

Pikkulimaska vesistöjen ravinteiden hyödyntäjänä

Juha-Ville Yli-Kokkila

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Luonnonvara- ja ympäristöala
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma

Tekijä(t) Yli-Kokkila, Juha-Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 16.05.2016
	Sivumäärä 37	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: (x)
Työn nimi Pikkulimaska vesistöjen ravinteiden hyödyntäjänä		
Tutkinto-ohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Arto Riihinen		
Toimeksiantaja(t) BioA-hanke		
Tiivistelmä <p>Merkittävä osa ihmisen käyttämistä ravinteista päättyy lopulta vesistöihin, joissa ne rehevöittävät ja pilaavat veden laatua. Valitettavasti ei ole olemassa tehokkaita keinoja uudelleen hyödyntää vesistöihin päässeitä ravinteita. Työn tarkoituksena oli testata ja tutkia pikkulimaskan (Lemna minor) käyttömahdollisuutta vesistöjen ravinnepäästöjen puskurina sekä vesistöihin päässeiden ravinteiden hyödyntäjänä. Työssä tutustuttiin myös Suomessa esiintyviin limaskoihin yleisesti sekä limaskojen kasvuvaatimuksiin.</p> <p>Tutkimus toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutissa Saarijärven Tarvaalassa. Pikkulimaskan typen ja fosforin käyttöä seurattiin kolmen ja puolen viikon ajan ulkoisilta tekijöiltä suojatussa akvaariossa. Typpi ja fosfori valittiin seurannan kohteiksi, koska ne ovat merkittävimmät rehevöitymistä aiheuttavat ravinteet.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin pikkulimaskan päivittäisen typen käytön olevan 1,23 mg/l/m² ja fosforikäytön 0,11 mg/l/m². Tutkimusosion tulokset erosivat suuresti aikaisemmista tutkimustuloksista ravinnekäytön ja kasvuolosuhteiden kannalta.</p> <p>Pikkulimaska toimii matalakustannuksisena biopuhdistajana hyvin istuttamalla sitä halutulle alueelle. Puhdistusteho paranee, jos pikkulimaskaa kerätään pois, jolloin ravinteita saadaan uudelleen hyödynnettäväksi. Sen potentiaali tulee esille muun muassa alueilla, joissa kiintoaineelle on rakennettu jonkinlainen systeemi vähentämään niiden pääsyä luonnon vesistöihin. Pikkulimaskaa voidaan käyttää myös bioenergian tuotannossa, typpilannoitteena pienimuotoisessa lannoituksessa sekä tuotantoläinten rehuna.</p>		
Avainsanat (asiasanat) vesi, vesistö, ravinteet, limaska, pikkulimaska, Lemna minor, fosfori, typpi		
Muut tiedot		

Author(s) Yli-Kokkila, Juha-Ville	Type of publication Bachelor's thesis	Date 16.05.2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 37	Permission for web publication: (x)
Title of publication Common duckweed as a nutrient utilizer in water systems		
Degree programme Degree programme in Agriculture and Rural Industries		
Supervisor(s) Arto Riihinen		
Assigned by BioA-project		
Abstract <p>In the end a significant amount of nutrients used by humans end up in water systems, where they cause eutrophication and spoil water quality. Unfortunately there are no effective ways to reuse nutrients which have ended up in water systems. The purpose of the study was to test and study the use of common duckweed (<i>Lemna minor</i>) as nutrient buffer and nutrient utilizer in water systems. The study also looks at the different duckweed species found in Finland and their growth requirements.</p> <p>The study was carried out in the Institute of Bioeconomy of JAMK University of Applied Sciences located in Tarvaala, Saarijärvi. Common duckweed's nitrogen and phosphorus usage was monitored for three and a half weeks while being protected from external perpetrators. Nitrogen and phosphorus were chosen as subjects for monitoring because they are the most prominent nutrients causing eutrophication.</p> <p>The study finds common duckweed's daily nitrogen usage to be 1,23 mg/l/m² and phosphorus usage to be 0,11 mg/l/m². The results of the study differ greatly from earlier studies by both nutrient usage and growth requirements.</p> <p>Common duckweed works well as a low cost bioremediator by planting it in the desired area. The cleansing effect becomes more effective if common duckweed is harvested when nutrients become re-utilizable. Its potential comes forth in areas where there is some sort of system built to reduce the flow of different kinds of solids into water systems. Common duckweed can also be used in production of bioenergy, as a nitrogen fertilizer for small form fertilizing and as fodder for livestock.</p>		
Keywords/tags (subjects) water, water system, nutrients, common duckweed, <i>Lemna minor</i> , phosphorus, nitrogen		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Tutkimusasetelma.....	4
	2.1 Lähtötiedot.....	4
	2.2 Menetelmä.....	7
3	Teoriittinen viitekehys.....	8
	3.1 Ravinteet vedessä.....	8
	3.2 Typpi ja fosfori.....	9
	3.3 Biopuhdistus.....	10
	3.4 Limaskat.....	10
	3.4.1 Yleistä.....	10
	3.4.2 Itulimaska.....	11
	3.4.3 Kupulimaska.....	11
	3.4.4 Ristilimaska.....	12
	3.4.5 Pikkulimaska.....	12
	3.4.6 Isolimaska.....	13
	3.5 Limaskojen kasvuolosuhteet.....	14
	3.6 Aikaisempia tutkimustuloksia.....	14
4	Tutkimustulokset.....	16
	4.1 Ensimmäiset vedet.....	16
	4.2 Tutkimusasetelma tutkimusosion lopussa.....	18
	4.3 Tutkimuksen tulokset.....	20
5	Johtopäätökset.....	21
	5.1 Pikkulimaska ravinteiden hyödyntäjänä.....	21
	5.2 Muita käyttökohteita.....	22
6	Pohdinta.....	24
	6.1 Jatkotoimenpiteet.....	24
	6.2 Tutkimuksen luotettavuus.....	25

6.3 Oma pohdinta ja muutoksia	26
Lähteet.....	28
Liitteet	30
Liite 1. Kokonaistypen tulokset	30
Liite 2. Kokonaisfosforin tulokset	31
Liite 3. Kokonaistypen mittaaminen spektrofotometrillä (Hach Lange).....	32
Liite 4. Kokonaisfosforin mittaaminen spektrofotometrillä (Hach Lange)	33
Liite 5. Pikkulimaskan kasvukehitys tutkimuksen aikana.....	34

Kuviot

Kuvio 1. LCK 349 kyvettejä	5
Kuvio 2. Finnpiipetti	5
Kuvio 3. Akvaario ja sen sijainti	6
Kuvio 4. Hach Lange LT200 -lämpöhaude	6
Kuvio 5. Hach Lange DR3900 -spektrofotometri.....	7
Kuvio 6. Sininen väri kyvetissä kertoo fosforipitoisuudesta	17
Kuvio 7. Akvaarion tilanne tutkimusosion lopussa	19
Kuvio 8. Veden väri tutkimuksen lopussa	19
Kuvio 9. Typen ja fosforin pitoisuuksien kehitys tutkimusjakson aikana, mg/l	20
Kuvio 10. Levien kasvatukseen käytettäviä altaita	22

Taulukot

Taulukko 1. Rehevyyden raja-arvot typelle sekä fosforille mikrogrammoina	8
Taulukko 2. Käytetyt ravinteet, niiden määrät ja suositukset	16
Taulukko 3. Kokonaistypen mittaustulokset	30
Taulukko 4. Kokonaistypen kerrotut tulokset	30
Taulukko 5. Kokonaisfosforin mittaustulokset.....	31
Taulukko 6. Kokonaisfosforin kerrotut tulokset.....	31

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena oli pikkulimaskan käyttö vesistöjen ravinteiden hyödyntäjänä. Työn tarkoituksena oli testata sekä tutkia pikkulimaskan käyttömahdollisuutta vesistöjen ravinnepäästöjen puskurina. Idea opinnäytetyöhön syntyi kesällä 2015 erikoistumisharjoittelun yhteydessä Vapolla.

Tavoitteena työssä oli selvittää, miten hyvin pikkulimaska toimii typen ja fosforin ottajana, minkälainen kasvi pikkulimaska ja sen muut sukulaiset ovat, sen käyttöä muuhun tarkoitukseen kuten lannoitukseen ja näihin liittyviä rajoitteita. Tarkoituksena oli kerätä luotettavaa ja helposti ymmärrettävää tietoa pikkulimaskasta.

Maatalous on tärkeä osa meidän toimintaamme, ja ihminen on ajan myötä oppinut nostamaan tuotantoaan hyödyntäen erilaisia lannoitteita sekä ravinteita pelloissa, kasvihuoneissa sekä kukkapenkeissä. Meitä on tällä planeetalla yli seitsemän miljardia, mistä suuri kiitos kuuluu lannoituksen myötä nousseelle tuotannolle.

Valitettavasti merkittävä osa käytetyistä ravinteista päättyy lopulta vesistöihin, joissa ne rehevöittävät ja pilaavat veden laatua sekä ympäröivää aluetta. Tutkimukset ovat osoittaneet, että vuonna 2014 Suomessa fosforikuormitus oli yhteensä 3169 tonnia ja typpikuormitus 64993 tonnia. Näistä määristä merkittävimmän kuormituksen aiheutti maatalous (fosforikuormituksesta 56,8 %, typpikuormituksesta 46,5 %). Toiseksi merkittävä kuormituksen lähteenä toimivat yhdyskunnat, joiden osuus fosforikuormituksesta on 5,5 % ja typpikuormituksesta 16,6 %. (Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma 2014.)

Vesien rehevöityessä niiden ravinnetaso kohoaa ja perustuotanto lisääntyy. Rehevytyminen aiheuttaa happivajausta pohjan lähellä runsaan eloperäisen aineksen hajottamisen kuluttaessa happea. Hapettomissa oloissa pohjalietteeseen sitoutuneet ravinteet alkavat liueta veteen. Tämä taas lisää vesistön sisäistä kuormitusta muun muassa levien muodossa, ja oravanpyörä on täten valmis. (Piirainen, Piirainen, Hämmäläinen-Forslund & Vainio 1997, 256.)

Viime vuosina ravinnepäästöihin onkin kiinnitetty enemmän huomiota EU-jäsenyyden vuoksi, mutta tästä huolimatta ravinteita pääsee edelleen vesistöihin haitallisen paljon. Koska ravinnepäästöjä voidaan korkeintaan vähentää,

luonnollinen seuraava askel on niiden pois ottaminen erilaisia menetelmiä hyödyntäen. Valitettavasti meillä ei ole vielä keinoja hyödyntää uudelleen vesistöihin päässeitä ravinteita.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Lähtötiedot

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oli seurata pikkulimaskan typen ja fosforin käyttöä. Tällä haettiin vastausta kysymykseen: miten paljon sekä nopeasti pikkulimaska käyttää ravinteita? Saamalla vastaus tähän selviää pikkulimaskan potentiaali eräänlaisena puskurina ravinnepäästöille tai puhdistajana saastuneille alueille. Tutkimus toteutettiin laboratoriomittakaavassa akvaariossa Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotaloustieteiden instituutissa Saarijärven Tarvaalassa. Tutkimuksessa luotiin tilanne, jossa ei ollut ulkoisia tekijöitä vaikuttamassa tuloksiin. Näitä ovat uuden veden lisääminen tai pois ottaminen, ravinteiden lisääminen ja limaskan pois ottaminen. Näin saatiin tarkasti selville pikkulimaskan ravinteiden kulutus.

