

Kerrosviljelmän biosuodatinjärjestelmän toimivuus



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Lepaa, puutarhatalous

kevät, 2021

Janne Lankinen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkittiin helsinkiläisen kerrosviljely-yrityksen, Salladsfabrikenin, käyttämän biologisen hidassuodattimen toimintaa. Kerrosviljelmältä kerättiin kasteluvesinäytteitä ennen suodatusta ja sen jälkeen. Näytteitä otettiin kerran viikossa, neljän viikon ajan. Näytteistä analysoitiin kiintoainemäärät, nitraattityppi, ammonium, ortofosfaatti, kokonaisfosfori sekä bakteerien kokonaismäärät.

Kiintoainemäärät määritettiin suodattamalla vesinäytteistä kiintoaine ja punnitsemalla suodattimet. Ravinnepitoisuudet mitattiin kyvettitestien (Hach Lange) avulla ja bakteerien määrä selvitettiin laskemalla maljaviljelykokeessa kasvaneiden bakteeripesäkkeiden määrät.

Selkeimmin suodattimen vaikutus oli havaittavissa ammoniumin määrässä. Ammonium poistui lähes kokonaan suodatusprosessin aikana. Ammoniumin poistokapasiteettia saattaa selittää suodattimessa tapahtuva nitrifikaatio. Ammoniumin poistoa saattaa selittää myös hidassuodattimen pH- ja lämpötilaolosuhteet, joiden seurauksena ammonium on saattanut muuttua ammoniakiksi. Suodatin poisti myös suurimman osan veden bakteereista ja huomattavan määrän kiintoaineesta. Bakteerien sekä kiintoaineen poistokapasiteetti oli kohteen tarpeet huomioiden riittävällä tasolla.

Avainsanat hidassuodatus, kerrosviljely, ammonium, kiintoaine, bakteerit

Sivut 19 sivua

Lepaa

Author Janne Lankinen

Year 2021

Subject Investigation of the functionality of a vertical farm`s biofilter system

Supervisor Marika Tossavainen

ABSTRACT

The thesis investigated the functionality of a biological slow filter used by a Helsinki-based vertical farming company, Salladsfabriken. Irrigation water samples were collected from the vertical farm before and after filtration. Samples were taken once a week for four weeks. The samples were analyzed for solids, nitrate nitrogen, ammonium, orthophosphate, total phosphorus, and total bacterial counts.

Solids were determined by filtering solids from water samples and weighing the filters. Nutrient concentrations were measured using cuvette tests (Hach Lange) and the number of bacteria was determined by counting the number of bacterial colonies grown in a plate culture experiment.

The effect of the filter was most clearly observed in the amount of ammonium. Ammonium was almost completely removed during the filtration process. The ammonium removal capacity may be explained by nitrification in the filter. The ammonium removal may also be explained by pH and temperature conditions of the slow filter, which may have resulted in the conversion of ammonium to ammonia. The filter also removed most of the bacteria in the water and a considerable amount of solids. The removal capacity of bacteria and solids was at a sufficient level for the needs of the company.

Keywords slow filtration, vertical farming, ammonium, solids, bacteria

Pages 19 pages

Sisällys

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tausta ja tavoite.....	1
2	BIOLOGINEN HIDASSUODATUS	2
2.1	Hidassuodatuksen alkuperä.....	2
2.2	Hidassuodattimen rakenne.....	3
2.3	Hidassuodattimen toimintaperiaatteet	3
2.3.1	”Schmutzdecke” – bakteeribiofilmi	5
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	5
3.1	Salladsfabrikenin kasvatus- ja suodatinjärjestelmä.....	5
3.2	Näytteenotto.....	6
3.3	Kiintoaineen määrittäminen	7
3.4	Ravinneanalyysit	7
3.4.1	Nitraattityppi.....	7
3.4.2	Ammonium.....	8
3.4.3	Ortofosfaatti.....	8
3.4.4	Kokonaisfosfori.....	8
3.5	Mikrobien kokonaismäärät	9
3.6	Kemiallinen hapenkulutus.....	10
4	TULOKSET	10
4.1	Vesinäytteiden kiintoainemäärät.....	10
4.2	Ravinnepitoisuudet	13
4.2.1	Nitraattityppi.....	13
4.2.2	Ammonium.....	13
4.2.3	Ortofosfaatti.....	14
4.2.4	Kokonaisfosfori.....	15
4.3	Mikrobien kokonaismäärät	16
5	TULOSTEN TARKASTELU, JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	17
	Lähteet.....	19

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Mallikuva yksinkertaisesta hidassuodattimesta. Mukautettu (Haig, ym., 2011, s.3)	3
Kuva 2. Salladsfabrikenin kerrosviljelmän kasvatuskourut	6
Kuva 3. Vesinäytteiden kiintoainemäärät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien kiintoainemäärien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.	11
Kuva 4. Otanta kiintoainemäärityksen suodatuskalvoista ennen suodatusta ja sen jälkeen	12
Kuva 5. Vesinäytteiden nitraattitypen määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien nitraattitypen määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.	13
Kuva 6. Vesinäytteiden ammoniumin määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien ammoniumin määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.	14
Kuva 7. Vesinäytteiden ortofosfaatin määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien ortofosfaatin määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.	15
Kuva 8. Vesinäytteiden kokonaisfosforin määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien kokonaisfosforin määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.	16
Kuva 9. Vesinäytteiden mikrobien kokonaismäärät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien mikrobien kokonaismäärien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.	17

