



Pikkulimaskan potentiaali laimealla kosteikolla

Aino Penttinen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2023

Luonnonvara- ja ympäristöala

Agrologi (AMK), maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Penttinen, Aino

Pikkulimaskan potentiaali laimealla kosteikolla

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2023, 34 sivua.

Luonnonvara-ala. Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Suomen biotalousstrategian (2022) tavoitteissa on muun muassa luoda uusia biotalouden ratkaisuja, vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista, tehostaa ekologista kestävyttä ja uusiutuvien luonnonvarojen uusiutumiskykyä. Vesistöjen biomassat sekä makea vesi sisältyvät biotalousstrategiaan. Maatalouden on arvioitu aiheuttavan yli puolet Suomen pintavesien ravinnekuormituksesta. Erityisesti typpi ja fosfori ovat ravinteita, jotka rehevöittävät vesistöjä. Pikkulimaska (*Lemna minor*) on pieni vesikasvi, jonka ominaisuutena on tehokas ravinteiden keruu kasvuympäristöstään. Sen potentiaali osana ravinnekiertoa ja biotaloutta on tunnistettu maailmalla, mutta Suomessa tutkimus on ollut vähäistä.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Luonnonvarakeskus, jossa on toteutettu hankkeita pikkulimaskasta kalankasvatustiloksissa. Hankkeissa on keskitytty vähentämään kalankasvatuksesta syntyviä ravinnepestöjä ja luomaan pikkulimaskasta kalanrehua kierratotalouden menetelmin. Opinnäytetyössä tavoitteena oli tutkia pikkulimaskan potentiaalia osana maatalouden ravinnekiertoa kasvattamalla sitä maatalousympäristössä.

Tutkimus toteutettiin 2022 kesän ja syksyn aikana, jolloin pikkulimaskat sijoitettiin kahteen erilaiseen kasvatuspaikkaan: laimeaan maatalouskosteikkoon ja lannoitettuihin kasvatusaltilaisiin. Kasvatus toteutettiin 8.8.2022-12.10.2022. Sadonkorjuun jälkeen pikkulimaskat analysoitiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun Rajakadun ja Saarijärven kampuksien laboratorioissa. Pikkulimaskoista määritettiin tuhka-, kokonaistyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudet. Tämän lisäksi pikkulimaskojen massankasvua seurattiin.

Kasvatuskokeet onnistuivat valitussa ympäristössä. Eniten massansa kasvattivat kosteikolla kasvaneet pikkulimaskat. Kosteikolla kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta oli fosforia 0,0085 %, typpeä 2,41 %, raakavalkuaista 15,09 % ja tuhkaa 10,4 %. Lannoitetuissa altaissa kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta oli fosforia 0,013 %, typpeä 5,63 %, raakavalkuaista 35,18 % ja tuhkaa 10,6 %.

Tutkimuksessa käytetty kosteikko soveltui hyvin pikkulimaskan kasvatukseen, mikäli tavoitteena on kasvatata pikkulimaskan massaa. Mikäli pikkulimaskaa haluaa hyödyntää lannoitteena tai rehuna, tulee kasvatus toteuttaa lannoitetussa ympäristössä, jotta lopputuotteessa on tarpeeksi hyödynnettäviä ravintoaineita. Pikkulimaskalla on potentiaalia osana maatalouden ravinnekertoa, sillä se kykenee keräämään itseensä ravinteita, vaikuttaen positiivisesti kasvuympäristönsä ekologiseen tilaan. Ravinnekerron toteutumiseksi tulee pikkulimaskaa hyödyntää osana maataloutta. Biotalous tuotteena pikkulimaskasta on moneen, sitä voi hyödyntää lannoitteena, rehuna tai bioenergian ja -polttoaineiden tuotannossa.

Avainsanat (asiasanat)

pikkulimaska, ravinnekierto, maatalous, biotalous, kosteikot

Penttinen, Aino

The potential of common duckweed in dilute wetland

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 34 pages.

Field of Natural resources. Degree Programme in Agricultural and Rural Industries. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The objectives of the Finnish Bioeconomy Strategy (2022) include creating new bioeconomy solutions and enhancing the resilience of renewable natural resources. Biomass in water bodies and freshwater are included in the bioeconomy strategy. Agriculture is estimated to cause more than half of the load in Finland's surface waters. Nitrogen and phosphorus are nutrients that eutrophic water bodies. Common duckweed (*Lemna minor*) is a small aquatic plant characterised by efficient nutrient collection from its growing environment. Its potential as part of the nutrient cycle and bioeconomy has been recognised worldwide, but research in Finland has still been limited.

The study exhibition is commissioned by the Natural Resources Institute Finland, which has implemented common duckweed projects in fish farms. The projects have focused on reducing nutrient emissions from fish farming and the common duckweed fish feed generated by fish farming using circular economy methods. The aim of the study was to explore the potential of duckweeds as part of the nutrient cycle in agriculture by increasing them in the agricultural environment.

The study was carried out in the summer and autumn of 2022. Small masses were increased in two different environments. The crop was examined for ash, total nitrogen, and total phosphorus. In addition, the increase in the mass of common duckweeds was monitored.

The educational experiments were successful in the selected environment. Most of its masses were grown by common duckweed grown in wetlands. The dry matter of duckweeds grown in wetlands contained 0.0085% phosphorus, 2.41% nitrogen, 15.09% crude protein and 10.4% ash. The dry matter of duckweeds in the fertilised ponds contained 0.013% phosphorus, 5.63% nitrogen, 35.18% raw protein and 10.6% ash.

The wetland used in the study is well suited for common duckweed if the aim is to increase masses. The differences between farmed common duckweed will increase when the nutrient content is examined. If common duckweed is to be used as fertilisers or feeds, the rearing must be carried out in the fertilised environment. Common duckweed has potential as part of the nutrient multiplier of agriculture, as it can collect nutrients, with a positive impact on the ecological state of its growing environment. To achieve the nutrient story, common duckweed should be utilised as part of agriculture. As a bioeconomy product, common duckweed is diverse, it can be used as fertiliser, feed or in the production of bioenergy and biofuels.

Keywords/tags (subjects)

Lemna minor, nutrient cycle, Agriculture, bioeconomy, wetlands

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Tutkimusasetelma	7
2.1	Aikaisempi tutkimus.....	7
2.2	Opinnäytetyön tausta	8
2.3	Tutkimuskysymykset	8
2.4	Tutkimusmenetelmä, aineisto ja laboratorioanalyysit	9
3	Biotalous ja maatalouden ravinnekierto	10
3.1	Biotalous Suomessa.....	10
3.2	Vesistöjen ravinnekuormitus ja ravinnekierto	11
4	Pikkulimaska	12
4.1	Yleiskuvaus	12
4.2	Pikkulimaska biopuhdistajana	13
4.3	Pikkulimaskan hyödyntäminen maailmalla osana biotaloutta	13
5	Työn toteutus	14
5.1	Tutkimusympäristöt	14
5.2	Esikasvatus	16
5.3	Jatkokasvatus	20
5.4	Sadonkorjuu ja näytteiden käsittely	23
5.5	Laboratorioanalyysit.....	25
6	Tulokset	27
6.1	Massan kasvu	27
6.2	Kuivattujen pikkulimaskojen koostumus	27
6.3	Tuhkapitoisuus	28
6.4	Fosfori, typpi ja raakavalkuainen kuiva-aineessa.....	29
6.5	Lämpötilan seuranta	30
7	Johtopäätökset	31
8	Pohdinta	33
	Lähteet	35
	Liitteet	38
	Liite 1. Ravinnepitoisuuksien määrittelylaskut	38

Kuviot

Kuvio 1. Kasvatuspaikkojen sijainti kartalla.	15
Kuvio 2. Pikkulimaskat kuljetettiin Saarijärvelle muovisissa astioissa.....	17
Kuvio 3. Levän valtaama kasvatusallas.	18
Kuvio 4. Kolmas kasvatusallas mahdollisesti suuremman massankasvun esikasvatuksessa.....	19
Kuvio 5. Suoja-aitauksen avulla linnut eivät syö pikkulimaskoja.	21
Kuvio 6. Kelluva suoja-aitaus kosteikolla.	22
Kuvio 7. Pikkulimaskat olivat kasvaneet tiiviiksi massaksi lannoitetuissa altaissa.	23
Kuvio 8. Osa pikkulimaskoista oli karannut aitauksen sisäosan ulkopuolelle.	24
Kuvio 9. Pikkulimaskoista eroteltiin roskat muovisissa astioissa.....	25
Kuvio 10. Allaskasvatuksen ilman ja veden lämpötilat	30
Kuvio 11. Kosteikkokasvatuksen ilman ja veden lämpötilat.....	31

Taulukot

Taulukko 1. Tutkimuskosteikkoihin tulleen veden valuntapainoitteiset keskipituudet vuosina 2013 ja 2014.....	16
Taulukko 2. Kasvatettujen pikkulimaskojen massan kasvu	27
Taulukko 3. Kuivattujen pikkulimaskojen koostumus	28
Taulukko 4. Pikkulimaskojen tuhkapitoisuus	28
Taulukko 5. Fosforin määrä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta	29
Taulukko 6. Typen määrä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta	29
Taulukko 7. Raakavalkuaisen määrä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta	30

1 Johdanto

Suomessa vesistöjä rehevöittää valuma-alueita tuleva typpi- ja fosforikuormitus. Maatalouden on arvioitu aiheuttavan yli puolet vesistöjen ravinnekuormituksesta. (Maatalouden vesiensuojelu 2022.) Vesiensuojelun tehostamiseen on keskitytty muun muassa Ympäristöministeriön vesiensuojelun tehostamisohjelmassa, jossa pääpainona on maatalouden ravinnepäästöjen vähentämiseen erityisesti valuma-alueilta ja vesistöjen varsilta (Vesiensuojelun tehostamisohjelma n.d.). Maatalouden päästöjä vesistöihin on vaikeaa taltuttaa, minkä vuoksi vesienhallinta ja vesiensuojelumeneelmiä tulee jatkossakin tehostaa (Maatalouden vesiensuojelu 2022). Myös Suomen biotalousstrategia (2022) kannustaa lisäämään ekologista kestävyyttä ja uusiutuvien luonnonvarojen uusiutumiskykyä. Innovatiivisten biotalouden ratkaisujen avulla voidaan helpottaa ja edesauttaa kotimaista taloutta ja huoltovarmuutta, samalla luonnonvaroja kunnioittaen.