Opinnäytetyön tutkimusosiossa käytettiin seuraavia tarvikkeita, jotka olivat oleellisia opinnäytetyön kannalta: spektrofotometri, siihen kuuluvia kyvettitestejä (ks. kuvio 1), finnpipetti (ks. kuvio 2), jolla saadaan otettua näytettä tai reagenssia 0,001 millilitran tarkkuudella, sekä mittapipetti, jolla otettiin näytettä akvaariosta. Akvaario (ks. kuvio 3) valittiin tutkimusasetelmaan siksi, että sen avulla limaskojen valonsaanti on varmaa. Koska tutkimus toteutettiin alkukeväästä, luonnonvaloa ei ollut vielä kovin paljon tarjolla. Muita käytettyjä välineitä olivat lämpöhaude (ks. kuvio 4) jota tarvittiin kyvettitestien tekoon, eri ravinteet sekä hapetin akvaarioon. Limaskat akvaarioon saatiin Kalajuttu Oy:ltä Tuurista.



Kuvio 1. LCK 349 kyvettejä



Kuvio 2. Finnpipetti



Kuvio 3. Akvaario ja sen sijainti



Kuvio 4. Hach Lange LT200 -lämpöhaude

2.2 Menetelmä

Reilun kolmen viikon mittainen tutkimusosio toteutettiin keväällä 2016 maaliskuun aikana. Tutkimuksessa käytettiin 60 litran akvaariota, joka täytettiin puolilleen hanavedellä (30 litraa). Akvaario tuotiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituuttiin jo 29. päivä helmikuuta, joka oli alkuperäinen tutkimusosion suunniteltu aloittamispäivämäärä. Ravinteiden laitton jälkeen akvaarioon laitettiin pikkulimaskaa, jota saatiin akvaarioliikkeestä.

Veden ravinnepitoisuuksia mitattiin spektrofotometrillä (ks. kuvio 5), joka on optinen mittauslaite. Sen avulla mitataan valon aallonpituuksia ja sähkömagneettisen säteilyn absorptiota. Mittauksen aikana valo absorboituu mitattavaan aineeseen, jonka avulla saadaan tarkka tulos sen määrästä. (How Does a Spectrofotometer Work? 2016.)



Kuvio 5. Hach Lange DR3900 -spektrofotometri

Näytteitä otettiin kahdesti viikossa: tiistaisin ja perjantaisin. Akvaarion vesi sekoitettiin aina ennen näytteen ottoa, jotta ravinteet jakautuisivat tasaisesti ja mittaustulos ei täten vääristyisi mahdollisesti pohjalle jäävien ravinteiden vuoksi. Rinnakkaiset (2 kappaletta) kvettitestit tehtiin jokaisella näytteen analysointikerralla typelle sekä fosforille tuloksen luotettavuuden varmistamiseksi. Näiden tuloksien keskiarvo on virallinen mittaustulos.

Mikäli tulokset erosivat toisistaan liikaa (tälle ei ole varsinaista raja-arvoa, tutkimuksessa käytettiin arvoina typelle 0,2 mg/l eroa toiseen näytteeseen, fosforille 0,04 mg/l), näytteet analysoitiin uusiksi. Kyvettitestit tehtiin liitteiden 3 ja 4 mukaisesti.

Opinnäytetyössä keskityttiin veden kokonaisfosforin ja kokonaistypen määrään, sillä kun puhutaan rehevöitymisestä sekä ravinteista vesissä, typpi ja fosfori ovat selvästi merkittävimmät vettä rehevöittävät ravinteet.

3 Teoriittinen viitekehys

3.1 Ravinteet vedessä

Veteen päästyään liialliset ravinteet aiheuttavat rehevöitymistä eli eutrofikaatiota. Taulukko 1 kertoo typen ja fosforin raja-arvoista, joiden mukaan vesistöjä voidaan luokitella karuista erittäin reheviin. Typen ja fosforin lisäksi rehevyyttä mitataan myös klorofylli-a:n avulla, joka kertoo lehtivihreän määrästä vedessä. Raja-arvot koskevat kaikkia Suomen vesistöjä.

Taulukko 1. Rehevyyden raja-arvot typelle sekä fosforille mikrogrammoina (Vedenlaatualueen raja-arvot ja lähteet n.d.)

Luokitus	Kokonaistyyppi	Kokonaisfosfori
Karu	< 400 µg/l	< 15 µg/l
Lievästi Rehevä	400 – 600 µg/l	15 – 25 µg/l
Rehevä	600 – 1500 µg/l	25 – 100 µg/l
Erittäin rehevä	> 1500 µg/l	> 100 µg/l

Rehevöityminen esiintyy ensimmäiseksi rantakasvillisuuden määrän nousuna. Erilaiset kortteet ja kaislat muodostavat nopeasti laajoja kasvustoja ja sameita vesiä sietävät lumpeet lähtevät myös kasvamaan. Rehevöitymisen yhteydessä monet karujen vesien lajit katoavat, koska elinolosuhteet käyvät niille kelvottomiksi, esimerkiksi lohikalat eivät siedä rehevien vesistöjen vähähappista vettä. (Rehevöitymisen vaikutukset eliöstöön n.d.)

3.2 Typpi ja fosfori

Alkuaine typpi (N) on yleensä väritön, hajuton sekä mauton kaasu, jota on ilmassa 78 %. Vesistöissä sekä maaperässä sen olomuotoina ovat erilaiset yhdisteet kuten ammoniumsulolat sekä nitraatti. Lannoitteissa typpeä käytetään joko urean, ammoniumnitraatin tai ammoniumsulfaatin muodossa. (Nitrogen – N n.d.)

Typpi on välttämätön ravinne kasveille (sekä kaikelle elämälle), koska se on rakenneosia proteiineille ja nukleiinihapolle eli DNA:lle. Tämän lisäksi typpi on merkittävä lehtivihreän rakenneosia, jonka avulla kasvit suorittavat fotosynteesiä. Typen puute on kasveille suuri uhka, koska ilman sitä kasvit eivät voi elää. (Nitrogen in plants 2013.)

Vesissä suurina määrinä typpi kiihdyttää kasvien ja erityisesti levien kasvua, aiheuttaen rehevöitymistä, mikä taas aiheuttaa muun muassa happikatoa ja täten muita ongelmia kuten kalakuolemia. (Nitrogen (N) and water n.d.)

Fosfori (P) on yksi maapallon yleisimmistä alkuaineista. Luonnossa fosforia esiintyy kahdessa erilaisessa olomuodossa, joita ovat liukoinen fosfori sekä kiintoaineisiin sitoutunut partikkelimainen fosfori. Yhdessä nämä muodostavat kokonaisfosforin. (Niinimäki & Penttinen 2014, 13.)

Fosforin merkittävä rooli kasveille on energianvälittäjänä. Fosfori on hyvin liikkuvaa kasvien sisällä, ja usein sitä onkin suuremmat määrät siinä osassa kasvia missä energialle on suurempi tarve, kuten kukkaa tai siementä tehdessä. Fosforin puute näkyy monilla kasveilla sinertävinä lehtien reunoina tai osina. Fosforin puute vaikuttaa myös kasvien siementen sekä kukkien tekoon merkittävästi ja yleisesti kasvin kypsymisen saavuttamiseen. Usein fosforivajeesta kärsivät kasvit jäävätkin muita pienemmiksi. Fosforin käytön suhteen täytyy kuitenkin olla tarkka, sillä liiallisella määrällä on omat haittavaikutuksensa. (Essential role of phosphorus in plants 2013.)

Liiallinen fosfori vesistöissä edistää muun muassa levien kasvua hyvin paljon, aiheuttaen happikatoa ja vaikeissa tapauksissa estää jopa auringonvalon pääsyn pintaa syvemmälle, mikä taas vaikeuttaa vesistön muuta elämää. (Phosphorus – P n.d.) Fosfori on kemiallisesti hyvin herkkä aine, ja täten se kilpailee muiden ravinteiden kanssa kasviin pääsystä. Liiallinen fosfori merkitsee sitä, että muut ravinteet eivät välttämättä pääse kasviin (koskee erityisesti rautaa ja sinkkiä).

Tämä taas johtaa siihen, että kasvien lehdet voivat muuttua keltaisiksi ja vaaleiksi näiden puutteen vuoksi. Jos kasville on tarjolla liikaa fosforia, tilanteen korjaamiseksi ei auta se, että muita ravinteita lisättäisiin kasvin tarjolle tasapainottamaan tilannetta, sillä fosforin määrä on rajoittava tekijä muiden ravinteiden oton kannalta. (Essential role of phosphorus in plants 2013.)

3.3 Biopuhdistus

Biopuhdistus (englanniksi bioremediation) on termi, jota käytetään kun biologisia organismeja kuten kasveja käytetään saastuneen maaperän tai vesistön puhdistamiseen esimerkiksi raskasmetalleista tai liiallisista ravinteista. Idea kasvien ja pienorganismien hyödyntämisestä on kehittynyt viimeisen 30 vuoden aikana, ja on huomattavasti yleistynyt 2000-luvun aikana. (Bioremediation 2009.)

Biopuhdistuksen etuina ovat sen matalat kustannukset, kasvien helppo seuraaminen sekä tarkkailu. Se on myös luonnolle lähes haitaton keino puhdistaa alueita, koska tätä tapahtuu oikeastaan koko ajan jossakin suhteessa. Biopuhdistusta voidaan tehdä myös alueilla, jonne ei mahdollisesti koneilla edes pääse. (How it works n.d.)

Biopuhdistuksen huonoina puolina voidaan mainita kasvien omat rajoitteet, mikä tarkoittaa sitä, että jos alue ei ole käytettävälle kasville kelvollinen kasvuympäristö, ei siitä silloin myöskään paljoa hyötyä ole. Biopuhdistus voi olla myös melko hidasta riippuen tietenkin alueesta ja kasvista, sen kasvuvauhdista sekä leviämiskyvystä.

