värjäyksen, solun morfologian sekä katalaasi-entsyymien aktiivisuuden perusteella (Axelsson 2004).

Soluista vapaan supernatantin valmistamiseksi maitohappobakteereiksi identifioitujen isolaattien kasvatettiin MRS-kasvatusliemessä anaerobisissa olosuhteissa. Sen jälkeen näytteet sentrifugoitiin ja supernatantti steriilisuodatettiin 0,22 µm suodattimen läpi, jolloin saatiin soluista vapaa supernatantti käytettäväksi kasvunestovaikutustestauksiin.

Kasvunestotesteihin valittiin malliorganismeiksi elintarvikevälitteisistä taudinaiheuttajista *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* ja *Enterococcus faecalis* sekä elintarvikkeiden pilaajista *Pseudomonas aeruginosa* (Taulukko 13).

Taulukko 13. Kasvunestotestauksissa käytetyt bakteerikannat ja niiden kasvatusolosuhteet.

Kasvatusolosuhteet: lämpötila/aika			
Bakteerikanta	Gram-luokittelu	Esikasvatus TSA:lla	Nestekasvatus TSB:llä
<i>Staphylococcus aureus</i> subsp. <i>aureus</i> ATCC 6538	Gram-positiivinen	37 °C/24 h	37 °C/24 h
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 13932	Gram-positiivinen	37 °C/24–48 h	37 °C/24 h
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 19433	Gram-positiivinen	37 °C/24 h	37 °C/24 h
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	Gram-negatiivinen	37 °C/24 h	37 °C/24 h

ATCC, American Type of Culture Collection; TSA, tryptonisoiija-agar; TSB tryptonisoiijaliemi

Nestekasvatuksen jälkeen solut sentrifugoitiin ja pestiin ja niiden solutiheys säädettiin absorbanssin ( $A_{600}$ ) avulla solutiheyteen noin  $1,5 \times 10^8$  pmy (pesäketä muodostava yksikkö) /ml. Testattavaa bakteeriviljelmää levitettiin tryptonisoiija-agar (TSA) -alustan pinnalle tasaisesti. Maljojen annettiin kuivua, minkä jälkeen niihin tehtiin 4–6 koloa. Testattavaa näytettä lisättiin 50 µl/ kolo. Maljat inkuboitiin aerobisissa olosuhteissa, jonka jälkeen mitattiin estorenkaiden halkaisija. Määritykset tehtiin kolmena rinnakkaisena. Tuloksista laskettiin keskiarvo ja keskihajonta.

## 6.2.3 Entsyymiaktiivisuus

Kolmenkymmenen neljän bakteeri-isolaatin entsyymiaktiivisuus selvitettiin API<sup>®</sup> ZYM-testimenetelmän avulla (Kuva 39). Se tunnistaa 19 bakteerien yleisesti tuottamaa entsyymiä, jotka voidaan luokitella Medina-Herrera ym. (2020) mukaan viiteen ryhmään: 1) fosfataasit, 2) esteraasit/lipaasit, 3) aminopeptidaasit, 4) proteaasit ja 5) glykosyylihydrolaasit.



Kuva 39. Entsyymiaktiivisuuden mittausta API<sup>®</sup> ZYM-testimenetelmällä. Tuloksen perusteella testattu isolaatti tuottaa fosfataasi- (2, 11, 12), esteraasi- (3,4), aminipeptidaasi- (6, 7) ja glykosyylhydrolaasi- (17) entsyymejä. Kuva: Lea Hiltunen, Luke.

Testausta varten isolaatteja kasvatettiin aerobisissa olosuhteissa PDA:lla tai PCA:lla. Lisäksi osa isolaateista kasvatettiin anaerobisissa olosuhteissa MRSA-alustalla. Kontrollina käytettiin *P. aeruginosa* ATCC 27853 -kanta, jota kasvatettiin TSA-alustalla. Testaus tehtiin valmistajan (BioMérieux) ohjeen mukaisesti (Anon. 2014).

### 6.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Vesiruttonäytteistä eristettiin yhteensä 217 bakteeri- ja sieni-isolaattia, joista 129 otettiin talteen jatko-testauksia varten (Taulukko 11). Elokuussa eristettyjen isolaattien määrä oli kaksinkertainen verrattuna kesäkuuhun. Isolaateista noin kolmannes oli sieniä ja kaksi kolmannesta bakteereja. Sienten osuus näytti lisääntyvän loppukesää kohden.

#### 6.3.1 Kasvitaudinaiheuttajien kasvun esto

Maljatestauksissa selvitettiin 44 bakteeri- ja 15 sieni-isolaatin kykyä estää kasvitaudinaiheuttajien kasvua (Taulukko 14). Suurella osalla bakteeri-isolaateista havaittiin jonkinlaista kasvunestovaikutusta, mutta se oli pääosin heikkoa. Vain muutaman isolaatin kasvunestovaikutus oli voimakasta. Testatuista kasvitaudinaiheuttajista alitteimpia vesirutosta eristettyjen bakteerien vaikutuksille olivat perunarupea aiheuttavat *Streptomyces*-bakteerit. Tämä saattaa johtua siitä, että verrattuna moniin kasvitaudinaiheuttajiin streptomykeetit ovat hidaskasvuja, minkä vuoksi kasvualustaan erittyneillä aineilla on pitkä vaikutusaika. Nopeakasvuja taudinaiheuttajasieniä vastaan kasvunestoa havaittiin vähän (*Fusarium*) tai ei ollenkaan (*Botrytis*). Useat vesirutosta eristetyt sieni-isolaatit pystyivät estämään sienimäisten kasvitaudinaiheuttajien kasvua, mutta vain muutamalla isolaatilla oli vaikutusta streptomykeetteihin. Yhdelläkään mikrobi-isolaatilla ei ollut voimakasta laajakirjoista vaikutusta eri taudinaiheuttajiin.

Taulukko 14. Vesirutosta eristettyjen mikrobi-isolaattien kasvunestovaikutus kasvitaudinaiheuttajia vastaan maljakoikeissa. Bakteeri-isolaattien estovaikutus: heikko, jos estovyöhykkeen leveys  $\leq 10$  mm; kohtalainen, jos estovyöhykkeen leveys  $>10$ – $\leq 20$  mm; voimakas, jos estovyöhykkeen leveys  $>20$  mm. Sieni-isolaattien estovaikutus: heikko, jos rihmaston kasvu heikentynyt  $10$ – $\leq 30$  %; kohtalainen, jos rihmaston kasvu heikentynyt  $30$ – $\leq 50$  %; voimakas, jos rihmaston kasvu heikentynyt  $>50$  %.

Kasvitaudinaiheuttaja	Testatut kpl	Bakteeri-isolaatit Estovaikutusta <sup>1)</sup> osoittaneet, kpl			Testatut kpl	Sieni-isolaatit Estovaikutusta <sup>2)</sup> osoittaneet, kpl		
		Heikko	Kohtalainen	Voimakas		Heikko	Kohtalainen	Voimakas
<i>Fusarium oxysporum</i>	42	29	2	0	14	3	7	1
<i>Fusarium avenaceum</i>	42	17	2	0	12	7	3	0
<i>Rhizoctonia solani</i>	44	23	10	1	7	4	0	2
<i>Botrytis allii</i>	12	0	0	0	0	-	-	-
<i>Botrytis cinerea</i>	12	3	0	0	0	-	-	-
<i>Streptomyces europaeiscabiei</i>	44	7	18	6	15	3	2	2
<i>Streptomyces turgidiscabies</i>	44	12	15	2	15	3	2	2



Tässä työssä käytetyllä agardiffuusio-menetelmällä saadaan selville mikrobien kyky hillitä kasvitautinaiheuttajien kasvua tuottamalla kasvualustaan kemiallisia yhdisteitä ja/tai kilpailemalla niiden kanssa. Menetelmä ei kuitenkaan huomioi esimerkiksi isäntäkasvin roolia tai ympäristötekijöiden vaikutuksia. Näin ollen isolaattien taudinestokyky tulee varmistaa astiakokeissa ja viljelyoloissa tehdyillä testauksilla.

Muutamit bakteeri-isolaatit estivät kohtalaisesti perunaseittiä aiheuttavan *Rhizoctonia solani* -sienen kasvua. Tämä on erityisen mielenkiintoista siksi, että ensimmäisen vuoden peltokokeessa perunaseittiä esiintyi satoperunoissa jonkin verran vähemmän niillä koeruuduilla, joilla oli käytetty vesiruttoa (Kappale 5, Taulukko 9).

### 6.3.2 Isolaattien vaikutus haitallisten elintarvikemikrobien kasvuun

Haitallisten elintarvikemikrobien kasvunestotestauksiin hyödynnettävät isolaatit eristettiin ja kasvatettiin MRSA-kasvatusalustalla. Gram-värjäyksen perusteella bakteereiksi luokiteltiin 16 isolaattia ja sieniksi (hiiva) 4 isolaattia. Bakteereista alustavasti maitohappobakteereiksi gram-värjäyksen ja katalaasikokeen perusteella luokiteltiin 14 isolaattia.

Maitohappobakteereiksi luokiteltujen isolaattien kasvatusliemeen erittämien kemiallisten aineiden kasvunestovaikutusta testattiin agardiffuusio-menetelmällä. Vaikutusta ei havaittu elintarvikevälitteisiä taudinaiheuttajia, *S. aureus*-, *L. monocytogenes*- ja *E. faecalis* -bakteerikantoja, eikä elintarvikkeiden pilaajabakteeria *P. aeruginosa* -kantaa vastaan. Tulokseen saattoi vaikuttaa se, että testauksissa supernatantti käytettiin sellaisenaan. Sen vuoksi isolaattien kasvun kasvunestokyky tulee varmistaa puhdistetulla supernatantilla tehdyillä testauksilla. Lisäksi kasvunestotestauksia tarvitaan elintarvikkeita pilaavia tai kasvitaueteja aiheuttavia homesieniä vastaan, sillä joidenkin maitohappobakteerikantojen tiedetään estävän homeiden kasvua. Tässä työssä ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta toteuttaa näitä kasvunestotestauksia.

### 6.3.3 Entsyymiaktiivisuus

API<sup>®</sup> ZYM-testimenetelmällä tehdyn entsyymiaktiivisuuskartoituksen perusteella yleisimmin tuotetut entsyymit olivat fosfataaseja, joita tuotti yli 95 % testatuista isolaateista (Taulukko 15). Noin puolet isolaateista tuottivat esteraaseja/lipaaseja tai aminipeptidaaseja ja viidennes hydrolaaseja. API<sup>®</sup> ZYM-menetelmä tunnistaa bakteerien yleisesti tuottamia entsyymejä, joten sen avulla saadaan alustavaa tietoa isolaattien kyvystä hajottaa biologisia aineita, kuten proteiineja, rasvoja ja hiilihydraatteja. Tämä puolestaan antaa viitteitä isolaattien hyödyntämispotentiaalista erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Suurin osa testatuista bakteeri-isolaateista tuotti useampaa kuin yhtä entsyymiä, mutta ainoastaan yksi isolaatti tuotti jokaisen viiden ryhmän entsyymiä. Entsyymiaktiivisuuden ja kasvitautinaiheuttajien kasvuneston välillä ei ollut havaittavissa yhteyttä.

Taulukko 15. Vesirutosta eristettyjen isolaattien entsyymiaktiivisuus. Kaikkiaan testattiin 34 bakteeri-isolaattia.

Entsyymiryhmä	Entsyymi	Entsyymiä tuottavien isolaattien osuus testatuista, %
Fosfataasit	Alkaline phosphatase Acid phosphatase Naphthol-AS-BI-phosphohydrolase	97
Esteraasit/Lipaasit	Esterase (C 4) Esterase Lipase (C 8) Lipase (C 14)	47
Aminipeptidaasit	Leucine arylamidase Valine arylamidase Cystine arylamidase	50
Peptidaasit	Trypsin $\alpha$ -chymotrypsin	9
Glykosyylihydrolaasit	$\alpha$ -galactosidase $\beta$ -galactosidase $\beta$ -glucuronidase $\alpha$ -glucosidase $\beta$ -glucosidase N-acetyl- $\beta$ -glucosaminidase $\alpha$ -mannosidase $\alpha$ -fucosidase	21

## 6.4 Johtopäätökset

Vuonna 2019 kerätyistä vesiruttonäytteistä luotiin 129 mikrobi-isolaattia sisältävä kokoelma. Alustavissa laboratorionäytteissä selvitettiin isolaattien ominaisuuksia kuten rakennetta, entsyymintuotokykyä ja taudinaiheuttajien kasvunestovaikutusta. Gram-värjäyksen, solun muodon ja katalaasikokeen perusteella maitohappobakteereiksi voitiin luokitella 14 isolaattia. Kasvunestotestauksissa monet mikrobi-isolaatit pystyivät estämään/hidastamaan kasvipatogeenisten sienten tai *Streptomyces*-bakteerien kasvua, mutta eivät elintarvikevälikkeiden taudinaiheuttajien eikä elintarvikkeiden pilaajabakteerien kasvua. Alustavan selvityksen perusteella vesirutosta eristetyt bakteerit kykenevät tuottamaan laajan kirjon erilaisia entsyymejä, mutta bakteerien entsyymiaktiivisuutta ei kuitenkaan pystytty linkittämään niiden kasvunestokykyyn tai muihin ominaisuuksiin. Mikrobi-isolaattien lajin tunnistaminen ja mahdollinen hyödyntäminen vaatii jatkotestauksia ja kehitystyötä, mihin tässä hankkeessa luotu isolaattikokoelma antaa hyvät lähtökohdat.

# 7 Vesiruton hyödyntäminen biokaasuntuotannossa

Ritva Nilivaara, Timo Lötjönen, Teemu Ulvi, Kauko Jarva & Timo Seppälä

## 7.1 Johdanto

Vesiruton poiston yhteydessä vesistöstä on mahdollista poistaa suuria määriä biomassaa, ja käytäntönä on ollut läjittää biomassaa poistopaikan läheisyyteen. Vesiruton biokaasun tuotantopotentiaalia on selvitetty aiemmissa tutkimuksissa (Karjalainen ym. 2017), ja se on korkea jopa biokaasutuksessa yleisesti lisäsyötteenä käytettyyn nurmirehuun verrattuna. Vesiruton mädättäminen biokaasuksi mahdollistaa kasvimassan sisältämän energian ja ravinteiden hyödyntämisen. Mädätysprosessissa syntyvä kaasu sisältää noin 60 % metaania, ja se on mahdollista puhdistaa yli 99 %:ksi metaaniksi. Myös tunteamme maakaasu on metaania, mutta se on fossiilista, kun biokaasu on uusiutuvaa. Maataloudessa muun muassa lantaa käytetään biokaasun tuotantoon.

Suurten vesiruton biomassojen käyttö lisäsyötteenä biokaasun tuotannossa olisi järkevää, mutta vaatii biomassan säilömisen biokaasun tuotantopotentiaalin säilyttämiseksi sekä tasaisemman lisäsyötevirran turvaamiseksi. Tässä hankkeessa tutkittiin vesiruton säilömistä maataloudesta tutuilla menetelmillä (Kappale 4) sekä säilönnän vaikutusta biokaasun tuotantopotentiaaliin laboratoriomittakaavan testeillä. Parhaan säilöntämenetelmän valikoiduttua toteutettiin vesiruton säilöntä- ja biokaasutuskokeet maatilamittakaavan biokaasulaitoksella.

## 7.2 Aineisto ja menetelmät

### 7.2.1 Laboratoriomittakaavan metaanintuottopotentiaali

Vesiruttoa poistettiin Vuotunki-järvestä Kuusamosta kesällä 2019. Vesirutto säilöttiin ns. minisiiloihin sellaisenaan tai nurmen kanssa sekoitettuna. Säilöntäaineena käytettiin muurahaishappoa tai biologista säilöntäainetta ja verrokki säilöttiin ilman säilöntäainetta. Tuoreen vesiruton ja vesirutto-nurmiseoksen metaanintuotannon potentiaali määritettiin elokuussa 3 vuorokautta korjuun jälkeen. Väliajan näytteet säilytettiin kylmälaukussa. Minisiiloja säilytettiin Luken Ruukin toimipaikan lämmittämättömässä navetassa 3 kk ajan. Säilytyksen jälkeen minisiilot avattiin, havainnoitiin säilötyn biomassan koostumus aistinvaraisesti (Taulukko 3 ja 4) ja otettiin näytteet biokaasupotentiaalin määrittämistä sekä biomassan koostumuksen selvittämistä varten. Näytteet toimitettiin saman päivän kuluessa palveluntarjoajalle (Jahotec) analysoitavaksi ja säilytettiin kuljetuksen ajan kylmälaukussa.

Ennen metaanin tuottopotentiaalin määrittämistä näytteistä analysoitiin kuiva-aine (TS), kiintoaine (VS) ja pH sekä kokeen loppuessa samat määritykset mädätteistä. Metaanin tuottopotentiaalin määrittämisessä käytettiin ymppeä, joka otettiin Limingan biokaasulaitoksen reaktorista. Ymppeä on biokaasuprosessissa käytettyä lietettä, jossa on mädätysprosessissa esiintyviä mikrobeja ja joka nopeuttaa tutkittavan näytteen biokaasutuotannon käynnistymistä. Kokeet suoritettiin 1 litran reaktoreissa, joiden tilavuudesta 1/3 oli kaasutilavuutta. Ymppeä lisättävän kiintoaineen (VS) suhde syötteen kiintoaineeseen oli 3. Ymppeä ja syötteen määrä mitattiin gramman tarkkuudella. Reaktorilietteen kuiva-ainepitoisuus (TS) oli 2–3 %. Ymppeä varten varattiin 3 reaktoria sekä menetelmän oikeellisuuden tarkistamiseen 3 reaktoria, joihin lisättiin näytteen sijaan soveltuvaa kemiallista (referenssi)yhdistettä. Reaktorit pidettiin vesihuuteissa vakio-ämpötilassa mesofiilisellä alueella 37 °C. Muodostuva kaasu johdettiin näytepusseihin, ja kaasun määrä mitattiin (tarkkuus 1 ml). Yhden reaktorin eri päivinä otetuista kaasunäytteistä tehtiin 7 vuorokauden kokoomanäyte. Testin kesto oli 26 vuorokautta. Näytteiden kaasun määrä laskettiin

kumulatiivisesti siten, että reaktorissa muodostuvan kaasun määrästä vähennetään ympärireaktorissa muodostuva kaasumäärä. Kaasunäytteistä analysoitiin laboratoriossa kaasukromatografisesti CH<sub>4</sub> ja CO<sub>2</sub>.

## 7.2.2 Maatilaamittakaavan biokaasutuotantotestaus

Maatilaamittakaavaiset biokaasukokeet tehtiin koulutuskeskus JEDUn Haapajärven bioreaktorissa 15.10. – 17.12.2020. Bioreaktori on tilavuudeltaan 120 m<sup>3</sup> ja jälkimädätysallas noin 350 m<sup>3</sup>. Se toimii normaalisti naudon lietelannalla, mutta tässä kokeessa mukaan syötettiin elokuussa 2020 säilöttyjä vesirutto-säilönurmipaaleja. Vesirutto-säilönurmipaaleista otettiin 2 kairausnäytettä/paali rehuanalyysiin. Paalit punnittiin koulutilan traktorin etukuormaajassa olevalla kuormainvaa'alla ja niiden painot olivat 730–970 kg (kuiva-ainepitoisuuden vaihdella 216–480 g/kg ka) (Taulukko 16). Paalien syöttö biokaasureaktoriin aloitettiin mörimistä paaleista 4 ja 5. Paaleissa oli noin puolet vesiruttoa ja puolet nurmirehua, ja niitä käytettiin yhteensä viisi kappaletta. Syöttönopeus oli keskimäärin 112,2 kg /vrk eli noin paali per viikko (785 kg/vko).

Taulukko 16. Paalien painot, pH, kuiva-aine- tuhka- ja kiintoainepitoisuus.

Ominaisuus	Yksikkö	Paalin numero					
		5	4	3	2	1	ka
pH		3,63	3,82	4,06	3,94	4,03	3,89
Kuiva-aine	g/kg	216	308	224	480	351	315,8
Tuhka	g/kg ka	86	68	106	78	87	85
Kiintoaine	g/kg	130	240	118	402	264	231
Paalin paino	kg	970	770	830	730	740	

Kokeen aikana perussyötteenä oli koulutilan navetalta tullut lietelanta, jota syötettiin reaktoriin keskimäärin 5,4 m<sup>3</sup>/vrk, eli keskimääräinen viipymäaika oli 22 vrk. Lisäsyötejaksonpituus oli 36 vrk, jona aikana lietettä pumpattiin reaktoriin 198 m<sup>3</sup> sisältäen vesiruttopaalit. Lietemittarin mukaan lietettä pumpattiin tuolloin 194 m<sup>3</sup>, joten säilörehusta kertyi puuttuva 4 m<sup>3</sup>. Biokaasureaktorin tuottamaa kaasua mitattiin ns. vuorokauden keskimääräisellä tuotolla. Mittarit analysoivat kaasuntuoton m<sup>3</sup>/h.