Pikkulimaska (*Lemna minor*) on pieni veden pinnalla kelluva kasvi, joka on ominaisuuksiltaan tehokas keräämään ravinteita kasvuympäristöstään ja kasvattamaan massaansa nopeasti. Kasvi on luonnonvarainen Suomessa ja se viihtyy ravinteikkaissa vesistöissä. (Hämet-Ahti, Suominen, Ulvinen & Uotila 1998, 506.) Maailmalla pikkulimaskan potentiaalia biotaloudessa on tutkittu pitkään. Sen koetaan oleva hyvä raaka-aine rehujen, lannoitteiden ja biopolttoaineiden valmistuksessa. (Goopy & Murray 2003, 301; Kreider, Pulido, Bruns & Brennan 2019, 475; Kamrun & Sanwar 2019, 8–9.) Pikkulimaskan tiedetään toimivan tehokkaana vesistöjen biopuhdistajana. Käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat sen kasvuympäristön olosuhteet. (Zhou, Stepanenko, Kishchenko, Xu & Borisjuk 2023, 2). Olosuhteet maailmalla voivat erota paljon Suomen olosuhteista. Tämän takia pikkulimaskan potentiaalia osana ravinnekiertoa ja biotaloutta tulee tutkia lisää Suomessa.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Luonnonvarakeskus (Luke). Luonnonvarakeskus on toteuttanut hankkeita liittyen pikkulimaskaan kalankasvatuslaitosten yhteydessä. Hankkeissa on pyritty vähentämään kalankasvatuksesta syntyviä ravinnepäästöjä ja luomaan kannattavaa kalanrehua pikkulimaskasta kiertotalouden menetelmin. Hankkeissa on pyritty luomaan kustannustehokasta viljelymenetelmää pikkulimaskoille ja keskitytty kasvatettujen pikkulimaskojen koostumukseen ja typensidontakykyyn. (Laajala 2020; Rehumaska 2023.)

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia pikkulimaskaa osana maatalouden ravinnekiertoa. Tätä ei ole Suomessa aiemmin tutkittu, Luken tutkimuksien keskittyessä kalatalouden ympärille. Tutkimuksessa kasvuympäristöinä toimii laimea kosteikko ja lannoitetut vertailualtaat. Tutkimuksen avulla voidaan vertailla pikkulimaskan potentiaalia erilaisissa maatalousympäristöissä. Työn tulokset antavat uutta tietoa pikkulimaskan kasvatuksesta ja sen mahdollisista käyttömahdollisuuksissa osana maatalouden ravinnekiertoa ja biotaloutta.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Aikaisempi tutkimus

Maailmalla pikkulimaskan potentiaalia rehuna, lannoitteena ja biopolttoaineena on tutkittu jonkin verran. Suomessa pikkulimaskaa osana ravinnekiertoa ei ole juurikaan tutkittu, lukuun ottamatta Luonnonvarakeskuksen PIKKULI-, ja REHULIMASKA hankkeita. Luonnonvarakeskuksen hankkeet on toteutettu kalankasvatustiltojen yhteydessä. Hankkeissa pyrittiin hyödyntämään kalankasvatuksesta syntyviä ravinteita ja vähentämään negatiivisia ympäristövaikutuksia. Hankkeiden tavoitteena on myös luoda pikkulimaskasta taloudellisesti kannattavaa kalanrehua. (Laajala 2020, 3.)

PIKKULI-hankkeessa luotiin uudenlainen kasvuympäristö kalankasvatuksen jätevesistä pikkulimaskoille, jotka tavanomaisesti viihtyvät ravinteikkaissa luonnonvesissä. Hankkeessa kasvatettujen pikkulimaskojen satotasot jäivät odotettua pienemmäksi, mutta koostumuksen laatu koettiin hyväksi. (Laajala 2020, 24.) Kuiva-ainepitoisuus hankkeessa kasvatetuilla pikkulimaskoilla oli 8,2 % ja tuhkapitoisuus vaihteli 10,89 %–11,5 % kuiva-aineesta kasvupaikan mukaan. Raakavalkuaisen määrä kuiva-aineesta vaihteli 13,04 %- 21 % välillä kasvupaikasta ja vuodesta riippuen. (Laajala 2020, 18, 25.) Kerätyn typen määrä koettiin vaatimattomaksi, mutta isommilla kasvatusalustoilla typensidontaa voitaisi edistää. (Laajala 2020, 24.) REHULIMASKA-hankkeessa on keskitytty kalarehu-reseptin luomiseen pikkulimaskasta. Hankkeessa hyödynnettiin PIKKULI-hankkeen tuloksia kasvatuksesta ja pikkulimaskan koostumuksesta. Hankkeiden avulla pyrittiin vähentämään kalankasvatuksen ympäristökuormaa ravinnekierron avulla. (Rehulimaska 2023.)

Jyväskylän ammattikorkeakoulussa (JAMK) toteutettiin vuonna 2016 opinnäytetyö, jossa selvitettiin pikkulimaskan typen ja fosforin käyttöä akvaariokokeilla. Opinnäytetyössä todettiin pikkuli-

maskalla olevan potentiaalia biopuhdistajana rehevissä vesissä. Erityisen hyvin pikkulimaska koettiin toimivan ympäristöissä, joissa virtaukset olivat pieniä, kuten kasvatusta varten rajatuissa alueissa. (Yli-Kokkila 2016, 21.)

2.2 Opinnäytetyön tausta

Suomen biotalousstrategian (2022) tavoitteena on muun muassa luoda uusia biotalouden ratkaisuja ja vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Tämän lisäksi käynnissä oleva sota Ukrainassa ja siitä aiheutunut inflaatio pakottavat kehittämään uusia kotimaisia tuotteita, jotka ovat kustannustehokkaita ja lisäävät omavaraisuutta. Pikkulimaska voi toimia ratkaisuna edellä esitettyihin ongelmiin. Pikkulimaskan potentiaali rehuna, lannoitteena ja osana energian tuotantoa on tunnustettu maailmalla, mutta sen hyödyntäminen on Suomessa ollut vielä vähäistä. Pikkulimaskan monipuolisten hyödyntämismahdollisuuksien lisäksi sillä on myönteinen vaikutus vesistöjen tilaan. Se kykenee keräämään itseensä ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, joilla on vesistöjä rehevöittävä vaikutus.

Opinnäytetyön on tilannut Luonnonvarakeskus. Luonnonvarakeskuksen aikaisemmat hankkeet ovat keskittyneet pikkulimaskan hyödyntämiseen kalataloudessa. Maatalouden tiedetään aiheuttavat runsaasti ravinnepestöjä erityisesti vesistöihin. Tämän vuoksi pikkulimaskan hyödyntämisen tutkimusta halutaan laajentaa myös maatalouden ravinnekiertoon.

Pikkulimaskan tiedetään viihtyvän rehevissä vesistöissä. Opinnäytetyön toteutuspaikaksi valittiin kuitenkin laimea kosteikko, sillä haluttiin tietää kuinka paljon eriävät kasvuympäristöt vaikuttavat pikkulimaskan rakenteeseen ja näin ollen sen hyödyntämismahdollisuuksiin. Opinnäytetyössä pyritään saamaan uutta tietoa pikkulimaskan kasvatuksesta erilaisissa ympäristössä ja etsimään ratkaisuja maatalouden ravinnekuormitukseen. Opinnäytetyön aihetta rajattiin niin, että työ saadaan toteutettua yhden kasvukauden aikana.

2.3 Tutkimuskysymykset

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan pikkulimaskan kasvupotentiaalia laimeassa ympäristössä ja samalla selvitetään, voidaanko kasvatettuja pikkulimaskoja hyödyntää osana maatalouden ravinne-

kiertoa. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, miten pikkulimaskan esikasvatus ja jatkokasvatus onnistuvat valituissa ympäristöissä. Lisäksi haluttiin selvittää, millainen on laimeassa ympäristössä kasvatetun pikkulimaskan koostumus ja ravinnepitoisuus sekä kuinka ne eroavat lannoitetussa ympäristössä kasvaneeseen pikkulimaskaan.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset:

1. Menestykö pikkulimaska laimeassa kosteikossa?
2. Minkälainen on kasvatettujen pikkulimaskojen koostumus ja ravinnepitoisuudet?
3. Miten kasvatettujen pikkulimaskojen koostumukset eroavat toisistaan ja Luken hankkeiden tuloksista?
4. Minkälainen on pikkulimaskan potentiaali biotaloustuotteena ja osana maatalouden ravintokiertoa?

2.4 Tutkimusmenetelmä, aineisto ja laboratorioanalyysit

Tämä opinnäytetyö on määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus, sillä tietoa tarkastellaan numeerisesti (Vilkkä 2007, 14). Tulokset kuvataan numeraalisesti, graafisesti ja sanallisesti. Opinnäytetyön tausta-aineistona hyödynnettiin sekä kansainvälisiä tutkimuksia että Luken hankkeiden tuottamaa tietoa. Kansainväliset tutkimukset tuottivat enimmäkseen teoreettista viitekehystä, sillä tutkimuksissa kasvatettuja pikkulimaskojen kasvuolosuhteet poikkeavat Suomen olosuhteista, eivätkä näin ole verrattavissa. Luken hankkeiden tuottama tieto on vertailukelpoisempaa. Opinnäytetyössä kasvatettujen pikkulimaskojen olosuhteet ja käsittely on suunniteltu vastaamaan mahdollisimman paljon Luken hankkeiden olosuhteita. Tutkimuksessa käytetyt pikkulimaskat saatiin Luonnonvarakeskukselta. Kanta oli Vuokatissa talvehtinutta. Pikkulimaskat toimitettiin Saarijärvelle muovisissa kannellisissa astioissa, joista ne siirrettiin nopeasti esikasvatukseen, jotta kanta säilyisi elinvoimaisena. Kasvatetut pikkulimaskat analysointiin määrällisen tutkimuksen menetelmiä hyödyntäen (Vilkkä 2007, 13).

Kasvatettujen pikkulimaskojen sadonkorjuun jälkeen niistä tutkittiin laboratorioissa tuhka- ja ravinnepitoisuudet. Näytteen kuiva-aine sisältää kaikki tuotteen ravintoaineet; rasvat, proteiinit, hiilihydraatit, kivennäisaineet ja vitamiinit (Wiersman 2020). Tuhkapitoisuus kuvaa epäorgaanista

jäännöstä, kun orgaaninen aines ja vesi on haihdutettu näytteestä kuumentamalla (Tuhkan määrittäminen elintarvikkeesta n.d.). Mitä suurempi tuotteen tuhkapitoisuus on, sitä enemmän se sisältää kiivenäis- ja hivenaineita (Koostumus n.d.). Ravinnepitoisuuksia mittaamalla saadaan tietää, paljonko ravinteita pikkulimaskat keräsivät kasvuympäristöstään. Kokonaistypestä voi laskennallisesti määrittää näytteen sisältämä raakavalkuaispitoisuuden (%) valitulla kertoimella. Yleisin käytetty proteiineroin on 6,25 (Raakaproteiinin määrittäminen elintarvikkeesta n.d.). Koska pikkulimaskalle ei ole määritelty omaa proteiinerointia opinnäytetyössä käytetään yleisintä 6,25 kerrointa osana raakavalkuaisen määrittämistä.