3.4 Limaskat

3.4.1 Yleistä

Limaskat (Lemna) ovat irtokellujia ja osa vehkakasvien heimoa. Ne ovat vapaana kelpuvia vesikasveja, jotka ottavat kaikki tarvitsemansa ravinteet suoraan vedestä. Siksi ne kasvavat vain poikkeuksellisen ravinnepitoisissa vesissä, usein toistensa seurassa viihtyen. Koska irtokellujilla ei ole juuria joilla tarttua maaperään, ne tarvitsevat myös suojaa aallokolta. Luontaisesti niille sopivia kasvupaikkoja ovat vain saariston lokki- luotojen lammikot ja harvojen rehevien lintujärviemme suojaisimmat linnunlannan terästävät sopukat. (Lampolahti 1995, 199.)

Kiitos holtittoman vesiemme rehevöitymisen irtokellujilla on nyt enemmän sopivia kasvupaikkoja kuin koskaan. Irtokellujen runsaus on aina merkki siitä, että veteen pääsee jostakin ylen määrin ravinteita.

Limaskat kukkivat Suomessa äärettömän harvoin ja vain poikkeuksellisen rehevissä ja lämpimissä vesissä, eikä yhdenkään limaskan ole todettu tuottavan meillä siementä. Limaskat lisääntyvätkin kasvullisesti (suvuttomasti) sivuversoista ikään kuin silmikoi-malla. Sorsien ja kahlaajien höyhenpeitteeseen takertuneena limaskat ovat levinneet kaikkiin maanosiin. Limaskat talvehtivat yksinkertaisesti vajoamalla pohjaan, eivätkä ne ilmeisesti kärsi jäätymisestä.

Tämä kasvisuku onkin merkittävässä roolissa muun muassa lääketieteessä, biologias-sa ja eläinten ravinnossa sen kyvystä kasvaa sekä lisääntyä nopeasti. Maailmalla on tavattu 14 eri limaskalajiketta (A working list of all plant species 2013.), joista viittä on löydetty Suomesta.

3.4.2 Itulimaska

Itulimaska (*Lemna turionifera*) on veden pinnalla kelluva, pieni kasvi joka muistuttaa suuresti pikkulimaskaa. Lehdet ovat kooltaan 0,5 – 2 mm, jotka ovat yläpuolelta olii-vinvihreitä ja alapuolelta punertavia. Itulimaska nimensä mukaisesti kasvattaa silloin tällöin eräänlaisia ituja. (*Lemna turionifera* 1975.) Itulimaskaa tavataan Etelä- ja Län-si-Suomessa, mutta ei kuitenkaan kovin yleisenä. (Itulimaska (*Lemna turionifera*) 2014)

3.4.3 Kupulimaska

Kupulimaska (*Lemna gibba*) on paksulehtinen, veden pinnalla kelluva limaska. Kool-taan se on 3 – 5 mm, ja sillä on yksi juuri. Kuten muutkin limaskat, kupulimaska li-sääntyy pääasiassa myös kasvullisesti, mutta voi harvoin tuottaa myös siemeniä, mi-käli olosuhteet ovat tähän otolliset. Kupulimaska viihtyy rehevissä vesissä, ja sitä ta-vataan harvinaisena Ahvenanmaalla ja Lounais-Suomessa. (Feilberg & Christensen 1999, 282.)

3.4.4 Ristilimaska

Ristilimaska (*Lemna trisulca*) on monivuotinen, halkaisijaltaan noin 0,5 – 1,5 senttimetrin kokoinen hento, kelluva vesikasvi, jolla ei ole kelluslehtiä. Ristilimaskan ohuet, läpikuultavat lehdet ovat noin 7 - 10 mm pitkiä. Ristilimaska lisääntyy kasvullisesti, mutta kukkii vain harvoin, eikä siemenellisiä versoja ei ole tavattu Suomessa. Versot talvehtivat järvien ja lampien pohjassa. Ristilimaska kasvaa suojaisissa paikoissa rehevissä järvissä sekä vähäsuolaisessa murtovedessä. Se kasvaa upoksissa vapaana keijujen vesisherneiden lailla. Sen tapaa varmimmin suojaisten ja matalien murtovesipoukamien ruoikkojen edustalta noin puolen metrin syvyydestä ketjumaisina, puhtaanvihreinä kasvustoina takertuneena muihin vesikasveihin tai ruokoihin. (Lampolahti 1995, 199.). Ristilimaska on yleinen Ahvenanmaalla ja etelärannikolla, mutta sitä tavataan myös harvinaisena Pohjanmaalla, Pohjois-Karjalassa, Kainuussa sekä Lapissa. (Feilberg & Christensen 1999, 282.)

3.4.5 Pikkulimaska

Pikkulimaska (*Lemna minor*) on monivuotinen, hento, vedenpinnalla kelluva vesikasvi, jonka versossa on yksi juuri sekä kaksi tai kolme vihreää lehteä. Se kasvaa rehevissä ja suojaisissa vesissä, lammikoissa, ojissa sekä vähäsuolaisessa murtovedessä. Pikkulimaskaa tavataan yleisenä Ahvenanmaalla ja Etelä-Suomessa, harvinaisena Länsi-Lappiin asti. (Feilberg & Christensen 1999, 282.)

Pikkulimaska on Suomessa alkuperäinen luonnonkasvi, varsin yleinen etelästä Keski-Suomeen asti, ja siitä Pohjois-Karjalaan ja Perämeren pohjukan tienoille harvinaisempi; pohjoisimmat erillislöydöt on tehty Kittilän kalkkialueiden rehevistä järvistä. Se kasvaa rehevissä vesissä suojaisilla paikoilla, ojista ja allikoista aina vähäsuolasiin merenlahtiin. Sen pikkuriikkiset versot kelluvat vedenpinnalla muutaman rykelminä; kasvi kun lisääntyy versolevyn laitataskussa kehittyvien, myöhemmin irti kuroutuvien sivuversojen avulla. Siemeniä sen ei koskaan ole todettu Suomessa tekevän (ja muuallakin erittäin harvoin).

Pikkulimaska hyötyy vahvasti vesien rehevöitymisestä; ihminen onkin avokätisesti edistänyt sen kasvumahdollisuuksia. Yleensä runsas, monesti vihreänä puurona vedenpinnalla lilluva limaskakasvusto kielii selvästi ylimääräisestä ravinnekuormituksesta. (Piirainen, Piirainen, Hämäläinen-Forslund & Vainio 1997, 259.)

Pikkulimaska (*Lemna minor*) on selvästi yleisin ja runsain irtokellujamme. Se on myös Suomen pienin siemenkasvi: versolla on pituutta vain 3-4 millimetriä, eikä siinä voi erottaa vartta tai lehteä. Verson alapinnalta lähtee juuri, joka ottaa ravinteita suoraan vedestä.

Pikkulimaska kattaa usein yhtenäisenä kelluvana peitteenä rehevät lammikot, ojat ja ilmaversokasvustojen suojaisat lampareet. Epäilyttävässä limaskapuurossa kasvaa seassa muita irtokellujia, ja pinnan alta löytää runsaasti muuta vesikasvillisuutta.

Pikkulimaska luokitellaan myös eräänlaiseksi varaajakasviksi (englanniksi hyperaccumulator), koska sillä on luonnostaan kyky selviytyä vesissä, jonka kadmium, sinkki ja kuparipitoisuudet ovat normaalia korkeampia. Nämä ovat suurina pitoisuuksina haitallisia sekä myrkyllisiä monille kasveille. (McCutcheon & Schnoor 2003, 898.)

3.4.6 Isolimaska

Isolimaska (*Spirodela polyrhiza*) ei kuulu samaan sukuun muiden limaskojen kanssa, vaan se sijoitetaan isolimaskojen sukuun. Isolimaska on monivuotinen, hento, vedenpinnalla kelluva, halkaisijaltaan noin 0,4 – 0,7 cm kokoinen vesikasvi, jonka lehdet ovat usein alapuolelta sinipunaisia. Isolimaskan versot ovat 5 – 10 juurisia, eikä siitä ole tavattu kukkivana Suomessa. Isolimaska lisääntyy kasvullisesti, ja se kasvaa rehevissä vesissä suojaisilla paikoilla, ojissa, lammissa, järvissä sekä joissa. Isolimaska on yleistynyt rehevöitymisen myötä, ja sitä tavataan harvinaisena Ahvenanmaalla, Etelä-Suomessa ja Länsi-Suomessa Oulun korkeudelle asti. (Feilberg 1999, 282.)

Isolimaska on hieman suurempi kasvi: verson halkaisija on 5-8 mm. Lähes aina se kasvaa pikkulimaskan seurassa, jolloin suurempi koko ja usein punertava väri kiinnittävät huomion. Pikkulimaskan löytää jokaisesta eteläsuomalaisesta vähänkään rehevämmästä vesistöstä, mutta isolimaska on huomattavasti vaateliaampi veden ravinteisuuden suhteen kuin pikkulimaska.

Isolimaskan runsaus on aina merkki vesistön suoranaisestä pilaantumisesta. Yhtä vaateliias on vain lounaisaariston lokkiluotojen lammikoissa viihtyvä kupulimaska. (Lampolahti 1995, 199.)

3.5 Limaskojen kasvuolosuhteet

Useimmat limaskat eivät ole kovinkaan vaativia siitä, että missä kasvavat, mutta niillä on kuitenkin muutama tärkeä ehto, joiden pitää täytyä kasvun onnistumiseksi.

Veden lämpötilan täytyy olla yli 7 astetta, sillä tästä matalammassa lämpötilassa limaska valmistautuu talven viettoon vesistön pohjassa, jonne se vaipuu lämpötilan laskettua tarpeeksi alas. Yli 31 celsiusasteen lämpötiloissa limaskat taas kärsivät lämpöstressistä, joka pysäyttää kasvun lähes kokonaan. Optimaalinen lämpötila limaskojen kasvulle on 25 – 31 celsiusasteen välillä. (Iqbal 1999, 15.)

Limaskat ovat myös tarkkoja veden virtauksesta sekä tuulesta, sillä niillä ei ole mahdollisuutta kiinnittyä maaperään juurellaan. Limaskat viihtyvät vesissä, jotka virtaavat hyvin hitaasti, tai paikoissa, joissa vesi seisoo olettaen tietenkin että vedessä riittää happi. (Iqbal 1999, 16.) Limaskat suosivat myös veden pH arvoja väliltä 4,5 – 7,5 (Landolt 1986).

3.6 Aikaisempia tutkimustuloksia

Aikaisempia tutkimuksia aiheesta löytyi muutamia, joissa esitetyt tulokset erosivat tämän opinnäytetyön tutkimustuloksista hyvin paljon. Huomioimisen arvoista on se, että näissä käytetyt menetelmät erosivat opinnäytetyön menetelmästä jonkin verran, mikä tarkoittaa sitä, että tulokset eivät välttämättä ole suoraan vertailtavissa. Lisäksi näissä tutkimuksissa ei välttämättä ollut käytössä pelkästään pikkulimaska, vaan jokin toinen limaskalaji. Pelkästään pikkulimaskaan liittyviä tutkimuksia ei löytynyt, eikä juuri tämän opinnäytetyön menetelmällä tehtyjä tutkimuksia myöskään.