## 7.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

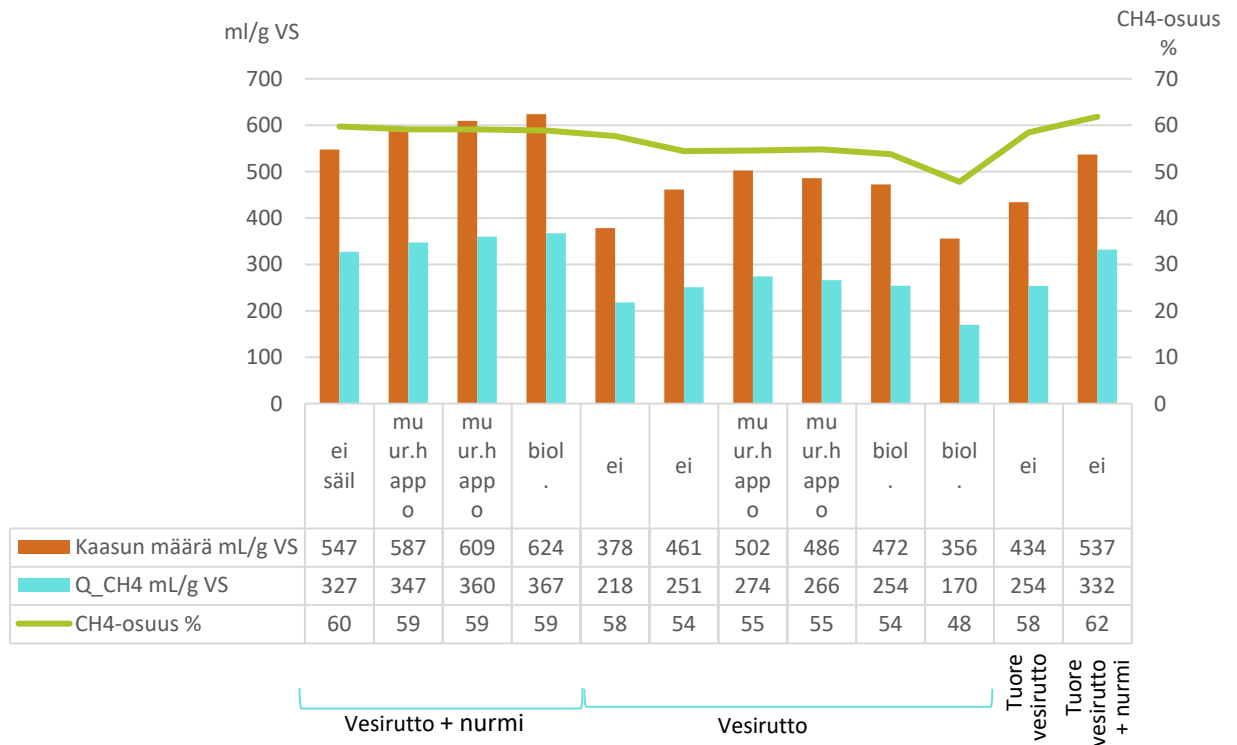
### 7.3.1 Laboratoriomittakaavan metaanintuottopotentiaali

Tuoreen vesiruton kaasuntuotanto ilman säilöntäainetta oli 434 ml/g VS, josta 58 % oli metaania. Vesiruttoa ja nurmea seostettiin noin 9:1, ja tämän seoksen kaasuntuotanto tuoreena ilman säilöntää oli 537 mg/l VS ja metaanin osuus 62 % (Kuva 40). Ilman säilöntäainetta säilötyn vesiruton kaasuntuotanto oli 378 ja 461 mg/l VS. Ero säilöttyjen näytteiden välillä johtunee niissä havaituista homeista. Vesiruton ja nurmen seoksen kaasuntuotanto (537–624 ml/g VS) oli kaikissa käsittelyissä korkeampi kuin pelkän vesiruton (434 ml/g VS). Kaasuntuotanto oli korkein biologisella säilöntäaineella säilötyssä vesirutto-nurmiseoksessa (624 ml/g VS). Nurmen kaasuntuotanto on kirjallisuuden perusteella 530–600 ml/g VS (Taulukko 17), joten vesirutto seosaineena paransi kaasuntuotantoa pelkkään nurmeen verrattuna sekä tuoreena että kaikilla säilöntätavoilla säilötyinä. Kirjallisuudessa (taulukko 17) vesiruton kaasuntuotanto on ollut 700–750 ml/g VS, joten tähän verrattuna Vuotunkijärven vesiruton kaasuntuotanto oli alhaisempi

ollen tuoreena 434 ml/g VS. Säilöntä paransi useimmissa käsittelyissä vesiruton kaasuntuotantoa (Kuva 40).

Taulukko 17. Biokaasun ja metaanin saantojen vertailu eri syötteillä. <sup>(1)</sup>Weiland 2010, <sup>(2)</sup>Debowski ym. 2013, <sup>(3)</sup>Karjalainen ym. 2017).

Syöte	I / g VS	I CH <sub>4</sub> / g VS
Sokerijuurikas <sup>1)</sup>	0,73–0,77	0,39–0,41
Vehnä (koko kasvi) <sup>1)</sup>	0,65–0,7	0,35–0,38
Vehnä (jyvä) <sup>1)</sup>	0,7–0,75	0,37–0,40
Nurmi <sup>1)</sup>	0,53–0,6	0,29–0,32
Puna-apila <sup>1)</sup>	0,53–0,62	0,30–0,35
Levä <sup>2)</sup>	0,34 (0,2–0,5)	0,18
Vesirutto <sup>3)</sup>	0,7–0,75	0,36–0,39



Kuva 40. Biokaasuntuotantopotentiaali säilöntäkokeiden jälkeen.

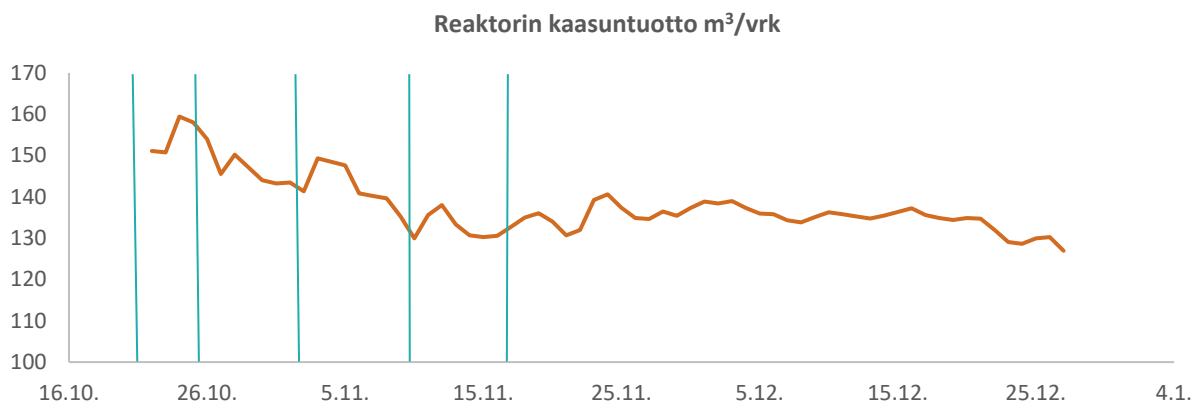
Metaanin osuus muodostuneesta kaasusta oli kaikilla vesirutto ja nurmiseoksilla ja kaikilla käsittelyillä korkeampi kuin pelkän vesiruton metaanin määrä. Korkein metaanin saanto oli tuoreessa vesirutto-nurmiseoksessa (62 %). Säilötyillä vesirutto-nurmiseoksilla metaanin osuus oli 59–60 %. Säilötyistä vesirutto-nurmiseoksista ilman säilöntäainetta säilötyin seoksen metaaniosuus oli korkein (60 %) mutta tämän seoksen kokonaiskaasuntuotanto ja metaanin kokonaismäärä olivat käsittelyistä alhaisimmat (547 ml/g VS, 324 ml CH<sub>4</sub>/g VS). Korkein kaasuntuotanto ja metaanisaanto oli biologisella säilöntäaineella säilötyillä vesirutto-nurmiseoksella (624 ml/g VS kaasua ja 367 ml CH<sub>4</sub>/g VS). Biokaasun ja metaanin saanto biologisen säilönnän jälkeen oli myös korkeampi kuin tuoreen seoksen.

Pelkkää vesiruttoa sisältäneiden näytteiden säilönnoissä kaasun metaaniosuus oli vesirutto-nurmiseoksia alhaisempi (48–58 %). Tuoreen vesiruton ja ilman säilöntäainetta säilötyn vesiruton metaanin tuotanto oli prosentuaalisesti sama (58 %) mutta kaasun kokonaissaanto säilönän jälkeen oli 13 % alhaisempi ja metaanin saanto 14 % alhaisempi. Muurahaishappo ja biologinen säilöntäaine paransivat vesiruton kaasuntuotantoa ja muodostuneen biokaasun määrä oli myös hieman korkeampi.

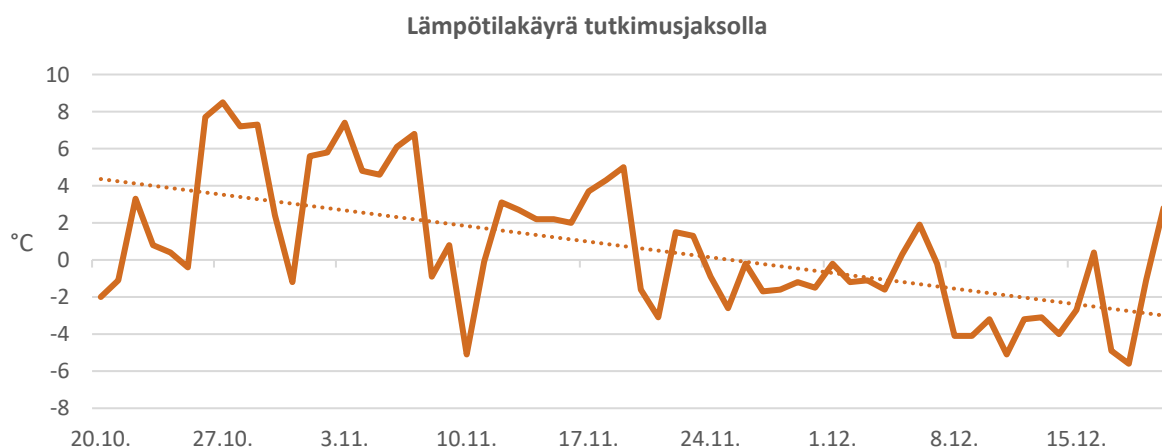
Pienen mittakaavan biokaasutuotantotesteissä havaittiin, että seostamalla vesiruttoa nurmen kanssa saadaan parannettua biokaasuntuotantoa verrattuna pelkkään vesiruttosyötteeseen. Myös metaanin suhteellinen osuus muodostuneesta kaasusta oli vesirutto-nurmiseoksilla parempi. Parhaan absoluuttisen kaasuntuoton (624 ml/g VS) antoi biologisella säilöntäaineella säilötty vesirutto-nurmiseos, joten tämä käsittelyvaihtoehto valikoitui maatilakokoluokan biokaasutestaukseen.

### 7.3.2 Maatilakokoluokan biokaasutestaus

Kaasun tuotto kokeen alkuvaiheessa oli keskimäärin 150–160 m<sup>3</sup>/vrk. Kokeen loppuvaiheessa kaasuntuotto putosi noin tasolle 135 m<sup>3</sup>/vrk (Kuva 41). Reaktorin kaasuntuottoon vaikuttaa oleellisesti ulkoilman lämpötilä. Kokeen aikana säävaihteluita (Kuva 42) oli jonkin verran, mutta keskimäärin koejakso sujui ilman kovia pakkasia ja paalien jäätyksiä. Vesirutto-säilöhupaalien lisäys näkyi kaasuntuotossa ”sykäyksittäin” kokeen aikana. Keskimäärin lisäys nosti kaasuntuottoa noin 10–12 m<sup>3</sup>/vrk, mikä on samansuuntainen kuin koulutilan aikaisemmissa säilöhun kaasukokeissakin.



Kuva 41. Bioreaktorin kaasuntuotanto (m<sup>3</sup>/vrk) koejakson aikana. Pystyviivalla on merkitty ajankohdat, jolloin reaktoriin on syötetty uusi vesiruttosäilöhupaali.



Kuva 42. Ulkolämpötila tutkimusjaksolla.

Biokaasulaitoksesta tulevaa kaasua tutkittiin Dräger-mittarilla, jolla määritettiin metaanin, hiilidioksidin, hapen ja rikkivedyn pitoisuudet (Taulukko 18). Koejakson aikana metaanin pitoisuuden vaihteluväli oli 55–60 tilavuus-%, joka vastaa keskimääräistä biokaasuntuotantoa (Taulukko 19).

Taulukko 18. Biokaasulaitoksesta tulevan kaasun koostumus koejakson aikana syksyllä 2020.

Kaasu	16.10.	10.11.	12.11.	23.11.	30.11.	9.12.	17.12.	28.12.	ka
CH <sub>4</sub> (til-%)	57	60	57	55	56	60	57	57	57,4
CO <sub>2</sub> (til-%)	38	39	39	35	38	34	39	38	37,5
O <sub>2</sub> (til-%)	0,8	0,8	1,1	1	1,1	0,9	0,9	0,9	0,95
H <sub>2</sub> S (ppm)	12	yli 500	68	42	129	81	81	126	89

Taulukko 19. Biokaasun keskimääräinen koostumus (Motiva).

Aine	%
Metaani CH <sub>4</sub>	55–75
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub>	25–45
Hiilimonoksidi CO	0–0,3
Typpi N <sub>2</sub>	1–5
Vety H <sub>2</sub>	0–3
Rikkivety H <sub>2</sub> S	0,1–0,5

Biokaasureaktorilta tulevasta poistoputkesta otettiin kolme lietenäytettä: lisäysvaiheessa (15.11.), kaasun tuotannon maksimivaiheessa (26.11.) ja lisäsyötteen poistuttua reaktorista (15.12.). Näytteistä selvitettiin ravinne-, kosteus- ja kuiva-ainepitoisuudet (Taulukko 20). Lieterejektien kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat välillä 5,8–6,1 %. Typpipitoisuus oli korkeimmillaan kaasun tuotannon maksimivaiheessa (4,7 kg kok. N/t, 2,9 kg liuk. N/m<sup>3</sup>, 80 g kok. N/kg ka). Sen sijaan kalium ja fosfori olivat korkeimmillaan heti lisäysvaiheessa. Naudanlantaan verrattuna tyypeä on karkeasti saman verran, fosforia ja kaliumia hieman vähemmän. Naudan lannoissa on kuitenkin merkittäviä eroja tilojen välillä ja käytetyistä kuivikkeista riippuen (Luostarinen ym. 2017).

Taulukko 20. Lieterejektin ominaisuudet.

Näyte- pvm	Fosfori (P) kg/m <sup>3</sup>	Fosfori (P) kg/t	Fosfori (P), kok g/kg ka	Kalium (K) kg/m <sup>3</sup>	Kalium (K) kg/t	Kalium (K), kok g/kg ka	Kosteus %	Kuiva-aine %	Typpi (N), kok kg/m <sup>3</sup>	Typpi (N), kok kg/t	Typpi (N), liuk kg/m <sup>3</sup>	Typpi (N), liuk kg/t	Typpi (N), kok g/kg ka	Typpi (N), liuk g/kg ka
15.11.	0,66	0,65	11	3,5	3,5	60	94,2	5,8	4,4	4,3	2,7	2,6	74	45,6
26.11.	0,62	0,61	10	3,5	3,4	58	94,1	5,9	4,7	4,7	2,9	2,9	80	49
15.12.	0,64	0,63	10	3,4	3,3	55	93,9	6,1	4,6	4,5	2,8	2,7	74	44,5

#### 7.4 Johtopäätökset

Pienen mittakaavan laboratoriomääritysten perusteella vesiruton säilöminen säilörehun säilöntämenetelmällä jopa paransi vesiruton biokaasutuotantopotentiaalia, parhaimmillaan 14 %. Muurahaishappo oli paras aine vesiruton säilömiseen. Vesiruton seostaminen nurmen kanssa oli myös biokaasutuotannolle eduksi mutta tällöin paras säilöntämenetelmä oli biologinen säilöntä. Metaanin tuotanto oli myös parempaa vesirutto-nurmiseoksella. Maastokokeissa havaittiin, että pelkän vesiruton paalaaminen oli sen silpuuntumisen vuoksi haastavaa, joten vesirutto-nurmiseoksella toteutettavat maatilakokoluokan testit olivat luonnollinen valinta.

Rehuanalyysien perusteella vesirutto-säilörehupaalit ovat hyvin lähellä normaalia timoteivaltaista säilörehua. Kokeessa lisäsyötteen määrä (112 kg/vrk) biokaasureaktorille jäi hyvin vähäiseksi. Silti lisäsyötemäärä lisäsi reaktorin kaasuntuottoa selkeästi (10–12 m<sup>3</sup>/vrk). Reaktorilta tulevaan kaasun laatuun ei lisäsyötteellä ollut suurta vaikutusta. Jatkossa biokaasutettavaa vesiruttoa olisi hyvä saada säilöttyä yksistään omaan paaliin, jotta nähdään nimenomaan vesiruton vaikutus biokaasutuotantoon. Lisäsyötteen määrä voisi olla jopa 300 kg/vrk, eli 2 pyöröpaalia viikossa.



## 8 Vesistövaikutusten arviointi

**Minna Kuoppala, Seppo Hellsten & Joonas Kahiluoto**

### 8.1 Johdanto

Vuotunkijärvi (73.042.1.001\_001) sijaitsee Koutajoen latvavesistöalueella, ja sen vedet laskevat Ala-Vuotunki-järven ja Kuusinkijoen kautta Venäjän puolelle. Järvi on kooltaan 218 ha ja rantaviivaa sillä on 14,7 km. Vuotungin keskisyvyys on vain 0,96 m ja suurin syvyys 7,5 m (Järvirekisteri 2021). Pintavesityypiltään Vuotunki on hyvin lyhytviipymäinen järvi. Veden keskimääräinen viipymä järvessä on vesistömallijärjestelmän (VEMALA 2021) mukaan vain 2 vrk.

Ensimmäiset tiedot vesiruton esiintymisestä ja massakasvustoista Vuotungilla ovat vuodelta 2010, jolloin selvitettiin vesiruton levinneisyyttä Kuusamon järvillä. Kuusamossa lajia on kuitenkin tavattu jo yli 20 vuotta, sillä laji havaittiin Pistojokeen laskevissa vesistöissä vuonna 1999. Koillismaan ensimmäinen havainto on Taivalkosken Koitijärvestä 1980- ja 1990-luvun vaihteesta (Väisänen ym. 2017). Vesirutto on todennäköisesti edelleen leviämässä Pohjois-Suomessa jääpeiteajan lyhenemisen ja ilmaston lämpenemisen myötä (Heikkinen ym. 2009).

Vesirutto leviää luontaisesti virtausten ja vesilintujen mukana pienistäkin kasvin palasista. Myös ihminen levittää lajia vesiliikenteen ja kalastusvälineiden mukana. Siten lajin poistaminen tai vähentäminen pysyvästi on vaikeaa. Huolimattomasti tehty poisto voi saada aikaan lajin vähenemisen sijaan sen runsastumisen. Jos poistetaan kerralla suuri määrä vesiruttoa, leväkukintojen riski kasvaa. Samoin riskiä kasvattaa vesiruton sisältämän ravinteikkaan veden valuminen takaisin vesistöön (Karjalainen ym. 2017, Ulvi ym. 2017).

Vesiruton korjuuta on tehty pitkään Littoistenjärvellä Kaarinassa. Littoistenjärvi on voimakkaasti sisäkuormitteinen järvi, jossa vesirutto runsastui 1980-luvun puolivälissä. Massaesiintymät ja kasvustojen taantumiset ovat vuorotelleet järvessä, ja uposkasvien kuoltua on talvisin esiintynyt happikatoa. Tämä on puolestaan johtanut fosforipitoisuuksien nousuun vesiruttokasvustojen hajotessa. Uposkasvillisuuden laajamittainen niitto 1990-luvulla ei tuottanut tulosta, vaan jäljelle jäävien kasvustojen kasvu kiihtyi. 2000-luvulla vesiruttoa on ollut vähän, mutta järven vesi on samentunut ja sinileväkukinnat ovat tulleet tilalle. Vuonna 2017 fosforin saostamiseksi ja pidättämiseksi tehdyn kemiallisen käsittelyn jälkeen vesirutto runsastui uudelleen, mutta sen määrä on pysynyt maltillisena (Sarvala ym. 2020).

### 8.2 Aineisto ja menetelmät

#### 8.2.1 Vedenlaatuanalyysit

Vuotungilta otettiin vesinäytteet syvänteestä ja pohjoisosan näytteenotto paikasta vuosittain kesäkuussa, elokuussa ennen vesiruton poistoa ja syyskuussa aikavälillä 17.6.2019 ja 28.7.2021 (Kuva 43). Pohjoisosan näytteenotto paikalla syvyys on 1,2 m ja paikalla kasvaa runsaasti vesiruttoa. Syvänteen näytteenotto paikalla syvyys on 7 m, mikä on luonnollisesti liian syvää vesirutolle valon vähyyden vuoksi.

Fosforista analysoitiin kokonaisfosfori ja fosfaattifosfori. Tyypestä analysoitiin kokonaistyyppi, nitriitti-nitraattityppi sekä ammoniumtyppi. Vesinäytteistä analysoitiin myös alkaliniteetti, kiintoaine ja sameus. Lisäksi vuonna 2021 analysoitiin klorofyllipitoisuudet näiltä kahdelta näytteenotto paikalta sekä kolmelta uudelta havaintopaikalta, joiksi valittiin pohjoinen nuottausalue (kaksi poistokertaa), eteläinen nuottausalue (yksi poistokerta) ja Vuotunki vertailualue (ei vesiruton poistoa). Kenttämittarilla mitattiin vesinäytteenottojen yhteydessä pH, sähkönjohtavuus, happi ja lämpötila. Myös aiempien vesinäytteenottojen tuloksia koottiin vuosilta 1981–1997.