3 Biotalous ja maatalouden ravinnekierto

3.1 Biotalous Suomessa

Suomessa biotaloudella tarkoitetaan tuotantoa, jossa käytetään uusiutuvia luonnonvaroja fossiilisten raaka-aineiden korvaamiseen. Biotalous pyritään tuottamaan kestävästi ruokaa, energiaa, tuotteita ja palveluita. Se sisältää myös uusiutuvien raaka-aineiden ympärille perustuvia tuotantoja, innovaatioita ja teknologioita. Suomessa biotalouteen hyödynnettäviä luonnonvarojen biomassoja saadaan pelloilta, metsistä, maaperästä, merestä ja vesistöistä. Myös makeaa vettä ja muiden tuotantojen sivuvirtoja voidaan hyödyntää osana biotaloutta. Biomassoja voidaan hyödyntää raaka-aineina tai jalosteina. (Suomen biotalousstrategia 2022, 19.)

Vuonna 2019 biotalouden osuus Suomen kansantalouden kokonaistuotosta oli 16 % ja 13 % arvolisästä (Suomen biotalousstrategia 2022, 11–12). Päivitetty biotalousstrategia julkaistiin 2022. Pääpainona päivitettyssä strategiassa on biotalouden arvoisan kasvatus maapallon kantokyky huomioiden ja taloudellisen sekä sosiaalisen oikeudenmukaisuuden huomioonottaminen. (Suomen biotalousstrategia 2022, 9.)

Suomen biotalousstrategian (2022, 20) asetetut tavoitteet vuoteen 2035 mennessä ovat:

- *luoda kilpailukykyisiä ja innovatiivisia biotalouden ratkaisuja maailmanlaajuisiin ongelmiin*
- *synnyttää sekä kotimaahan että kansainvälisille markkinoille uudistavaa liiketoimintaa, joka tuo hyvinvointia koko Suomelle*

- *lisätä materiaalien resurssiviisasta käyttöä ja kierrätystä sekä hyödyntää sivuvirtoja*
- *vähentää riippuvuutta uusiutumattomista – erityisesti fossiilisista – raaka-aineista*
- *varmistaa ekologista kestävyyttä, sosiaalista oikeudenmukaisuutta sekä uusiutuvien luonnonvarojen uusiutumiskykyä ja vahvistaa biotalouden laajapohjaista osuamista*
- *vahvistaa ja uudistaa teknologiaperustaa*

Opinnäytetyön avulla pyritään maatalouden ravinnekierron edistämisen lisäksi myös vastaamaan biotalousstrategian tavoitteisiin. Erityisesti kohdat ”luoda kilpailukykyisiä ja innovatiivisia biotalouden ratkaisuja maailmanlaajuisiin ongelmiin ja vähentää riippuvuutta uusiutumattomista – erityisesti fossiilisista – raaka-aineista” koskettavat opinnäytetyön tutkimusta. Lisäksi biotalousstrategian avulla pyritään tehostamaan ekologista kestävyyttä ja uusiutuvien luonnonvarojen uusiutumiskykyä. Pikkulimaskan vesistöjen ravinnekuormitusta vähentävät ominaisuudet ja mahdollisuus tuotteistamiseen tarjoavat ratkaisuja tähän.

3.2 Vesistöjen ravinnekuormitus ja ravinnekierto

Maatalouden on arvioitu aiheuttavan yli puolet Suomen pintavesien ravinnekuormituksesta. Ravinteet valuvat pelloilta vesistöön erityisesti sulamis- ja sadevesien mukana. Varsinkin typpi ja fosfori ovat ravinteita, jotka aiheuttavat vesistön rehevöitymistä. Maataloudessa vesistönsuojelua on pyritty tehostamaan huolehtimalla peltojen kunnosta ja mitoittamalla lannoitus viljelykasvien mukaan. Nämä toimet eivät kuitenkaan ole riittäviä, sillä ilmastonmuutos lisää kuormitusta entisestään. (Maatalouden vesiensuojelu 2022.)

Ravinnekierron avulla voidaan varmistaa ravinteiden kiertäminen ekosysteemissä niin, ettei ravinteet valu hukkaan (Maatalouden vesiensuojelu 2022). Kierrossa voidaan hyödyntää biomassoja, tai muita ravinteita sisältäviä aineita joko sellaisenaan tai jalosteena. Aktiivisella ravinnekierron toteutuksella voidaan ravinteiden hukkaamisen lisäksi vähentää tai jopa estää vesistöhaittoja. (Rahola & Toppari 2019, 10.) Pikkulimaskan avulla voidaan kerätä typpeä ja fosforia vähentäen vesistöjen ravinnekuormitusta. Ravinnekierrossa pikkulimaskan hyödyntämismahdollisuudet ovat monipuoliset, sillä siitä voi valmistaa lannoitetta, rehua ja bioenergiaa. (Laajala 2020, 3.)

4 Pikkulimaska

4.1 Yleiskuvaus

Pikkulimaska (*Lemna minor*) on monivuotinen limaskakasvi. Se koostuu yhdestä juuresta ja 1–4 lehdestä. Lehdet ovat vihreitä ja ne ovat kooltaan 1,5–5 mm pitkiä. Pikkulimaska on irtokelluja, eli sillä ei ole pohjaan asti ulottuvia juuria. Tämä mahdollistaa kasvin tarvitsemien ravinteiden ottamisen suoraan vedestä. (Hämet-Ahti, Suominen, Ulvinen & Uotila 1998, 506.) Pikkulimaska viihtyy erityisesti ravinnepitoisissa vesistöissä, joissa ei ole suurta virtausta. Tällaisia vesistöjä ovat esimerkiksi ojat ja lammikot, mutta pikkulimaskaa esiintyy myös suuremmissa vähäsuolaisissa vesistöissä ja vesistöissä, joiden ravinnepitoisuus on heikompaa. (Hämet-Ahti ym. 1998, 506.) Sopivin kasvuympäristön pH pikkulimaskalle on 6–9 välissä, mutta usein se selviytyy myös näiden rajojen ulkopuolella (Chong, Hu, Hongying & Qian 2003).

Suomessa pikkulimaska on luonnonvarainen kasvi. Suomessa kasvin levinneisyys kattaa miltei koko Suomen, mutta harvinaistuu mitä pohjoisemmaksi mennään. (Hämet-Ahti ym. 1998, 506.) Maailmanlaajuisesti limaskasuvun yksilöitä tavataan kaikkialla, paitsi aavikoilla ja napa-alueilla (Goopy & Murray 2003, 298). Pikkulimaska lisääntyy Suomen olosuhteissa jakautumalla sivuversojen avulla, eikä lisääntyminen näin edellytä kukintoa eikä siemenien tuotantoa (Hämet-Ahti ym. 1998, 506). Hyvissä olosuhteissa pikkulimaska lisääntyy huomattavan nopeasti ja voi kaksinkertaistaa massansa muutaman päivän sisällä. Tämän takia kasvit voivat muodostaa laattoja, jotka voivat peittää jopa koko vesistön pinnan. Syvyyttä pikkulimaskan muodostama massa ei kasva senttejä enempää. (Goopy & Murray 2003, 298.) Syksyä kohden lämpötilan laskiessa pikkulimaskat alkavat talvehtia. Talvehtiessaan pikkulimaskat vajoavat vesistön pohjalle odottamaan seuraavaa kasvukautta. Keväällä lämpötilojen kohotessa ne nousevat takaisin pintaan. (Laajala 2020, 16.)

Tehokkaana ravinteiden, etenkin fosforin ja typen kerääjänä pikkulimaska voisi auttaa vesistöjen ravinnekuormitukseen. (Laajala 2020, 3.) Ravinnekuormituksen vähentämiseksi pikkulimaskat tulee kerätä pois vesistöstä. Laajala (2020, 3) kertoo pikkulimaskan käyttömahdollisuuksien olevan monipuolisia. Pikkulimaskaa voidaan käyttää tuotantoeläinten rehuna, mutta se soveltuu myös ihmisten ruuaksi. Lisäksi pikkulimaskaa voidaan hyödyntää typpilannoitteena tai bioenergian ja -polttoaineiden tuotannossa. (Laajala 2020, 3.)

4.2 Pikkulimaska biopuhdistajana

Biopuhdistuksella tarkoitetaan saastuneen ympäristön, kuten maaperän, ilman tai vesistön puhdistamista elävillä eliöillä. Näitä eliöitä ovat esimerkiksi kasvit, sienet ja bakteerit. (Biopuhdistus 2023.) Kasveilla tehtävää biopuhdistusta kutsutaan fyto-remediaatioksi. Fyto-remediaatiota voidaan soveltaa jätevesien ja maaperän kunnostuksessa orgaanisten ja epäorgaanisten haitta-aineiden osalla. Käyttökustannuksia fyto-remediaatiolle pidetään alhaisina, mutta onnistuneen käsittelyn kesto-aika voi olla jopa vuosikymmeniä. (Penttinen 2001, 18–19.)

Pikkulimaskan ja muiden limaskasuvun jäsenten etuna biopuhdistuksessa on niiden tehokas ravinteiden ja muiden epäpuhtauksien, kuten raskasmetallinen ottokyky. Sopeutuminen erilaisiin kasvuympäristöihin mahdollistaa limaskojen hyödyntämisen biopuhdistuksessa maatalousvesistä jätevesiin. Lisäksi niiden sadonkorjuu on suhteellisen yksinkertaista ja jatkokäyttömahdollisuudet monipuolisia, mikä mahdollistaa ravinteiden kierron. (Zhou, Stepanenko, Kishchenko, Xu & Borisjuk 2023, 2.)