Sascha Iqbalin vuonna 1999 tekemässä raportissa ”Duckweed Aquaculture” annettiin lukuja eri limaskalajeille eri puolilta maapalloa, joista suuri osa kuitenkin ilmoitettiin vain ”limaskana”. Raportista tuli kuitenkin esille luvut fosforille sekä typelle, jotka ovat peräisin useista eri lähteistä.

Luvut ilmoitettiin grammoissa jokaista neliometriä kohden. Typen otto vaihteli 0,15 – 1,67 g/m²/d (150 – 1670 mg) ja fosforin otto vaihteli 0,01 – 0,22 g/m²/d (10 – 220 mg). Tuloksien saamiseen käytettyä menetelmää ei varsinaisesti tullut esille, mutta raportissa kuitenkin puhutaan jäteveden käsittelystä limaskaa hyödyntäen, ravinteiden sisään- sekä ulosvirtauksesta ja ravinteiden poistoprosenteista, joten kyseessä on jätevesien käsittelylaitos. Tulokset on todennäköisesti otettu mittaamalla sisään menevän jäteveden arvot ja ulos tulevan veden arvot. Tässä menetelmässä on kuitenkin huomioitava se, että maaperä imee ravinteita jonkin verran itseensä, joten kyseessä ei ole pelkästään limaskan ravinnekäyttö.

Jonathan Bay Farrelin vuonna 2012 tekemässä diplomityössä ”Duckweed Uptake of Phosphorus and Five Pharmaceuticals: Microcosm and Wastewater Lagoon Studies” tutkittiin Lemna turioniferan (itulumaska) ja Wolffia borealis (ei suomenkielisestä nimeä) fosforin ottoa. Työssä käytettiin 110 litran akryylista tehtyä reaktoria, josta kerättiin limaskaa pois 3 – 5 päivän välein. Limaskojen annettiin sopeutua uuteen kasvupaikkaansa noin kaksi viikkoa ennen työn aloitusta. Reaktoriin syötettiin 1,77 litraa ravinneliuosta päivittäin ja uutta vettä 0,64 litraa päivässä haihtumisen vuoksi. Näyttevettä otettiin 15 litraa näytteenoton yhteydessä, josta mitattiin arvot ennen veden hävittämistä. Työssä todettiin näiden limaskojen fosforikäytöksi 100 – 200 mg neliömetrille päivässä ja tarkempaan lukuna mainittiin 113 mg neliömetriltä tavallisissa olosuhteissa, jolla viitataan päivän ja yön pituuteen luonnossa. Farrelin työssä vaihdettiin ja lisättiin vettä paljon, samalla kun systeemiin pumpattiin uutta ravinnetta päivittäin, mikä tarkoittaa sitä, että tulokset voivat olla hieman vääristyneitä.

4 Tutkimustulokset

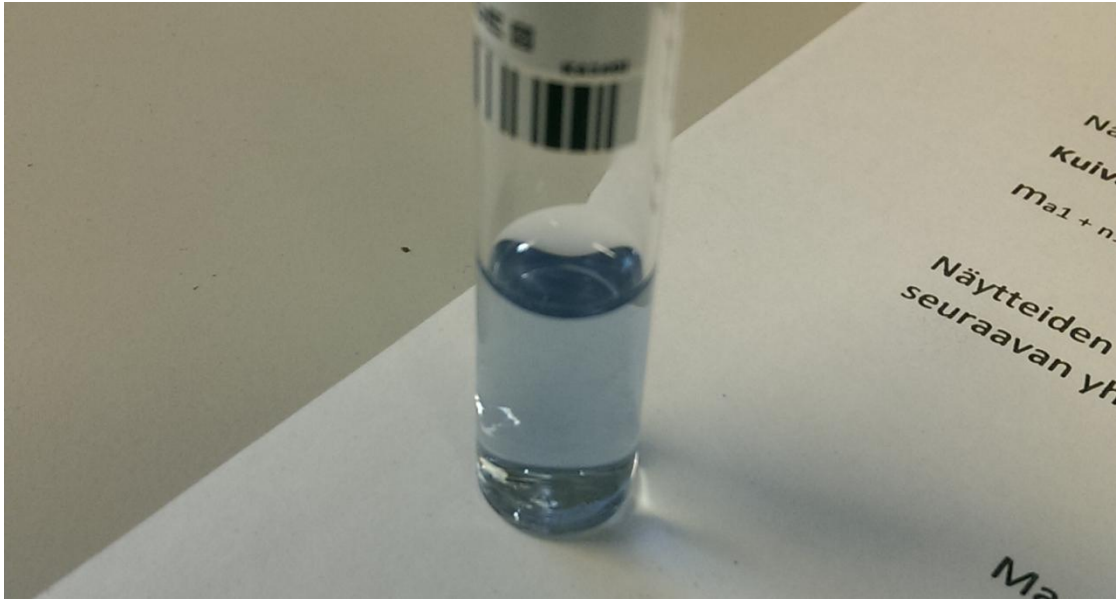
4.1 Ensimmäiset vedet

29. helmikuuta 2016 veden sekaan laitettiin akvaarioliikkeistä ja tavallisista tavara-kaupoista löytyviä useita eri ravinteita (ks. taulukko 2), jotta pikkulimaskalle saataisiin monipuolisesti eri ravinteita käytettäväksi sekä hyödynnettäväksi. Ravinnevalmisteet sisälsivät typpeä ja fosforia sekä muita kivennäis- ja hivenaineita kuten rautaa, magnesiumia ja kalsiumia. Tällä varmistettiin se, että pikkulimaskat eivät menehtyisi kokonaan kesken tutkimusosion. Ravinnevalmisteille ei ollut sen suurempaa valintaperustetta, tarkoituksena oli kuitenkin vain saada typpeä ja fosforia akvaarioon.

Taulukko 2. Käytetyt ravinteet, niiden määrät ja suositukset

Ravinne	Käytetty määrä	Suositus
Kekkilä kukkaravinne	8 grammaa	2 g/1 l
Sera flore daydrops	5 tippaa	1 tippa/10 l
Sera florena basic care	10 millilitraa	5 ml/20 l
Biolan merileväuute	60 millilitraa	10 ml/1 l
Sera bio nitrivec	5 millilitraa	1 ml/2,5 l

Näiden ravinnepitoisuudet olivat kuitenkin yllättävän korkeita, mikä johti puolivahingossa siihen, ettei typen määrästä saatu edes mittaustulosta 1 - 16 mg/l tarkoitettulla kyvettitestillä. Fosforia spektrofotometri ilmoitti olevan 4,3 mg litrassa, mutta todennäköisesti fosforia oli tätäkin enemmän, sillä tutkimuksessa käytetty Hach Lange LCK 349 kyvettitesti (ks. kuvio 6) on tarkoitettu vain 0,05 – 1,5 mg/l fosforipitoisuuden alueelle, joten mittaustulos saattoi heittää erittäin paljon.



Kuvio 6. Sininen väri kyvetissä kertoo fosforipitoisuudesta

Vettä laimennettiin seuraavana päivänä 1.3.2016 poistamalla 2/3 akvaarion vedestä (noin 20 litraa), ja korvaamalla poistettu vesi 10 litralla tislattua vettä sekä 10 litralla vesijohtovettä. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut veden fosforipitoisuuteen oikeastaan yhtään, sillä mittaustuloksien valmistuttua fosforia oli edelleen 4,2 mg jokaista litraa kohden. Tällöin typen määrääkin testattiin isommalla testillä, joka on tarkoitettu 20 – 100 mg/l pitoisuuksille, ja typen määräksi saatiin 39,2 mg litraan. Päätettiin kuitenkin kokeilla, miten pikkulimaska reagoi näihin pitoisuuksiin, jotka vastaavat esimerkiksi kaatopaikoilta lähtevien vesien pitoisuuksia. Veden sekä limaskojen annettiin olla muutaman päivän.

Perjantai 4.3.2016 mennessä vesi oli muuttunut ruskehtavaksi, ja suuri osa limaskoista oli menehtynyt. Akvaarion vedessä näytti olevan myös leväkasvuston alkua, jonka ilmaantuminen oli yllättävän nopeaa. Tästä vedestä ei arvoja mitattu, koska oli selvää, ettei limaska selviäisi edes seuraavaan viikkoon tällaisessa vedessä.

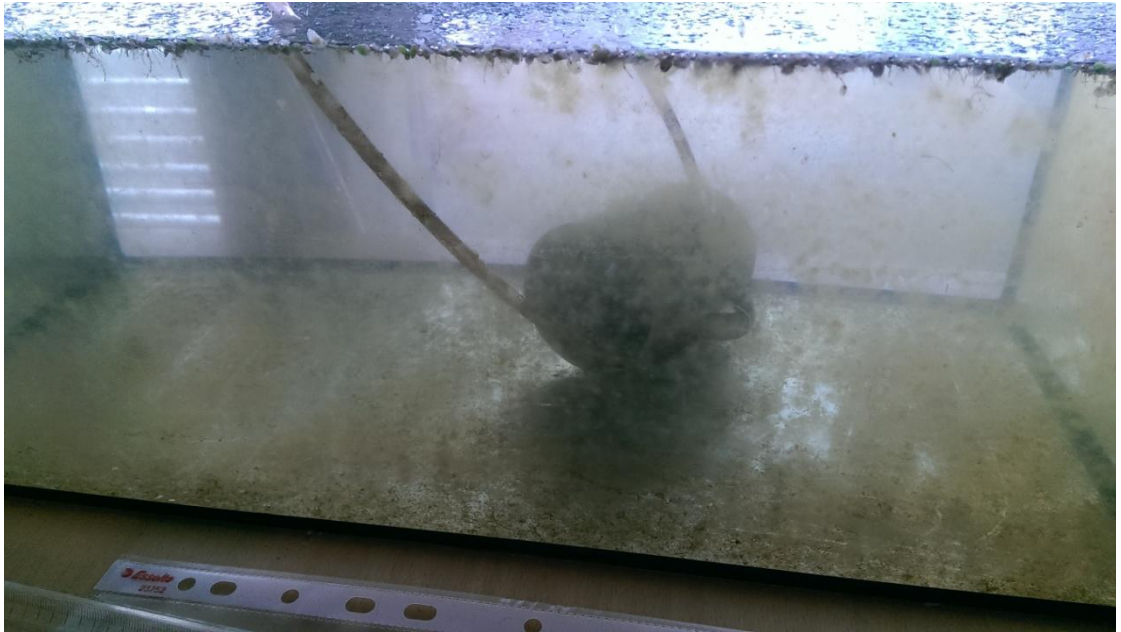
Vettä laimennettiin samana päivänä poistamalla 4/5 akvaarion vedestä (noin 25 litraa) ja korvaamalla poistettu vesi vesijohtovedellä, jota laitettiin noin 30 litraa. Tästä veteen saatiin fosforipitoisuudeksi 1,814 mg/l ja typpipitoisuudeksi 4,34 mg/l. Pitoisuudet ovat edelleen hyvin korkeita, mutta ovat kuitenkin jo huomattavasti siedettävämpiä pitoisuuksia kasveille. Veden pH-arvoksi saatiin tuolloin 7,4.