Kuva 43. Vuotunkijärven vedenlaadun havaintopaikat.

Vedenlaatua seurattiin vuonna 2020 ennen ja jälkeen vesiruton poiston myös jatkuvatoimisella EXO2-laitteella, joka asetettiin mittaamaan vedenlaatua puolen tunnin välein. Jatkuvatoimisesti seurattiin sähkönjohtavuutta, happamuutta, sameutta ja lämpötilaa, fluorisoivaa liuennutta orgaanista ainesta (fDOM, Fluorescent Dissolved Organic Matter), redox (ORP eli Oxydation Reduction Potential, kuvaa veden potentiaalin vastaanottaa tai luovuttaa elektroneja), kiintoainepitoisuutta (TSS) ja kokonaiskiintoainepitoisuutta (TDS).

## 8.2.2 Ilmakuvat

ElodeaII -hankkeen dronikuvaukset suoritti SYKEN laboratorokeskus. Näkyvän valon (RGB) -kuvauksissa käytettiin DJI Mavic 2 pro ja DJI Phantom 4 pro -dronoja. Multispektrikuvaukset tehtiin DJI Phantom 4 pro -dronilla, johon oli vaihdettu gimbaalin tilalle Parrot Sequoia -multispektrikamera. Multispektrikuvauksiin käytettyyn droniin oli lisäksi asennettu säteilyvoimakkuutta mittaava taustavalo-sensori radiometristä korjausta varten. Karttalennot suunniteltiin DroneDeploy -applikaatiolla käyttäen 50 metrin lentokorkeutta. Kuvien päällekkäisyys jätettiin ohjelman automaattisesti määrittämäksi mikä johti keskimäärin noin 75 % pitkittäissuuntaiseen ja 70 % sivuttaissuuntaiseen päällekkäisyyteen alueesta riippuen. Multispektrikuvauksissa kamera ohjelmoitiin ottamaan kuvia 9.1 metrin välein, mikä vastaa 80 %:n päällekkäisyyttä 50 m lentokorkeudella.

Kuvauksissa käytettiin kameroiden parasta saatavilla olevaa kuvanlaatua. RGB-kuvien osalta tämä tarkoitti 4864 x 3648 resoluutiota (4K) ja multispektrikuvien osalta 1280 x 960 resoluutiota.

Karttakuvauksista koostettiin ortomosaiikit käyttämällä Pix4D Mapper ja Pix4D Fields -ohjelmia. Ortomosaiikkien pikselikooksi muodostui näin noin 1 cm/pikseli RGB-kuville ja vastaavasti noin 5 cm/pikseli multispektrikuville. Ilmakuvien asemoinnissa ei käytetty erillisiä kontrollipisteitä vaan pelkästään dronen kuviin tallentamia koordinaatteja. Pääosin veden päältä kuvatut aineistot osoittautuivat erittäin haastaviksi fotogrammetriaan perustuville ohjelmille eikä kaikkien kuvausten aineistoja saatu koostettua mosaiikeiksi. Kuvien yhdistely tapahtuu ohjelmissa sijaintitietojen hyödyntämisen lisäksi kiintopisteitä etsimällä mikä on ymmärrettävästi hankalaa tuulen ja auringonvalon vaikutuksesta elävän vedenpinnan tapauksessa. Kuvausalueisiin kannattaisi mahdollisuuksien mukaan sisällyttää maata ja toteuttaa kuvaukset tasaisissa valaistusolosuhteissa tyynellä säällä.

Ortomosaikoiduille RGB-ilmakuville tehtiin objektiperusteinen luokittelu eCognition -ohjelmalla. Kuvien segmentointi tehtiin Multiresolution segmentation -algoritmeilla. Maastoinventointien ja visuaalisen kuvatulkinnan perusteella voitiin olettaa, että kasvillisuus koostui lähes yksinomaan kanadanvesirutasta, joten vesialue jaettiin kolmeen vesiruton runsausluokkaan. Ranta-alueet luokiteltiin tarvittaessa metsään ja metsän varjoalueisiin. Kutakin luokkaa edustamaan valittiin ilmakuvilta näytealueita, minkä perusteella kasvillisuus luokiteltiin käyttäen Nearest Neighbor -luokittelumenetelmää. Vuoden 2020 ilmakuvilta erotettiin poiston seuranta varten muodostettu koeala, jonka toiselta lohkolta (0,25 ha) vesirutto oli poistettu vuonna 2019 ja toiselta (0,14 ha) vuosina 2019 ja 2020. Vesiruton runsausluokkien pinta-alat lohkoilla laskettiin kaikkien kolmen vuoden ilmakuvilta ArcMap -ohjelmalla.

### 8.2.3 Kasvillisuusnäytealat ja päävyöhykelinjat



Kuva 44. Kasvillisuusnäytealojen sijainti Vuotongilla.

Hankkeessa tehtiin 1 m<sup>2</sup> kokoisia kasvillisuusnäytealoja kolmelle alueelle Vuotungilla (kuva 44) elokuun alussa ennen vesiruton poistoa vuosina 2019–2020 sekä vuonna 2021, jolloin poistoa ei enää tehty. Alueista kaksi oli Isoniemen lähellä paikoilla, joilla poistettiin vesiruttoa ja yksi vertailualueella Itälähdellä. Näytealoilta mitattiin syvyydet ja koordinaatit DGPS-laitteella. Isoniemen kärjen läheisellä alueella ja vertailualueella näytealoista kolmannes sijoitettiin kortteikon laitaan, kolmannes noin viisi metriä laidasta ja kolmannes 10–25 m laidasta.

Vuotungilla on tehty vesikasviseuranta osana vesienhoidon biologista seurantaan vuosina 2014 ja 2021 Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen tilaamana. Molempina vuosina tehtiin kuusi päävyöhykelinjaa Järvinen ym. (2019) ohjeiden perusteella eri puolille järveä (Kuva 45). Linja-aineistosta laskettiin luokitteluindeksien arvot (tyyppilajien suhteellinen osuus, prosenttinen mallinkaltaisuus ja rehevyysindeksi) (Aroviita ym. 2019). Indekseistä prosenttinen mallinkaltaisuus käyttää lajien runsausarvoja ja muut indekset lajien esiintymistä. Käytetty runsausarvo on suhteellinen kasvillisuusindeksi, joka on lajin kasvillisuusindeksin osuus järven koko vesikasvilajiston yhteenlasketuista kasvillisuusindekseistä.

$$V = 2^{(\text{yleisyys} + \text{runsaus}) - 1}$$

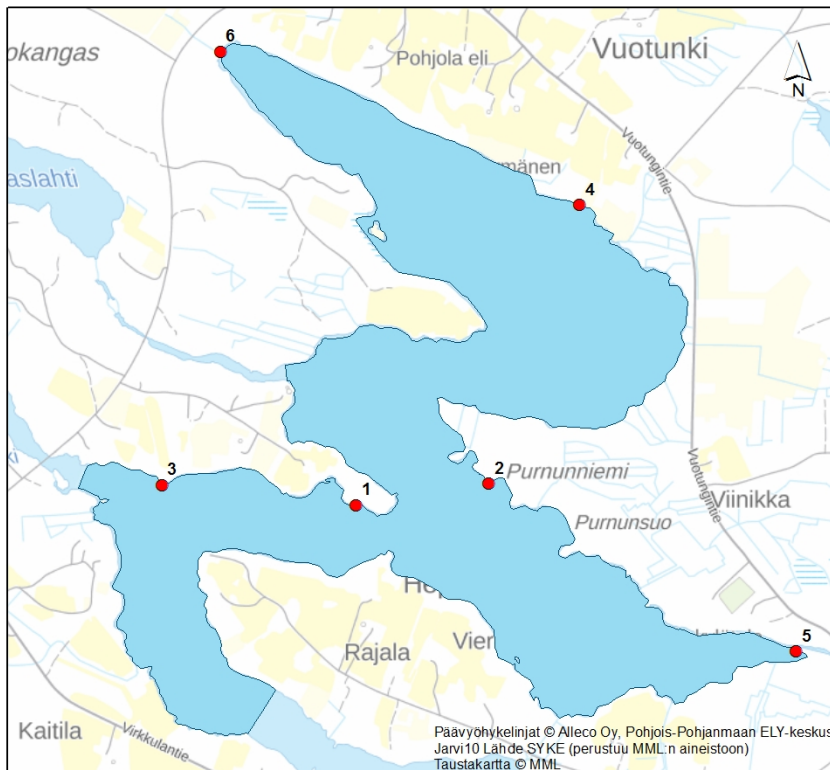
jossa,

V = kyseisen lajin kasvillisuusindeksi,

yleisyys = kuinka monella linjalla tutkituista linjoista laji on esiintynyt (%) muutettuna 7-asteikolle seuraavasti: 1 = alle 0,5 %, 2 = 0,5–1 %, 3 = 1–5 %, 4 = 5–25 %, 5 = 25–50 %, 6 = 50–75 % ja 7 = 75–100 %.

runsaus = lajin keskimääräinen peittävyys linjoilla muutettuna 7-asteikolle.

Koska lyhytviipymäisille järville ei ole luokittelussa vertailuarvoja eikä luokkarajoja, käytettiin ekologisen luokan laskennassa kalkkijärvien vastaavia arvoja. Linja-aineiston avulla voitiin tarkastella myös upposkasvivyöhykkeen syvyyksien ylä- ja alarajoja vuosina 2014 ja 2021.



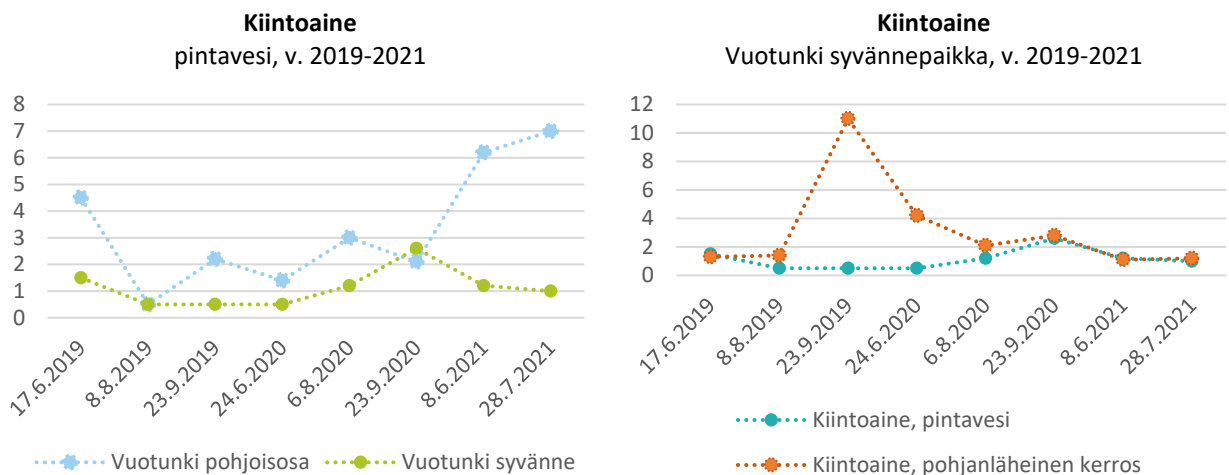
Kuva 45. Päävyöhykelinjojen sijainnit Vuotungilla.

## 8.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

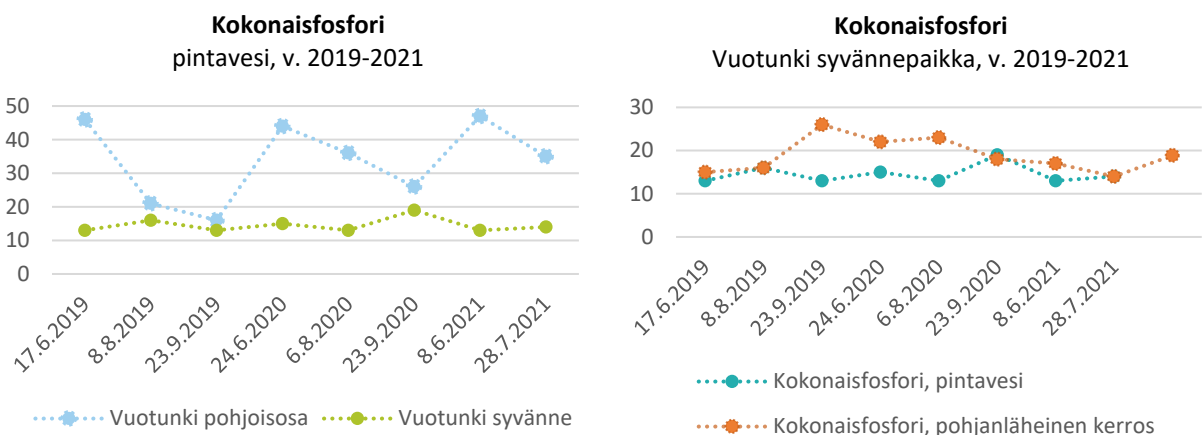
### 8.3.1 Vedenlaatu

Kiintoaine on vaihdellut Vuotungin pohjoisosan havaintopaikalla pintavedessä 0,5–7,0 mg/l keskiarvon ollessa 3,4 mg/l (Kuva 46). Viimeisenä näytteenottovuonna kiintoainepitoisuudet ovat olleet korkeammat (6,2–7,0 mg/l) kuin edellisinä vuosina. Syvänteen havaintopaikalla pintaveden kiintoainepitoisuudet ovat olleet pienempiä ja vaihtelu vähäisempää. Kiintoainepitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 0,5–2,6 mg/l, ja niiden keskiarvo 1,1 mg/l. Pohjanläheisessä kerroksessa kiintoainepitoisuus on ollut pääasiassa välillä 1,1–4,2 mg/l lukuun ottamatta syyskuun 2019 näytteenottoa, jolloin pitoisuus oli 11 mg/l. Pohjanläheisessä kerroksessa kiintoaineen keskiarvo oli 3,1 mg/l.

Pintaveden kokonaisfosfori on vaihdellut Vuotungin pohjoisosassa välillä 16–47 mg/l keskiarvon ollessa 34 mg/l (kuva 47). Korkeimmat pitoisuudet ovat olleet vuosittain kesäkuussa. Vuotungin syvänteessä pintaveden kokonaisfosforipitoisuudet ovat olleet selvästi pienempiä, 13–19 mg/l (keskiarvo 14 mg/l). Syväntepaikan pohjanläheisessä kerroksessa pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 14–26 mg/l (keskiarvo 19 mg/l).



Kuva 46. Kiintoaineen pitoisuudet 17.6.2019-28.7.2021 Vuotungin pohjoisosassa ja syvänteessä.

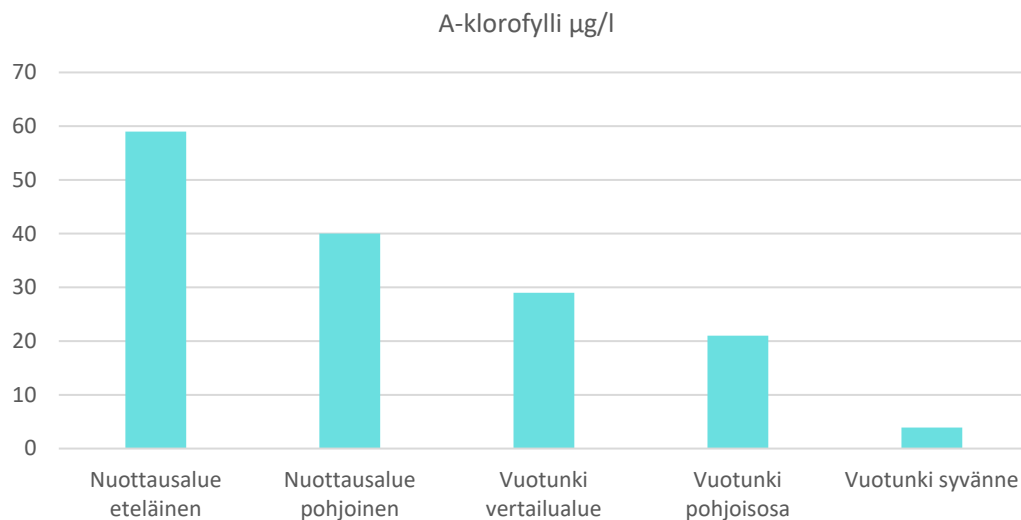


Kuva 47. Kokonaisfosforin pitoisuudet 17.6.2019-28.7.2021 Vuotungin pohjoisosassa ja syvänteessä.

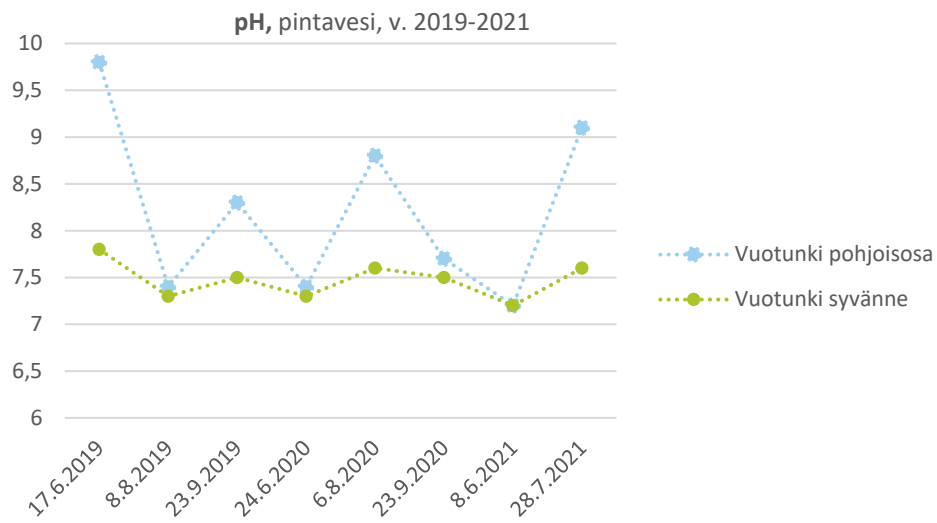
Levien määrä vaihtelee paitsi käytettävissä olevien ravinteiden myös säiden mukaan. Pohjoisosan eteläosaa korkeammat kokonaisfosforipitoisuudet heijastuvat a-klorofyllin pitoisuudessa. Pohjoisosassa oli eroja myös vertailualueen ja nuottausalueiden a-klorofyllin suhteen, mikä saattaa viitata siihen, että poistoalueilla vesiruton kilpailu ravinteista ei rajoita niin voimakkaasti kasviplanktonin määrää. Kahdesta poistoalueesta a-klorofylli kuitenkin oli matalampi alueella, jossa poisto oli tehty kahtena vuonna ja poistoalue laajempi. Eteläisen poistoalueen lähellä olevan rannan maankäyttö voi vaikuttaa mitattuihin korkeisiin a-klorofyllin pitoisuuksiin (Kuva 48).

Vuotungilla on alueen järvelle tyypillisesti korkea alkaliniteetti ja pH. Alkaliniteettiarvot jäävät kuitenkin pääosin hieman runsaskalkkisen järven määrittelyssä käytetyn rajan 0,4 mmol/l alle. Alkaliniteettiarvot vaihtelivat vuosina 2019–2021 välillä 0,32–0,42 mmol/l, keskiarvon ollessa 0,37 mmol/l. Vuosien 1981–1997 pääosin kesällä tehtyjen näytteenottojen (n=7) alkaliniteettiarvojen keskiarvo on lähes sama eli 0,36 mmol/l. Suurin mitattu arvo on ollut tällä ajanjaksolla 0,37 mmol/l.

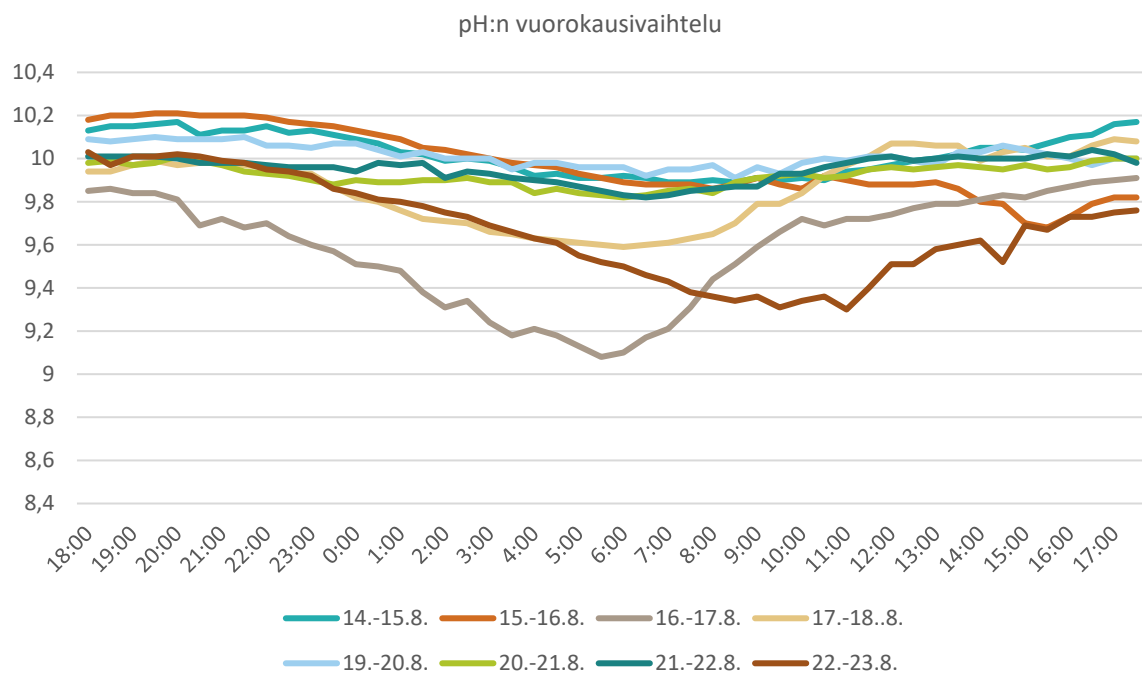
Kenttämittausten pH vaihteli pohjoisosan pintavedessä välillä 7,2–9,8 (Md 7,7). Syvännepaikalla pH:n vaihtelu oli pienempää eli 7,2–7,8 (Md 7,5). Automaattisen vedenlaadun seurantalaitteen mitaamat pH-arvot olivat korkeampia kuin kenttämittausten (Kuvat 49, 50 ja 51). Poiston jälkeisinä päivinä pH:n vaihtelu on ollut vähäisempää, mutta pH:n vaihtelu on palautunut neljäntenä vuorokautena niitosta (Kuvat 49 ja 50).