4.3 Pikkulimaskan hyödyntäminen maailmalla osana biotaloutta

Pikkulimaskan potentiaalia rehuna on tutkittu ja sen on todettu sisältävän runsaasti proteiineja, rasvoja ja kivennäisaineita. Pikkulimaskan viljely koetaan kestäväksi ja kustannustehokkaaksi. (Chakrabarti, Clark, Sharma, Goswami, Shrivastav & Tocher 2018, 13.) Se sopisi korvaamaan kala- ja siipikarjantaloudessa käytettäviä proteiininlähteitä kuten soija- ja kalajauhoja (Goopy & Murray 2003, 301). Ongelmallista pikkulimaskan rehuikäytössä on ollut se, että ravinteiden lisäksi se kerää herkästi raskasmetalleja. Tästä syystä pikkulimaskan käyttö rehuna ei ole ollut yleistä Aasian ulkopuolella. (Goopy & Murray 2003, 303.)

Pikkulimaskaa voidaan hyödyntää myös typpilannoitteena. Lannoitekäytössä pikkulimaskalla on mahdollista korvata maakaasulla valmistettuja typpilannoitteita. Pikkulimaskan lannoitekäytössä tulee kuitenkin ottaa huomioon tarvittava lannoitemäärä, sillä se on pienikokoinen kasvi, jonka massasta suurin osa on vettä. (Kreider, Pulido, Bruns & Brennan 2019, 475.) Tämän takia lannoitus pikkulimaskalla on helpointa pienemmillä viljelyaloilla, kuten kasvimailla tai kukkapenkeissä. Lannoituskäyttöön tarkoitettujen pikkulimaskat tulee kasvattaa vesissä, jotka eivät sisällä raskasmetalleja

tai muita ympäristölle haitallisia aineita, sillä ne siirtyvät pikkulimaskan mukana lannoitettavalle alalle.

Pikkulimaskasta voidaan myös valmistaa biopolttoaineita, kuten biokaasua ja -etanolia, joilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Limaska-suvun yksilöitä pidetään ihanteellisena raaka-aineena biopolttoaineiden tuotantoon, sillä ne sisältävät paljon tärkkelystä ja niiden biomassa on pehmeää, mikä tekee sen käsittelystä helppoa. Biopolttoaineen tuotanto pikkulimaskalla perustuu anaerobiseen pilkkomiseen ja käymisprosessiin. Muihin biopolttoaineiden raaka-aineisiin verrattuna pikkulimaskan etuna on se, ettei se vie viljelytilaa rehu- ja ruuantuotannossa käytettäviltä viljelykasveilta. Lisäksi pikkulimaska viljelymahdollisuudet eivät rajoitu ns. puhtaisiin vesiin, sillä se menestyy usein myös jätevesissä. (Kamrun & Sanraw 2019, 8–9.)

5 Työn toteutus

5.1 Tutkimusympäristöt

Opinnäytetyössä kasvatettiin Luonnonvarakeskukselta saatuja pikkulimaskoja. Koska tutkimukseen tarvittavaa pikkulimaskaa oli vaikeaa kuljettaa Saarijärvelle suurina määrinä, kasvatus jaettiin esi- ja jatkokasvatukseen. Esikasvatuksen tarkoituksena oli kasvattaa tutkimukseen käytettävien pikkulimaskojen massaa ennen siirtämistä valittuihin tutkimusympäristöihin. Esi- ja jatkokasvatuspaikat suunniteltiin sijaitsemaan lähellä toisiaan, jotta siirtymät ja tarkkailu olisi mahdollisimman sujuvaa.

Esikasvatus toteutettiin Saarijärvellä Jyväskylän ammattikorkeakoulun kampuksella. Kasvatukseen käytetyt altaat asetettiin paikkaan, joka tarjosi samalla suojaa ja valoa. Altaiden läheisyydessä oli vesipiste, josta oli helppoa ottaa kasvattamiseen tarvittava vesi. Kyseisiä kasvatusaltaita ja kasvatuspaikkaa käytettiin myös tutkimuksen jatkokasvatusvaiheessa. Toiseksi jatkokasvatus paikaksi valittiin Pohjoisen Keski-Suomen ammattikoulun (POKE) Tarvaalassa sijaitseva mallikosteikko. Kosteikon käyttöön pyydettiin lupaa POKE:n koulutusjohtaja Pekka Janhoselta. Kuviossa 1 esitetään kasvatuspaikat kartalla.



Kuvio 1. Kasvatuspaikkojen sijainti kartalla (Karttapaikka n.d.)

Kosteikko on perustettu 2012 ja se koostuu pohjoisesta ja eteläisestä osasta, joista opinnäytetyön tutkimus toteutettiin eteläisellä osalla. Eteläisen kosteikon pinta-alan olevan 1,4 hehtaaria ja sen valuma-alue on 139 hehtaaria, joista 16 % on peltoja. Veden viipymä kosteikolla on 24 tuntia. Kosteikosta vedet laskevat Summasjärveen. (Siimekselä, Stenman & Ylimartimo 2014, 80.)

Tarvaalan kosteikon valumia on tutkittu useissa hankkeissa vuosien aikana. Siimekselä (2017, 50–51) toteaa opinnäytetyössään Tarvaalan kosteikon vastaavan maatalousalueen valumavesille tyypillisiä arvoja. Mikäli arvoja vertaa järvivesiin, ne ovat huomattavan korkeita. Typpi- ja fosforipitoisuuksien mukaan kosteikon ekologinen tila ylittäisi välttävän ja huonon tilan raja-arvot. Kosteikkojen ravinnepitoisuuksia ei kuitenkaan voi suoraan verrata järvivesiin, sillä niiden tarkoituksena onkin pidättää valuma-alueiden ravinteet. (Siimekselä 2017, 48.) Vuosina 2013–2014 Tarvaalan kosteikkoa vertailtiin kahden Etelä-Suomessa sijaitsevan kosteikon kanssa. Tällöin kävi ilmi, että Tarvaalan kosteikolle tulevien valumien keskiravinnepitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät (taulukko 1), kuin vertailussa olevien kosteikkojen. (Koskiaho, Siimekselä & Puustinen 2015, 39.) Vaikka Tarvaalan kosteikko on järvivesiin verrattuna hyvinkin ravinnepitoinen, on se kosteikkona pitoisuuksiltaan laimea.

Taulukko 1. Tutkimuskosteikkoihin tulleen veden valuntapainoitteiset keskipituudet vuosina 2013 ja 2014 (Koskiaho, Siimekselä & Puustinen 2015, 39, muokattu).

Pitoisuus mg/l					
		2013		2014	
Kosteikko	P-tot	N-tot	P-tot	N-tot	
Hovi	0,351	6,65	0,438	4,80	
Rantamo-Seittilä	0,245	3,32	0,211	2,05	
Tarvaala	0,086	1,11	0,098	0,53	

5.2 Esikasvatus

Esikasvatukseen käytettiin aluksi kahta 1m² kasvatusallasta. Altaissa oli tyhjentämistä varten putket, jotka täytyi tehdä vedenpitäviksi. Kasvatusta varten valmistettiin kasvatusliuosta Kekkilän kastelulannoitteesta suhteessa 3 grammaa lannoitetta 10 litraan vettä. Käytetty lannoite sisältää kokonaistyyppiä (N) 16,6 % ja vesiliukoista fosforia (P) 4,0 % (Kastelulannoite n.d.). Yhteensä kasvatusliuosta valmistettiin 150 litraa/allas. Kasvatusliuosta lisättiin tutkimuksen aikana, mikäli sitä haihtui tai vuosi altaista.

Esikasvatukseen käytettiin Luonnonvarakeskukselta saatua pikkulimaskakantaa. Kanta oli peräsin Vuokatista, jossa se oli talvehtinut. Pikkulimaskat toimitettiin Saarijärvelle muovisissa astioissa (kuvio 2), joista ne piti siirtää kasvatusliuokseen mahdollisimman nopeasti. Esikasvatuksen aikana saatoa seurattiin silmämääräisesti leväkasvuston tai muiden epäpuhtauksien varalta.



Kuvio 2. Pikkulimaskat kuljetettiin Saarijärvelle muovisissa astioissa.

Ensimmäinen esikasvatus toteutettiin heinäkuussa 2022. Tällöin kasvatusaltaista vuoti kasvatusliuos, minkä seurauksena istutetut pikkulimaskat kuivuivat. Satoa pyrittiin elvyttämään uuden kasvatusliuoksen avulla, mutta levä pääsi valtaamaan kasvatusaltaat (kuvio 3). Levän takia pikkulimaskojen elpymismahdollisuudet olivat olemattomat, minkä takia kasvatus jouduttiin aloittamaan alusta.



Kuvio 3. Levän valtaama kasvatusallas.

Uutta esikasvatusyritystä varten kasvatusaltaat tyhjennettiin ja pestiin. Luonnonvarakeskus toimitti uudet elinvoimaiset pikkulimaskat, jotka olivat samaa aiemminkin käytettyä Vuokatin kantaa. Uusi esikasvatus aloitettiin 8.8.2022. Tällöin lisättiin kolmas kasvatusallas, joka mahdollisti suuremman massankasvun (kuvio 4). Toisessa esikasvatuksessa kasvatusliuoksen määrä ja vahvuus pysyi samana. Esikasvatus loppui 5.9.2022, jolloin se oli kestänyt neljä viikkoa ja kolme päivää.



Kuvio 4. Kolmas kasvatusallas mahdollisesti suuremman massankasvun esikasvatuksessa.

5.3 Jatkokasvatus

Esikasvatuksen jälkeen pikkulimaskan kerättiin altaista ja jaettiin kolmeen ryhmään. Ryhmien tarkoituksena oli seurata pikkulimaskan kasvua ja ravinteiden keruuta erilaisissa ympäristöissä. Jokaisen ryhmän pikkulimaskat punnittiin massankasvun seuraamista varten. Jaetut ryhmät olivat: kosteikolla kasvavat pikkulimaskat, lannoitetussa altaissa kasvavat pikkulimaskat ja pikkulimaskat, jotka kasvavat altaassa, johon tuotiin kosteikolta vettä. Jatkokasvatus toteutettiin 5.9.2022-12.10.2022.

Kosteikkokasvatusta varten rakennettiin kelluva suoja-aitaus, jotta vesilinnut eivät pääse syömään satoa. Aitauksen tarkoituksena oli myös pitää tutkittavat pikkulimaskat hallitusti paikoillaan, jotta sadonkorjuussa koko sato saataisiin kerättyä. Aitaus koostui kahdesta osasta; sisäosassa pikkulimaskat kasvoivat ja ulkoisen osan tehtävä oli suojata kasvustoa. Kasvutilaa sisäosassa pikkulimaskoilla oli 1,2 m². Rantaan aitaus kiinnitettiin köysien ja autonrenkaiden avulla. Suoja-aitaukseen käytettäviä materiaaleja oli muun muassa laudat, finnfoamit, kaapelikourut, harjateräs, hedelmä- ja myyräverkko (kuvio 5 ja 6). Suoja-aitaukseen asennettiin lämpötilaloggerit (testo 176T4), jonka avulla kerättiin tietoa ilman ja veden lämpötiloista.