4.2 Tutkimusasetelma tutkimusosion lopussa

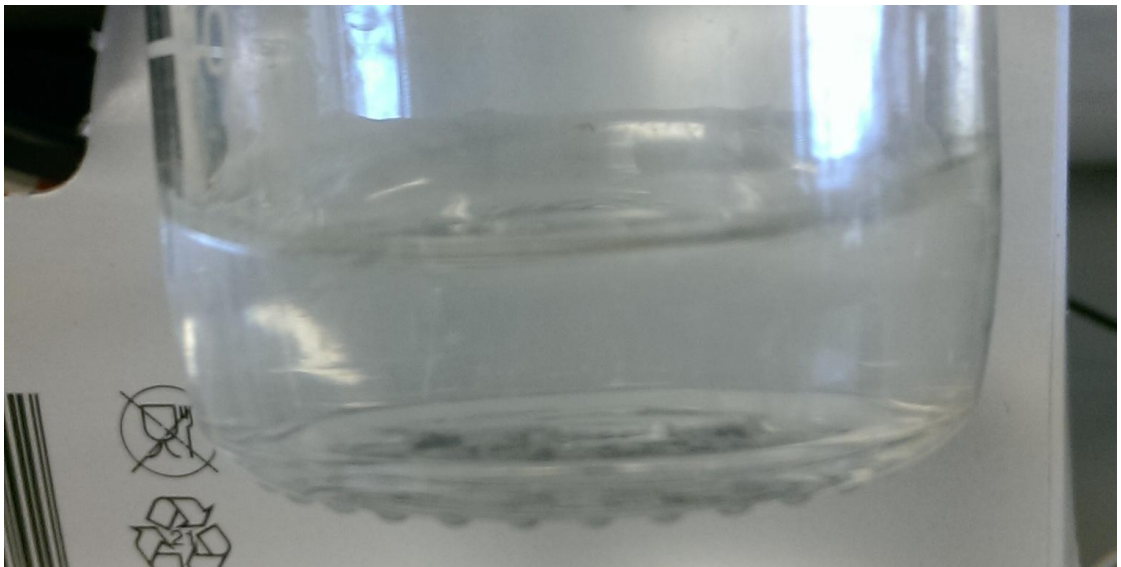
Viimeiset vesinäytteet otettiin 29. maaliskuuta 2016, jonka myötä tutkimusosio saatiin päätökseensä. Tutkimusosiota olisi jatkettu pidempään, mutta spektrofotometri täytyi lähettää huoltoon (laite oli ilmoittanut huollosta jo useita viikkoja). Kolmen ja puolen viikon mittaisen tutkimusosion katsottiin kuitenkin olevan tarpeeksi pitkä tuloksien kannalta.

Veden lämpötila pysyi noin 21 celsiusasteessa koko tutkimusosion ajan. Veden pH oli 4.3.2016 7,4 ja oli noussut 7,5:een 29.3.2016 mennessä. Vaikka akvaario oli lopussa ruskehtava (ks. kuvio 7), oli vesi kuitenkin väriltään kirkasta ja väritöntä (ks. kuvio 8). Akvaarion väri johtui lasipinnoilla olevasta leväkaskuston alusta. Pohjalle oli kertynyt kerros kuollutta limaskaa. 25.3.2016 pohjalta otettiin oma vesinäyte, joka kuitenkin paljasti, että pohjalla olevat menehtyneet limaskat eivät vaikuttaneet pohjan ravinnearvoihin, ja täten arvot eivät olleet muun akvaarion vesistä poikkeavia.

Limaska ei tutkimusosion aikana lähtenyt mitenkään nopeaan kasvuun, mutta kasvoi akvaariossa kuitenkin jonkin verran. Limaskaa oli 4.3.2016 noin 0,05 m² ja tutkimusosion viimeisenä päivänä noin 0,1 m². Limaskaa menehtyi 15.3. - 18.3.2016 poikkeavan paljon, mikä vähensi sen määrää 0,08 neliömetristä 0,06 neliömetriin. Limaskaa oli koko tutkimusosion ajan noin sentin kerros, johon lasketaan lehdet sekä juuri. Liitteessä 5 näkyy pikkulimaskan kasvun kehitys tutkimusosion ajalta.



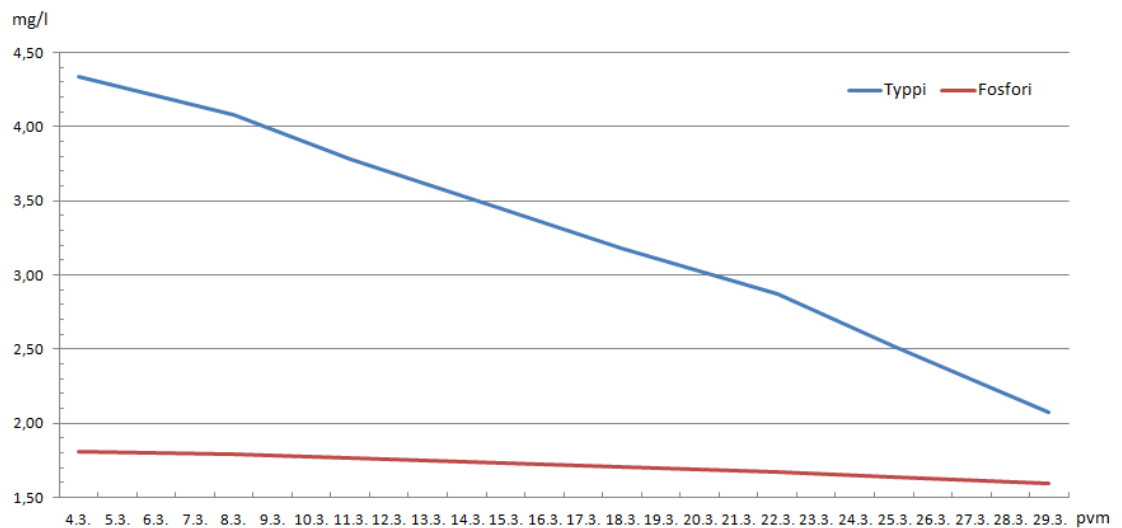
Kuvio 7. Akvaarion tilanne tutkimusosion lopussa



Kuvio 8. Veden väri tutkimuksen lopussa

4.3 Tutkimuksen tulokset

Tutkimusosion aikana pikkulimaska käytti typpeä ja fosforia siten, että typen määrä laski alkuperäisestä 4,34 mg/l määrästä pitoisuuteen 2,08 mg/l (vähenemä yhteensä 2,26 mg/l). Fosforin määrä oli alun perin 1,814 mg/l, viimeisessä vesinäytteessä sen määrä oli 1,596 mg/l (fosforivähenemä yhteensä 0,218 mg/l). Tarkemmat luvut löytyvät liitteistä 1 ja 2. Kuvio 9 havainnollistaa näiden kehityksen tutkimusosion aikana.



Kuvio 9. Typen ja fosforin pitoisuuksien kehitys tutkimusjakson aikana, mg/l

Mittaustuloksissa on tärkeää ottaa huomioon limaskan määrä, sillä sen avulla voidaan laskea typen ja fosforin käyttö jokaista neliometriä kohden. Akvaarion leveys oli 50 senttimetriä ja pituus 30 senttimetriä, mikä tarkoittaa 0,15 neliometrillistä pinta-alaa. Liitteissä 1 ja 2 on laskettu limaskan typen ja fosforin käyttö jokaista neliometriä kohden. Laskut tehtiin siten, että yksi neliometri jaettiin tuolloin olleella limaskan määrällä (arvio) ja tulos kerrottiin tuon päivän fosforivähenemällä. Näitä tuloksia voidaan hyödyntää, kun lasketaan pikkulimaskan fosforin ja typen käyttö.

Fosforivähenemä oli keskimäärin noin 0,41 mg/l jokaista neliometriä kohden mittauspäivien välillä, mikä tarkoittaa noin 0,11 mg/l päivittäistä fosforiottoa neliometrille pikkulimaska. Typpeä pikkulimaska otti keskimäärin 4,33 mg/l neliometriä kohden mittauspäivien välillä, mikä tarkoittaa 1,23 mg/l päivittäistä typen ottoa jokaiselle neliometrille.

Mittaustulokset olivat pitkälle odottamattomia. Pääasiallisesti siksi, että aikaisemmat tutkimukset ilmoittivat paljon suurempia lukuja, mutta myös koska pikkulimaska osoitti selviä kasvuongelmia merkittävästi ravinnepitoisessa vedessä. Tämä on ristiriidassa erityisesti Sascha Iqbalin (1999) raportin kanssa, jossa sanotaan limaskojen olevan kykenemättömiä merkittävästi vähentämään ravinnepitoisuuksia, mikäli typpen ja fosforin määrä on alle 4 mg/l. Työn alussa veden fosforipitoisuus oli yli 4 mg/l, joka myös johti merkittävään limaskojen menehtymiseen jo muutamassa päivässä. Tilanne korjaantui, kun vettä laimennettiin.

5 Johtopäätökset

5.1 Pikkulimaska ravinteiden hyödyntäjänä

Riippumatta siitä mihin tutkimustulokseen uskoo, pikkulimaskalla on joka tapauksessa potentiaalia ravinnepuskurina/biopuhdistajana. Kyseessä kuitenkin on kasvi, joka muiden kasvien lailla tarvitsee ravinteita kasvaakseen. Ravinnepuskurina olemisen tehokkuus on kuitenkin riippuvainen veden virtaamasta eli veden virtauksesta litroina sekunnissa. Mitä hitaampaa virtaama on, sitä paremmin pikkulimaska pystyy hyödyntämään vedessä olevia ravinteita. Suuri virtaama tarkoittaisi sitä, että alueelle tulee paljon ravinteita, mutta suuri osa näistä jäisi kuitenkin pikkulimaskalta hyödyntämättä. Limaskat kuitenkin vaativat hitaasti virtaavaa tai seisovaa vettä viihtyäkseen ja kasvaakseen, joten tämän ei pitäisi olla ongelma.