1 JOHDANTO

Suurin osa kasvihuonekasveista kasvatetaan kasvualustoissa, eikä maapohjassa, kuten peltoviljelyssä. Erilaisia kasvualustoja suositaan taloudellisista syistä ja parempien kasvutekijöiden säättömahdollisuuksien takia. Näissä järjestelmissä kasveja kastellaan joissain tapauksissa jopa 40 % yli kasvin todellisen vedentarpeen, jotta kasvien yksilöllinen veden sekä ravinteiden tarpeen vaihtelu saadaan varmistettua. Perinteisesti tällaiset järjestelmät on toteutettu avoimina kastelujärjestelminä, joissa kastelusta ylijääneen veden annetaan valua hukkavetenä pois kasvihuoneesta. Viranomaiset sekä viljelijät ovat kuitenkin havahtuneet siihen tosiasiaan, että ympäristöllisistä ja ravinteiden sekä veden säästösyistä ylijäänyttä kasteluvettä ei pitäisi päästää hukkaan, vaan kerätä talteen uudelleenkäyttöä varten. (Ehret ym., 2001, s.324)

Kasteluvettä kierrättävät eli suljetut kastelujärjestelmät ovat kuitenkin avoimia kastelujärjestelmiä alttiimpia kasvitautien, varsinkin juuristotautien leviämislle. Monet taudit kykenevät leviämään kiertävän kasteluveden mukana ja suljettujen kastelujärjestelmien käyttöönotto on ollut hidasta tämän takia. Varsinkin viime vuosikymmeninä monia tekniikoita on tutkittu kasvitautien leviämiskin vähentämiseksi. Nämä tekniikat voidaan karkeasti luokitella viiteen kategoriaan, joita ovat lämpö-, kemiallinen-, säteilytys- ja suodatustekniikat sekä mikrobien inokulaatiotekniikka, jossa symbioottisia tai muutoin hyödyllisiä mikrobeja istutetaan kasvu-ympäristöön kasvien hyvinvoinnin edistämiseksi. Näistä lämpö-, kemiallinen- ja säteilytystekniikka ovat vettä sterilioivia tekniikoita. Suodatus ja mikrobien inokulaatiotekniikka eivät puolestaan steriloi vettä ja ovat teoriassa luontaista mikroflooraa vähemmän häiritseviä, mutta molemmilla on omat rajoitteensa veden puhdistuksessa. (Ehret, ym., 2001, s.324)

1.1 Tausta ja tavoite

Tämän opinnäytetyön aiheena on helsinkiläisen salaatteja ja yrttejä tuottavan kerrosviljely-yrityksen, Salladsfabrikenin rakentaman ja käyttämän biologisen hidassuodattimen vedenpuhdistuskapasiteetin tutkiminen. Suodatin toteutettiin GRODAN® Biofilter ohjeen mukaan. Työn tavoitteena oli tutkia asennetun biosuodattimen vedenpuhdistusominaisuuksia ja todeta suodattimen toimivuus. Tämä pyrittiin selvittämään tutkimalla hidassuodattimen

kiintoainepoistokapasiteettiä, vaikutusta ravinteiden poistoon sekä tarkastelemalla veden mikrobien kokonaismääriä ennen suodattimeen menoa ja suodatuksen jälkeen.

Salladsfabrikenin tavoitteena on tuottaa lähiruokaa kaupunkiooloissa mahdollisimman pienillä ympäristövaikutuksilla ja ilman torjunta-aineita. Tämän tavoitteen saavuttamiseen on valittu tuotantotavaksi vettä kierrättävä, suljettu ja energiatehokas kerrosviljelmä. Ravinnepäästöt ympäristöön saadaan minimoitua vedenkierrätyksellä (Kangas ym., 2016, s.9) ja LED-valoja käyttämällä saavutetaan noin 30–50 % parempi energiasäästö, perinteisiin suurpainenaatriumvalaisimiin verrattuna (Kaukoranta ym., 2016, s.37). Tällaista suljettua järjestelmää käytettäessä vedensuodatuksen ja kasvien yleisen hyvinvoinnin merkitys kuitenkin kasvaa. Veden kierrätys lisää kasvitautien riskiä ja kun torjunta-aineita ei käytetä, on kasvitaudeista vaikea päästä eroon, jos niitä ilmaantuu. (Ehret, ym., 2001, s.324)

2 BIOLOGINEN HIDASSUODATUS

2.1 Hidassuodatuksen alkuperä

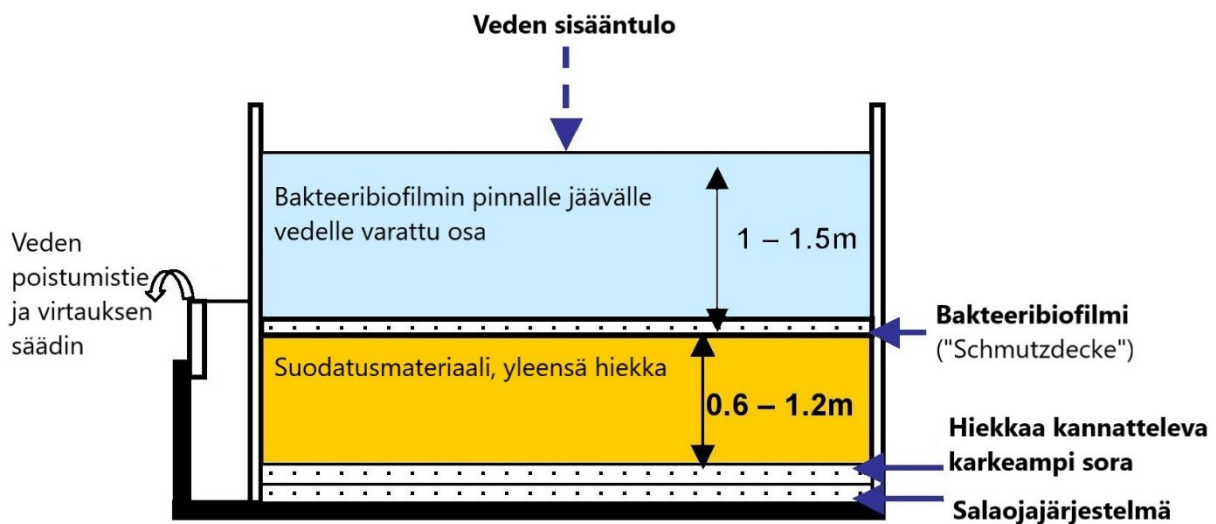
Ensimmäisen hidassuodattimen oletetaan olleen skotlantilaisen John Gibbin suunnittelema ja toteuttama kokeellinen hidassuodatin, jonka hän teki kankaiden valkaisimoonsa vuonna 1804. Vuonna 1829 ensimmäinen hidassuodatin otettiin käyttöön julkisessa vedenpuhdistuksessa. Vuonna 1852 hidassuodatuksesta oli tullut niin suosittua ja sen hyödyistä selkeästi havaittuja, että Englannissa säädettiin laki, joka vaati Lontoon keskustasta otetun veden puhdistamisen hidassuodattamalla. (Huisman & Wood, 1974, s.15)