Kasvatusaltaisiin jääville pikkulimaskoille ei rakennettu suoja-aitausta, sillä esikasvatuksen aikana voitiin todeta, etteivät linnut tule altaille ruokailemaan. Kahteen vertailualtaaseen jätettiin esikasvatuksessa käytettyä kasvatusliuosta, jota lisättiin tarvittaessa. Näihin altaisiin kiinnitettiin myös lämpötilaloggerit mittaamaan veden ja ilman lämpötilaa. Kolmanteen altaaseen tuotiin vettä kosteikolta. Tämän altaan avulla voitiin simuloida kosteikkokasvatusta, mikäli kosteikolla kasvaville pikkulimaskoille olisi käynyt jotain, mikä estää niiden tutkimista myöhemmässä vaiheessa opinnäytetyötä.



Kuvio 5. Suoja-aitauksen avulla linnut eivät syö pikkulimaskoja.



Kuvio 6. Kelluva suoja-aitaus kosteikolla.

5.4 Sadonkorjuu ja näytteiden käsittely

Pikkulimaska sato korjattiin 12.10.2022, jolloin jatkokasvatus oli kestänyt 5 viikkoa ja kolme päivää. Lämpötilojen laskiessa sadonkorjuu tuli ajankohtaiseksi, jotta pikkulimaskat eivät alkaisi talvehtimaan. Talvehtiessään pikkulimaskat vajoavat vesistön pohjaan, eikä sadonkorjuu ole tällöin mahdollista toteuttaa. Sadonkorjuun aikaan molempien lannoitettujen altaiden pikkulimaskat olivat kasvaneet hyvin tiiviiksi kasvustoksi (kuvio 7). Myös kosteikolla kasvaneet pikkulimaskat olivat täyttäneet kasvatustilansa tehokkaasti, mutta massa ei ollut yhtä tiivistä, kun lannoitetussa altaissa. Kosteikolla osa sadosta oli päässyt karkaamaan sisäisen kasvatusosan ulkopuolelle, mutta ne olivat yhä kerättävissä (kuvio 8).



Kuvio 7. Pikkulimaskat olivat kasvaneet tiiviiksi massaksi lannoitetuissa altaissa.



Kuvio 8. Osa pikkulimaskoista oli karannut aitauksen sisäosan ulkopuolelle.

Sadonkorjuussa hyödynnettiin kahluuhaalareita, erilaisia siivilöitä ja kannellisia astioita. Pikkulimaskat toimitettiin välittömästi jatkokäsittelyyn, jotta ne säilyisivät mahdollisimman hyväkuntoisina tutkimuksia varten. Sadonkorjuun jälkeen pikkulimaskoista eroteltiin roskat, lehdet, muut vesikasvit ja ötökät (kuvio 9). Siistimisen jälkeen pikkulimaskoja valutettiin siivilöissä, kunnes biomassan seassa ollutta vettä ei enää valunut. Veden valumisen edesauttamiseksi siivilöitä liikuteltiin kevyesti. Pesemisen avulla pyrittiin minimoimaan analyysiin tulevia virhelähteitä, joita pikkulimaskojen pinnoille jääneestä liasta ja ravinteista voisi syntyä. Märkäpainossa olleet pikkulimaskat punnittiin massan kasvun tuloksia varten. Punnitut pikkulimaskat kuivattiin 60 °C uunissa (Memmert UN750) ohuissa kerroksissa. Kuivaamisen käytetty lämpötila perustui Luken hankkeiden toimintamalliin (Laajala 2020, 18). Kuivatuksen jälkeen näytteet neliöitiin ja jauhettiin 1 mm näytekokoon leikkuumyllyllä (Retsch SM100) standardin SFS-EN ISO 14780:2017 mukaisesti.



Kuvio 9. Pikkulimaskoista eroteltiin roskat muovisissa astioissa.

5.5 Laboratorioanalyysit

Laboratorioanalyysit toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun Rajakadun ja Saarijärven kampuksien laboratorioissa. Ajankohtana oli 18.10.2022 ja 21.2.-23.2.2023. Analyysit suoritettiin

JAMK:n tutkija Miia Jämsénin ohjauksessa. Kasvatetuista pikkulimaskoista määritettiin tuhkapitoisuus, kokonaistyyppi ja -fosfori. Jokaiselta kolmelta kasvatusryhmältä seurattiin massan kasvua tutkimuksen aikana. Laboratorioanalyysit toteutettiin vain kosteikolla kasvaneista ja lannoitetuissa altaissa kasvaneista pikkulimaskoista.

Pikkulimaskat kuivattiin uunissa SFS-EN ISO 18134:2:2017 standardia mukaillen. Kuivauslämpötilana käytettiin 60 °C standardin määräämän 120 °C sijasta. Valittu lämpötila perustui Luken ohjeistukseen. Kuivauksen tavoitteena oli saada pikkulimaskat sellaiseen tilaan, jossa ne säilyvät seuraavia analyysejä varten. Näin saatiin tietää pikkulimaskan kuivauksen jälkeinen koostumus, mutta ei kuiva-aine- ja kosteuspitoisuutta. Kuivauksen jälkeen pikkulimaskat jauhettiin pienempään näytekokoon leikkuumyllyllä. Jauhettujen pikkulimaskojen kosteus määritettiin SFS-EN ISO 18134-3:2015 standardin mukaisesti. Tulosta käytettiin ravinne- ja tuhkapitoisuuksien laskennassa. Tuhkapitoisuus jauhetuista pikkulimaskoista määritettiin SFS-EN ISO 18122:2022 standardin mukaisesti.

Ravinnepitoisuuksien mittaamiseen opinnäytetyössä toteutettiin uudentyyppistä analyysimenetelmää. Menetelmässä pikkulimaskan ravinnepitoisuudet mitattiin soveltaen vesinäytteiden analyysimenetelmää. Käytetyn menetelmän etuna on työturvallisempi ja nopeampi toteutus, jos menetelmää vertaa perinteisesti typpipitoisuuden määrittämiseen käytettyyn Kjeldahl- menetelmään. Lisäksi käytetty menetelmä mahdollisti kokonaistypen ja -fosforin mittausten toteuttamisen samanaikaisesti. Mittausta varten näytteistä tehtiin kolme rinnakkaisnäytettä ja valmistettiin kaksi nollanäytettä. Näytemääränä oli 0,3 g- 0,5 g. Näytteiden sekaan lisättiin 3 ml vetyperoksidia, 3 ml suolahappoa ja 8 ml rikkihappoa. Happojen lisäyksellä edesautettiin näytteiden hajoamista. Käytetyt hapot valittiin niin, etteivät ne vaikuta mitattavien ravinteiden pitoisuuksiin. Happojen lisäyksen jälkeen näytteet märkäpoltettiin MARS 5 mikroaaltouunilla 900 W:ssa. Märkäpoltetut näytteet siirrettiin 100 ml mittapulloihin ja laimennettiin tislattulla vedellä. Märkäpolton ja laimentamisen jälkeen näytteet analysoitiin kokonaistypen ja -fosforin osalta Hach Lange DR3900 VIS spektrofotometrillä ja laitteeseen yhteensopivilla Hach kyvetiteillä. Tutkimuksessa käytetyt kyvetit olivat LCK349 (P_{tot}), LCK138 (N_{tot}) ja LCK338 (N_{tot}). Spektrofotometri ilmoitti tulokset muodossa mg/l, josta ne muutettiin ilmoittamaan näytteen sisältämään ravinne määrään prosentuaalisesti (ks. liite 1. jossa ravinnepitoisuuksien määrittäyslaskut).

6 Tulokset

6.1 Massan kasvu

Taulukosta 2 nähdään pikkulimaskan massan muutosta jatkokasvatuksen alusta sadonkorjuuseen. Tulokset esitetään suhteutettuna yhteen neliöön, sillä jokaisella kasvatusryhmällä oli eri kokoinen tila kasvattaa massaa. Pikkulimaskat eivät kasvata massaansa juurikaan syvyysuunnassa, jonka takia tulosten suhteuttaminen neliöön on kuvaavampaa kuin kuutioon.

Suurin loppumassa/1m² oli kosteikolla (2150 g/m²) ja kosteikkoaltaassa (1759 g/m²) kasvaneilla pikkulimaskoilla. Lannoitetun altaan pikkulimaskojen satotaso jäi alhaisemmaksi kuin edellä mainituilla kasvatusryhmillä (1290 g/m²) (taulukko 2).

Taulukko 2. Kasvatettujen pikkulimaskojen massan kasvu

Massan kasvu märkäpainossa			
kasvatuspaikka (alkuperäinen kasvatustila, m ²)	Kosteikon pikkulimaskat (1,2m ²)	Lannoitetut altaiden pikkulimaskat (2m ²)	Kosteikkoaltaan pikkulimaskat (1m ²)
massa alussa, g	1127	1370	1452
massa lopussa, g	2581	2580	1759
massan muutos, g	1454	1210	307
massan kasvu %	129,0	88,3	21,1
massa lopussa g/1m²	2150	1290	1759

6.2 Kuivattujen pikkulimaskojen koostumus

Taulukossa 3 esitetään kasvatettujen pikkulimaskojen koostumus 60 °C kuivauksen jälkeen. Kyseessä ei ole pikkulimaskojen kuiva-aine pitoisuus. Kuivauksen aikana pikkulimaskoista haihtui kasvupaikan mukaan 93,03 %- 94,31 % vettä (taulukko 3). Tämä kertoo tuoreen pikkulimaskan massasta suurimman osan olevan vettä. Pikkulimaska sitoo itseensä myös ulkoista vettä, jonka takia sen kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen on haastavaa. Ulkoista vettä haihduttaessa ei voida esittää sisäisen veden haihtumista.

Taulukko 3. Kuivattujen pikkulimaskojen koostumus

Kuivattujen pikkulimaskojen koostumus		
	Kosteikon pikkulimaskat	Lannoitetun altaan pikkulimaskat
Kuivattujen pikkulimaskojen massa %	6,97	5,69
Haihtuneen veden määrä %	93,03	94,31

6.3 Tuhkapitoisuus

Taulukossa 4 esitetään näytteiden tuhkapitoisuutta kuiva-aineesta. Kosteikolla kasvaneiden pikkulimaskojen tuhkapitoisuus oli 10,4 % ja lannoitetun altaan pikkulimaskoilla 10,6 % (taulukko 4).

Tuhkapitoisuuden ero eri kasvatusympäristössä olleilla pikkulimaskoilla oli 0,2 yksikköä.