Tutkimuksen aikana tulleiden havaintojen mukaan pikkulimaskan potentiaali ravinnepuskurina tulee esille alueilla, joissa ravinteille tai veden kiintoaineelle/humukselle on rakennettu jonkinlainen systeemi vähentämään niiden pääsyä luontoon. Esimerkiksi turvetuotannossa hyödynnettävät laskeutusaltaat ovat pikkulimaskalle erittäin hyviä kasvualueita, sillä näissä vesi virtaa hitaasti, ne ovat usein tuulensuojassa (laskeutusaltaat kaivetaan maahan ja ovat melko syviä), ja niille tulee ravinteita hyödynnettäväksi turvetuotantokentiltä. Näissä altaissa pikkulimaskasta ei ole myöskään esteettistä haittaa (tämä on tietenkin jokaisen oma asia, mutta osa ihmisistä voi nähdä ja tulkita limaskapeitteet haitallisina), joten sitä voisi istuttaa näihin altaisiin ja ne voisi käytännössä unohtaa sinne. Usein on, että laskeutusaltaiden, lietekuoppien ja kosteikoiden pintavedet ovat tyhjillään, jolloin voisi olla harkitsemisen arvoista

pohtia, voisiko ja pitäisikö tämän systeemin puhdistustehoa vielä parantaa. Limaska sopii oikein hyvin tähän tehtävään.

5.2 Muita käyttökohteita

Pikkulimaskan muun käytön kannalta on tärkeää, että sitä saadaan kasvatettua määrällisesti paljon. Tämä edellyttää ensimmäisenä sitä, että pikkulimaskan kasvuvaatimukset täyttyvät. Kun ne ovat kunnossa, niin pääsee jo pitkälle. On kuitenkin huomioitava, että pikkulimaskan määrän kannalta kuitenkin merkittävin asia on vesistön pinta-ala, sillä pikkulimaska ei kasva syvyyttä kovinkaan paljoa. Noin 5 sentin kerros on suunnilleen se maksimi, joka voi luonnollisesti tapahtua. Tämä tarkoittaa sitä, että vesistön syvyydellä ei ole oikein muuta merkitystä kuin veden virtausnopeuden kannalta, joka on sitä hitaampaa mitä syvempi vesistö on. Noin metrin syvyinen kasvualue kelpaa oikein hyvin, olettaen tietenkin virtaaman olevan pikkulimaskalle sopiva. Esimerkiksi kosteikkojen keskisyyvyys on 0,5 - 1m ja viipymä on noin 1 vuorokausi, eli ne sopivat mainiosti limaskalle. Limaskalle voidaan rakentaa myös oma alueensa, jolloin on tärkeää maksimoida kasvatukseen käytettävä pinta-ala. Tähän toimii loistavasti maailmalla levien kasvatukseen käytettävät ”kilparata-altaat” (englanniksi raceway pond, kuvio 10), joissa on vesiratas hitaasti liikuttamassa vesimassaa eteenpäin. (Algae basics: open pond systems n.d.)

Open Pond



Kuvio 10. Levien kasvatukseen käytettäviä altaita (Algal open pond design 2011.)

Maailmalla limaskaa kasvatetaan pääasiassa tuorerehuksi, mutta sillä on myös käytönsä bioenergian tuotannossa. (Iqbal 1999.)

Limaskat ovat proteiini- ja kuitupitoisia, joten ei ole yllättävää että ne ovat löytäneet tiensä rehukäyttöön. Kesäisin Suomen sää sopisi pikkulimaskan kasvattamiseen oikein hyvin, ja kuten muillakin kasveilla niin talvella mikään ei kasva. Talvella limaskaa voidaan säilyttää kuivattuna erilaisissa säiliöissä. Limaskan etuna verrattuna muihin kasveihin on se, että se ei välttämättä vie kasvutilaa perinteisiltä kasveilta kuten viljoilta. Asia on tietenkin toisin, mikäli sille tehdään oikein tarkoituksenmukainen kasvuaalue pellolle jonkin viljelmän päälle, mutta sellaisenaan pikkulimaskaa voidaan kasvattaa vaikka kosteikoilla. Koska pikkulimaska on voimakkaasti kasvava ja leviävä kasvi, niin täytyy huomioida, että limaskakasvusto voi peittää koko vesistön pinnan ja samalla estäen auringonvalon pääsyn pintaa syvemmälle. Tämä aiheuttaa anaerobisten bakteerien lisääntymistä, joka voi tehdä limaskasta syömäkelvotonta. Tämän voi estää säännöllisellä limaskan keruulla, johon voidaan käyttää vaikka ämpäriä. Tällöin pintapeite rakoilee ja valo pääsee taas pohjalle saakka, joka elvyttää pohjakasvuston. Säännöllisellä keruulla saadaan tehdyksi myös ravinteiden uudelleenkäyttöä, kun kerätty limaska hyödynnetään uudestaan vaikka rehuna tai muita tapoja hyödyntäen.

Koska limaskassa on massaansa nähden yllättävän paljon proteiinia, niin sen käyttö esimerkiksi orgaanisena typpilannoitteena voisi olla mahdollista. Proteiinipitoisuus vaihtelee kuitenkin kasvuolosuhteista riippuen. ”Hyvissä olosuhteissa” (tarkoitetaan runsasta ravinnetarjontaa, jossa typpeä on noin 15 mg/l) limaskan kuivapainosta voi olla 45 % proteiinia. Yleisesti limaskan proteiinipitoisuus vaihtelee 6,8 % - 45 % välillä. (Duckweed nutritional composition 2011.) On kuitenkin huomioitava, että kyseessä on kuivapaino, ja koska limaskasta noin 86 % - 97 % on vettä, tarkoittaa tämä suurta painon pudotusta kuivauksen yhteydessä. (Measuring Duckweed growth 2013.)

Johan Kjeldahl kehitti vuonna 1883 menetelmän, jonka avulla voidaan laskea eri elintarvikkeiden typpipitoisuudet proteiinin määrästä. (Kjeldahl Method 2016.) Typpipitoisuus voidaan yksinkertaisesti laskea jakamalla proteiinin määrä eri luvuilla, joka vaihtelee elintarvikkeesta riippuen. Luvut vaihtelevat 6,38:sta 5:46.een. Yleisin luku on 6,25 jota voidaan käyttää lihan, munien, maissin ja durran typpipitoisuuden laskemiseen.

Tämä tarkoittaa sitä, että 100 grammaa proteiinia lihaa sisältää 16 grammaa typpeä ($100/6,25 = 16$). Kjeldahlin menetelmällä ei ole kerrointa olemassa pikkulimaskalle saati limaskoille yleensäkkään, mutta tähän kohtaan voidaan antaa karkea arvio käytämällä yleisintä kerrointa 6,25.

Jos otetaan kymmenen kiloa tuoretta limaskaa, josta kuivauksen jälkeen on jäljellä noin kilo, ja oletetaan tämän proteiinipitoisuuden olevan noin 40 %, niin tarkoittaisi tämä että proteiinia on noin 400 gramman edestä. 400 grammaa proteiinia sisältäisi 6,25 kertoimella noin 64 grammaa typpeä.

Limaska on hyvin pieni kasvi, joten lannoituskäyttöön sitä tarvittaisiin suuret määrät. Tästä syystä sen käyttö suuren pinta-alan lannoitukseen ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa, mutta pienemmille aloille (esimerkiksi kukkapenkit, koriste- ja hedelmäpuut) se voisi olla harkittava vaihtoehto. Limaska hajoaa maaperään nopeasti kevyen ja pienen muotonsa vuoksi kuivattuna ja tuoreena, joka tarkoittaisi myös kompostoinnin olevan vartenotettava vaihtoehto.

Limaskaa voidaan hyödyntää myös energiantuotannossa sen nopean kasvunopeuden vuoksi. Limaska voi otollisissa olosuhteissa tuplata massansa 24 tunnissa, joka tarkoittaisi sitä että kyseessä olisi nopeasti kasvavaa uudistuvaa energiaa. Poltettuna kuivattu limaska vastaa energiatehokkuudeltaan heikkolaatuista hiiltä. (The Future of Clean, Economically Produced Energy n.d). Kuivatusta limaskasta voidaan tehdä myös pellettejä, tai siitä voidaan jalostaa biokaasua.

6 Pohdinta

6.1 Jatkotoimenpiteet

Pikkulimaska on kasvi, jossa on suuresti potentiaalia moneen asiaan. Kyseessä on kuitenkin organismi, joka kasvaa lähes missä tahansa vesistössä, jota voidaan käyttää ravintona, typpilannoitteena ja jopa bioenergian tuotannossa. Pikkulimaskan suurena etuna on se, että se kasvaa vedessä ja ei täten vie tilaa perinteiseltä maanviljelykseltä. Vesikasvina se saa lannoituksensa myös lähes automaattisesti ravinnepäästöjen muodossa, joka taas puolestaan tarkoittaa matalia kustannuksia viljelyn suhteen.

Seuraavana askeleena pikkulimaskan kannalta voisi olla pienimuotoinen kontrolloitu kenttätesti, jossa nähtäisiin miten tämä toimii käytännössä ja onko siitä oikeasti hyötyä muuten kuin teoriassa. Tähän voitaisiin hyödyntää esimerkiksi laskeutusaltaita tai kosteikoita, joihin istutettaisiin pikkulimaskaa. Näistä altaista mitattaisiin virtaamaa ja veden ravinnearvoja ennen kuin vesi menee altaaseen ja jälkeen kun vesi tulee altaasta. On huomioitava, että tämä on asia joka vaatisi kuitenkin huomattavasti aikaa, sillä mittaustuloksille tarvittaisiin jonkinlaiset vertailukohteet ilman pikkulimaskaa, jotka olisi hyvä saada samasta altaasta. Lisäksi kenttätesti olisi toteutettava ke-sän aikana. Laskeutusaltaat ovat helposti kontrolloitavissa ja siivottavissa mikäli tarve näin vaatii.

Tämän lisäksi tarvittaisiin ergonomisesti järkevä ja helppo keino kerätä limaskaa vedestä, kerääminen on kuitenkin olennainen osa ravinteiden uudelleenhyödyntämisen kannalta. Veneen avulla limaskaa voisi tietenkin kerätä jonkinlaisen tiheäreikäisen haavin kanssa, mikä voisi olla huomattavasti suurempi versio akvaariohaavista, vaikka tämä ei olisi kovinkaan käytännöllistä. Ämpäri on tietenkin eräs vaihtoehto, mutta se ei ole myöskään kovin ergonominen ratkaisu.

6.2 Tutkimuksen luotettavuus

Syytä sille, että miksi opinnäytetyössä saadut mittaustulokset eroavat aikaisemmista tutkimuksista näin paljon on vaikea sanoa. Aikaisemmat tulokset kertovat päivittäisen (24h) fosforikäytön olevan noin 100 mg/m^2 ja typpikäytön vaihtelevan 1000 mg/m^2 molemmiin puolin sekä laboratorio- että kenttätutkimuksissa. Tämä tarkoittaa yli sata kertaa isompaa ravinnekäyttöä tämän työn tuloksiin verrattuna. Käytetyillä menetelmillä oli suuria eroja, mutta sen ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa näin paljoa. Aikaisemmat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että tämän opinnäytetyön tulokset ovat ne mitkä pitäisi kyseenalaistaa.