Suomessa hidassuodatusta on käytetty 1800-luvun loppupuolelta alkaen ja hidassuodatukselta saadut havainnot olivat erittäin myönteisiä niin kauan, kun hidassuodatuslaitoksen kapasiteetti pystyi vastaamaan vedenkulutukseen. Hidassuodatuksen suosio on kuitenkin kokenut sittemmin melko rankan taantuman, mutta on taas hiljalleen päässyt uутteen nousuun. Hidassuodatuksen suosion kasvua on kuitenkin rajoittanut tiedon ja taidon puute sekä mielikuva hidassuodatuksen vanhanaikaisuudesta. Hidassuodatuksen käyttöönottoa vaikeuttaa myös menetelmän toteutuksen vaikeus ja suhteellinen kalleus suurena laitosratkaisuna sekä avoimien ja maavaraisten hidassuodattamojen hoitovaikeudet talvikaudella. (Latvala & Rytönen, 1979, s.5 s.23)

2.2 Hidassuodattimen rakenne

Hidassuodattimen voi toteuttaa erittäin monella tavalla, mutta kaikissa hidassuodattimissa on tietyt välttämättömät toimintaan liittyvät osat. Nämä ovat suodattimen laatikko tai muu rajaava alue kuten pato, veden sisääntulojärjestelmä, suodatusmateriaali, jonka päälle muodostuu "Schmutzdecke" eli bakteereista ja orgaanisesta aineesta muodostuva biofilmi sekä puhdistetun veden suodattimesta poistava salaojajärjestelmä ja veden liikkumisnopeutta tarkkaileva ja säätelevä puhdistetun veden poistumistie (Kuva 1). (Ehret, ym., 2001, s.329)

Kuva 1. Mallikuva yksinkertaisesta hidassuodattimesta. Mukautettu (Haig, ym., 2011, s.3)



Usein hidassuodattimet ovat painovoimatoimisia avonaisia suodattimia, jotka on rakennettu suuriin metalli- tai muovisäiliöihin. Joissakin tapauksissa säiliöiden sijasta käytetään altaita tai lampia, joilla voidaan helposti saavuttaa suurempi suodatinkoko ja vedenkäsittelykapasiteetti. (Ehret, ym., 2001, s.329; Logsdon, 2008, s.212)

2.3 Hidassuodattimen toimintaperiaatteet

Hidassuodatusprosessissa tapahtuu mekaanista ja biologista puhdistusta. Suuremmat partikkelit tarttuvat mekaanisesti ja fysikaalis-kemiallisesti hidassuodattimen pinnalla olevaan "Schmutzdecke" bakteribiofilmiin sekä tämän alla olevaan hiekkaan tai muuhun suodatusmateriaaliin. Tätä merkittävämpi rooli on kuitenkin biologisella puhdistuksella, jossa

suodattimeen kertyvät pieneliöt käyttävät ravinnokseen ja hajottavat suodattimeen tulevaa materiaalia. (Latvala & Rytönen, 1979, s.23–25)

Biologisesti tapahtuva mikro-organismien poistaminen on hidassuodatuksen suurin vahvuus sekä merkittävin tekijä, joka erottaa hidassuodatuksen tavanomaisesta hiekkasuodattimesta.

Hidassuodattimen tarkemman mikrobien ekologian tuntemus ei ole suodattimen käytön kannalta tarpeellista, eikä usein myöskään mahdollista, koska jokaisen hidassuodattimen mikrobikanta on uniikki ja muodostuu luonnollisesti raakaveden ja muiden ominaisuuksien mukaan. Käsitys siitä, että suodattimen materiaali toimii organismien elinympäristönä, on kuitenkin oleellista.

Suodattimen bakteerit, alkueläimet ja madot tarvitsevat tasaisesti ravintoa ja happea toimiakseen tehokkaasti vedenpuhdistajina. Pitkät katkokset näiden saannissa ja suodattimen kuivuminen voivat johtaa organismien kuolemaan ja siten hidassuodatuksen tärkeimmän elementin sekä puhdistustehon katoamiseen. Äkilliset muutokset vedenlaadussa tai veden ominaisuuksissa saattavat myös heikentää suodattimen toimintaa. (Logsdon, 2008, s.213–215)

Biologisen hidassuodattimen mikro-organismien poistokapasiteetti on hyvin monen mekanismin yhteissumma eikä kaikkia siihen vaikuttavia tekijöitä tai tekijöiden merkittävyyttä tiedetä.

Biologisessa hidassuodattimessa on todettu tapahtuvan muun muassa kilpailua elintilasta ja ravinnonlähteistä sekä suodattimessa olevien organismien välistä saalistamista. Suodattimessa tapahtuu myös mikro-organismien tekemää toksiinien, antibioottien ja entsyymien tuotantoa, jotka ovat kaikki osana suodattimen mikro-organismien poistokapasiteettia. (Ehret, ym., 2001, s.330–333, Prem & Ranjan, 2018, s.637–639)

Hyvin toimiva hidassuodatin poistaa veden bakteereista jopa 100 % (Calmin ym., 2007, s. 13–14).