Kuva 48. A-klorofyllin pitoisuus eri havaintopaikoilla 28.7.2021.



Kuva 49. Kenttämittausten pH Vuotunkijärvellä.



Kuva 50. Jatkuvoimisesti mitattu pH:n vuorokausivaihtelu ennen nuottausta 14.8.–18.8.2020, ja nuottauksen jälkeen 19.-23.8.2020.



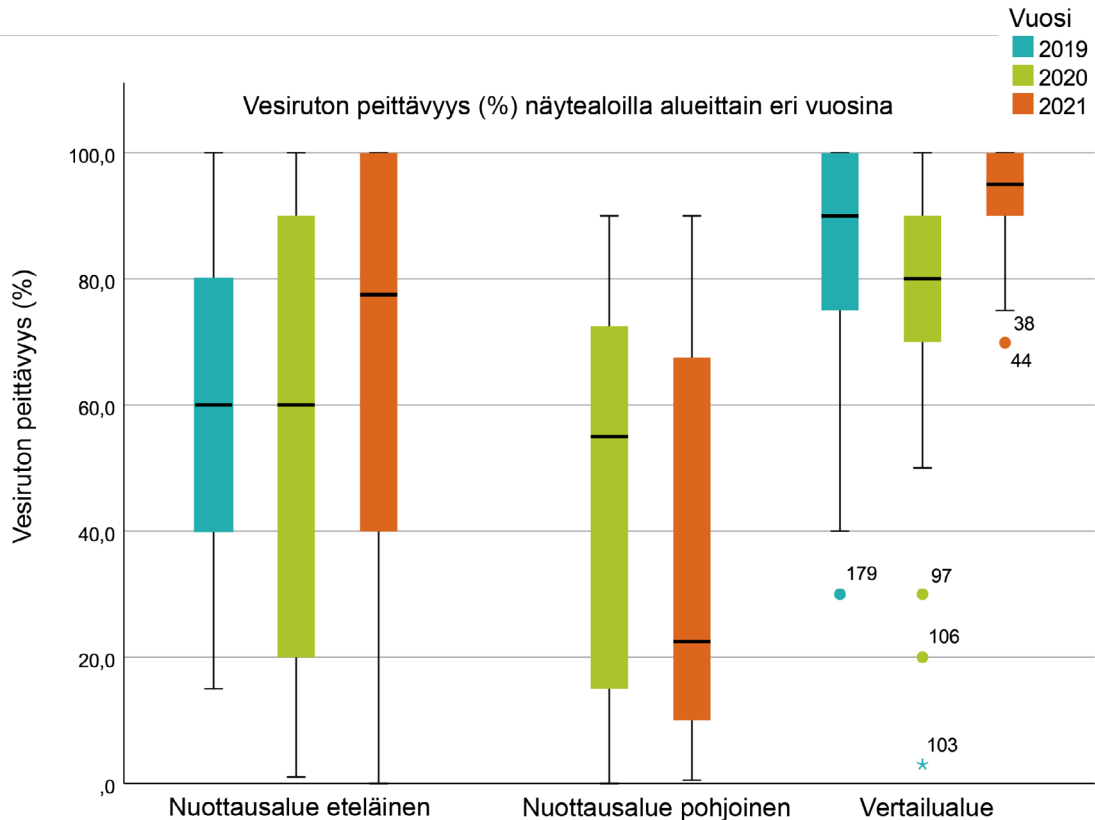
Kuva 51. Jatkuvatoomisesti mitattu pH:n vuorokausivaihtelu 10 päivän jaksolla ennen ja jälkeen nuottauksen. Nuottausajankohta merkitty oranssilla viivalla.

### 8.3.2 Kasvillisuusnäytealat ja päävyöhykelinjat

Vesiruton peittävyudet olivat korkeimmat kaikkina vuosina vertailualueella (Kuva 52, Taulukko 21), jossa vesiruton määrä vaihteli siten, että suurimmat peittävyudet olivat viimeisenä seurantavuonna. Pohjoisella nuottausalueella vesiruton määrä oli pienempi jälkimmäisenä seurantavuonna kahden poistokerran jälkeen. Eteläisellä nuottausalueella, jossa poisto tehtiin vain vuonna 2019, vesiruton määrä väheni ensimmäisen poiston jälkeen, mutta kasvoi selvästi kolmantena seurantavuonna. Hajonta oli pienin ensimmäisenä vuonna ja suurin poiston jälkeen vuosina 2020 ja 2021 koko aineistossa. Vertailualueella tilanne oli kuitenkin päinvastainen ja hajonta oli selvästi pienempi viimeisenä seurantavuonna. Kun tarkastellaan kaikkia seurantavuosia yhteensä alueittain, oli hajonta suurin pohjoisella seuranta-alueella. Tällä alueelta ei tehty näytealoja ennen vesiruton poistoa, jolloin hajonta olisi todennäköisesti ollut pientä. Suuri hajonta poiston jälkeen selittyy osin poistomenetelmällä, jossa vesiruttoa ei poistettu alueelta kokonaan vaan sitä jäi alueelle, koska ajolinjat olivat melko harvat.

Näytealoilla esiintyi muita lajeja varsin niukasti (Taulukko 21). Eteläisellä nuottausalueella ja vertailualueella, joissa osa näytealoista sijaitsi kortteikon laidalla, kasvoi järvikortetta (*Equisetum fluviatile*). Vuonna 2019 eteläisellä nuottausalueella tavattiin yhdellä näytealalla pitkälehtivitaa (*Potamogeton praelongus*). Nuottauksen jälkeen seuraavana vuonna sitä ei löytynyt, mutta vuonna 2021 lajia kasvoi näytealojen ulkopuolella samalla alueella. Vuosina 2020 ja 2021 havaittiin näkinpartaisleiviin kuuluvaa silopartaa (*Nitella* sp.) kummallakin kerralla yhdellä näytealalla. Kahden seurantavuoden aikana mikään laji ei selvästi yleistynyt vesiruton poiston myötä vapautuneella pohjalla.





Kuva 52. Kanadanvesiruton peittävyysien (%) jakaumat alueittain seurantavuosina. Laatikon keskellä oleva viiva kuvaa mediaania ja laatikko 50 prosenttia havainnoista. Näytealamäärät kuten taulukossa 21.

Taulukko 21. Näytealoilla tavattujen lajien yleisyydet (%) alueittain eri vuosina. Isoniemen itäpuolella ja Itälähdellä tutkittiin 25 näytealaa (paitsi vuonna 2021 22 näytealaa) ja pohjoisella nuottausalueella toistetut 16 näytealaa.

Alue	Vuosi	Näytealojen määrä	Yleisyys (%)			
			Järvikorte ( <i>Equisetum fluviatile</i> )	Pitkälehtivita ( <i>Potamogeton praelongus</i> )	Siloparta ( <i>Nitella</i> sp.)	Kanadanvesirutto ( <i>Elodea canadensis</i> )
Eteläinen nuottausalue - Vesiruton poisto 2019	2019	25	16	4,0	0	100
	2020	25	24	0	4,0	100
	2021	22	4,5	0	0	95
Pohjoinen nuottausalue - Vesiruton poisto 2019 ja 2020	2020	16	0,0	0	0	88
	2021	16	0	0	6,3	100
Vertailualue - Ei vesiruton poistoa	2019	25	16	0	0	100
	2020	25	16	0	0	100
	2021	25	16	0	0	100

Vuotunki luokituu hyvään tilaan sekä vuoden 2014 että 2021 päävyöhykelinja-aineistojen perusteella. Vuonna 2021 (Taulukko 22) kolmesta luokittelumuuttujasta järvi luokitui rehevyyttä ilmaisevan referenssi-indeksin suhteen erinomaiseen tilaan ja muiden muuttujien eli prosenttisen mallinkaltaisuuden (PMA) ja tyyppilajien suhteellisen osuuden (TT50SO) osalta hyvään tilaan. Vesiruton runsausosuuden väheneminen vuodesta 2014 vuoteen 2021 on parantanut PMA-muuttujan arvoa. Lajimäärän kasvu on

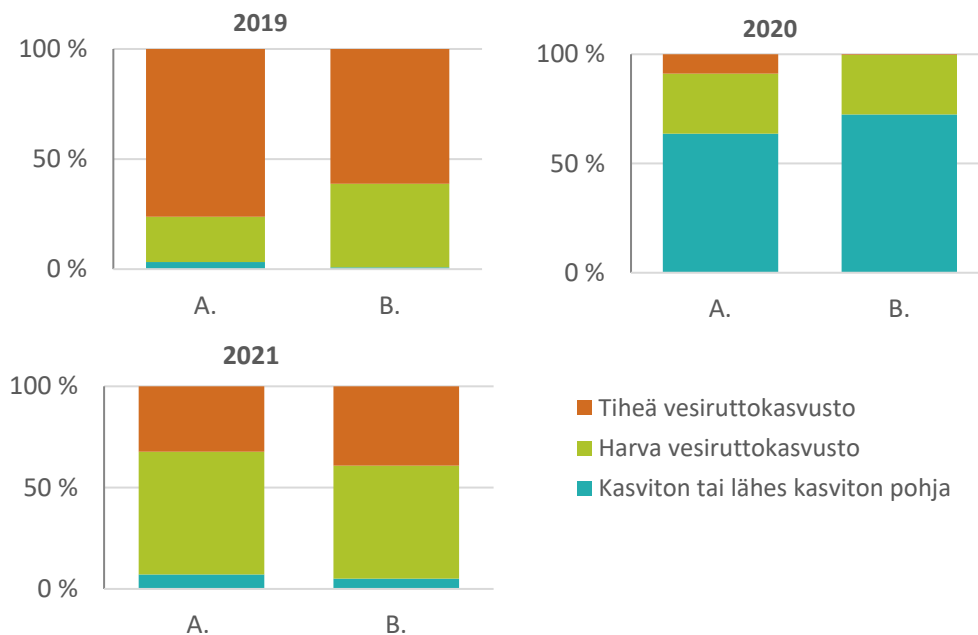
puolestaan pienentänyt tyyppilajien suhteellista osuutta, mikä saattaa viitata lievään rehevöitymiseen. Uusissa lajeissa on yksi eutrofiaa ja useita mesotrofisia olosuhteita ilmaisevia lajeja, toisaalta osa näistä kuten pikkuvita (*Potamogeton bechtoldii*) ja ahvenvita (*Potamogeton perfoliatus*) kuuluvat runsaskalkisten järvien tyyppilajeihin.

Taulukko 22. Vuotungin päävyöhykelinja-aineistojen perusteella laskettu ekologinen tila. Indeksien lyhenteet: RI = referenssi-indeksi, TT50SO = tyyppilajien suhteellinen osuus, PMA = prosenttinen mallinkaltaisuus. ELS = ekologinen laatusuhde. Luokkien lyhenteet: E = erinomainen, H = hyvä ja T = tyydyttävä.

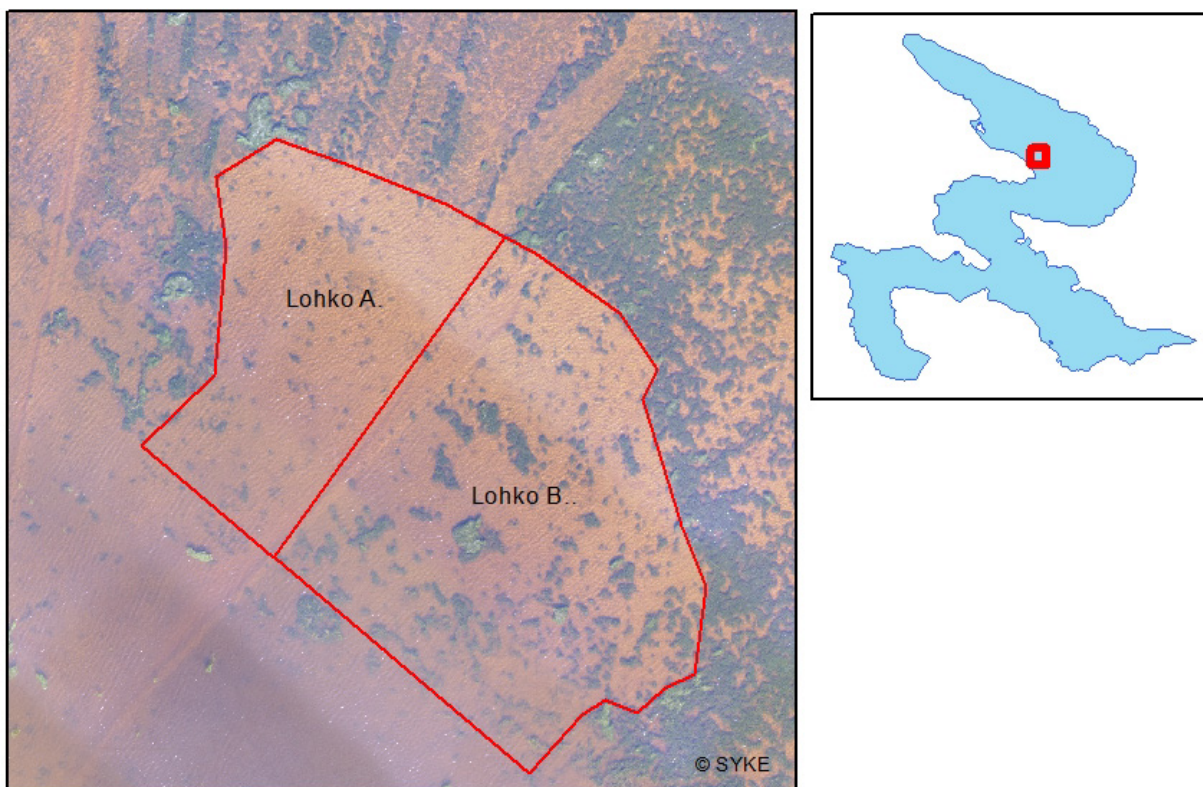
Vuosi	Indeksin arvo			ELS-arvo			Luokka		ELS-arvojen		Luokka
	RI	TT50SO	PMA	RI	TT50SO	PMA	PMA	TT50SO	RI	ka	
2014	50,00	0,37	21	0,86	0,83	0,40	T	E	E	0,69	H
2021	69,23	0,29	34	0,99	0,69	0,71	H	H	E	0,80	H

### 8.3.3 Ilmakuvat

Ilmakuvien automaattitulkinnan avulla tarkasteltiin vesiruton leikkauksen toiston tehokkuutta. Erityiskohteeksi valittiin noin 10 aarin kokoinen kahteen lohkokoon (A ja B) jakautuva ala, jonka molemmat puolet leikattiin vuonna 2019 ja B-lohko uudelleen vuonna 2020 (kuva 54). Vuosi vesiruton poiston jälkeen koealalla oli havaittavissa tiheitä kasvustoja noin puolella siitä pinta-alasta, jolla niitä oli ennen poistoa. Erot yhden ja kahden vuoden poistokäsittelyn välillä olivat pieniä 2020, mutta tiheet kasvustot puuttuivat kahteen kertaan leikatulta B-lohkolta. Vuonna 2021 ero lohkojen välillä oli hyvin vähäinen (Kuva 53).



Kuva 53. Vesiruton runsausluokkien pinta-alaosuudet poistokoealan lohkoilla. Lohkolla A yksi poistokerta vuonna 2019 ja lohko B kaksi poistokertaa (v. 2019 ja 2020). Vuoden 2019 pinta-alaosuudet kuvaavat tilannetta ennen vesiruton poistoa, v. 2020 ensimmäisen ja toisen poiston jälkeen ja v. 2021 vuosi viimeisimmän poiston jälkeen.



Kuva 54. Poistokoeala vuonna 2020. A-lohkosta vesiruttoa on poistettu vuonna 2019 ja juuri ennen kuvausta vuonna 2020. B-lohkosta vesiruttoa on poistettu vain vuonna 2019, noin vuosi ennen kuvausajankohtaa.

## 8.4 Johtopäätökset

Raivausnuottaus tässä hankkeessa käytetyllä laitteistolla poisti vesiruttoa hyvin, mikä voitiin havaita sekä ilmakuvista että näyteala-aineistosta. Näyteala-aineiston perusteella kaksi poistokertaa tuotti paremman tuloksen kuin yksi verrattaessa eteläistä ja pohjoista poistoaluetta. Poistokoealan käsittelylohkojen vertailussa ilmakuvamenetelmällä ei saatu samaa tulosta, vaan erot lohkojen välillä olivat hyvin pienet. Ilmakuviin liittyvien tulkintaongelmien takia automaattivertailuun valittu koealue oli melko matalalla ja hyvin pienialainen, jolloin kasvillisuus muodostaa nopeasti pintaan ulottuvia kasvustoja.

Ilmakuvilta oli havaittavissa, että raivausnuottauksessa jää vesiruttoa jonkin verran nuotan ulkopuolelle kellumaan. Siten etenkin luonnonsuojelullisesti tärkeillä kohteilla on tarpeen kerätä koko nuottausalueelta kellumaan jääneet kasvit. Poistomenetelmää olisi hyvä kehittää niin, että irronnut vesirutto saadaan mahdollisimman hyvin nuotan avulla kerätyksi.

Elodea I -hankkeessa annettujen suositusten (Karjalainen ym. 2017) mukaan uposkasvien poistamisessa kannattaa keskittyä tärkeimpiin alueisiin ja jättää muualle järveen riittävästi kasvillisuutta haittelisten seurausten välttämiseksi. Yksi mahdollisista riskeistä ovat leväkukinnat. Tässä hankkeessa poistettu määrä vesiruttoa ei aiheuttanut havaittavia sinileväkukintoja. Poiston jälkeisenä kesänä 2021 mitatut korkeat a-klorofyllipitoisuudet voivat viitata kasviplanktonin runsastumiseen vesiruton poiston jälkeen, joskin mittauksia ei ole tehty ennen vesiruton poistoa.

Vesikasvillisuuden seurantamenetelmiksi näytealat ja droonikuvaus soveltuvat hyvin. Näytealoissa ongelmana voi olla niiden kohdistaminen riittävän tarkasti samaan kohtaan eri seurantakerroilla, koska vedessä ei ole kiintopisteitä ja veneen liikettä voi olla vaikea hallita riittävän tarkasti. Näytealojen kokoa voitaisiin suurentaa tai ne voitaisiin sijoittaa esim. köyden tai poijujen avulla merkitylle linjalle. Droonikuvauksissa on tarpeen minimoida kuville tulevat heijastumat, joka vaatii sopivan säätötilanteen odotusta. Poistoalue olisi hyvä suunnitella mahdollisimman tarkasti kartalle jo ennen kuin ensimmäistä seuranta-aikaa mennään tekemään maastoon, jotta droonikuvaus ja näytealat pystytään kohdistamaan oikein.

Vesiruton poiston haitalliset ympäristövaikutukset olivat vähäisiä ja myös positiivisia vaikutuksia havaittiin oletusten mukaisesti. Vuotunkijärvellä kallioperä ja erityisesti vesiruton kasvu nostaa pH:n eliöstön kannalta jopa haitallisen korkealle lähelle kymmentä, mutta vuorokauden aikainen vaihtelu on vähäistä. Vapautuvat ravinteet eivät näytä suuressa määrin lisäävän levätuotantoa. Erityisesti fosfori sitoutuu hyvin vesiruton biomassaan ja poistuu samalla järvestä. Kyseessä on kuitenkin rajattu koealue eikä tulos ole yleistettävissä koko järven alueelle, jossa jo aallokon aiheuttama resuspensio vapauttaa ravinteita veteen, mikäli kaikki kasvillisuus olisi poistettu.

## 9 Vesiruton hyödyntämisen kannattavuuden arviointi

Jaakko Karvonen, Teemu Ulvi, Timo Lötjönen & Johanna Niemistö

### 9.1 Johdanto

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n mukaan Suomessa oli vuonna 2021 109 biokaasulaitosta, joista 23 on maataloilla (Biokaasu ja biokierto ry 2021, konsultaatitieto). Valtaosa käytössä olevista maatalolaitoksista perustuu märkämädätystekniikkaan, mutta muutamilla laitoksilla on kuivämädätysreaktori. Tässä työssä kerätyn vesiruttomassan biokaasutuksen kannattavuuden arvioinnin lähtökohdaksi on oletettu, että vesirutto hyödynnetään olemassa olevalla maatilakokoluokan märkämädätyslaitoksella, jossa kaasuntuotannon pääraaka-aineena on nautakarjan lietelanta.