Jos lähdetään miettimään asioita jotka voivat vaikuttaa tuloksiin, niin on todennäköistä, että eri menetelmät vaikuttavat tuloksiin. Esimerkiksi limaskan sijainti on vaikuttava tekijä. Tässä tutkimuksessa akvaario oli sijoitettu suuren ikkunan eteen, ja akvaarion oma valaistuskin antoi lisävaloa 14 tuntia päivässä. Tulokset voivat erota, mikäli limaska olisi sijoitettu vaikka varjoon tai kaappiin.

Akvaario sijoitettiin myös hyvin yleiselle paikalle, joka tarkoittaa sitä, että sabotaa-sin mahdollisuus on olemassa. Tulokset kertoivat kuitenkin, että näin ei todennäköisesti päässyt käymään.

Tuloksiin vaikuttava tekijä on myös mahdolliset mittausvirheet. Näitä ei kuitenkaan tapahtunut, joka ilmenee sillä, että ravinteita lähti jokaisella mittauskerralla kuitenkin jonkin verran. Lisäksi analysoinnin aikana tehtävät toimenpiteet ovat loppujen lopuksi kuitenkin melko yksinkertaisia ja välineet helppokäyttöisiä, että en usko virheitä tapahtuneen. Mahdollinen tuloksiin vaikuttava tekijä on myös se, että osuiko mittapipetin kohdalle vesinäytettä ottaessa jonkinlainen ”ravinnepommi”. En usko kuitenkaan näin käyneen, koska vesi sekoitettiin näytteen oton yhteydessä pohjaa ja jokais-ta nurkkaa myöden huolellisesti. Tämän lisäksi ravinnekato oli suhteellisen tasaista koko tutkimusosion ajan, joka kertoo onnistuneesta näytteenotosta. Tulokset eivät myöskään millään mittauskerralla eronneet toistaan niin paljoa, että näytteitä olisi pitänyt analysoida uusiksi, joka kertoo kyvettitestien onnistumisesta.

Todennäköisin asia joka erottaa tämän opinnäytetyön tulokset aikaisemmista tulok-sista on se, että ravinnekäytön ilmoittaminen neliömetreinä on hankalaa toteuttaa käytännössä. Tämä johtuu siitä, että limaskaa voi olla eri määrät neliömetriä kohden. Joissakin tutkimuksissa sitä voi olla hyvin tiheästi neliömetrissä, kun taas joissakin sitä voi olla hyvin harvassa. Tiheämpi ja paksumpi kerros käyttää ravinteita paremmin, mikä johtaa siihen että eri tutkimuksissa ilmoitetut tulokset eroavat toisistaan mer-kittävästi.

6.3 Oma pohdinta ja muutoksia

Opinnäytetyön tutkimusosio toteutui mielestäni hyvin. Ohjeistukset vesinäytteiden analysointiin olivat selkeät, pikkulimaskan ravinteiden käyttö oli tasaista ja laitteet toimivat ongelmitta loppuun saakka. Näin jälkikäteen sanoisin hyvänä asiana olevan sen, että veden ravinnearvoja ei lähdetty mittaamaan mittaliuskoilla, mikä oli yhtenä vaihtoehtona. Veden ravinnearvot eivät muuttuneet tutkimusosion aikana niin pal-joa, että liuskoilla olisi saatu tarkkoja tuloksia. Oli myös mukava päästä tekemään laboratoriossa analyysyjä, ja tämän lisäksi spektrofotometrin hyvin tarkasti ilmoitta-mat arvot ovat tuloksien kannalta paljon mielenkiintoisempia.

Jos opinnäytetyö aloitettaisiin uudestaan, niin muuttaisin tutkimusmenetelmää sen verran, että kasvatusalustoja olisi useampia mutta pienemmässä koossa. Näihin laitettaisiin eri ravinnepitoisuudet, jolloin saataisiin dataa myös siitä, että miten pikkulimaska reagoi eri pitoisuuksiin. Tämän lisäksi voisi olla hyödyllistä käyttää luonnosta saatavilla olevaa vettä ja terästää sitä jonkin verran lisäravinteilla. Myös kuolleiden limaskojen pois ottaminen on asia jota voisi harkita, sillä kuolleista limaskoista (sekä kaikesta orgaanisesta materiaalista) vapautuu jonkin verran ravinteita niiden hajotessa. Niiden poistaminen on kuitenkin hankala prosessi, sillä se vaikuttaisi veden ravinnepitoisuuksiin ja täten tuloksiin. Limaskaa olisi hyvä olla myös paksultti tutkimuksissa, jonka painoa olisi myös hyvä seurata. Paino voisi olla parempi mittakaava ravinnekäytön ilmoittamisen kannalta.

Lähteet

- A working list of all plant species. 2013. The Plant List. Verkkosivusto. Viitattu 27.11.2015. <http://theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Lemna>.
- Algae basics: open pond systems. N.d. Algae Biomass Organization. Verkkosivusto. Viitattu 6.5.2016. <http://allaboutalgae.com/open-pond/>.
- Algal open pond design. 2011. Wikipedia. Verkkosivusto. Viitattu 6.5.2016. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Algal_open_pond_design.jpg.
- Bioremediation. 2009. Environmental Inquiry. Cornell university, Penn State University. Verkkosivusto. Viitattu 5.12.2015. <http://ei.cornell.edu/biodeg/bioremed/>.
- Carolyn, E. N.d. Phosphorus fallacies – too much of a good thing. American Rose Society. Verkkosivusto. Viitattu 1.4.2016. <http://www.rose.org/phosphorus-fallacies-too-much-of-a-good-thing/>.
- Duckweed nutritional composition. 2011. Organic composition. Mobot. Verkkosivusto. Viitattu 18.4.2016. <http://www.mobot.org/jwcross/duckweed/nutritional-composition.htm>.
- Essential role of phosphorus in plants. 2013. The Mosaic Companyn verkkosivut. Viitattu 1.4.2016. <http://www.croptonutrition.com/efu-phosphorus#overview>.
- Farrell, J. 2012. Duckweed Uptake of Phosphorus and Five Pharmaceuticals: Microcosm and Wastewater Lagoon Studies. Diplomityö. Utahin osavaltion yliopisto. Viitattu 29.4.2016. <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2206&context=etd>.
- Feilberg, J. & Christensen, J. 1999. Kielo ja Kissankello - Suomen ja pohjolan kasveja. Porvoo: WSOY.
- How Does a Spectrofotometer Work?. 2016. B&W Tekin verkkosivut. Viitattu 3.5.2016. <http://bwtek.com/spectrometer-introduction/>.
- How it works. N.d. Akaya bioremediation and environmental restoration. Verkkosivusto. Viitattu 5.12.2015. <http://www.akayaenvironmental.com/how-it-works.html>.
- Iqbal, S. 1999. Duckweed Aquaculture. Swiss Federal Institute for Environmental Science & Technology, EAWAG. Raportti. Viitattu 10.3.2016. <https://www.coebbe.nl/sites/default/files/documenten/Duckweed-aquaculture.pdf>.
- Itulimaska (Lemna turionifera). 2014. Kasviatlas. Keskusmuseon kasvitieteen yksikön ylläpitämä Kastikka-kasvistotietokanta. Viitattu 23.3.2016. <http://koivu.luomus.fi/kasviatlas/maps.php?taxon=104027&year=2014>.
- Kjeldahl Method. 2016. Wikipedia. Verkkosivusto. Viitattu 18.4.2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Kjeldahl_method.
- Lampolahti, J. 1995. Suomen Luonto, KASVIT. 2. Helsinki: Weilin+Göös.

- Landolt, E. 1986. The family of Lemnaceae - A monographic study: Morphology, karyology, ecology, geographic distribution, systematic position, nomenclature, descriptions. Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae). 2. 566.
- Lemna turionifera. 1975. Flora of North America. Verkkosivusto. Viitattu 23.3.2016. http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=222000210.
- McCutcheon, S. & Schnoor, J. 2003. Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants. 898. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Measuring Duckweed growth. 2013. Weight, Fresh or Dry. Mobot. Verkkosivusto. Viitattu 18.4.2016. <http://www.mobot.org/jwcross/duckweed/duckweed-measuring-growth.htm>.
- Niinimäki, J. & Penttinen, K. 2014. Vesienhoidon ekologiaa.
- Nitrogen – N. N.d. Lenntech BV. Verkkosivusto. Viitattu 1.4.2016. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/n.htm>.
- Nitrogen (N) and water. N.d. Lenntech BV. Viitattu 1.4.2016. <http://www.lenntech.com/periodic/water/nitrogen/nitrogen-and-water.htm>.
- Nitrogen in plants. 2013. The Mosaic Companyn verkkosivut. Viitattu 1.4.2016. <http://www.cropnutrition.com/efu-nitrogen#overview>.
- Phosphorus – P. N.d. Lenntech BV. Verkkosivusto. Viitattu 1.4.2016. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/p.htm>.
- Piirainen, M., Piirainen, P., Hämäläinen-Forslund, P. & Vainio, H. 1997. Ympäristön luonnonkasvit. Porvoo: WSOY.
- Rehevöitymisen vaikutukset eliöstöön. N.d. Biologian ja maantieteen opettajien liitto. Peda.net. Verkkosivusto. Viitattu 20.4.2016. https://peda.net/yhdistykset/bmoly/koulutus/evy/yhteinen_ymparisto/rehev%C3%B6ityminen.
- The Future of Clean, Economically Produced Energy. N.d. Energy Products Group. Verkkosivusto. Viitattu 18.4.2016. <http://energypg.com/duckweed.php>.
- Vedenlaatuluokituksen raja-arvot ja lähteet. N.d. Ympäristö.fi. Verkkosivusto. Viitattu 3.3.2016. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8A7CACB5-3A30-4443-8470-E612AEBCF5FA%7D/91995>.
- Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. 2014. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä VAHTI. Tilasto. Viitattu 30.11.2015. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma.