Taulukko 4. Pikkulimaskojen tuhkapitoisuus

Tuhkapitoisuus kuiva-aineesta, %	
Kosteikon pikkulimaskat	Lannoitetun altaan pikkulimaskat
10,4	10,6

6.4 Fosfori, typpi ja raakavalkuainen kuiva-aineessa

Taulukoissa 5 ja 6 esitetään kuiva-aineen fosfori- ja typpipitoisuudet. Raakavalkuaisen osuus kuiva-aineesta esitetään taulukossa 7. Kosteikolla kasvaneiden pikkulimaskojen fosforin määrä kuiva-aineesta oli 0,0085 % ja lannoitetuissa altaissa kasvaneiden pikkulimaskojen 0,013 % (taulukko 5). Typen osuus kuiva-aineesta kosteikon pikkulimaskojen osalta on 2,41 % ja lannoitettujen altaiden pikkulimaskoilta 5,63 % (taulukko 6). Tulokset osoittavat kasvupaikkojen eroavaisuudet ravinnepitoisuuksista. Raakavalkuaisen osuus kosteikon pikkulimaskojen kuiva-aineesta oli 15,09 % ja lannoitettujen altaiden pikkulimaskoilla 35,18 % (taulukko 7). Raakavalkuaisen laskutoimitukset on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 5. Fosforin määrä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta

Fosforin määrä kuiva-aineesta, %	
Kosteikon pikkulimaskat	Lannoitetun altaan pikkulimaskat
0,0085	0,013

Taulukko 6. Typen määrä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta

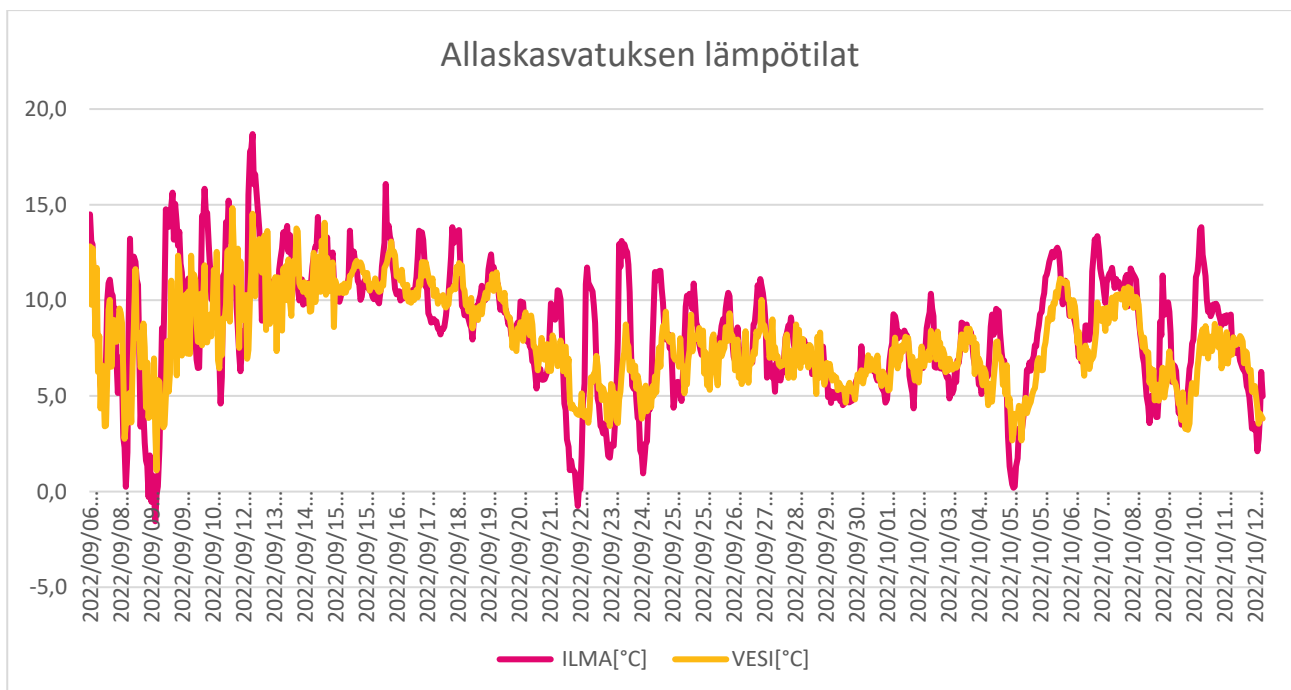
Typen määrä kuiva-aineesta, %	
Kosteikon pikkulimaskat	Lannoitetun altaan pikkulimaskat
2,41	5,63

Taulukko 7. Raakavalkuaisen määrä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-aineesta

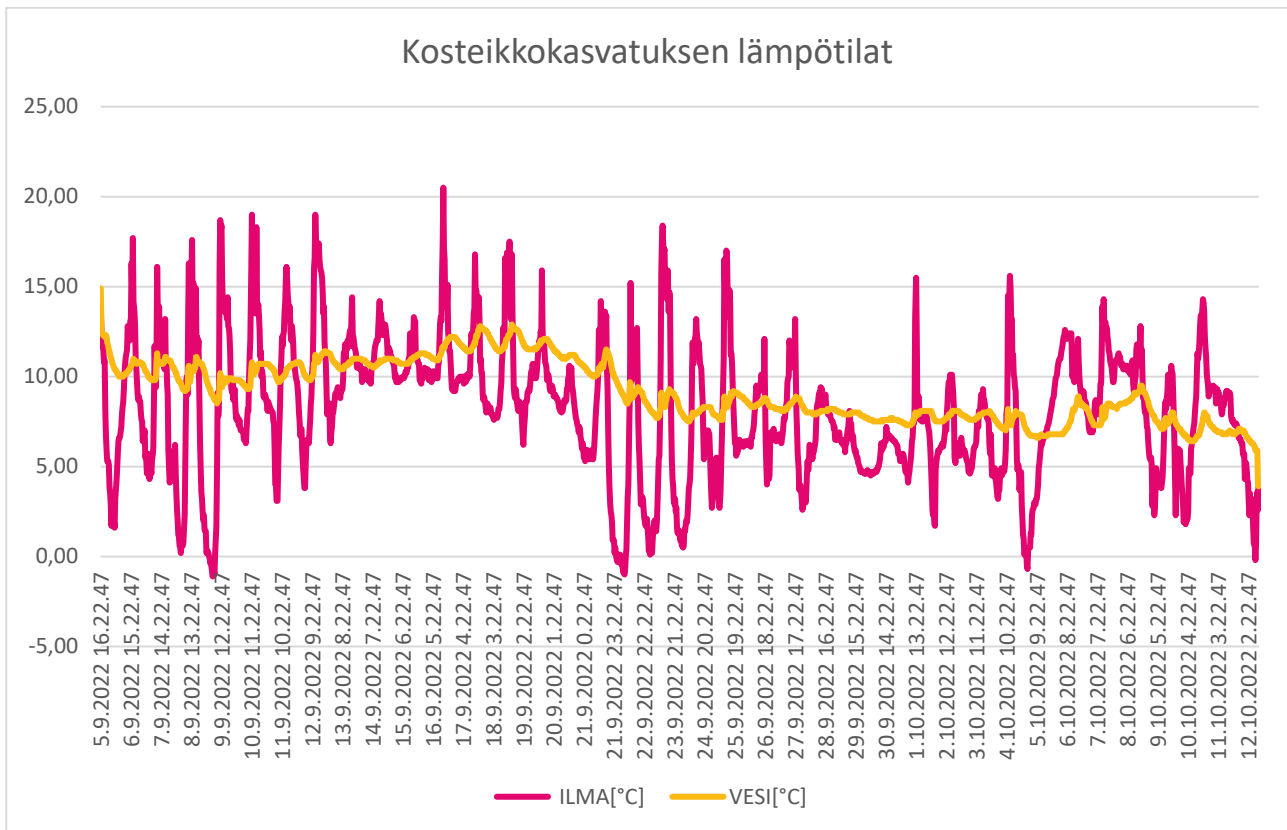
Raakavalkuaisen määrä kuiva-aineesta, %	
Kosteikon pikkulimaskat	Lannoitettujen altaiden pikkulimaskat
15,09	35,18

6.5 Lämpötilan seuranta

Kuvioissa 10 ja 11 esitetään ilman ja veden lämpötilat jatkokasvatuksen aikana. Data kerättiin testo 176T4 lämpötilaloggereilla 5.9.2022-12.10.2022. Allaskasvatuksessa veden ja ilman lämpötilat liikkuvat samansuuntaisesti koko jatkokasvatuksen ajan (kuvio 10). Kosteikkokasvatuksessa veden lämpötila ei ole vaihdellut yhtä suuresti ilman lämpötilan mukana kuin allaskasvatuksessa (kuvio 11). Kosteikolla vettä on ollut suurempana alana, minkä takia ilman lämpötilan vaihtelut eivät ole vaikuttaneet niin voimakkaasti veden lämpötilaan.



Kuvio 10. Allaskasvatuksen ilman ja veden lämpötilat



Kuvio 11. Kosteikkokasvatuksen ilman ja veden lämpötilat

7 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää pikkulimaskan potentiaalia laimealla kosteikolla. Tutkimuksessa selvitettiin, menestykö pikkulimaska valitulla kosteikolla, ja minkälainen koostumus ja ravinnepitoisuudet sillä on kasvatuksen jälkeen. Saatua tuloksia verrattiin lannoitetussa ympäristössä kasvatettuihin pikkulimaskoihin ja Luken hankkeiden tuloksiin. Teoreettisen viitekehyksen ja omien tulosten avulla voitiin selvittää pikkulimaskan potentiaalia osana maatalouden ravinnekiertoa ja biotaloutta.

Kasvatuskokeiden avulla pystyttiin osoittamaan pikkulimaskan menestyvän laimealla kosteikolla. Pikkulimaskasato kasvoi ja pysyi elinvoimaisena jatkokasvatuksen ajan. Massankasvu indikoi pikkulimaskan menestymistä kasvuympäristössä. Kosteikolla kasvaneet pikkulimaskat lisäsivät massaansa enemmän, kuin lannoitetussa altaissa kasvaneet pikkulimaskat. Tämä osoittaa sen, että kosteikkoympäristö soveltui paremmin pikkulimaskojen kasvatusympäristöksi, kun tavoitteena oli massankasvu. Mikäli kosteikon koko pinta-alaa olisi hyödynnetty tutkimuksessa, satoa olisi voinut

tulla märkäpainossa jopa 22 000 kg/hehtaari. Kosteikkokasvatuksessa veden lämpötila pysyi tasaisempana, mikä saattoi edesauttaa parempaa massankasvua. Kasvatuksessa rajoittavana tekijänä kuitenkin oli kasvatusalaiden koko. Mikäli lannoitettuja altaita olisi ollut käytössä enemmän, olisi massankasvun tulokset voineet olla erilaisia. Lannoitettujen alaiden pikkulimaskat olivat levittäytyneet koko kasvatusalalle, joten kasvua olisi voinut olla enemmän, mikäli kasvatustilaa olisi lisätty. Kosteikolla pikkulimaskat eivät kasvaneet yhtä tiiviiksi massaksi, kuin altaissa.