Tässä luvussa keskitytään vesiruton hyötykäytön taloudellisiin näkökulmiin ja samalla arvioidaan käsittelyssä aiheutuneita ilmastopäästöjä. Tutkimuksessa keskitytään vesiruton käyttöön pellolla viherlannoitteena tai biokaasuntuotannon raaka-aineena, sekä näiden hyödyntämistapojen arvoketjuihin eli vaadittavan konetyön sekä saatavan lannoitteiden ja biokaasun hintoihin. Vesiruton korjuuta vedestä maalle ja nostoa perävaunuun ei tarkastella lähemmin, koska korjuutekniikka ja työtavat ovat selkeästi tehostettavissa siitä, miten se tässä hankkeessa koetoiminnan ja kehitystyön näkökulmasta toteutettiin. Sen sijaan tarkastelu antaa osviittaa sille, kuinka paljon vesiruton keruu saa maksaa, jotta se on taloudellisesti kestävä.

Viherlannoitekäytön kannalta on olennaista huomioida, että lannoitekäytön ohessa vesiruton poistaminen vesistöistä on myös kasvillisuuden aiheuttamien vesistöhaittojen vähentämistä ja osaltaan ravinteiden palauttamista takaisin vesistöistä kiertoon. Myös vesien virkistyskäyttöarvo paranee, ja tästä vaikutuksesta myös ulkopuolista maksuhalukkuutta vesiruton poistamiseen saattaisi löytyä kannattavuuden parantamiseksi. Vesiruton peltolevitykseen viljelijän tulee kuitenkin hankkia ELY-keskuksen ja Ruokaviraston lupa ja näkemys ja tarvittaessa varmistus esimerkiksi sen luomukelpoisuudesta.

### 9.2 Lannoitearvo

Lannoitearvon analyysissä huomioitiin vesiruton sisältämien kolmen pääravinteiden, typen (N), fosforin (P) ja kaliumin (K), pitoisuudet. Euromääräiset arvot laskettiin Maailmanpankin vuoden 2019 syyskuun lannoiteravinnehintojen (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ja K<sub>2</sub>O) perusteella, joista johdettiin hinnat alkuaineravinneyksikköä kohti (Maailmanpankki 2020). Saaduilla arvoilla laskettiin aiemmassa Elodea-hankkeessa ja tässä hankkeessa yhteensä neljästä järvestä analysoitujen näytteiden ravinnepitoisuuksien rahallinen arvo (Karjalainen ym. 2017). Näitä verrattiin eri naudanalantatyyppien (liete, kuivikelanta, kuivikepohjalanta ja kuivalanta) keskiarvoiseen ravinnepitoisuuteen (N-tot, P-tot, K-tot lähteestä: Luostarinen ym. 2017, Liite 1 a, ex storage). Liukoisen typen määrää ei tässä tarkastelussa eritelty kokonaistypestä. Tässä ja ensimmäisessä Elodea-hankkeessa tehtyjen ravinneanalyysien mukaan liukoisen typen määrä vaihtelee vesiruttossa 20–50 % välillä. Eri naudanalantojen välinen vaihtelu on suurta: kuiva-, kuivike- ja kuivikepohjalannoilla 8–20 % ja lietelannalla 50–60 % typestä on liukoisessa muodossa (Luostarinen ym. 2017).

Vesiruton ravinnepitoisuuksissa oli merkittäviä eroja järvien välillä (Taulukko 23). Toranki- ja Vuotunkijärvissä ravinnepitoisuudet olivat typen ja fosforin osalta selvästi suuremmat kuin Yli-Kitkan ja Kuusamojärven pitoisuudet. Oletettavasti Torankijärven osalta tätä selittää Kuusamon jätevedenpuhdistamon sinne tuottama ravinnekuorma ja Vuotungissa mahdollisesti peltojen läheisyys, joiden oletettiin näkyvän vesiruttokasvustojen kohonneina ravinnepitoisuuksina. Tätä tekijää ei kuitenkaan todennettu tässä hankkeessa. Suuri vaihtelu osoittaa selvän tarpeen analysoida vesiruton ravinnepitoisuus käytettäessä sitä lannoitteena. Myös kannattavuuden arvioinnin kannalta ravinnepitoisuusvaihtelu aiheuttaa epävarmuutta arviointiin.

Taulukko 23. Typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet kuiva-ainekiloa kohden neljällä eri järvellä Kuusamon alueella.

Ravinne	Yksikkö	Kuusamo-järvi	Yli-Kitka	Vuotunki	Torankijärvi
Typpi	mg/kg ka	19000	25400	32258	38400
Fosfori	mg/kg ka	2080	2940	6344	4810
Kalium	mg/kg ka	31600	39300	31183	31300

Kuiva-ainepitoisuus (ka %) on kriittinen suure arvioitaessa vesiruton mukana saatavaa ravinnemäärää. Tuoreeltaan nostettuna vesiruton kuiva-ainepitoisuus on mittausten mukaan hieman alle 10 % (Karjalainen ym. 2017), ja tässä tutkimuksessa arviointi on tehty 10 % kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Vesiruton biomassa on nostettaessa erittäin merkää ja sen mukana nousee myös vapaata vettä, joka kannattaa välttää kuljetuskustannusten hillitsemiseksi, mikäli biomassaa aiotaan siirtää kauemmas nostopaikalta.

Pääravinteiden markkinahinnat on laskettu ja vertailtu lannan ja vesiruton välillä taulukoissa 24 ja 25. Tässä laskennassa käytettiin Maailmanpankin (2020) tilastoista hintoja urealle, diammoniumfosfaatille (DAP) ja kaliumkloridille (KCl), joista johdettiin alkuainekohtaiset ravinnehinnat. Näillä hinnoilla voitiin laskea NPK-perusteinen hinta naudan lannalle ja vesirutolle. Laskenta on karkea, sillä ravinteiden todellinen hinta ei ole puhtaasti alkuaineperusteista, vaan riippuu paljon yhdisteestä, jossa ravinne lannoitteessa on. Erityisesti liukoisten ja kokonaisravinteiden pitoisuuksilla on tärkeä merkitys, vaikka niitä ei huomioitu tässä tarkastelussa. Myös kuljetuskustannukset lisäävät lopullista lannoitehintaa. Vaihteluväli vesiruton euromääräiseen arvoon tulee taulukossa 23 esitetyistä ravinnepitoisuusvaihtelusta. Lannalle osoitetaan vaihteluvälin sijaan keskiarvo.

Taulukko 24. Vesiruton ja naudan kuivalannan ravinteiden rahallisen arvon vertailu typen, fosforin ja kaliumin osalta sekä vaihteluväli johtuen vesiruton ravinnepitoisuudesta. Vuoden 2020 hintataso, valuuttakurssi: 1 € = 1,18 USD.

Lannoite-ravinteiden hin-toja	USD/t	€/t	€/t – alkuai-netta kohti	€/t nau-dan lan-taa, kes-kimäärin	€/t vesiru-ton kuiva-ainetta, vaihtelu-väli	€/t tuoretta vesiruttoa (kuiva-ai-nepitoisuus 10 %)	Keskimää-rin, €/t	Vaihtelu-väli, €/t
Urea (N)	306	260	452	2,19	8,6–17,4	1,30		0,86–1,74
DAP (P)	245	208	1060	1,25	2,2–6,7	0,43		0,22–0,67
KCl (K)	256	217	423	2,56	13,4–16,6	1,41		1,32–1,66
Yhteensä				6,00	24,0–40,7	3,14		2,40–4,07

Taulukko 25. Vesiruton ja keskimääräisen naudan lannan ravinnepitoisuudet.

Ravinnealkuaine	kg/t vesiruton kuiva-ainetta	kg/t tuoretta vesiruttoa (kapit. 10 %)	kg/t lantaa	Tuoreen vesiruton ravinnepitoisuus vrt. naudan lanta keskimäärin
N	28,76	2,88	4,84	-41 %
P	4,04	0,40	1,13	-64 %
K	33,35	3,33	6,08	-45 %

Tuore vesiruton biomassa (kosteus 10 %) vastaa ravinnepitoisuudeltaan noin puolta naudan lannan sisältämistä ravinteista. Tyypilliseen viljalle suositeltavaan lannoitteen ravinnesuhteeseen nähden sekä lannassa että vesirutossa on liikaa fosforia suhteessa typpeen ja kaliumiin, mutta vesiruton biomassassa tasapaino on tässä suhteessa parempi kuin lannassa.

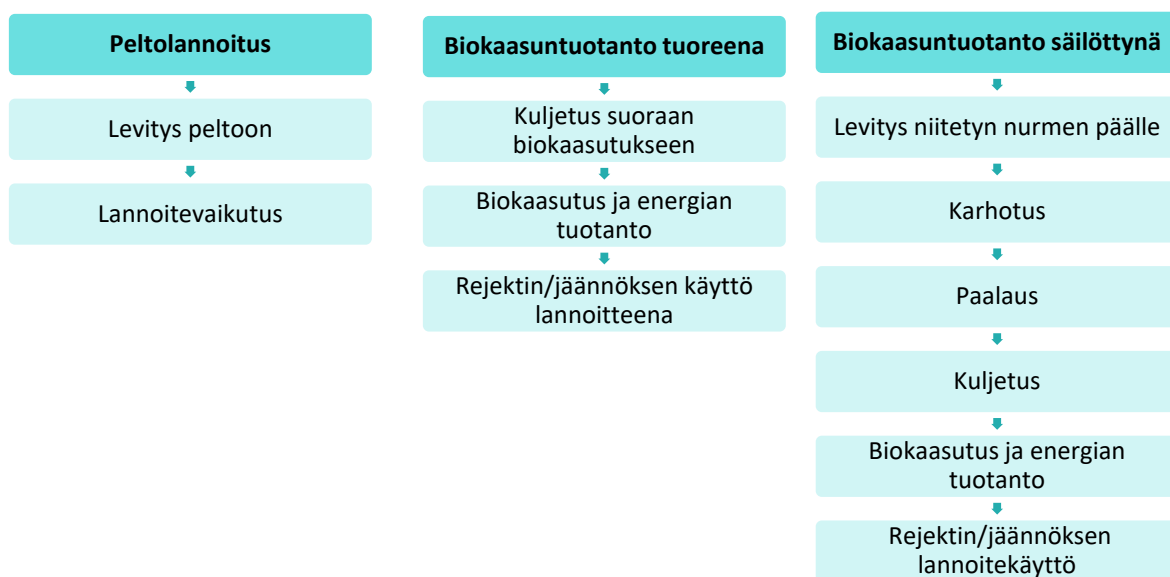
Mikäli kuiva-ainepitoisuuden saisi nostettua noin 20 prosenttiin ennen kuljetusta, olisi biomassan ravinnepitoisuus euromääräiseltä arvoltaan verrattavissa lantaan, jolloin myös sen kuljettaminen olisi yhtä mielekäästä kuin lannan kuljettaminen. Ylipäättään veden vähentäminen on kuljetusta ajatellen järkevää.

Vesiruton käytön sallittavuus lannoitteena tulee ehdottomasti varmistaa Ruokavirastolta ja/tai paikalliselta ELY-keskukselta. Tämän hankkeen aikaiset kannanotto- ja neuvontapyynnot Ruokavirastolta eivät tuottaneet selkeää ohjetta. Pääravinteiden osalta vesirutto on kuitenkin kelvoinen orgaaninen lannoitemateriaali, jonka voisi olettaa soveltuvan myös luomulannoitteeksi. Lisäksi raskasmetallipitoisuudet ovat selvästi epäorgaanisille lannoitteille asetettujen raja-arvojen alapuolella (Karjalainen ym. 2017).

### 9.3 Korjuun työmenekki, kustannukset ja päästöt

Vesiruton korjuu on työlästä, ja korjuutyö vaatii osaamista sekä laitteiden ja toimintatapojen kehittämistä. Tämän hankkeen koeluonteinen ja osin talkoopohjainen työskentely ei anna realistista kuvaa tarvittavasta työvoimasta ja työajasta, joten laskennassa ei ole mielekäästä huomioida vesiruton korjuun osuutta vedestä rantaan. Kuormaustakaan ei huomioitu, koska myös sen tehokkuus riippuu huomattavasti vesiruton poistotekniikasta.

Tarkastelu on siis perusteltua aloittaa tilanteesta, jossa vesirutto on jo nostettu maalle ja kuormattu. Kuormaamista seuraavat työvaiheet riippuvat vesiruton käyttötavasta. Oletuksena pidettiin sitä, että kuormausta paikka on kovapohjaisella rantapellolla, jolloin ollaan välittömästi muiden työvaiheiden aloituspaikalla eikä tarvita välisiirtoja. Kuvassa 55 on esitetty vuokaaviona eri vaihtoehtojen työvaiheet. Taulukkoon 26 on listattu laskentaparametrit ja taulukossa 27 niistä johdetut työvaiheiden hinnat ja päästöt / käsitelty biomassan kuutiometri (m<sup>3</sup>). Lähteenä kustannusarvioinnissa on käytetty Työtehoseuran tilastoja vuodelta 2018 (Palva 2019) ja polttoaineen kulutus arvioitiin Ahokkaan raporttia mukailen (Ahokas, J. julkaisuaika tuntematon).



Kuva 55. Vesiruton hyödyntämisen vaihtoehtoisten toimintalinjojen työvaiheet.

Taulukko 26. Laskentaparametrit konetyölle ja kasviuonekaasupäästöille. Polttoaineenkulutus laskettiin 100 kW tehoiselle traktorille 40–60 % keskimääräiselle tehonkäytölle työvaiheesta riippuen Ahokasta (julkaisuaika tuntematon) mukailien.

Työvaihe	Yksikkö	Veloitus keskim. 2018	Työnopeus m <sup>3</sup> /h	Kustannus €/m <sup>3</sup>	Kulutus l/h	CO <sub>2</sub> ekv/m <sup>3</sup>
Kuivalannan levitys (kaikki)	€/h	79,8	30,0	2,66	13,0	1,14
Pyöröpaalaus sis. paalaus & käärintä, verkko ja muovi	€/paali	16,0	82,5	10,67	17,9	0,57
Karhotus ja karhojen yhdistäminen	€/ha	60,6	12,2	4,95	13,0	2,78
Säilörehun ajo pellolta 5 km päähän	€/h	61,0	15,0	1,39	19,5	0,71
Kuljetus 20 km päähän				5,54		2,85

Taulukko 27. Työvaiheiden hinnat ja kasviuonekaasupäästöt (kg CO<sub>2</sub>-ekv.) per käsitelty vesiruttokuutiometri (m<sup>3</sup>). \*Kuljetus arvioitu 12 t kuormalla ja 15 km/h nopeudella.

Työvaihe	€/m <sup>3</sup>	Päästöt, kg CO <sub>2</sub> -ekv.
Levitys peltoon	2,66	1,14
Karhotus, paalaus & käärintä	15,62	3,35
Kuljetus 5 km *	1,38	0,71
Yhteensä 5 km mukaan	19,66	5,20
Kuljetus 20 km *	5,54	2,85
Yhteensä 20 km mukaan	23,81	7,34

Taulukko 27 osoittaa, että peltoon levityksen kustannus on 2,66 €/m<sup>3</sup> ja siitä aiheutuva päästö 1,14 kg CO<sub>2</sub>-ekv /m<sup>3</sup>. Jos biomassa paalataan ja kuljetetaan 5 km päähän, ovat ketjun kuutiokohtaiset



kustannukset lähes 20 € ja päästöt 5,20 kg CO<sub>2</sub>-ekv., mutta 20 km päähän kuljetettuna lähes 24 € ja päästöt 7,34 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

Ravinnesisällön mukaisesti arvioiden vesiruton peltolevityksen olisi toteuduttava noin kaksi kertaa lannanlevitystä tehokkaammin. Tämä voi olla erittäin haastavaa, mutta mahdollista esimerkiksi silloin, jos vesiruton nostopaikka on käyttöpaikan välittömässä läheisyydessä, mikä vastaavasti vähentää ajoajkoja ja -kustannuksia. Vesiruton korjuuta vedestä on tehostettava merkittävästi, jotta kilpailu lannan kanssa voisi olla mahdollista.

Kuljetuksissa kuorman painolla on vaikutusta polttoaineen kulutukseen (Ahokas J. julkaisuaika tuntematon) ja asialla on sekä taloudellista että ympäristöllistä merkitystä. Vesiruton osalta tämän huomioon on merkittävä sikäli, että vesiruton massassa on vedestä nostettaessa paljon irtovettä. Vesiruton biomassaa kannattaa valuttaa huolella ja antaa massan kuivua rauhassa. Mitä pidempi matka, sitä tärkeämpää valutus kuljetuksen taloudellisuuden vuoksi on.

#### 9.4 Paalaus, biokaasuntuotanto sekä biokaasuntuotannon kannattavuus

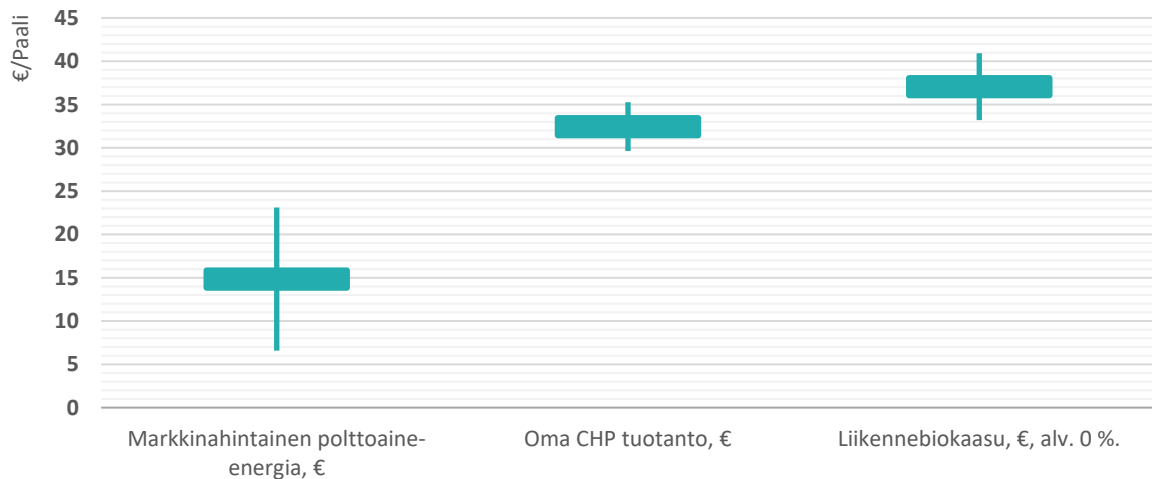
Hankkeessa testattiin myös vesiruton soveltuvuutta maatilamittakaavaisen biokaasulaitoksen lisäsyötteenä (Kappale 7). Perussyötteenä reaktorissa toimii navetalta tuleva lietelanta, minkä ohuen reaktoriin syötettiin vesiruttoa sisältävät säilörehupaalit. Paaleissa nurmirehun osuus oli 50–70 % ja vastaavasti vesiruton 30–50 %. Biokaasuntuotantoa varten paalattiin viisi nurmirehu-vesiruttopyöröpaalia, jotka käärrettiin muoviin paalauksen yhteydessä.

Paalien osuus reaktorisyytteenä oli vähäinen, sillä lietelantaa syötettiin 194 m<sup>3</sup> (5,4 m<sup>3</sup>/vrk) ja paaleja noin 4 m<sup>3</sup>, eli vain noin 2 tilavuusprosenttia. Silti paalisyytteen havaittiin lisäävän kaasuntuotantoa keskimäärin noin 10–12 m<sup>3</sup> vuorokaudessa, mikä tarkoitti noin 7 % lisäystä. Metaanipitoisuus biokaasussa oli keskimäärin 57,4 %, eli metaanin tuotto lisääntyi noin 5,7–6,9 m<sup>3</sup> (4,2–5,0 kg) vuorokaudessa. Yhden paalin kaasuttamisella tuotetaan siis metaania 29,4–35,0 kg.

Metaanin alempi lämpöarvo on 13,9 kWh/kg. Tilastokeskuksen mukaan energian hinta vuoden 2019 lopulla vaihteli polttoaineiden (turve – maakaasu) välillä 16,1–47,5 €/MWh, eli metaanin vertailuarvo olisi 0,22–0,66 €/kg. Näitä tietoja vasten on hyvä tarkastella paalien kaasutuksen kannattavuutta.

Yhden pyöröpaalin valmistamisen kustannukset ylittävät helposti 20 €, ja siitä saatava metaanimäärä on energiaksi muutettuna 408,7–486,5 kWh. Kuvassa 56 on havainnollistettu, mitä se tarkoittaa rahallisessa arvossa eri tavoin käytettynä. Polttoainekohtaisin energian hinnoin paalin arvo on 6,6–24,3 € (sis. valmisteveron) (Tilastokeskus 2021). Edullisin polttoaine oli turve, kallein maakaasu. Näin ollen yhdestä paalista saatava arvo ei kykene käytännössä kuittaamaan paalauksen kustannuksia.