Heikosti optioitu tai liian nopealla virtauksella käytössä olevan hidassuodattimen puhdistuskapasiteetti on tätä merkittävästi huonompi. Hidassuodatuksella on kuitenkin oikein käytettynäkin omat heikkoutensa ja rajoitteensa. Merkittäviä näistä ovat rajoitettu virusten ja sukkulamatojen poistokyky, tukosongelmat riittämättömän esisuodatuksen seurauksena sekä suuret tilavaatimukset suurikapasiteettisen suodattimen tekemiseksi ja tarve pitää suodatin sisätiloissa talvikaudella käytettäessä. (Ehret, ym., 2001, s.330–333)

2.3.1 ”Schmutzdecke” – bakteeribiofilmi

”Schmutzdecke” on hyvin monimutkainen hidassuodattimen pinnalle muodostuva biologinen kerros, joka on merkittävässä roolissa biologisessa hidassuodatuksessa. Termi ”Schmutzdecke” tulee saksan kielestä ja on yleisesti käytetty kuvaamaan hidassuodattimen pinnalle muodostuvaa bakteeribiofilmiä. ”Schmutzdecke” muodostuu suodattimen pinnalle yleensä suodattimen muutaman ensimmäisen käyttöviikon aikana, on punertavan ruskea ja koostuu pääasiassa hajoavasta orgaanisesta aineesta, raudasta, mangaanista, piioksidista sekä hyvin monipuolisesta pieneliöstöstä. Tämä lietekerros toimii jo itsessään hienosuodattimena ja biologisen hidassuodattimen ensimmäisenä sekä aktiivisimpana biologisena kerroksena ja tärkeänä epäpuhtauksien poistajana sekä hajottajana. (Prem & Ranjan, 2018, s.637–639)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Salladsfabrikenin kasvatus- ja suodatinjärjestelmä

Salladsfabrikenin perusideana on tuottaa lähiruokaa Helsingin markkinoille mahdollisimman ympäristöystävällisellä tavalla. Salladsfabrikenin kerrosviljelmä (kuva 2) on kuusikerroksinen suljettu järjestelmä, jossa kasveja kasvatetaan altakastelukouruissa LED-valojen alla.

Opinnäytetyötä tehdessä viljelykourujen pinta-ala oli kokonaisuudessaan 202,5 m² eli 33,75 m²/kerros ja tämän lisäksi viljelmällä oli erillinen kasvien idätys- ja esikasvatusalue. Viljelmän tuotantotila on kokonaisuudessaan 150 m² ja tästä osa oli opinnäytetyötä tehdessä vielä hyödyntämättä ja tavoitteena oli vielä laajentaa viljelykourujen kokonaispinta-alaa. Viljelmällä on käytössä hiilidioksidilannoitus ja viljelmäkohtainen ravinnekaava. Viljelmä tuotti opinnäytetyön aloituksen aikaan noin 5000 ruukkua salaatteja ja yrttejä kuukaudessa.

Viljelmälle tuleva vesi otetaan kunnan vesijohtoverkosta, joten vesi on erittäin puhdasta. Kasteluvesi kulkee ravinnesekoittajan kautta kerrosviljelmän kouruille. Kourujen läpi valuttuaan vesi menee pieneen valuma-altaaseen, josta vesi pumpataan verkko- ja lamellisuodattimien läpi itse hidassuodattimeen. Hidassuodattimen jälkeen vesi menee reservitankkiin, josta se myöhemmin menee uudelleen ravinnesekoittajan kautta kasvatuskouruille. Salladsfabrikeniin rakennettu hidassuodatin on GRODAN® yhtiön suunnittelema ja GRODAN® Biofilter-tuoteohjeen

mukaisesti valmistettu. Suodatin rakennettiin avokantiseen muoviseen yhden kuution IBC-tankkiin ja tankin suodatin aineena käytettiin 200 litraa GRODAN® Biofilter puristettuja mineraalivillaraketeita. Hidassuodatin otettiin käyttöön 5.2.2020. Suodatin oli ennen ensimmäisen näytteen ottamista ollut käytössä viisi viikkoa, jonka oletettiin olevan riittävä aika hidassuodattimen biologisen aktiivisuuden käynnistymiseksi.

Tarkempaa tietoa GRODAN® Biofilter konseptista on saatavissa GRODAN® tuotteiden jälleenmyyjiltä. Myös muita kivivillaraepohjaisia hidassuodatinjärjestelmiä on käytössä esimerkiksi Jordbruksverket (4/2007) artikkelissa esitellään Poppelgårdens Driverier-yrityksen itsesuunniteltu ja toteutettu kivillahidassuodatin. (Hansson & Johansson, 2007 s.4–5)

Kuva 2. Salladsfabrikenin kerrosviljelmän kasvatuskourut



3.2 Näytteenotto

Vesinäytteitä kerättiin 12.3., 19.3., 26.3., ja 2.4. Kasteluvesinäytteitä kerättiin ennen ja jälkeen suodatuksen. Ennen suodatusta kerätty näyte otettiin kastelun yhteydessä, juuri ennen biologiseen hidassuodattimeen menoa. Suodatuksen jälkeinen näyte otettiin heti suodattimen jälkeen ennen vesireservitankkiin menoa. Nämä 1 l:n näytepullot pakastettiin ja näytteistä

analysoitiin ravinnemäärät sekä kiintoainemäärät. Tämän lisäksi ennen suodatusta ja sen jälkeen kerättiin myös näytteet mikrobien kokonaismäärän analyysijä varten. Näytteiden koko oli 27 ml ja niihin sekoitettiin 3 ml glyserolia ennen pakastusta, jotta mikrobit selviävät pakastuksesta. Kaiken kaikkiaan vesinäytteitä kerättiin kerran viikossa, neljän viikon ajalta, yhteensä 16 kappaletta.

3.3 Kiintoaineen määrittäminen

Kiintoainemäärät analysoitiin suodattamalla näytevetettä lasikuitusuodattimien (Whatman GF/C, halkaisija 55 mm, huokoskoko 1,2 µm) läpi. Ennen suodatuksen aloittamista lasikuitusuodattimet kuivattiin kuivausuunissa 105 °C:ssa yön yli, jotta voitiin varmistaa, että suodattimissa oleva kosteus ei vääristäisi tuloksia. Kuivauksen jälkeen lasikuitusuodattimet punnittiin tarkkuusvaa'alla ja punnituksen jälkeen suodattimien läpi suodatettiin 200 ml vesinäytettä imusuodattamalla imupullon ja Büchner-supplon avulla. Jokaisesta kerätystä näytteestä tehtiin kolme rinnakkaista suodatusta. Suodatuksen jälkeen lasikuitusuodattimet kuivattiin uudelleen uunissa 105 °C:ssa yön yli ja seuraavana päivänä lasikuitusuodattimet punnittiin tarkkuusvaakaa käyttäen.