Tutkimuksessa kasvatettujen pikkulimaskojen koostumus ja tuhkapitoisuus ovat yhtenevät kasvu-
paikasta riippumatta. Kasvuympäristö ei siis vaikuta ainakaan lyhyellä kasvatusjaksolla saman
kannan pikkulimaskojen koostumukseen. Verrattaessa opinnäytetyön tuloksia Luken PIKKULI-
hankkeen tuloksiin, voidaan todeta tuhkapitoisuuden jääneen alhaisemmaksi. Tässä tutkimuksessa
pikkulimaskojen tuhkapitoisuus oli 10,4 %-10,6 % ja hankkeessa 10,89 %–11,5 %. Tuhkapitoisuu-
den tuloksista voidaan olettaa opinnäytetyössä kasvatettujen pikkulimaskojen kuiva-ainepitoisuu-
denkin olevan alhaisempi kuin hankkeessa olleen 8,2 %. Tulosten vertailu osoittaa eri kasvuympä-
ristön voivan vaikuttaa pikkulimaskojen koostumukseen. Laajala (2020, 24) kuitenkin toteaa
raportissaan, ettei kasvuympäristön tarjoamalla ravinteilla ole huomattu suoraa yhteyttä tuhka-
pitoisuuteen, toisin kun hiilihydraatti- ja proteiinipitoisuuteen. Koostumuksien eroavaisuudet voivat
liittyä myös eri kantojen käyttämiseen tutkimuksissa.

Ravinnepitoisuuksia tarkastellessa nousee esille eri kasvuympäristössä olleiden pikkulimaskojen
erot. Lannoitettujen alaiden sadolla ravinteidenkeruu oli tehokkaampaa kuin kosteikolla kasva-
neella sadolla. Tulokset osoittavat lannoitettujen alaiden tarjoavan joko enemmän ravinteita tai
optimaalisemmat olosuhteet ravinteidenkeruuseen. Luken hankkeessa kasvatettujen pikkulimas-
kojen fosforipitoisuus oli 3,12 g/kg kuiva-ainetta (Laajala 2020, 25). Tässä tutkimuksessa kasvatet-
tujen pikkulimaskojen fosforipitoisuus jäi alhaisemmaksi. Kosteikolla kasvatettujen pikkulimasko-
jen fosforipitoisuus oli 0,085 g/kg kuiva-ainetta ja lannoitetussa altaissa kasvatettujen
fosforipitoisuus 0,127 g/kg kuiva-ainetta. Raakavalkuaisen osalta opinnäytetyön pikkulimaskat
pääsevät Luken tulosten tasolle. Opinnäytetyössä kasvatettujen pikkulimaskojen raakavalkuaisen
määrä kuiva-aineesta oli 15,09 % ja 35,18 %. Luken hankkeessa raakavalkuaisen määrä pikkulimas-
koiden kuiva-aineesta oli 13,04 % - 21 % välillä (Laajala 2022, 25). Tuloksissa tulee kuitenkin huo-
mioida opinnäytetyössä sovellettu ravinteiden mittaamenetelmä, joka voi vaikuttaa tulosten ver-
tailukelpoisuuteen.

Aiempien kansainvälisten tutkimuksien ja Luken hankkeiden perusteella voidaan todeta pikkulimaskalla olevan potentiaalia biotaloustuotteiden raaka-aineena. Se soveltuu moneen eri käyttö-tarkoitukseen, mikä tekee siitä monipuolisen raaka-aineen. Opinnäytetyössä ilmeni, pikkulimaskan kasvatuksen ja sadonkorjuu olevan helppoa. Ravinnepitoisuuksien mittaukseen käytetty analyysimenetelmä osoittautui nopeaksi, turvalliseksi ja toimivaksi tavaksi selvittää pikkulimaskan ravinnepitoisuuksia. Pikkulimaskan kasvatuksen etuna on sen myönteinen vaikutus vesistöjen tilaan, eikä se vie viljelytilaa muilta kasveilta. Aikaisempien tutkimustulosten tavoin opinnäytetyön tulosten avulla voidaan todeta pikkulimaskan kyky kerätä ravinteita kasvuympäristöstään, toimien vesistöjen biopuhdistajana. Maatalouden ravinnekierrossa pikkulimaskalla voidaan helpottaa maatalousvesien ravinnekuormitusta ja tehostaa kosteikkojen toimintaa.

8 Pohdinta

Pikkulimaskan potentiaali vesistöjen ravinteiden hyödyntäjänä ja osana biotalouden tuotteistamisesta on kansainvälisesti tunnistettu. Suomessa tutkimuksen keskittyessä kalatalouden ympärille opinnäytetyössä pyrittiin tuomaan uutta näkökulmaa maatalouden ympärille. Maatalouden tiedetään olevan suurin vesistöjen ravinnekuormituksen aiheuttajista (Maatalouden vesiensuojelu 2022), mikä takia opinnäytetyössä oli tärkeää lähestyä aihetta alkutekijöistä: kuinka pikkulimaskaa kasvatetaan maatalousympäristössä ja minkälaiset ominaisuudet kasvatetulla pikkulimaskalla on ja kuinka näitä voidaan hyödyntää osana biotaloutta ja maatalouden ravinnekiertoa.

Tutkimus sujui mutkattomasti ensimmäisen esikasvatusyrityksen epäonnistumisesta huolimatta. Mikäli esikasvatus olisi onnistunut, olisi kasvatusaikaa tutkimuskohteissa ollut enemmän. On kuitenkin epätodennäköistä, että pieni lisäys kasvu-aikaan olisi juurikaan vaikuttanut tuloksiin. Analyysillä saatiin vastattua laadittuihin tutkimuskysymyksiin. Samankaltaista tutkimusta toteuttaessa ravinnepitoisuuksien erilaisia analyysimenetelmiä voisi vertailla keskenään, jotta niiden välistä korrelaatiota voisi selvittää. Pikkulimaskan ravinnepitoisuus on erittäin tärkeätä tietää, mikäli suunnittelee jatkokäyttöä etenkin lannoitteiden tai rehun parissa. Tutkimuksen yksi vahvuus on se, että ravinnemittaukset saatiin toteutettua tässä tutkimuksessa, vaikka Luken hyödyntämää Kjeldahl-menetelmä ei ollut mahdollista toteuttaa tutkimuksessa. Käytetty mittaussuunnitelma sovellettiin vesinäytteiden pitoisuuksien määrittämiseen, ja tulosten avulla saatiin käsitys siitä, kumpi kasvatuspaikka tarjoaa enemmän ravinteita pikkulimaskalle.

Tutkimus on toteutettu hyvän tieteellisen käytännön periaatteita noudattaen. Tietoperustassa pyrittiin hyödyntämään vain luotettavaksi osoitettuja lähteitä, kuten vertaisarvoituja julkaisuja, eikä muiden tuottamia tekstejä ole plagioitu. Laboratorioanalyysien toteutuksessa on käytetty alan standardien toimintamalleja, ja ilmoitettu, mikäli menetelmät ovat poikenneet. Toteutetut analyysit tehtiin tutkija Miia Jämsénin ohjeistuksessa ja valvonnassa. Tuloksissa tulee kuitenkin ottaa huomioon mahdolliset virhelähteet tai mittausvirheet. Ravinnepitoisuuksien mittausten tuloksiin tulee suhtautua kriittisyydellä, sillä osa menetelmässä käytetyistä kyveteistä olivat vanhentuneet. Tämä on voinut vaikuttaa tuloksiin. Fosforin osalta mitatut pitoisuudet olivat hyvin pieniä, mikä voi selittyä vanhentuneilla kyveteillä. Myös näytteiden käsittelyn aikana pikkulimaskojen pinnalle on voinut jäädä tuloksiin vaikuttavia ravinteita pesemisestä huolimatta. Lisäksi Tarvaalan kosteikoin viimeisimmistä ravinnemittauksista on kulunut useampi vuosi, minkä takia ei voida täysin olettaa kosteikon ravinnepitoisuuksien olevan samat, mitä opinnäytetyössä on esitetty. Mikäli tutkimus toistettaisiin, olisi suositeltavaa ottaa tutkimusympäristöistä vesinäytteet ajankohtaisten pitoisuuksien tietämiseksi. Tällöin tutkimuksessa voisi myös selvittää kasvuympäristön ravinteiden muutosta kasvatuksen aikana.

Tutkimuksen tuloksia voi jatkossa hyödyntää suunnitellessa pikkulimaskan kasvatusta kosteikolla tai muissa maatalousvesissä. Opinnäytetyössä kerrotaan, kuinka pikkulimaskaa voidaan kasvattaa pienimuotoisesti tutkimuskäyttöön ja miten peruskoostumukseen toteutettavia analyyskejä voidaan toteuttaa. Tutkimuspaikan potentiaali pikkulimaskan kasvatuksessa nousee myös esiin, sillä suuretkin satotasot ovat mahdollisia käytetyssä ympäristössä. Huomioon tulee kuitenkin ottaa se, että suuret määrät pikkulimaskaa vesistöissä valtaavat koko vesistön pinnan, jolloin anaerobiset bakteerit lisääntyvät ja voivat vaikuttaa haitallisesti pikkulimaskan jatkokäyttöön. Tätä ongelmaa voisi ratkoa useammalla sadonkorjuulla kasvukaudessa, mikä kuitenkin lisää työmäärää.

Jatkotutkimukset aiheesta voisivat keskittyä laajempiin kasvatuskokeisiin tai pikkulimaskan jatkokäytön ympärille. Jatkokäyttöön keskittyvissä tutkimuksissa voitaisiin perehtyä pikkulimaskan viherlannoituskokeisiin, rehuanalyysiin ja bioenergian sekä biopolttoaineiden tuotantoon. Tutkimukset voisivat aluksi olla pienimuotoisia, joilla saataisiin yleiskuvaa siitä, miten pikkulimaskasta valmistetut tuotteet eroavat jo kaupallisista tuotteista, ja onko niitä kannattavaa toteuttaa isomilla volyyymilla. Tietynlaiset kannattavuusmittaukset voisivat olla myös hyödyllisiä.