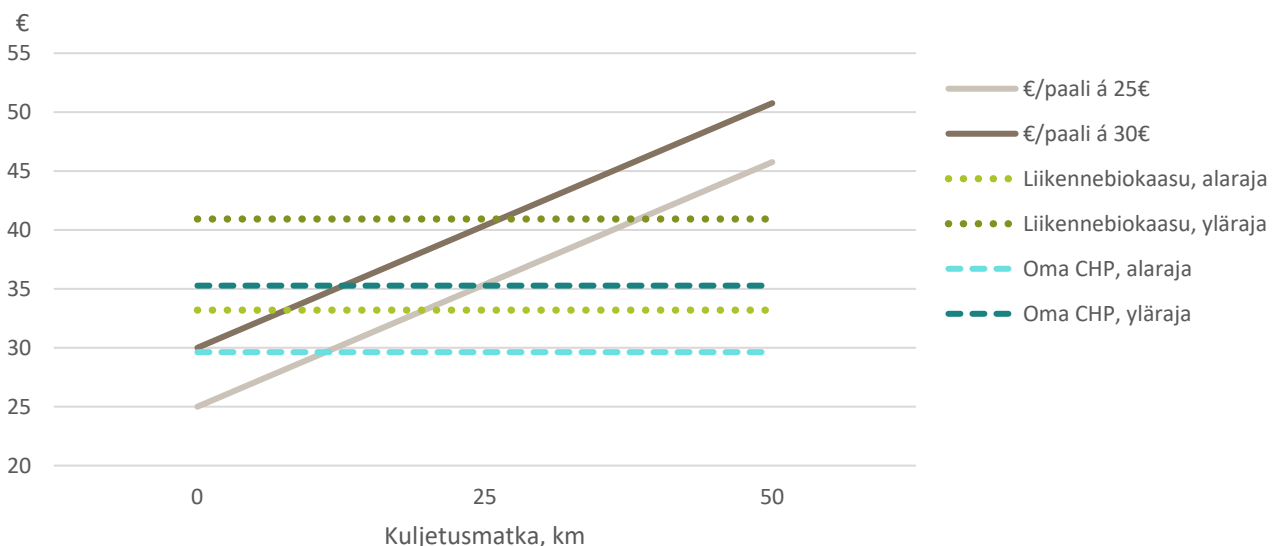
Jos biokaasu poltetaan sähköksi ja lämmöksi tilalla ja säästetään näin myös siirtomaksuissa, saadaan paalikohtaiseksi tuotoksi 29,6–35,3 € (sähkö 40 % á 15 snt/kWh, lämpö 50 % á 25 €/MWh (sis. alv 24 %), hävikki 10 %). Liikennebiokaasuksi jalostettuna kaasun arvonlisäverollinen arvo on 41–51 € per paali (Gasum: 1,40–1,45 €/kg, sis. alv. 24 %) eli arvonlisäverottomana noin 33,2–40,9 €/paali. Puhdistaminen liikennebiokaasuksi lisää kuitenkin kustannuksia, eikä luku siis kerro kannattavuutta, vaan vain sen markkina-arvon. Biokaasulla ei ollut valmisteveroa vuonna 2021 jolloin laskelmat tehtiin (valmistevero tullut 1.1.2022). Kannattavuuslaskennassa liikennebiokaasun hintana on käytettävä arvonlisäverotonta hintaa, koska arvonlisäveron osuus ei jää myyjälle. Toisaalta säästettäessä kustannuksissa eli ostoissa, alv-kanta voi olla arvioissa mukana.



Kuva 56. Paalista saatavan biokaasun arvo eri tuotteina arvioituna. Markkinahintainen energiapolttoainehinta 16,1–47,5 €/MWh, oman yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) arvioperusteet: sähköä 40 % á 15 c/kWh, lämpöä 50 % á 20 €/MWh, hävikki 10 %. Liikennebiokaasun hinta maaliskuussa 2021 oli 1,13–1,17 €/kg (alv. 0 %).

Vesiruttopaalista saatavan biokaasun myynti polttoaineeksi voimalaitoksille nykyisin markkinahinnoin ei ole kannattavaa, jos paalin kappalehinta on 25 € tai 30 € (Kuva 51). Sen sijaan tilalla omaksi energiaksi käytettynä kannattavuus on positiivinen, vaikkakin niukasti. Paalin jalostaminen liikennebiokaasuksi lisää saatavan tuotteen (kaasun) arvoa ja vesiruttopaaleja voi olla taloudellisesti kannattavaa myös ostaa kaasutettavaksi riippuen kaasun puhdistuksen kustannuksista, joita ei huomioitu tässä arvioissa.

Kuvassa 57 on kuvattu paalista saatavan kaasun arvo omasta yhdistetystä sähkön- ja lämmön tuotannosta (CHP, combined heat and power) ja liikennebiokaasusta suhteessa kuljetusetäisyyteen 25 € ja 30 € pyöröpaalihinnoin. Leikkauspisteitä tarkkaillen huomataan, että korkeamman paalihinnan ja alempien tuottoarvojen vallitessa kuljetusmatkan on oltava erittäin lyhyt, mutta matalamman paalihinnan ja korkeampien tuotto-odotusten tilanteessa kuljetusmatka voi omalle energiantuotannollekin olla noin 20 km ja liikennebiokaasulle noin 35 km.



Kuva 57. Kuljetusmatkan ja -kustannuksen vaikutus vesiruton biokaasutuotannon kannattavuuteen liikenne- ja energiakäyttöön optimistisen (yläraja) ja konservatiivisen (alaraja) skenaarion välillä (ks. kuva 53) paalin valmistuksen kustannusten ollessa 25 ja 30 euroa.

On huomattava, että kaasutuksen kannattavuuden arviointi sisältää merkittäviä epävarmuuksia ja tilanne voi muuttua huomattavasti sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Investointikustannuksia tai kaasun ja-  
kelukustannuksia ei tässä tarkastelussa huomioitu, vaan investointien ajateltiin olevan jo tehty. Paalien kuljetus syö nopeasti kannattavuutta ostaan paaleja syötteenä. Karkeasti arvioituna 12 t kuormalla (n. 10 paalia) ajo aiheuttaa noin 0,28 €/m<sup>3</sup>/km (n. 0,42 €/paali/km) lisäkustannuksen. Paalauksen kustannuksia lisää myös pitkät etäisyydet työkohteelle.

Paalien sisältämien vesiruton ja nurmen vaikutuksia kaasuntuottoon tai rejektin lannoiteominaisuuksiin ei voitu hankkeen kokeista todeta erikseen, sillä syötteenä käytettiin vain paaleja, joissa kyseiset kasvit olivat sekaisin. Tämä on epävarmuus, joka tulisi testata tulevaisuudessa, sillä biokaasureaktorin toimivuus saattaa olla herkkä eri syönteille ja niiden sekoitteille. Todennäköisesti ravinteiden menetys kaasutuksessa on pientä, jolloin biokaasutuksen jälkeinen vesiruttomassan rejekti on parempaa lannoitetta kuin suoraan peltoon levitettävä biomassa. Kuvien 50 ja 51 arvoista puuttuvat rejektin lannoitearvot, joiden huomioiminen parantaa kaasutuksen kannattavuutta.

## 9.5 Ilmastovaikutukset

Vesiruton eri käsittelyvaiheista syntyy kasvihuonekaasuja, kun traktoreissa käytetään käyttövoimana kevyttä polttoöljyä. Päästöt on esitetty taulukossa 27. Päästölaskenta suoritettiin arvioimalla traktorin teho ja rasisaste ja laskien kulutus Enpos-hankkeen raportin mukaan (Ahokas, J. julkaisuaika tuntematon). Yhtä rehupaalikuutiota kohden 20 km kuljetuksella aiheutuu noin 7,34 kg CO<sub>2</sub>-ekv päästöt. Vastaavasti tuotettiin 272–298 kWh edestä metaania. Näin tuotantoketjun päästökerroin asettuu tällä tarkastelurajauksella välille 37,1–40,7 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Vastaavat päästökerroin maakaasulle on noin 200 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh ja polttoöljylle 264 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, eli paalista saatavan kaasun 272 kWh sisältämän energian tuottaminen aiheuttaisi maakaasulla 54,2 kg CO<sub>2</sub>-ekv ja polttoöljyllä 71,9 kg CO<sub>2</sub>-ekv päästöt. Näin olleen tuotantoketjulla on mahdollisuus vähentää kokonaispäästöjä merkittävästi, kun korvattava tuote on fossiilinen polttoaine.

## 9.6 Arvioinnin rajoitteet

Vesiruton korjuusta ja käytöstä lannoitteena tai sen kaasutuksesta ei ole riittävästi tietoa, jotta sen käyttöä voitaisiin arvioida luotettavasti elinkaarinäkökulmasta. Tarvitaan lisää tutkimusta vesiruton biomassan ravinnesisällöstä sekä muista ominaisuuksista ja vaikutuksista. Vesiruttokasvuston poistamisen virkistys- ja muita lisäarvoja ei tämän tutkimuksen arvioinnissa pyritty selvittämään. Vesiruton viherlannoitekäytöstä ja mahdollisista tauteja hillitsevistä ominaisuuksista ei ole aiempaa tutkimustietoa, joten niitä ei voitu arvottaa. Vesiruton taudinestovaikutus voisi olla merkittävä lisäarvotekijä lannoitearvon ohella. Myös maan orgaanisen aineksen ja hiilen lisääntyminen viherlannoituksen kautta jätettiin arvottomaksi. Verrattaessa lantaan liukoisia ja liukenemattomia ravinteita ei eritelty. Lisäksi Työtehoseuran (Palva 2019) työvaiheiden tuottavuudet voivat johtaa ylioptimistiseen kuvaan vesiruttoa käsiteltäessä, etenkin paalauksen osalta.

## 9.7 Johtopäätökset

Kokonaisravinnepitoisuuksia tarkasteltaessa vesiruton käyttö lannoitteena on mahdollista, mutta levitysmäärä lantaan verrattuna olisi noin kaksinkertainen. Lannoitussuunnittelussa tulisi kuitenkin huomioida ravinteiden muoto ja vaikutukset ravinteiden saatavuuteen (ml. C:N-suhde) ja lannoitusta tulee tukea muilla lannoitteilla. Vesiruton mukana siirtyy myös hiiltä maahan, mikä voi hidastaa lyhyellä aikavälillä ravinteiden saatavuutta. Vesiruton pitäisi periaatteessa soveltua luomulannoitteeksi, mutta sen käyttö,

sallittavuus ja kelpoisuus tulee mahdollisen käyttäjän varmistaa paikalliselta ELY-keskukselta ja/tai Ruokavirastolta.

Vesiruton poistamista vesistöistä voitaisiin myös tukea vesienhoitotoimenpiteenä ja selvittää biomassan vastaanottohalukkuus viljelijöiden ja muiden biomassasta kiinnostuneiden osalta.

Biokaasun tuotannon lisäyötteeksi vesirutto sopii hyvin ainakin nurmirehuseoksena ja se lisää biokaasun tuotantoa lietelannalla tavallisesti käyvässä reaktorissa. Lisäksi vesiruton biokaasutuotannolla on mahdollista vähentää ilmastovaikutuksia fossiilisia polttoaineita korvaamalla. Ilmastovaikutukset näyttävät positiivisina, ja vaikka tästä tarkastelusta nyt pois jätetty vesiruton vedestä maalle korjuun tuotantopanos huomioitaisiinkin, pysyisi vaikutus todennäköisesti yhä positiivisena. Biokaasutuotannon jälkeen mädätysjäännös ja rejektivesi on mahdollista käyttää lannoitteena.

## 10 Toimintamallit

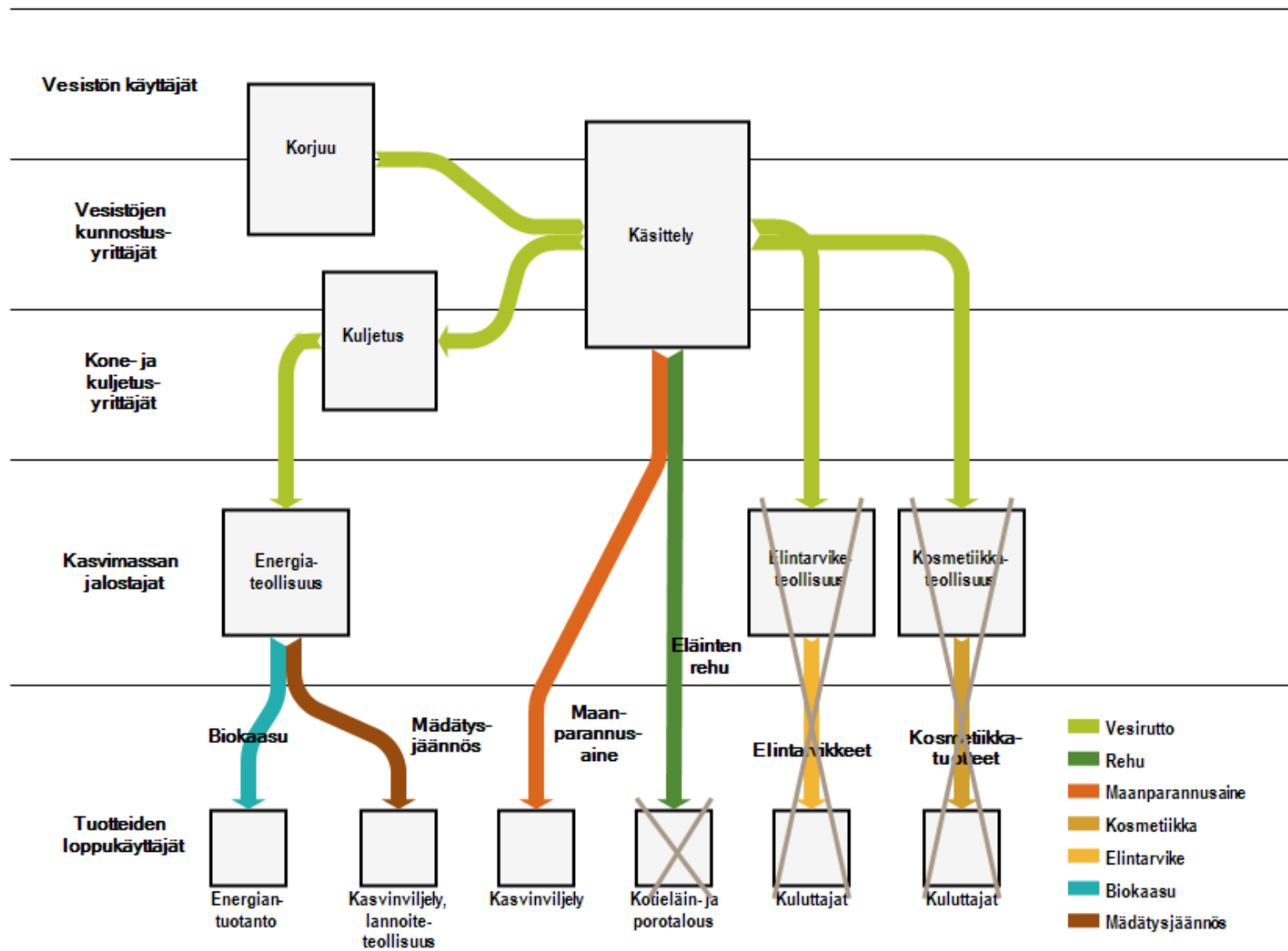
**Ritva Nilivaara, Seppo Hellsten, Lea Hiltunen, Anna-Liisa Välimaa, Timo Lötjönen, Teemu Ulvi & Jaakko Karvonen**

Vesirutto on uposkasvi, joka suotuisissa olosuhteissa voi muodostaa massakasvustoja. Massakasvustot voivat matalissa vesissä täyttää koko vesipatsaan pinnasta pohjaan ja aiheuttaa näin merkittävää haittaa vesistöjen virkistys- ja hyötykäytölle. Vesiruton biomassojen kokonaismäärää on arvioitu Kuusamon Torankijärvestä ja Elijärvestä (Karjalainen ym. 2017). Torankijärven pinta-ala on 224 ha ja uposkasvillisuuden määrä oli vuonna 2016 noin 4600 tonnia. Elijärven pinta-ala on 28 ha ja uposkasvillisuutta oli noin 1600 tonnia. Vaihtelu on siis suurta, mutta näin suuret biomassamäärät aiheuttavat merkittävää haittaa vesistöjen käytölle. Kasvuston nopean toipumisen vuoksi myös potentiaali biomassan hyödyntämiseen on suuri. Suomessa vesiruton poistoa on toistaiseksi toteutettu vain talkoilla tai tutkimustarkoituksessa, ja poiston kustannukset kohdistuvat suoraan haitankärsijöiden maksettavaksi. Biomassan hävittämisestä poiston yhteydessä on aiheutunut myös lisäkustannuksia. Aiemmassa Elodea-hankkeessa (Karjalainen ym. 2017) selvitettiin vesiruttoon sitoutuneiden ravinteiden ja mineraalien pitoisuuksia. Yllä mainitun Elijärven biomassaan on tutkimusten perusteella sitoutunut 325 kg fosforia, joten poistettavan vesiruttobiomassan sisältämien ravinteiden kierrätys olisi myös varteenotettava vaihtoehto ja biomassan myynti mahdollinen näkökulma kustannusten kattamiseksi.

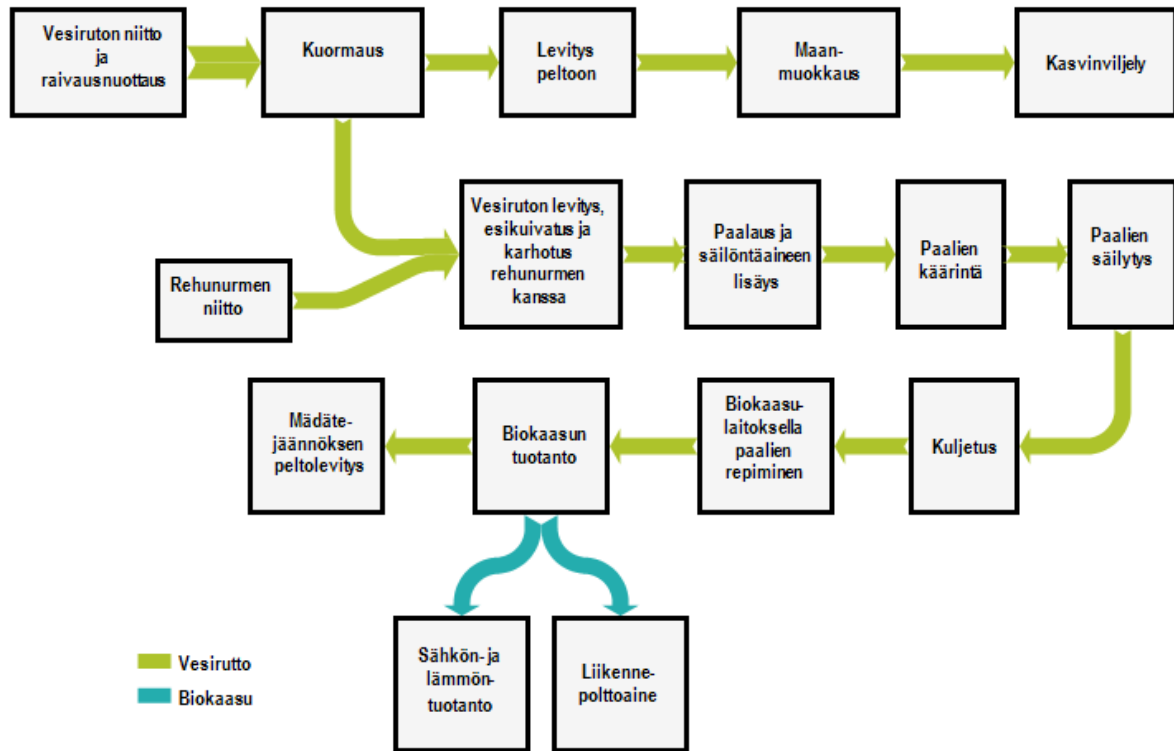
Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi (Elodea) -hankkeessa tutkittiin vesiruton esiintymistä Koillismaalla, sen koostumusta ja mahdollisuuksia biomassan hyötykäytölle. Hankkeessa kehitettiin toimintamalli vesiruton hyötykäytön edistämiseksi. Tarkasteltuja vaihtoehtoja olivat biokaasuntuotanto, maanparannusainekäyttö sekä hyödyntäminen eläinten rehuksi, ihmisravinnoksi ja kosmetiikan raaka-aineeksi. Näistä kaksi ensin mainittua arvioitiin potentiaalisiksi ja muut hylättiin mm. niiden sisältämien haitta-aineiden tai taloudellisen kannattamattomuuden vuoksi (Kuva 58). Hankkeen tutkimuksissa havaittiin vesirutolla olevan myös joidenkin kasvitautinaiheuttajien kasvua estäviä vaikutuksia.

Tässä hankkeessa jatkettiin vesiruton korjuuketjun sekä hyötykäytön toimintamallien kehittämistä. Hyötykäytössä keskityttiin lupaavimpien vaihtoehtojen eli maanparannuskäytön ja biokaasutuotannon toimintamallien kehittämiseen käytännön olosuhteissa toteutettujen kokeiden avulla. Vesiruton korjuuketjua arvioitiin käytännön toteutuksen kautta siten että luotaisiin paikallisille toimijoille liiketoiminnan mahdollisuuksia vesiruton poistoon liittyen.

Vesiruton korjuuketjun kehittämistyö on vasta aluillaan. Vesiruton korjuussa on käytetty Suomessa raivausnuottaa ja keräävää niittokonetta. Molempia menetelmiä on kokeiltu myös Koillismaalla. Keräävät niittokoneet sijaitsevat Suomessa enimmäkseen Etelä-Suomessa ja korjuukustannukset näillä ovat korkeat, etenkin huomioitaessa laitteiston siirtokuljetusten kustannukset pidempien matkojen päähän, kuten Kuusamoon. Lisäksi laitteet vaativat vähintään metrin vesisyvyvyyttä ja hyvän rantautumispaikan laitureineen. Hankkeen tavoitteena oli myös luoda liiketoimintamahdollisuuksia paikallisille yrittäjille, joten vesiruton korjuussa päädyttiin käyttämään paikallisen yrittäjän rakentamaan raivausnuottaa.