3.4 Ravinneanalyysit

Nitraattityypen, ammoniumin, ortofosfaatin ja kokonaisfosforin määrät mitattiin Hachin kyvettitestien ja Hachin spektrofotometrin (DR 2800) avulla. Analyysit suoritettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti.

3.4.1 Nitraattityppi

Nitraattityppeä analysoidessa oli käytössä Hachin LCK 339 (Standardit: ISO 7890-1-2-1986, DIN 38405 D9-2) kyvettitesti, jonka mittausalue on 0,23–13,50 mg/l. Ennen testin tekemistä laimennettiin vesinäytettä suhteessa 1:20 ionivaihdettuun veteen, jotta testin mittausalue olisi sopiva. Testin tekeminen tapahtui lisäämällä koeputkeen 1 ml laimennettua vesinäytettä. Tämän jälkeen koeputkeen lisättiin testin A liuosta 0,2 ml. Koeputki suljettiin ja koeputkea sekoitettiin. Seuraavaksi annettiin koeputken levätä 15 minuuttia, jonka jälkeen koeputki puhdistettiin linssipaperilla ja sijoitettiin spektrofotometriin, joka ilmoitti nitraattityypen pitoisuuden.

3.4.2 Ammonium

Ammonium mitattiin Hachin LCK 304 (Standardit: ISO 7150-1, DIN 38406 E5-1, UNI 11669:2017) kyvettitestillä, jonka mittausalue on 0,015–2,000 mg/l. Testi tehtiin lisäämällä 5 ml laimentamatonta vesinäytettä koeputkeen, jonka jälkeen koeputken korkki (DosiCap) suljettiin ja koeputkea ravistettiin, jotta korkissa oleva reagenssi irtoaa korkista ja sekoittuu näytteeseen. Tämän jälkeen näytteen annettiin levätä 15 minuuttia, koeputki puhdistettiin linssipaperilla ja sijoitettiin spektrofotometriin, joka ilmoitti ammonium pitoisuuden.

3.4.3 Ortofosfaatti

Ortofosfaatti mitattiin Hachin LCK 349 (Standardit: ISO 6878_2004, DIN EN 6878 / D11) kyvettitestillä, jonka mittausalue on 0,05–1,50 mg/l. Ennen testin tekemistä laimennettiin vesinäytettä suhteessa 1:20 ionivaihdettuun veteen, jotta testin mittausalue olisi sopiva. Testi tehtiin lisäämällä 2 ml laimennettua vesinäytettä koeputkeen, johon lisättiin 0,2 ml testin B liuosta. Seuraavaksi koeputki suljettiin ja putkea sekoitettiin, jotta korkin reagenssi liukeni näytteeseen. Näytteen annettiin tämän jälkeen levätä 10 minuuttia, jonka jälkeen näytettä vielä sekoitettiin, koeputki puhdistettiin linssipaperilla ja näyte asetettiin spektrofotometriin, joka kertoi ortofosfaatin määrän.

3.4.4 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosfori mitattiin Hachin LCK 349 (Standardit: ISO 6878_2004, DIN EN 6878 / D11) - kyvettitestillä, jonka mittausalue on 0,15–4,50 mg/l. Testi tehtiin lisäämällä 2 ml 1:20 ionivaihdettuun veteen laimennettua vesinäytettä koeputkeen, joka suljettiin testin korkilla (DosiCap A). Koeputkea sekoitettiin, jotta korkin sisältämän reagenssi liukenee veteen ja tämän jälkeen koeputki asetettiin kuivahauteeseen 100 °C lämpöön tunnin ajaksi. Kuivahauteen jälkeen näytteen annettiin viilentyä noin 18–20 °C asteeseen. Viilennettyä näytettä sekoitettiin ja siihen lisättiin 0,2 ml testin B liuosta ja näyte suljettiin korkilla (DosiCap C). Tämän jälkeen näytettä ensin sekoitettiin ja annettiin levätä 10 minuuttia. 10 minuutin jälkeen näytettä sekoitettiin uudelleen ja asetettiin linssipaperilla puhdistuksen jälkeen spektrofotometriin, joka kertoi kokonaisfosforin määrän.

3.5 Mikrobien kokonaismäärät

Mikrobien kokonaismäärien mittaaminen alkoi kasvualustan (Merck TGE-agar) valmistuksella. TGE-agar jauhetta sekoitettiin 36 grammaa 1,5 litraan ionivaihdettua vettä. Kun jauhe oli kokonaan liuennut veteen, seos autoklavoitiin (121 °C, 15 minuuttia). Riittävän jäähtymisen jälkeen agar-liuos kaadettiin antiseptisesti laminaarivirtauskaapissa 40 kertakäyttöiseen petrimaljaan, joihin bakteeriviljelmät tehtiin. Agarin jähmettyttyä maljat suljettiin ja asetettiin ylösalaisin jääkaappiin säilytykseen.