Liitteet

Liite 1. Kokonaistypen tulokset

Taulukko 3. Kokonaistypen mittaustulokset

päivämäärä	tulos 1 (mg/l)	tulos 2 (mg/l)	keskiarvo	huomioitavaa	Limaskan määrä
4.3.2016	1,47	1,42	1,45	1/3 laimennus	0,05 m ²
8.3.2016	1,41	1,31	1,36	1/3 laimennus	0,06 m ²
11.3.2016	1,28	1,24	1,26	1/3 laimennus	0,07 m ²
15.3.2016	1,17	1,12	1,15	1/3 laimennus	0,08 m ²
18.3.2016	1,09	1,03	1,06	1/3 laimennus	0,06 m ²
22.3.2016	1,46	1,41	1,44	1/2 laimennus	0,07 m ²
25.3.2016	2,55	2,49	2,52	ei laimennusta	0,08 m ²
29.3.2016	2,17	1,98	2,08	ei laimennusta	0,10 m ²

Taulukko 4. Kokonaistypen kerrotut tulokset

Päivämäärä	tulos 1 (mg/l)	tulos 2 (mg/l)	keskiarvo	Muutos edelliseen	Typen käyttö neliömetriltä (koko- naismäärä mittausker- tojen välillä)
4.3.2016	4,41	4,26	4,34	-	-
8.3.2016	4,23	3,93	4,08	-0,26	4,25 mg/l
11.3.2016	3,84	3,72	3,78	-0,30	4,29 mg/l
15.3.2016	3,51	3,36	3,44	-0,35	4,31 mg/l
18.3.2016	3,27	3,09	3,18	-0,26	4,25 mg/l
22.3.2016	2,92	2,82	2,87	-0,31	4,43 mg/l
25.3.2016	2,55	2,49	2,52	-0,35	4,38 mg/l
29.3.2016	2,17	1,98	2,08	-0,45	4,45 mg/l

Liite 2. Kokonaisfosforin tulokset

Taulukko 5. Kokonaisfosforin mittaustulokset

päivämäärä	tulos 1 (mg/l)	tulos 2 (mg/l)	keskiarvo	huomioitavaa	Limaskan määrä
4.3.2016	0,611	0,598	0,605	1/3 laimennus	0,05 m ²
8.3.2016	0,599	0,594	0,597	1/3 laimennus	0,06 m ²
11.3.2016	0,593	0,582	0,588	1/3 laimennus	0,07 m ²
15.3.2016	0,582	0,571	0,577	1/3 laimennus	0,08 m ²
18.3.2016	0,573	0,563	0,568	1/3 laimennus	0,06 m ²
22.3.2016	0,562	0,555	0,559	1/3 laimennus	0,07 m ²
25.3.2016	0,549	0,545	0,547	1/3 laimennus	0,08 m ²
29.3.2016	0,538	0,526	0,532	1/3 laimennus	0,10 m ²

Taulukko 6. Kokonaisfosforin kerrotut tulokset

Päivämäärä	tulos 1 (mg/l)	tulos 2 (mg/l)	keskiarvo	Muutos edelliseen	Fosforin käyttö neliömetriltä (ko- konais määrä mit- tauskertojen välil- lä)
4.3.2016	1,833	1,794	1,814	-	-
8.3.2016	1,797	1,782	1,790	-0,024	0,400 mg/l
11.3.2016	1,779	1,746	1,763	-0,027	0,385 mg/l
15.3.2016	1,746	1,713	1,730	-0,033	0,412 mg/l
18.3.2016	1,719	1,689	1,704	-0,026	0,425 mg/l
22.3.2016	1,686	1,665	1,676	-0,028	0,407 mg/l
25.3.2016	1,629	1,635	1,641	-0,034	0,431 mg/l
29.3.2016	1,613	1,579	1,596	-0,045	0,451 mg/l

Liite 3. Kokonaistypen mittaaminen spektrofotometrillä (Hach Lange)

Ohje on suomennettu HyXo Oy saadulta englanninkielisestä ohjeesta.

Hach Lange

LCK 138 1-16 mg/l

Kyvettien säilytys 15 – 25 °C

Näytteen pH 3 – 12

Erikoishuomiot:

- Sulje kaikki reagenssiastiat (A, B, C) välittömästi
- Reaktioputkea voi käyttää vain 13 kertaa. Pese putki aina käytön jälkeen huolellisesti harjalla ja vedellä, huuhtelee hyvin typpivapaalla tislatusvedellä ja kuivaa.
- Pieni sameus ei häiritse määrittystä. Mikäli lisäyksen C jälkeen sameus on merkittävä, näytteen tulee antaa asettua tai suodattaa kalvosuodatussetillä LCW904.

Työvaiheet:

- 1) Lisää nopeasti kuivareaktioputkeen:
 - 1,3 ml näytettä
 - 1,3 ml liuosta A
 - 1 kpl tabletteja B
 - Sulje reaktioputki välittömästi, älä käännä.
- 2) Laita näyte välittömästi lämpöhauteeseen: 60 minuuttia ja 100 °C.
- 3) Jäähdytä huoneenlämpöön (18–20 °C) ja lisää 1 MicroCap C.
- 4) Sulje reaktioputki ja kääntele sitä, kunnes MicroCap C:n pakastekuivattu sisältö on sekoittunut näytteeseen ja kaikki ”juovat” ovat hävinneet.
- 5) Pipetoi näyteliuosta rauhallisesti 0,5 ml kyvettitestiin.
- 6) Pipetoi rauhallisesti 0,2 ml liuosta D. Sulje kyvetti välittömästi ja käännä muutamana kerran, kunnes kaikki ”juovat” ovat hävinneet.
- 7) Odota 15 minuuttia, puhdista kyvetti huolellisesti ulkopuolelta ja mittaa tulos.

Liite 4. Kokonaisfosforin mittaaminen spektrofotometrillä (Hach Lange)

Ohje on suomennettu HyXo Oy saadulta englanninkielisestä ohjeesta.

Hach Lange

LCK 349 0,05 – 1,50 mg/l PO₄-p & 0,15 – 4,5 mg/l PO₄

Kokonaisfosfori ja fosfaatti tehdään samanlaisilla kyveteillä, mutta samalla kyvetillä ei voi tehdä molempia määrittäyksiä.

Kyvettien säilytys 15 – 25 °C

Näytteen ja reagenssien lämpötila 15 – 25 °C

Näytteen pH 2 – 10

Työvaiheet:

- 1) Poista varovasti folio kyvetin korkin päältä
- 2) Avaa kyvetti poistamalla korkki
- 3) Pipetoi tarkasti näytettä 2,0 ml kyvettiin
- 4) Kierrä korkki kyvettiin takaisin ylösalaisin; siten, että korkin aaltomainen osa on ylhäällä
- 5) Sekoita varovasti 2 – 3 kertaa, siten että korkissa oleva jauhe liukenee
- 6) Laita kyvetti kuivahauteeseen, lämpötila 100 °C, aika 60 minuuttia
- 7) Anna kyvetin jäähtyä noin 20 min, kunnes näytteen lämpötila 18 – 20 °C
- 8) Pipetoi tarkasti kyvettipakkauksen mukana tullutta reagenssia B 0,2 ml. Sulje reagenssiastia B välittömästi käytön jälkeen.
- 9) Sulje kyvetti harmaalla kierrekorkilla (DosiCap C).
- 10) Käännä muutaman kerran. 10 minuutin jälkeen käännä muutaman kerran lisää, puhdista kyvetti ulkopuolelta ja mittaa tulos.

Liite 5. Pikkulimaskan kasvukehitys tutkimuksen aikana



Suuri osa limaskoista menehtyi 1.3. laitetun suuren ravinnemäärän seurauksena



Limaska rupesi kuitenkin elpymään hiljalleen



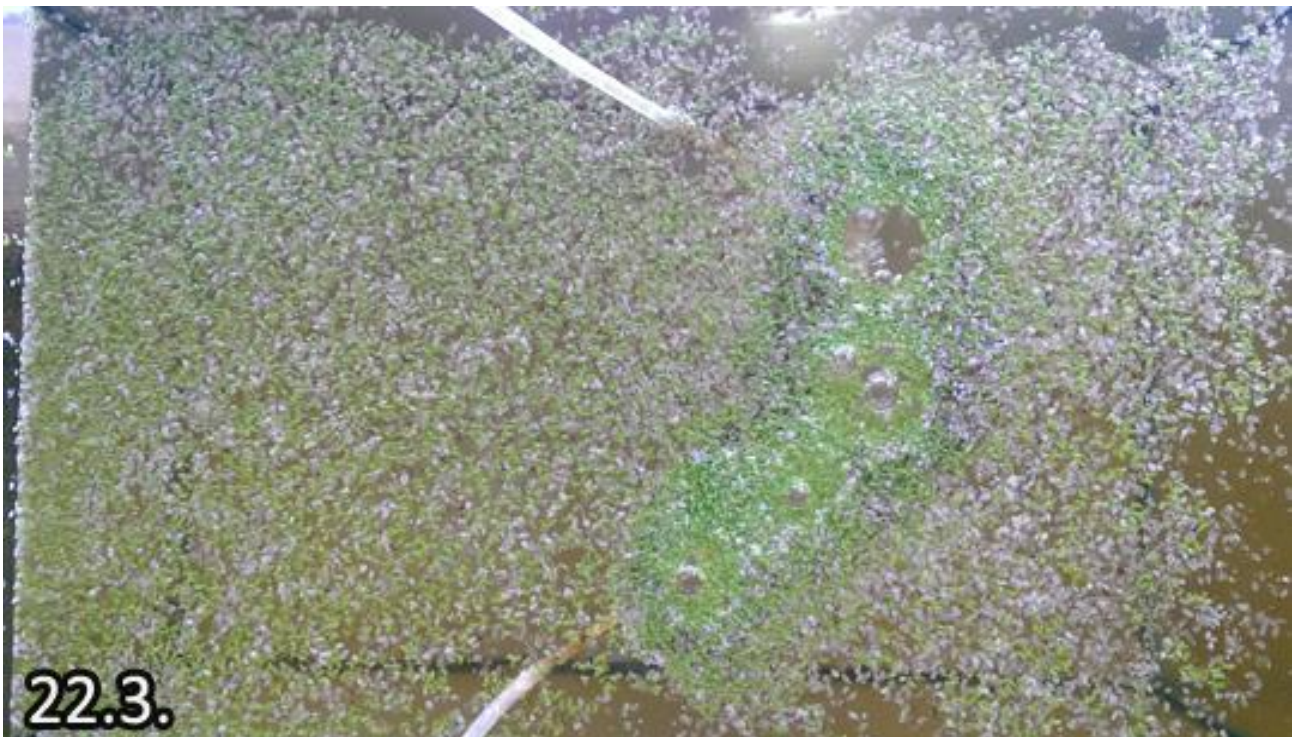
Akvaarion pohjalla oli kuppi hapettimen letkun painona



Akvaarion sisäpinnat eivät olleet vielä ruskeita tässä vaiheessa



18.3. Limaskasta menehtyi suuri osa, hapettimen kohdalle oli kertynyt paksu kerros limaskaa



22.3. Tällä kertaa hapettimen kohdalla oli erittäin paksu kerros limaskaa, limaska kuitenkin lisääntyy



Limaskamäärä jatkaa nousuaan



Viimeinen päivä, limaskaa oli paksusti hapettimen kohdalla ja muuallakin hyvin