Kuva 58. Vesiruton hyötykäytön toimintamallin runko. Hylätyt toimintamallit on ruksittu yli. Kuva päivitetty (Karjalainen ym. 2017) mukaan.



Kuva 59. Vesiruton tuotanto- ja käsittelyketjut ja -vaihtoehdot.

Tässä hankkeessa käytetty korjuuketju käsitti raivausnuotan levityksen, vesikasvien niittämisen veneeseen kiinnitetyllä saksiniittokoneella, nuotan kelauksen, kelauksen avustamisen kone- tai lihastyönä, vesiruton noston kuormaimella suoraan levitysvaunuun, levittämisen pellolle, paalauksen ja kuljettamisen välivarastoon ja loppukäyttöpaikoille (Kuva 59). Vaihtoehtona on nostaa vesiruttomassa rannalle ja antaa sen valua ennen kuormaamista. Tämä tulee aiheelliseksi, mikäli massaa aiotaan kuljettaa muutaman kilometrin matka käsittelykohteeseen. Paalausta edeltävänä toimenpiteenä nurmi on niitettävä, vesirutto levitettävä nurmen päälle ja nurmi-vesiruttoseos karhotettava esikuivauksen jälkeen paalauskarholle.

Vesiruton saaminen rantaan osoittautui tämän hankkeen aikana jatkokehitystä vaativaksi työvaiheeksi. Hankkeen maastotöissä raivausnuottaus ja vesiruton niitto niittokoneilla toteutettiin samanaikaisesti, kun hankehenkilöstö oli paikan päällä jatkokäsittelyä varten. Kumpanakin vuotena ensimmäinen nuotantoveto toteutettiin edeltävänä päivänä ennen muun hankehenkilöstön saapumista turhan odottelun välttämiseksi. Pelto- ja säilöntäkokeisiin tarvittiin kuitenkin niin paljon biomassaa, että nuotantovetoja tarvittiin useampia. Tämän vuoksi henkilöstö joutui odottelemaan nuotantovetojen välissä toimeentuloa pitkiä aikoja. Tutkimushankkeessa henkilöstöä oli myös paikan päällä enemmän kuin varsinaisessa raivausnuottaus- ja hyötykäyttöhankeessa olisi tarpeen. Työn tehokas aikataulutus on varmasti mahdollista rutinoitumisen kautta. Vaihtoehtoisesti raivausnuottia voisi olla kaksi, joista toinen olisi rannan tuntumassa biomassan purkua varten ja toinen olisi apajalla ja niittoa voisi tehdä jo aiemmin. Työmäärää vähentäisi myös se, jos nuotauksen voisi tehdä johonkin sellaiseen syvään paikkaan, josta kuormaimella pääsisi suoraan nostamaan biomassaa vedestä ilman, että vetoa tarvitsee auttaa rannalle nousussa. Nyt rannan mataluus aiheutti sen, että nuotantovetoa piti auttaa käsityönä vähentämään nuotteen kohdistunutta painetta. Toisaalta yhtä aikaa niittävä ja sadon vedestä korjaava kone voisi olla tehokas tapa vapauttaa paljon työvoimaa, mutta sellainen vaatisi erilaista konetekniikkaa.

Biomassan kuljetusten kannalta olennaista on, että minimoidaan kuljetusmatkat ja vähennetään vesiruton mukana kuljetettavan veden määrää esimerkiksi valuttamalla. Mikäli mahdollista, vesiruton rannalle noston tulisi tapahtua mahdollisimman lähellä käyttöpaikkaa ja vettä olisi pystyttävä valuttamaan

ennen siirtoja, etenkin silloin, kun kuljetettava matka kasvaa yli yhteen kilometriin. Toisaalta valuvan veden mukana on myös ravinteita, mikä tulee huomioida eli hallita ravinteiden valuntaa. Vesiruttoa ei voi myöskään läjittää useiksi päiviksi vaan se tulisi käsitellä ja loppusijoittaa muutaman vuorokauden kuluessa.

Peltokokeissa vesiruton biomassasta ei saatu sellaista lannoitushyötyä, mitä sen sisältämien ravinteiden perusteella olisi voinut olettaa. Epäiltiin, että syntyi ravinnehävikkejä tai ravinteet pidättyivät maahan. Toisaalta vesirutosta ei näyttänyt olevan haittaakaan peruna- tai kokoviljasäilörehusadolle. Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna kaikista hiiltä sisältävästä materiaalista on hyötyä maan multavuuden eli hiilipitoisuuden nostajana. Peltolevitys tarjoaa toimivan ja kustannustehokkaan ratkaisun vesiruton loppusijoitukseen, koska johonkin järvestä nostettu vesiruttomassa on laitettava. Peltolevitys edellyttää, että tarkoitukseen sopivaa peltoa on vesiruton nostopaikan läheisyydessä käytettävissä.

Paalausvaiheessa haasteen tuotti ensi sijassa vesiruton silppuuntuvuus. Peltoon levitettäessä vesirutto saattaa silppuuntua liian pieneksi eikä paalaimen noukin saa sitä kerättyä. Paalaus onnistui kuitenkin, kun levitinvaunumallia vaihdettiin ja paalaus tehtiin yhdessä nurmirehun kanssa. Paalausnopeus oli tavalliseen nurmirehuun verrattuna hitaampaa. Paalauksen - ja myös säilönnän - onnistuminen on riippuvaista myös sääolosuhteista, koska märän biomassan esikuivattaminen pellolla on tarpeen.

Vesiruton säilöntä onnistuu tavanomaisilla nurmirehun säilöntäaineilla pyöröpaaleissa. Mahdollisesti myös aumaus pellon laitaa voisi toimia, mutta tätä ei kuitenkaan testattu. Aumaus -menetelmässä on varauduttava huolella puristenesteen talteenottoon, mitä erittyy märestä massasta paljon. Säilöntä on tarpeen etenkin, mikäli hyötykäyttönä on biokaasuntuotanto. Säilönnän avulla vesiruton biokaasun tuotantopotentiaali säilyy pidemmän aikaa ja suuret biomassat on mahdollista syöttää reaktoriin pidemmän ajan kuluessa lisäsyötteenä.

Mikäli vesiruton nostopaikan läheisyydessä sijaitsisi biokaasulaitos, voisi olla järkevää kuljettaa vesiruttomassa irtotavarana biokaasulaitoksen pihalle säilöttäväksi laakasiilon. Tällöin välttyttäisiin melko työläältä ja kalliilta paalaukselta. Kuljetus voitaisiin tehdä traktoriperävaunuilla tai kuorma-autoilla, kun ensin vesi on valunut biomassasta pois. Haittapuolena on kuormien löyhyys, jolloin kuormien kuiva-ainemassa jää alhaiseksi. Järkevä kuljetusmatka lienee irtotavaralla maksimissaan 10–20 km.

Biokaasuntuotanto on potentiaalinen hyötykäyttömuoto vesirutolle. Aiemmin todetut menetelmät vesirutto-nurmiseoksen säilöntään osoittautuivat toimiviksi esikäsitteilyyn. Vesiruton seostaminen nurmen kanssa paransi biomassan käsiteltävyyttä, ja säilöntä onnistuneesti ylläpiti ja jopa paransi biomassan biokaasuntuotantoa. Pyöröpaalien valmistaminen onnistui ja mikäli huomioidaan kuljetuksen aiheuttamat rajoitteet biokaasuntuotannon kannattavuudelle, on niiden käyttäminen biokaasuntuotannon lisäsyötteenä mahdollista.



# 11 Yhteenveto

Kanadanvesirutto (*E. canadensis*) on vesistöissämme yleistynyt, invasiivinen ja haitallinen vieraslaji. Tässä hankkeessa tutkittiin, kokeiltiin ja kehitettiin keinoja, joilla vesiruttoa voidaan poistaa vesistöistä ja hyödyntää eri käyttökohteissa. Lisäksi tarkasteltiin vesiruton poiston vaikutuksia itse vesistöille.

Vesiruton poisto onnistui hankkeessa testatulla ja tarpeeseen jalostetulla raivausnuotalla. Raivausnuottaus on kuitenkin työlästä ja hidasta kaikkine työvaiheineen. Raivausnuottaukseen soveltuvan vesistökuunnostuskohteen pitää täyttää muutamia soveltuvuuskeriteereitä, esim. vesistön pohjan rakenteen sekä työskentelyalueen kantavuuden suhteen. Raivausnuottaa tulee vetää rantaan hitaasti, ja alkaa purkamaan vesiruttoa nuotan sisältä jo rannan tuntumassa. Vesirutto on nostettaessa erittäin märkää, joten valuttaminen ennen kuljetusta on järkevää.

Vesirutto soveltuu ravinnesisältönsä puolesta pellon viherlannoitteeksi, sillä märkänäkin (ka-% = 10) se sisältää karkeasti noin puolet naudan kuivikelannan sisältämistä ravinteista. Myös biomassan sisältämällä hiilellä voi olla maan kasvukuntoa parantava vaikutus. Laboratoriotutkimuksissa havaittiin, että vesiruton pinnalla kasvavilla mikrobeilla on kasvunestovaikutuksia joitakin kasvitaudinaiheuttajia vastaan. Tämän vaikutuksen tehokkuutta ei kuitenkaan kokeiltu peltomittakaavassa, vaan aihe jää tulevien tutkimusten selvitettäväksi.

Vesiruton paalaus pyöröpaaleihin onnistuu teknisesti, kun paalauksen apuna käytetään pellolla kasvavaa heinäbiomassaa ja vesiruton annetaan kuivua pellolla riittävästi ennen paalausta. Säilöntä pyöröpaaleihin onnistuu tavallisilla säilörehun säilöntäaineilla ja -menetelmillä. Tämä mahdollistaa vesiruton käytön pidemmällä aikajänteellä. Hankkeen tulosten perusteella esimerkiksi biokaasutuksen lisäsyötteenä naudan lietelantaa käyttävä bioreaktori hyötyy selvästi vesiruton lisäämisestä syötteeseen, mutta useiden tonnien biomassat joudutaan syöttämään pidemmän ajan kuluessa. Optimaalisen syötesuhteen etsiminen vaatii kuitenkin vielä lisätutkimuksia.

Biokaasua voidaan käyttää paikallisesti energian tuotantoon (sähkö ja/tai lämpö) tai jalostaa liikennebiokaasuksi. Kannattavuus riippuu kuitenkin biomassan paalauksen ja kuljetuksen kustannuksista, kaasuntuotannon lisäyksestä sekä lopputuotteiden myyntihinnasta. Nuottauksen kustannuksia ei arvioitu tekniikan kehittymättömyyden vuoksi. Tulosten mukaan vesiruton käyttäminen biokaasuntuotannossa voi olla kannattavaa, sillä perusehdolla, että biokaasulaitos on jo olemassa ja vesirutto toimii vain lisäsyötteenä. Lähtökohtaisesti kate on kuitenkin pieni ja se vaihtelee niin paalien valmistuskustannusten ja kuljetusmatkan kuin myös lopputuotteiden hintojen mukaan.

Vesiruton poiston haitalliset vaikutukset veden laatuun, kuten samentumiseen ja leväkukintaan, jäivät hyvin vähäisiksi. Myös raivausnuottauksen mukana poistetut muut harvinaisemmat vesikasvit näyttivät palautuvan nopeasti.

Vesiruton käsittelyä koskevia vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia on koottu alla olevaan SWOT-taulukkoon (Taulukko 28). Vahvuuksiin kuuluvat ravinnekiertojen mahdollisuus, raaka-aineen uusiutuvuus sekä paikalliset taloudelliset ja vesistövaikutukset. Heikkouksiin lukeutuvat yhä kehittymätön korjuutekniikka, puutteellinen tutkimustieto sekä erityisesti lannoitekäyttöä koskien se, että vesiruton ravinnepitoisuus vaihtelee merkittävästi. Mahdollisuuksina nähtiin vesiruton vielä tutkimattomien ominaisuuksien hyödyntäminen, mahdollinen luomukelpoisuus sekä vesiruton leviämisen hidastaminen. Uhkina pidettiin vesiruton herkkää leviämistä pienistäkin kasvinpaloista, joita vesiruton korjuun yhteydessä syntyy, sekä esiintyvyyden suurta vaihtelua. Myös työkoneiden öljyvuoto on riski vesistöille, samoin riskinä ovat vielä tuntemattomat vaikutukset vesistöissä. On myös mahdollista, että vesiosuuskuntien sisäisiä riitoja syntyy, jos vesiruttoa poistetaan.

Tämän hankkeen tulokset olivat lupaavia mutta alustavia, ja lisäkokeita tarvitaan niiden vahvistamiseksi.

Taulukko 28. SWOT – analyysi vesirutto biomassan hyötykäytöstä.

<p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ravinnekiertojen mahdollistaminen</li> <li>• Paikallistuotanto, -talous ja -työllisyys</li> <li>• Täysin uusiutuva luonnonvara</li> <li>• Vesistöjen virkistyskäyttöarvon nousu</li> <li>• Vesistöjen hyötykäytön parantaminen</li> <li>• Vesistöjen ravinnekuormituksen vähentäminen</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kehittymättömät, tehottomat korjuutekniikat</li> <li>• Puutteellinen tutkimustieto (käyttökohteet, vaikutukset pellossa ja vesissä)</li> <li>• Työvoimaintensiivisyys (tekniikan puute)</li> <li>• Vesiruton ravinnearvon vaihtelu eri vesistöissä (vaikeuttaa lannoitussuunnittelua)</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moninaiset käyttömahdollisuudet, kuten kosmetiikka, biosidituotteet, biokaasu</li> <li>• Lannoitevaikutus (+ mahdollinen luomukelpoisuus).</li> <li>• Korjuuketjun kehitys, ammattimaisuus</li> <li>• Vesiruton invaasion estäminen/hidastaminen</li> <li>• Vielä tuntemattomien hyödyntämiskeinojen löytäminen</li> </ul>	<p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kasvin leviäminen sen palasista</li> <li>• Vesistö + kone = Öljyvahinkoriski</li> <li>• Tuntemattomat vaikutukset kaasujen vaihtoon vesissä sekä ravinnekierrossa</li> <li>• Vesiruton esiintyvyyden voimakas vaihtelu (epävarma saanto)</li> <li>• Riidat vesiosuuskuntien sisällä</li> </ul>

## LÄHTEET

- Ahokas, J. (julkaisuaika tuntematon). Traktorit ja työkoneet. <https://enpos.weebly.com/materiaali.html> [ENPOS-hanke, verkko-julkaisu. Viitattu 7.5.2021].
- Anon, 2014. API® ZYM 25 200, System for the research of enzymatic activity. 07883F - en - 2014/01. bioMérieux SA, Marcy-l'Etoile, France. 5 pp.
- Aroviita, J., Mitikka, S. & Vienonen, S. (toim.) 2019. Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2019. 177 s.
- Arrajoki, A. 2006. Julkaisemattomia tietoja Nummi-Pusulan Ruutinlammen kunnostus- ja hoitotoimenpiteistä 1985–2005.
- Axelsson L, 2004. Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology. Teoksessa S Salminen, A von Wright & Arthur Ouwehand (toim.), Lactic acid bacteria: Microbiology and Functional Aspects, Third Edition, Revised and Expanded s. 4. 617 s. Marcel Dekker Inc, New York, USA.
- Bowmer, K.H., Jacobs, S.W.L. & Sainty, G.R. 1995. Identification, biology and management of *Elodea canadensis*, Hydrocharitaceae. *J. Aquat. Plant Manage.* 33: 13–19.
- Debowski, M., Zielinski, M., Grala, A. & Dudek, M. 2013. Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies – Review. *Sustainable Energy Reviews* 27: 596–604.
- El-Mokhtar, M.A., Hassanein, K.M., Ahmed, A.S., Gad, G.F.M., Amin, M.M. & Hassanein O.F.E. 2020. Antagonistic Activities of Cell-Free Supernatants of Lactobacilli Against Extended-Spectrum  $\beta$ -Lactamase Producing *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Infection and Drug Resistance*, 13: 543–55
- Gasum 2021. Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla. <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/> (Vierailtu 30.3.2021)
- Heikkinen, R. K., Leikola, N., Fronzek, S., Lampinen, R. & Toivonen, H. 2009. Predicting distribution patterns and recent northward range shift of an invasive aquatic plant: *Elodea canadensis* in Europe. *BioRisk* 2:1–32. Ilmavirta, V. & Toivonen, H. 1986. Comparative studies on macrophytes and phytoplankton in ten small, brown-water lakes of different trophic status. *Aqua Fennica* 16:125–142.
- Hiltunen, L. & Virtanen, E. 2017. Vesiruttoa pellolle - paranisiko kasvu ja vähenisivätkö kasvitautit? Julkaisussa: Karjalainen, S. M., Välimaa A.-L., Hellsten, S. & Virtanen, E. 2017. Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riesasta raaka-aineeksi. *Elodea-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2017. ss. 49–60.
- Huusela-Veistola, E., Hellsten, S., Holmala, K., Hyvönen, T., Kauhala, K., Lindqvist, B., Liukko, U.-M., Kuoppala, M., Seimola, T., Teeriaho, T., Rytteri, T., Tuhkanen, E.-M., Urho, L. 2020. Ehdotus kansallisesti haitallisten vieraslajien hallintasuunnitelmaksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:32.
- Joona, J. 2013. Ravinteiden hallinta maanparannusaineiden avulla. Viitattu: 1.11.2021. Saatavissa: [http://tyynelantila.fi/wp-content/uploads/2013/03/Ravinteiden-hallinta-maanparannusaineilla\\_Joona-20.3\\_2.pdf](http://tyynelantila.fi/wp-content/uploads/2013/03/Ravinteiden-hallinta-maanparannusaineilla_Joona-20.3_2.pdf)
- Joyce, J. C. 1990. Practical uses of aquatic weeds. *Julk. Pieterse, A. & Murphy, K. J. Aquatic Weeds. Oxford science publications, Oxford. S. 276–291.*
- Järvinen, M., Aroviita, J., Hellsten, S., Karjalainen, S. M., Kuoppala, M., Meissner, K., Mykrä H. ja Vuori, K.-M. 2019. Jokien ja järvien biologinen seuranta – näytteenotosta tiedon tallentamiseen. Versio: 6.9.2019.
- Järvirekisteri. 2021. Perustiedot kaikista yli 1 ha:n kokoisista vedenkokoumista. Suomen ympäristökeskus. [https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin\\_tieto/Ymparistotietojarjestelmat](https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat)
- Karjalainen, S. M., Välimaa, A.-L., Hellsten, S. & Virtanen, E. (toim.) 2017. Vesiruton hyötykäyttö – riesasta raaka-aineeksi. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 18. ISBN 978–952–11–4843–9 (nid.) Viitattu 1.11.2021. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/218283/SYKEra\\_18\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/218283/SYKEra_18_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lizama L.C., Marion J.E. & McDowell L.R. 1988. Utilization of aquatic plants *Elodea canadensis* and *Hydrilla verticillata* in broiler chick diets. *Animal Feed Science and Technology* 20:155–161.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. 2017. SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 54 s.
- Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla. 2020. World Bank, Pink sheet, annual prices, 2020 September <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> Viitattu 9.12.2020.