Seuraavaksi valmistettiin 0,5 litraa nestemäistä kasvualustaa (Lab M Nutrient Broth No. 2) johon tehtiin laimennossarjat jokaisesta glyserolilla täydennetyistä näytteistä. Nestemäisen kasvualustan tekeminen tapahtui sekoittamalla 12,5 grammaa kasvualustaa jauhetta ionivaihdettuun veteen ja asettamalla saatu seos autoklaaviin (121 °C, 15 minuuttia). Sarjojen ensimmäinen näyte oli laimentamaton glyserolilla täydennetty vesinäyte ja tästä tehtiin jokaiselle näyte-erälle kolme laimennettua näytettä, joiden laimennussuhteet olivat 10^{-1} , 10^{-2} ja 10^{-3} . Laimennokset tehtiin, jotta bakteeripesäkkeiden määrä oli laskukelpoinen. Laimentamattomissa näytteissä vaarana on, että petrimaljat kasvavat täyteen, eikä pesäkkeiden määrää voida laskea. Nämä laimennokset saatiin pipetoimalla laminaarivirtauskaapin sisällä ensin jokaiseen ennalta steriloituun ja merkittyyn koeputkeen 9 ml nestemäistä kasvualustaa, johon lisättiin steriloidulla pipetillä 1 ml näytettä. Pipetointia jatkettiin lisäämällä edellisestä vahvemmassa koeputkesta seuraavaan 1 ml laimennosta, jolloin jokaiseen koeputkeen saatiin edellistä kymmenen kertaa laimeampi seos.

Laimennosten valmistuksen jälkeen kerättiin kaikki tarvikkeet, jotka desinfioitiin ja siirrettiin laminaarivirtauskaappiin. Kaikki maljat koodattiin vastaavien koeputkilaimennosten mukaan. Koeputkiravistelijalaitteella sekoittamisen jälkeen maljoille pipetoitiin koeputkesta 0,1 ml koodausta vastaavaa näytettä, joka levitettiin kertakäyttöisellä kolmiolla tasaisesti agarin pinnalle. Näiden näytteiden lisäksi valmistettiin myös positiivinen sekä negatiivinen kontrollimalja. Negatiivisen maljan avulla varmistettiin, että maljat eivät ole kontaminoituneet ja positiivisen maljan avulla, että kasvualusta on toimiva. Positiivisen kontrollin tekemiseen käytettiin nopeasti kasvavaa *E. coli*-bakteeria (5A739) ja negatiivinen näyte saatiin jättämällä yksi malja ilman näytettä. Kaikkien maljojen valmistuttua maljat suljettiin ja siirrettiin bakteeriviljelykaappiin 37 °C lämpöön.

Bakteeripesäkkeet laskettiin viiden vuorokauden kuluttua maljauksesta, jolloin bakteeripesäkkeet olivat parhaiten laskettavissa maljoilta. Pesäkkeet laskettiin uudelleen kuudentena vuorokautena, mutta molempina päivinä laskuista saatiin samat tulokset. Tulokset laskettiin laimentamattomasta näytteestä, koska laimennettuihin näytteisiin ei tullut laskettavia määriä pesäkkeitä.

Bakteeripesäkkeet määritettiin laskemalla maljoihin muodostuneiden pesäkkeiden määrät ja saadut tulokset kerrottiin luvulla 1,1, jolla huomioitiin glyserolin vaikutus näytteissä. Tämän jälkeen tulos kerrottiin kymmenellä, jolloin tulos saatiin muotoon pmy (pesäkkeen muodostava yksikkö)/ml.

3.6 Kemiallinen hapenkulutus

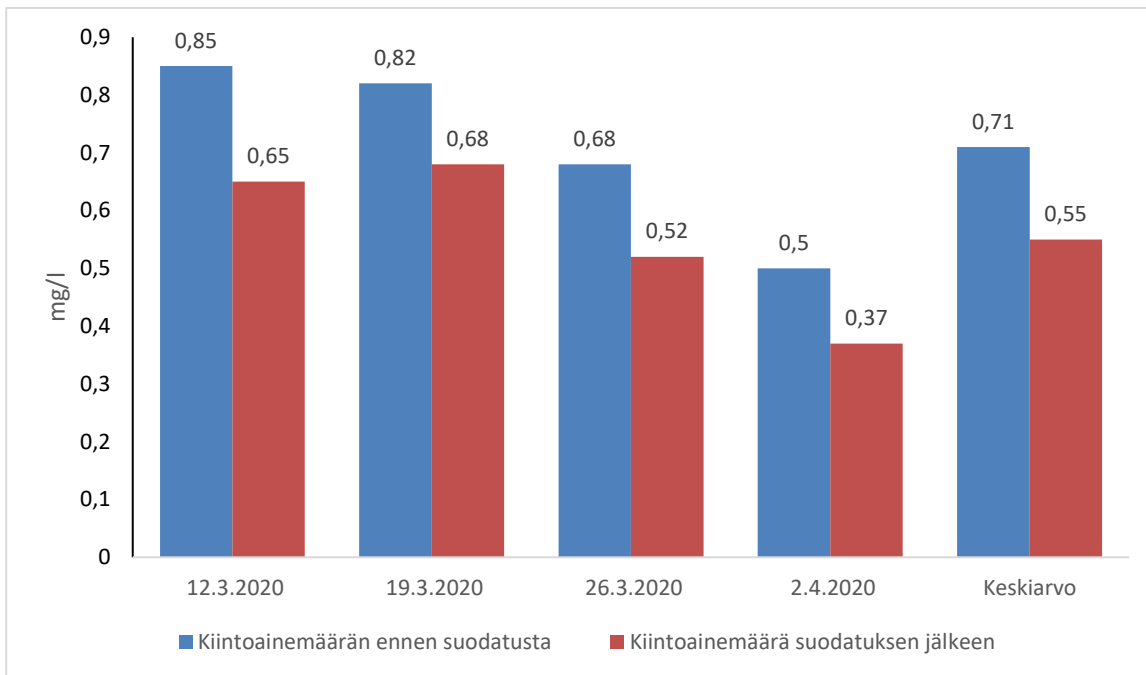
Näytteistä pyrittiin myös määrittämään kemiallinen hapenkulutus (COD), joka olisi kertonut veden orgaanisen aineksen määrän. Tutkittavan veden orgaanisen aineksen määrä oli kuitenkin niin matala, että kemiallisen hapenkulutuksen määrittämiseen käytettävät testikittien (LCK 614) mittausalue ei ollut sopiva ja kemiallista hapenkulutusta ei pystytty määrittämään.