Lähteet

Biopuhdistus. 2023. Tieteen termipankki. Viitattu 1.3.2023. <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Bio-tekniikka:biopuhdistus>

Chakrabarti, R., Clark, W.D., Sharma J.G., Goswami R.K., Shrivastav A.K. & Tocher D.R. 2018. Mass Production of Lemna minor and Its Amino Acid and Fatty Acid Profiles. *Frontiers in Chemistry*, 6, 479, 1-16. Viitattu 18.2.2023. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00479/full>

Chong, Y. Hu, Hongying & Qian, Y. 2003. Effect of inorganic nitrogen compounds and pH on the growth of duckweed. *Chinese Journal of Environment Science* 24, 4, 35-40. Viitattu 4.4.2023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14551954/>

Goopy, J.P. & Murray, P.J. 2003. A Review on the Role of Duckweed in Nutrient Reclamation and as a Source of Animal Feed. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 16, 2, 297-305. Viitattu 18.2.2023. <https://www.animbiosci.org/upload/pdf/16-45.pdf>

Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T. & Uotila, P. 1998. *Retkeilykasvio*. 4.p. Helsinki: Luonnontieteellinen keskusmuseo.

Kamrun, N & Sanwar, A.S., 2019. Duckweed-based clean energy production dynamics (ethanol and biogas) and phyto-remediation potential in Bangladesh. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 1, 1–11. Viitattu 27.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Central.

Karttapaikka. N.d. Maanmittauslaitos. Verkkopalvelu. Viitattu 13.3.2023. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>

Kastelulannoite. N.d. Kekkila Garden. Viitattu 19.5.2023. <https://www.kekkila.fi/tuotteet/kastelulannoite/>

Koostumus. N.d. Suomen hevostietokeskus ry. Viitattu 20.4.2023. <https://hevostietokeskus.fi/i/ruokinta/rehuanalyysi/koostumus>

Koskiahho, J., Siimekselä, T & Puustinen, M. 2015. Maatalouden vesiensuojelukosteikkojen tehokkuusseuranta automaattilaitteistojen avulla. *Vesitalous*. 56,4,35–40.

Kreider, A.N., Pulido, C.R.F., Bruns, M.A. & Brennan R.A. 2019. Duckweed as an Agricultural Amendment: Nitrogen Mineralization, Leaching, and Sorghum Uptake. *Journal of Environmental Quality*, 48, 469-457. Viitattu 18.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, PubMed.

Laajala, P. 2020. Pikkulimaskan viljely vesiviljelylaitoksessa (PIKKULI)- hanke. Hankkeen loppuraportti. Luonnonvarakeskus. Viitattu 18.2.2023. <https://www.kainuunkalaleader.fi/wp-content/uploads/2019/01/PIKKULI-hanke-loppuraportti-31.3.2020.pdf>

Maatalouden vesiensuojelu. 2022. Suomen ympäristökeskus. Vesi.fi aineistopankki. Viitattu 13.2.2023 <https://www.vesi.fi/vesitieto/maatalouden-vesiensuojelu/>

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus – yleisempien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskuksen moniste 227. Suomen ympäristökeskus, ympäristökuormitusyksikkö. Viitattu 1.3.2023. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40841/SYKEmo_227.pdf?sequence=1

Raakaproteiinin määrittäminen elintarvikkeesta. N.d. Opetushallitus. Viitattu 8.5.2023. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/elintarvikkeanalyysit_proteiinit.html

Rahola, M & Toppari, A. 2019. Hallitusohjelmasta vauhtia ravinteiden kierrätykseen. Maatalouden ravinteet hyötykäyttöön II – hankkeen loppuraportti. Luonnonvarakeskus. Viitattu 28.3.2023. <https://mmm.fi/documents/1410837/11907317/Maatalouden+ravinteet+hy%C3%B6tyk%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n++-+loppuraportti/75aad5a8-7096-0f4b-efd6-6e4cf672cd1e>

Rehulimaska. 2023. Kainuun ja Koillismaan Kalaleader. Kehittämishanke: kalanrehua akvaponisesti viljellystä pikkulimaskasta. Viitattu 18.3.2023. <https://www.kainuunkalaleader.fi/kehittamishanke-rehulimaska-kalanrehua-akvaponisesti-viljellysta-pikkulimaskasta/>

SFS-EN ISO 18134:2:2017. Kiinteät polttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Aihealueet: Biologiset ja vaihtoehtoiset energialähteet, biopolttoaineet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 17.02.2017. Viitattu 21.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online

SFS-EN ISO 14780:2017. Solid biofuels. Sample preparation. Aihealueet: Biologiset ja vaihtoehtoiset energialähteet, biopolttoaineet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 26.05.2017. Viitattu 1.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online

SFS-EN ISO 18122:2022. Solid biofuels. Determination of ash content. Aihealueet: Biologiset ja vaihtoehtoiset energialähteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 25.11.2022. Viitattu 1.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online

SFS-EN ISO 18134-3. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 3: Moisture in general analysis sample. Aihealueet: Biologiset ja vaihtoehtoiset energialähteet, biopolttoaineet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 09.11.2015. Viitattu 1.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online

Siimekselä, T., Stenman, T & Ylimartimo, A. 2014. Maatalouden vesiensuojelua Saarijärven reitillä – Tutkimusta ja tekoja. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja, 169. Viitattu 2.3.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71176/JAMKJULKAISUJA1692014_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Siimekselä, T. 2017. Jatkuvatoiminen leväpitoisuuden mittaaminen kosteikkovedestä. Opinnäytetyö, ylempi AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, luonnonvara- ja ympäristöala, maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Viitattu 17.4.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017060212037>

Suomen biotalousstrategia. 2022. Kestävästi kohti korkeampaa arvolisää. Helsinki: Valtioneuvosto. Viitattu 13.3.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-547-4>

Tuhkan määrittely elintarvikkeesta. N.d. Opetushallitus. Viitattu 3.4.2023. http://www03.edu.fi/op-pimateriaalit/laboratorio/elintarvikeanalyysit_tuhka.html

Vesiensuojelun tehostamisohjelma. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 9.5.2023 <https://ym.fi/vedenvuoro>

Wiersman, D, 2020. Dry matter or moisture content- what's the difference? Hoard's Dairyman artikkeli. Viitattu 3.4.2023. <https://hoards.com/article-27110-dry-matter-or-moisture-content&mdash-whats-the-difference.html>

Vilka, H. 2007. Tutki ja mittaa: määrällisen tutkimuksen perusteen. Helsinki: Tammi.

Yli-Kokkila, J-V. 2016. Pikkulimaska vesistöjen ravinteiden hyödyntäjänä. Opinnäytetyö, AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, luonnonvara- ja ympäristöala, maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Viitattu 18.3.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060311748>

Zhou, Y., Stepanenko, A., Kishchenko, O., Xu, J & Borisjuk, N. 2023 Duckweeds for Phytoremediation of Polluted Water. Plants 2023, 12, 589. Viitattu 1.3.2023. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Central.

Liitteet

Liite 1. Ravinnepitoisuuksien määrittyslaskut

Lähtötiedot	Kosteikon pikkulimaskat	Lannoitettujen altaiden pikkulimaskat
Kuivatun pikkulimaskan kosteus (60 °C)	12,08	5,32
mg/l N _{tot} (1:4 laimennoksella)	-	58,63
mg/l N _{tot}	94,83	234,5
mg/l P _{tot}	0,334	0,527
Punnittu näyte, mg	446,6	440
Punnitun näytteen kuiva-aine, mg	392,72	416,59
näytteiden laimennokset märkäpolton jälkeen, ml	100	100

Laskuissa käytetään näytteen kuiva-aineen painoa, joka saadaan poistamalla kuivattujen pikkulimaskojen kosteuden osuus punnitusta näytteestä. Kumpikin näyte on laimennettu 100 ml ja kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuuden sisältämä 1000 ml otetaan laskuihin mukaan.

Tällöin laskiessa montako % tyyppiä/fosfori näytteessä on, kaava saa muodon:

$$\frac{(\text{kokonaistyyppi/-fosfori, mg/ 1000 ml}) * 100}{(\text{punnitun näytteen kuiva-aine, mg/ 100 ml})}$$

Kun tiedetään montako % tyyppiä näytteessä on, se kerrotaan luvulla 6,25, jolloin saadaan tietää näytteen sisältämä raakavalkuaisen määrä kuiva-aineessa.

Tyyppi

$$\text{Typen määrä kosteikon pikkulimaskoissa} = \frac{(94,83 \text{ mg/1000 ml}) * 100}{(392,72 \text{ mg/ 100 ml})} = 2,41 \%$$

Raakavalkuaisen määrä näytteessä: 2,41 % * 6,25 = 15,09 %

$$\text{Typen määrä lannoitettujen altaiden pikkulimaskoissa} = \frac{(234,5 \text{ mg/1000 ml}) * 100}{(416,59 \text{ mg/ 100 ml})} = 5,63 \%$$

Raakavalkuaisen määrä näytteessä: $5,63 \% * 6,25 = 35,18 \%$

Fosfori

$$\text{Fosforin määrä kosteikon pikkulimaskoissa} = \frac{(0,334 \text{ mg/1000 ml}) * 100}{(392,72 \text{ mg/100 ml})} = 8,51 * 10^{-3} = 0,0085 \%$$

$$\text{Fosforin määrä lannoitettujen altainen pikkulimaskoissa} = \frac{(0,527 \text{ mg/1000 ml}) * 100}{(416,59 \text{ mg/100 ml})} = 0,013 \%$$

Fosforin muutos mg/l -> mg/kg -> g/kg

$$\frac{(\text{ravinteen pitoisuus, mg/l} * \text{näytteen määrä, ml})}{(\text{näytteen paino, kg} * 1000)}$$

$$\text{Kosteikon pikkulimaskojen fosfori mg/kg} = \frac{(0,334 \text{ mg/l} * 100 \text{ ml})}{(0,00039272 * 1000)} = 85,048$$

Lannoitettujen altainen pikkulimaskojen fosfori mg/kg =

$$\frac{(0,527 \text{ mg/l} * 100 \text{ ml})}{(0,00041659 * 1000)} = 126,50$$

tulokset muutetaan muotoon g/kg jakamalla 1000, jolloin

Kosteikon pikkulimaskojen fosfori g/kg = 0,085

Lannoitettujen altainen pikkulimaskojen fosfori g/kg = 0,127