- Manni, K., Lötjönen, T., & Huuskonen, A. (2021). Comparing spring triticale varieties to barley and wheat varieties when harvested as whole crop. *Agricultural and Food Science*, 30(1), 24–35.
- McDonald, P., Henderson, A.R., & Heron, S.J.E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd ed. Marlow, UK: Chalcombe Publications.
- Medina-Herrera, M.R., Negrete-Rodríguez, M.L.X., Álvarez-Trejo, J.L., Samaniego-Hernández, M., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A. & Conde-Barajas, E. 2020. Evaluation of Non-Conventional Biological and Molecular Parameters as Potential Indicators of Quality and Functionality of Urban Biosolids Used as Organic Amendments of Agricultural Soils. *Appl. Sci.* 2020, 10, 517. doi:10.3390/app10020517
- Meng, Q.X., Jiang, H.H., Hanson, L.E. & Hao, J.J. 2012. Characterizing a novel strain of *Bacillus amyloliquefaciens* BAC03 for potential biological control application. *J. Appl. Microbiol.* 113: 1165–1175.
- Merry, R.J., Lowes, K.F., & Winters, A. 1997. Current and future approaches to biocontrol in silage. p. 17–27, in: Jambor et al., 1997, q.v.
- Muñoz Escobar, M., Voyevoda, M., Fühner, C. & Zehnsdorf, A. 2011. Potential uses of *Elodea nuttallii*-harvested biomass. *Energy, Sustainability and Society* 1: 1–8.
- Neogen. Technical Specification Sheet: MRS Agar (NCM0190). Viitattu 15.12.2021. Saatavissa: [https://www.neogen.com/globalassets/pim/assets/original/10007/ncm0190\\_ts\\_en-us.pdf](https://www.neogen.com/globalassets/pim/assets/original/10007/ncm0190_ts_en-us.pdf).
- Orava, R. 1980. Maataloustöiden standardiaikajärjestelmä. Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston moniste, 1980, 1. ISSN 0357–4784. 237 s.
- Palva, R., Peltonen, M. & Pentti, S. 2004. Karjanlannan levitysmenetelmät ja työnmenekit. Työtehoseuran maataloustiedote, 1/2004 (564), 0782–6788, 12 s.
- Palva, R. 2019. TTS Työtehoseuran julkaisuja 447/2019 (16). ISSN: 2489–8341 (verkkójulkaisu).
- Rajala, J. 2006. Luonnonmukainen maatalous. Helsingin yliopisto Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus Mikkeli. Julkaisuja no 80. ISBN 952–10–0396–0.
- Sarvala J., Helminen, H., Heikkilä, J. 2020. Invasive submerged macrophytes complicate management of a shallow boreal lake: a 42-year history of monitoring and restoration attempts in Littoistenjärvi, SW Finland. *Hydrobiologia* 847:4575–4599
- Sarvala, J. & Perttula, H. 1994. Littoistenjärvi. Littoistenjärvityöryhmä, Kaarinan kaupunki ja Liedon kunta. 78 s. + 2 liite
- Sarvala, J. Helminen, H. & Heikkilä J. 2020. Invasive submerged macrophytes complicate management of a shallow boreal lake: a 42-year history of monitoring and restoration attempts in Littoistenjärvi, SW Finland. *Hydrobiologia* 847:4575–4599
- Tilastokeskus 2021. Suomen virallinen tilasto, energiatalostatietokanta [https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ene\\_\\_ehi/](https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehi/) (Viitattu 7.4.2021)
- Ulvi, T., Hiltunen, L., Siljander-Rasi, H., Välimaa, A.-L. ja Karjalainen, S. M. 2017. Toimintamalli vesiruton hyötykäytön edistämiseksi. Julkaisussa: Karjalainen, S. M., Välimaa A.-L., Hellsten, S. & Virtanen, E. 2017. Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riasasta raaka-aineeksi. *Elodea-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2017. ss. 101–110.
- Vakkilainen, K. 2005. Submerged macrophytes modify food web interactions and stability of lake littoral ecosystems. Reports from the Department of Ecological and Environmental Sciences No 3, University of Helsinki
- VEMU. 2021. Vesimuodostumat-tietojärjestelmä. 3. suunnittelukauden ekologisen tilaluokittelun aineisto. Suomen ympäristökeskus.
- Väisänen, A., Hellsten, S. & Kuoppala, M. 2017. Vesirutto maailmalla, Suomessa ja Koillismaalla. Julkaisussa: Karjalainen, S. M., Välimaa A.-L., Hellsten, S. & Virtanen, E. 2017. Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riasasta raaka-aineeksi. *Elodea-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2017. ss. 15–17.
- Välimaa, A.-L. 2017. Soveltuisiko vesirutto elintarvikkeeksi tai kosmetiikkateollisuuteen? Julkaisussa: Karjalainen, S. M., Välimaa A.-L., Hellsten, S. & Virtanen, E. 2017. Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riasasta raaka-aineeksi. *Elodea-hankkeen loppuraportti*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2017. ss. 61–79.
- Välimaa, A.-L., Raitanen, J.-E., Tienaho, J., Sarjala, T., Nakayamad, E., Korpinen, R., Mäkinen, S., Eklundf, P., Willförf, S. & Jyske, T. 2020. Enhancement of Norway spruce bark side-streams: Modification of bioactive and protective properties of stilbenoid-rich extracts by UVA-irradiation. *Industrial Crops & Products*, 2020, 145, 112150.
- VEMALA. 2021. Koko Suomen kattava vesistömalli, joka kuvaa vesistön hydrologista kiertoa ja veden kulkeutumista vesistön uomissa ja järvissä. Suomen ympäristökeskus.

- Weinberg, Z.G., & Muck, R.E. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiol. Rev.*, 19: 53–68.
- Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 849–860
- Whitfort, L.A. 1982. Investigations into the composition of epiphytic communities and their influence on the uptake of diquat by *Elodea canadensis* Rich. MSc. Thesis, University of New South Wales. CSIRO Division of Irrigation Research, Griffith, New South Wales, 132 pp.

## LIITE 1. Vuotunki-järvestä vuosina 2019 ja 2020 nostetun vesiruttobiomassan fysikaalis-kemialliset ominaisuudet sekä alkuainepitoisuudet.

Alkuaine/parametri	Määrittäminen	Yksikkö	Pitoisuus vesiruton biomassassa	
			2019 (n=2)	2020 (n=3)
Kosteus	EN 13040: 2008–01	%	91	85 (±1,32)
Kuiva-aine	EN 13040: 2008–01	%	9,3	15 (±1,32)
Hehkutushäviö	EN 15935: 2012–11/EN 13039	% ka	81	88 (±0,59)
Tuhka	EN 15935: 2012–11/EN 13039	% ka	19	12 (±0,59)
pH, happamuus (1:5)	EN 13037		5,3	5,7 (±0,20)
Johtokyky (1:5)	EN 13038: 2012–01/ SFS–EN 13038: 2011	mS/m	87	97 (±10,6)
Tilavuuspaino		kg/m <sup>3</sup>	335	617 (±32,1)
Typpi (N), kokonaispitoisuus	EN ISO 5983–2	g/kg ka	29	28 (±2,52)
Typpi (N), vesiliukoinen	EN 13652	g/kg ka	6,4	3,1 (±0,53)
Fosfori (P), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	g/kg ka	1,9	2,4 (±0,26)
Fosfori (P), vesiliukoinen	EN 13652	mg/kg ka	795	1133 (±414)
Kalium (K), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	g/kg ka	23	25 (±3,79)
Kalsium (Ca), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	g/kg ka	16	16 (±1,73)
Magnesium (Mg), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	g/kg ka	2,3	2,5 (±0,10)
Rikki (S), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008 mod	g/kg ka	4,9	2,8 (±0,61)
Rauta (Fe), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	mg/kg ka	3700	1267 (±115)
Mangaani (Mn), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	mg/kg ka	435	653 (±211)
Sinkki (Zn), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	mg/kg ka	38	32 (±6,08)
Boori (B), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	mg/kg ka	8,6	10 (±0,92)
Kupari (Cu), kokonaispitoisuus	SFS–EN 15510:2008	mg/kg ka	6,1	<6,0
Alumiini (Al), kokonaispitoisuus	EN 13650 <sup>1)</sup> ; SFS–EN 15510:2008 <sup>2)</sup>	mg/kg ka	490	317 (±21,0)
Arseeni (As), kokonaispitoisuus	EN 13650	mg/kg ka	<5,5	<5,5
Kadmium (Cd), kokonaispitoisuus	EN 13650	mg/kg ka	0,12	<0,11
Kromi (Cr), kokonaispitoisuus	EN 13650	mg/kg ka	6,2	<3,3
Elohopea (Hg), kokonaispitoisuus	EN 13650	mg/kg ka	<0,08	<0,08
Nikkeli (Ni), kokonaispitoisuus	EN 13650	mg/kg ka	4,6	<3,3
Lyijy (Pb), kokonaispitoisuus	EN 13650	mg/kg ka	3,7	<2,2

1) Määrittäminen 2019. 2) Määrittäminen 2020. Suluissa keskihajonta.

## LIITE 2. Maan ravinnepitoisuudet perunan peltokokeissa 2020

Man ravinnepitoisuudet perunan peltokokeessa vesiruton levittämisen jälkeen (syksy 2019), ennen kokeen perustamista (kevät 2020) ja sadonkorjuun jälkeen (syksy 2020). Vesiruttomassaa levitettiin vesiruttokaistalle 30 t/ha, kontrollikaistalle 0 t/ha. Peruslannoituksena annettiin Yara HEVI 3 -lannoitetta 290 kg/ha. Suluissa keskihajonta.

Ravinne/parametri <sup>1)</sup>	Määritysmenetelmä	Yksikkö	Pitoisuus maassa					
			Syksy 2019 (n=4)		Kevät 2020 (n=8)		Syksy 2020 (n=8)	
			Kontrolli	Vesirutto	Kontrolli	Vesirutto	Kontrolli	Vesirutto
Maalaji	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096		HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr
Multavuus	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096		m/rm	m/rm	m/rm	m/rm	m	m
pH	ISO 10390 : 2005, mod.		6,2 (±0,10)	6,4 (±0,06)	6,2 (±0,05)	6,2 (±0,07)	5,9 (±0,05)	5,9 (±0,08)
Johtoluku	ISO 11265 : 1994, mod	10 mS/cm	1,7 (±0,13)	2,0 (±0,14)	1,3 (±0,45)	1,1 (±0,18)	1,2 (±0,29)	1,1 (±0,20)
Fosfori (P)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	18 (±0,58)	17 (±0,82)	15 (±1,85)	14 (±0,99)	15 (±1,46)	15 (±0,83)
Kalium (K)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	290 (±49,0)	370 (±40,8)	203 (±33,7)	195 (±38,5)	127 (±32,5)	125 (±26,1)
Kalsium (Ca)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	1055 (±122)	1123 (±129)	848 (±83,5)	799 (±60,3)	919 (±69,2)	891 (±84,4)
Magnesium (Mg)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	195 (±5,77)	198 (±12,6)	154 (±9,16)	146 (±9,16)	160 (±5,35)	155 (±7,56)
Mangaani (Mn)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096		78 (±16,2)	63 (±13,7)	57 (±9,97)	52 (±4,73)	73 (±11,9)	67 (±8,63)
Boori (B)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	0,93 (±0,13)	0,88 (±0,15)	0,76 (±0,07)	0,74 (±0,05)	0,91 (±0,12)	0,88 (±0,09)
Kupari (Cu)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	5,9 (±0,54)	5,3 (±0,42)	4,4 (±0,30)	4,4 (±0,38)	4,8 (±0,39)	4,7 (±0,33)
Rikki (S)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	16 (±0,82)	17 (±1,83)	13 (±3,40)	12 (±1,94)	33,4 (±5,07)	30 (±3,70)
Sinkki (Zn)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	18 (±0,96)	17 (±1,26)	13 (±0,53)	13 (±0,52)	15 (±1,36)	15 (±0,76)
Kationinvaihtokapasiteetti	Laskennallinen, CC Attribution-ShareAlike 4.0	cmol/kg	10 (±0,58)	10 (±0,82)	7,6 (±0,74)	7,0 (±0,53)	8,5 (±0,53)	8,5 (±0,53)
Hekikutushäviö	EN 15935 (S33):2012–11	% ka	-	-	7,3 (±0,91)	7,0 (±0,76)	-	-
Hiili (C)	ISO 10694:1995; EN 13654–2:2002	%	-	-	3,4 (±0,54)	3,5 (±0,26)	-	-
Typpi (N)	ISO 10694:1995; EN 13654–2:2002	%	-	-	0,27 (±0,02)	0,27 (±0,01)	-	-
C/N suhde	ISO 10694:1995; EN 13654–2:2002		-	-	13 (±1,15)	13 (±1,03)	-	-
Typpi (N), liukoinen	EN 13654–1 (mod.)	mg/l	-	-	30 (±9,84)	26 (±4,93)	-	-
Tuhka	EN 15935 (S33):2012–11	% ka	-	-	93 (±0,91)	93 (±0,76)	-	-

1) Analyysin tekijä Eurofins Viljavuuspalvelu Oy  
HtMr, hietamoreeni; m, multava; rm, runsasmultainen

## LIITE 3. Maan ravinnepitoisuudet perunan peltokokeissa 2021

Ravinnepitoisuudet vuoden 2021 perunan peltokokeessa ennen vesiruton levittämistä (syksy 2021/1) ja sen jälkeen (syksy 2020/2), ennen kokeen perustamista (kevät 2021) ja sadonkorjuun jälkeen (syksy 2021). Vesiruttomassaa levitettiin vesiruttokaistalle 30 t/ha, kontrollikaistalle 0 t/ha. Peruslannoituksena annettiin Yara HEVI 3 -lannoitetta 290 kg/ha. Suluissa keskihajonta.

Ravinne/parametri <sup>1)</sup>	Määritysmenetelmä	Yksikkö	Pitoisuus maassa							
			Syksy 2020/1 (n=4)		Syksy 2020/2 (n=4)		Kevät 2021 (n=8)		Syksy 2021 (n=8)	
			Kontrolli	Kontrolli	Vesirutto	Kontrolli	Vesirutto	Kontrolli	Vesirutto	
Maalaji	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096		HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	
Multavuus	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096		m	rm	rm	m	m	m	m	
pH	ISO 10390 : 2005, mod.		6,2 (±0,18)	6,3 (±0,17)	6,3 (±0,08)	6,2 (±0,13)	6,2 (±0,11)	6,2 (±0,14)	6,1 (±0,13)	
Johtoluku	ISO 11265 : 1994, mod	10 mS/cm	1,6 (±0,25)	2,1 (±0,33)	1,9 (±0,35)	1,1 (±0,17)	0,99 (±0,17)	1,3 (±0,17)	1,3 (±0,24)	
Fosfori (P)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	22 (±1,29)	24 (±1,41)	22 (±1,71)	24 (±1,93)	23 (±1,69)	24 (±5,78)	23 (±2,05)	
Kalium (K)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	215 (±35,1)	413 (±43,5)	313 (±38,6)	216 (±40,3)	215 (±29,8)	236 (±29,2)	234 (±21,3)	
Kalsium (Ca)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	1015 (±58,0)	1125 (±50,0)	1150 (±100)	904 (±116)	896 (±84,8)	1034 (±92,4)	1034 (±55,3)	
Magnesium (Mg)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	173 (±22,2)	193 (±17,1)	208 (±17,1)	148 (±19,1)	144 (±13,0)	163 (±15,8)	163 (±10,4)	
Mangaani (Mn)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096		70 (±5,38)	82 (±12,5)	81 (±5,20)	73 (±12,5)	72 (±8,96)	76 (±14,5)	79 (±8,29)	
Boori (B)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	1,4 (±0,05)	1,5 (±0,05)	1,4 (±0,06)	0,88 (±0,09)	0,85 (±0,08)	0,99 (±0,10)	1,1 (±0,11)	
Kupari (Cu)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	5,7 (±0,81)	5,9 (±0,10)	5,7 (±0,24)	4,9 (±0,40)	4,7 (±0,30)	5,4 (±0,63)	5,4 (±0,23)	
Rikki (S)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	31 (±8,22)	33 (±5,80)	28 (±2,63)	14 (±2,49)	14 (±2,13)	24 (±2,05)	28 (±7,53)	
Sinkki (Zn)	SFS EN ISO/IEC 17025:2005 FINAS T096	mg/l	15 (±0,82)	18 (±1,50)	18 (±1,00)	13 (±1,55)	13 (±1,16)	15 (±1,49)	15 (±0,83)	
Kationinvaihtokapasiteetti	Laskennallinen, CC Attribution-ShareAlike 4.0	cmol/kg	9,0 (±0,00)	10 (±0,50)	10 (±0,96)	8,1 (±1,13)	7,9 (±0,99)	8,9 (±0,83)	9,0 (±0,53)	
Hekkutushäviö	EN 15935 (S33):2012–11	% ka	-	6,7 (±0,08)	6,9 (±0,19)	6,1 (±0,61)	6,3 (±0,37)	-	-	
Hiili (C)	ISO 10694:1995; EN 13654–2:2002 <sup>2)</sup> ; SFS–EN ISO 16948 <sup>3)</sup>	%	-	2,7 (±0,11)	3,0 (±0,15)	2,4 (±0,24)	2,5 (±0,24)	-	-	
Typpi (N)	ISO 10694:1995; EN 13654–2:2002 <sup>2)</sup> ; SFS EN13342–2000; SFS EN 13654–1:2002 <sup>3)</sup>	%	-	0,24 (±0,01)	0,24 (±0,01)	0,31 (±0,03)	0,30 (±0,03)	-	-	
C/N suhde	ISO 10694:1995; EN 13654–2:2002		-	12 (±0,24)	12 (±0,21)	-	-	-	-	
Typpi (N), liukoinen	EN 13654–1 (mod.)	mg/l	-	47 (±3,50)	43 (±0,99)	31 (±2,20)	32 (±3,07)	-	-	
Tuhka	EN 15935 (S33):2012–11	% ka	-	93 (±0,08)	93 (±0,19)	94 (±0,61)	94 (±0,37)	-	-	
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)	DIN EN 15936: 2012–11	% ka	-	-	-	2,4 (±0,37)	2,4 (±0,23)	-	-	

1) Analyysin tekijä Eurofins Viljavuuspalvelu Oy    2) Määritysmenetelmä 2020    3) Määritysmenetelmä 2021    HtMr, hietamoreeni; m, multava; rm, runsasmultainen



## LIITE 4. Maan raskasmetallipitoisuudet perunan peltokokeissa ennen kokeiden perustamista keväällä 2020 ja 2021.

Raskasmetalli <sup>1)</sup>	Kokonaispitoisuus maassa, mg/kg ka			
	Kevät 2020 (n=8)		Kevät 2021 (n=8)	
	Kontrolli	Vesirutto	Kontrolli	Vesirutto
Alumiini (Al)	7675 (±892)	7450 (±711)	8525 (±306)	8725 (±328)
Arseeni (As)	< 5,1	< 5,1	< 5,3	< 5,3
Elohopea (Hg)	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07
Kadmium (Cd)	0,16 (±0,02)	0,16 (±0,02)	0,16 (±0,01)	0,17 (±0,03)
Kromi (Cr)	26 (±6,27)	30 (±13,2)	27 (±0,52)	28 (±0,64)
Kupari (Cu)	14 (±1,83)	14 (±1,55)	16 (±0,52)	16 (±0,93)
Lyijy (Pb)	2,9 (±0,29)	3,3 (±0,87)	3,3 (±0,22)	4,3 (±2,07)
Nikkeli (Ni)	12 (±2,75)	14 (±6,36)	13 (±1,39)	15 (±4,27)
Sinkki (Zn)	42 (±3,34)	42 (±4,33)	50 (±2,92)	52 (±2,56)

Vesiruttomassaa oli levitetty edeltävänä syksynä vesiruttokaistalle 30 t/ha, kontrollikaistalle 0 t/ha. Suluissa keskihajonta.

1) Analyysin tekijä Eurofins Viljavuuspalvelu Oy; määrittämenetelmänä AR-uutto: SFS-EN 13650:2002

LIITE 5. Maanäyteanalyysien tulokset kokoviljakokeelta syksyllä 2019.



Näyte otettu

Saapunut

9.10.2019

Analyysi		Yksikkö	19-00077231	19-00077233
Numero			1	2
Nimi			Kontrolli, ei vesiruttoa	Vesirutto v. 2019
Maalaji	FV(a)		HtMr	HtMr
Multavuus	FV(a)		m	m
Johtoluku	FV	10 mS/cm	0,5	0,6
pH	FV		○ 5,4	● 5,2
Kalsium (Ca)	FV(a)	mg/l	● 430	● 310
Fosfori (P)	FV(a)	mg/l	□ 14	■ 18
Kalium (K)	FV(a)	mg/l	● 33	● 37
Magnesium (Mg)	FV(a)	mg/l	● 38	● 32
Natrium (Na)	FV(a)	mg/l	● <20	● <20
Rikki (S)	FV(a)	mg/l	■ 20	■ 25
Kupari (Cu)	FV(a)	mg/l	■ 5,3	■ 5,5
Mangaani (Mn)	FV(a)		□ 32	□ 50
Sinkki (Zn)	FV(a)	mg/l	□ 5,2	□ 5,9
Kationin vaihtokapasiteetti	FV	cmol/kg	5	4
Ca/ KVK	FV	%	43	39
K/ KVK	FV	%	2	2
Mg/ KVK	FV	%	6	7
Na/ KVK	FV	%	5	7
Kalkitustarve	FV	tonni/ha	8	9
Suosittelava kalkkilaji	FV		Vapaa-valintainen	Vapaa-valintainen

# LIITE 6. Maanäyteanalyysien tulokset kokoviljakokeelta syksyllä 2021.



Näyte otettu  
Saapunut

25.8.2021  
5.10.2021

Tila  
Kunta

Analyysi		Yksikkö	21-00106728	21-00106729	21-00106730	21-00106731
Numero			Vesirutto, kevätkyntö	Kontrolli, kevätkyntö	Vesirutto, syyskyntö	Kontrolli, syyskyntö
Nimi						
Maalaji	FV(a)		HtMr	HtMr	HtMr	HtMr
Multavuus	FV(a)		rm	m	rm	rm
Johtoluku	FV(a)	10 mS/cm	0,8	0,8	0,8	1,0
pH	FV(a)		● 5,0	● 5,2	○ 5,3	○ 5,4
Kalsium (Ca)	FV(a)	mg/l	● 330	● 290	● 400	● 550
Fosfori (P)	FV(a)	mg/l	■ 26	■ 25	■ 20	■ 16
Kalium (K)	FV(a)	mg/l	● 55	● 59	● 66	● 61
Magnesium (Mg)	FV(a)	mg/l	● 38	● 33	● 39	● 44
Rikki (S)	FV(a)	mg/l	■ 28	■ 37	■ 37	■ 31
Kupari (Cu)	FV(a)	mg/l	■ 6,1	■ 5,6	■ 5,7	□ 4,9
Mangaani (Mn)	FV(a)		□ 74	■ 81	□ 47	□ 62
Sinkki (Zn)	FV(a)	mg/l	■ 6,6	■ 6,2	■ 7,1	■ 7,8
Kationinvaihtokapasiteetti	FV	cmol/kg	5	4	5	6
Ca/ KVK	FV	%	33	36	40	46
K/ KVK	FV	%	3	4	3	3
Mg/ KVK	FV	%	6	7	7	6
Na/ KVK	FV	%	5	7	5	4
Kalkitustarve	FV	tonni/ha	16	9	13	11
Suosittelava kalkkilaji	FV		Vapaa- valintainen	Vapaa- valintainen	Vapaa- valintainen	Vapaa- valintainen
Hehkutushäviö	FV(a)	% ka	6,6	5,4	6,8	7,3



ISBN 978-952-11-5465-2 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkokj.)