4 TULOKSET

4.1 Vesinäytteiden kiintoainemäärät

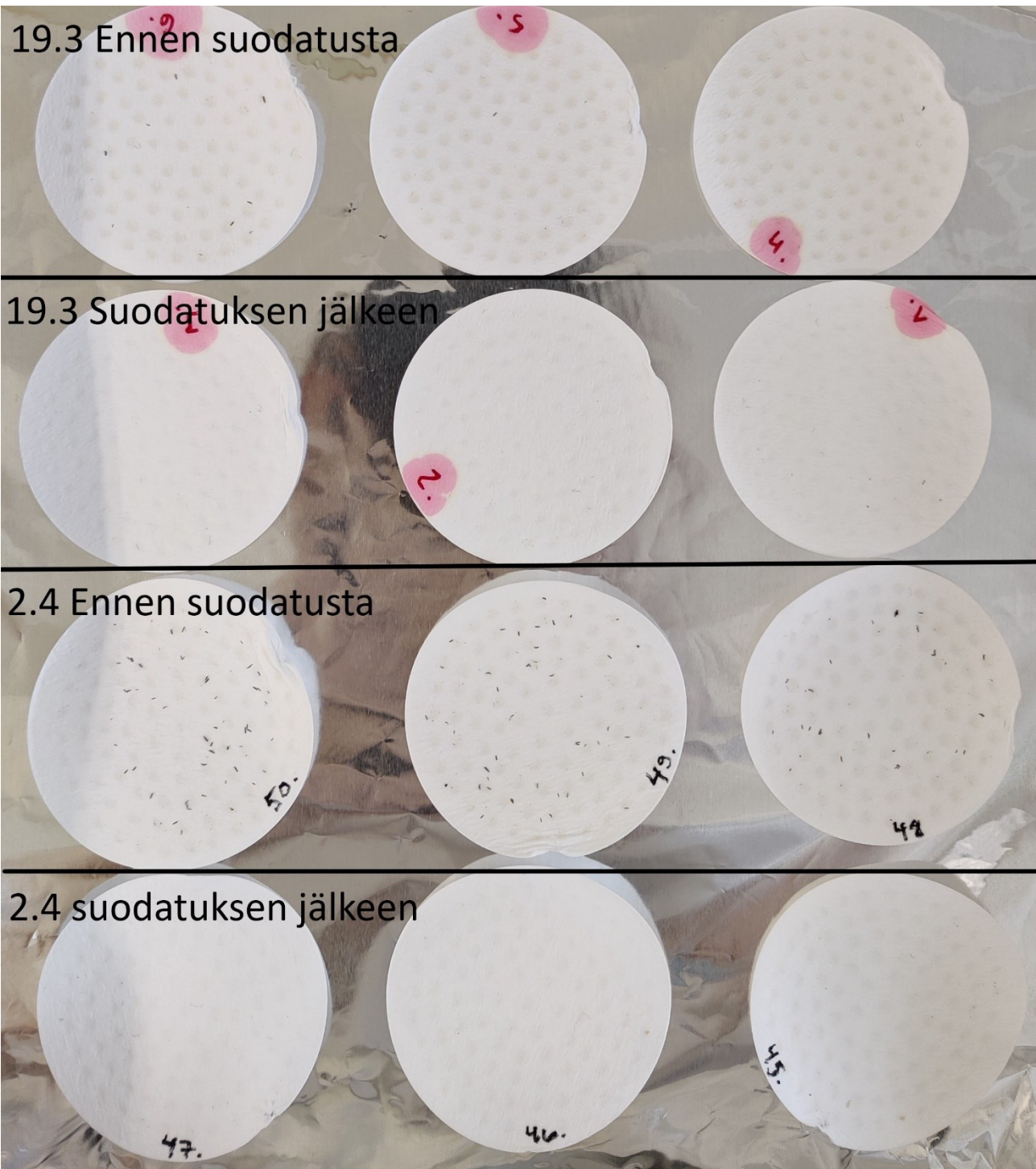
Näytteiden kiintoainemäärissä oli havaittavissa eroavaisuuksia ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen otetuissa näytteissä (Kuva 3). Prosentuaalisesti kiintoaineen määrä laski eniten 2.4.2020 otetuissa näytteissä. Kiintoaineen määrät ennen ja jälkeen suodatuksen olivat 0,5 mg/l ja 0,37 mg/l eli kiintoaineen määrä laski 26 %. Kiintoaineen määrän keskiarvot ennen ja jälkeen suodatuksen olivat 0,71 mg/l ja 0,55 mg/l eli kiintoaineen määrän keskiarvo laski suodattaessa noin 23 %. Kiintoaineen määrän suodatuksessa on myös hyvä huomioida, että ennen hidassuodattimeen menoa vesi kulkee verkko- ja lamellisuodattimien läpi ja näistä jäljelle jäävä kiintoaine on hiukkaskooltaan hyvin pientä ja siten haastavaa suodattaa pois.

Kuva 3. Vesinäytteiden kiintoainemäärät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien kiintoainemäärien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.



Hidassuodattimen toiminta oli havaittavissa silmämääräisesti kiintoainemäärityksessä käytetyillä lasikuitusuodattimilla (Kuva 4). Ennen suodatusta otetuilla kalvoilla oli tasaisesti havaittavissa kalvojen värjäytymistä ja pieniä epäpuhtauksia, kun taas suodatuksen jälkeen otetuilla kalvoilla värjäytyminen oli merkittävästi vähäisempää ja epäpuhtaudet lähes kokonaan poistuneet.

Kuva 4. Otanta kiintoainemäärityksen suodatuskalvoista ennen suodatusta ja sen jälkeen

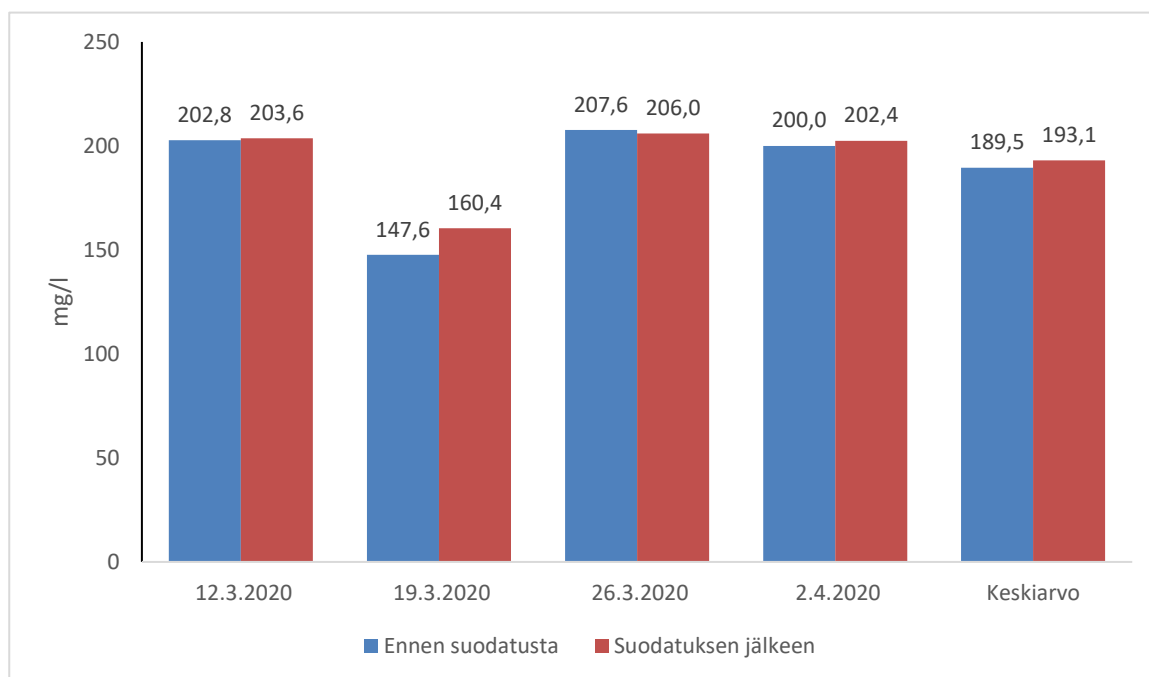


4.2 Ravinnepitoisuudet

4.2.1 Nitraattityppi

Näytteiden nitraattitypen määrissä ei ollut havaittavissa merkittäviä eroavaisuuksia ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen otetuissa näytteissä (Kuva 5). Nitraattitypen määrä keskiarvo nousi hidassuodatuksen aikana noin 2 %. Tulosten vaihtelu ei kuitenkaan ole yhden mukaista ja todennäköisesti johtuu satunnaisvaihtelusta eikä ole merkittävää.

Kuva 5. Vesinäytteiden nitraattitypen määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien nitraattitypen määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.

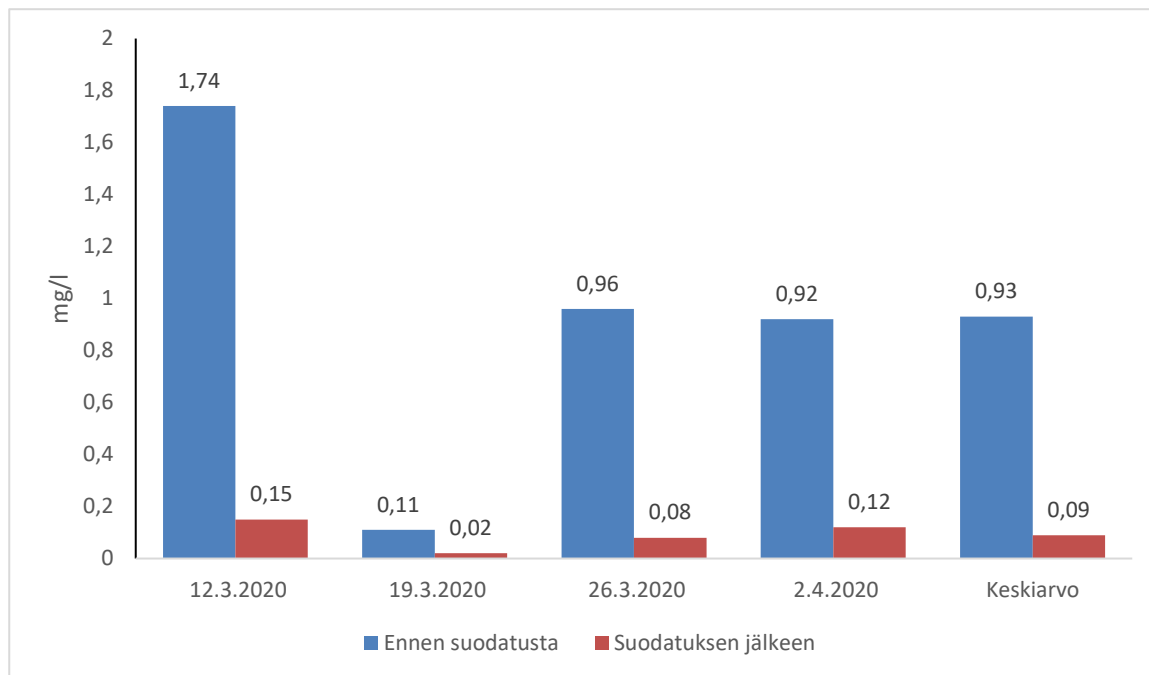


4.2.2 Ammonium

Näytteiden ammoniumin määrissä havaittiin eroavaisuuksia ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen otetuissa näytteissä (Kuva 6). Prosentuaalisesti ammoniumin määrä laski eniten 26.3.2020 otetuissa näytteissä. Ammoniumin määrät ennen ja jälkeen suodatuksen olivat 0,96 mg/l ja 0,08 mg/l eli ammoniumin määrä laski noin 92 %. Ammoniumin määrän keskiarvot ennen ja jälkeen

suodatuksen olivat 0,94 mg/l ja 0,09 mg/l eli ammoniumin määrän keskiarvo laski suodattaessa noin 90 %.

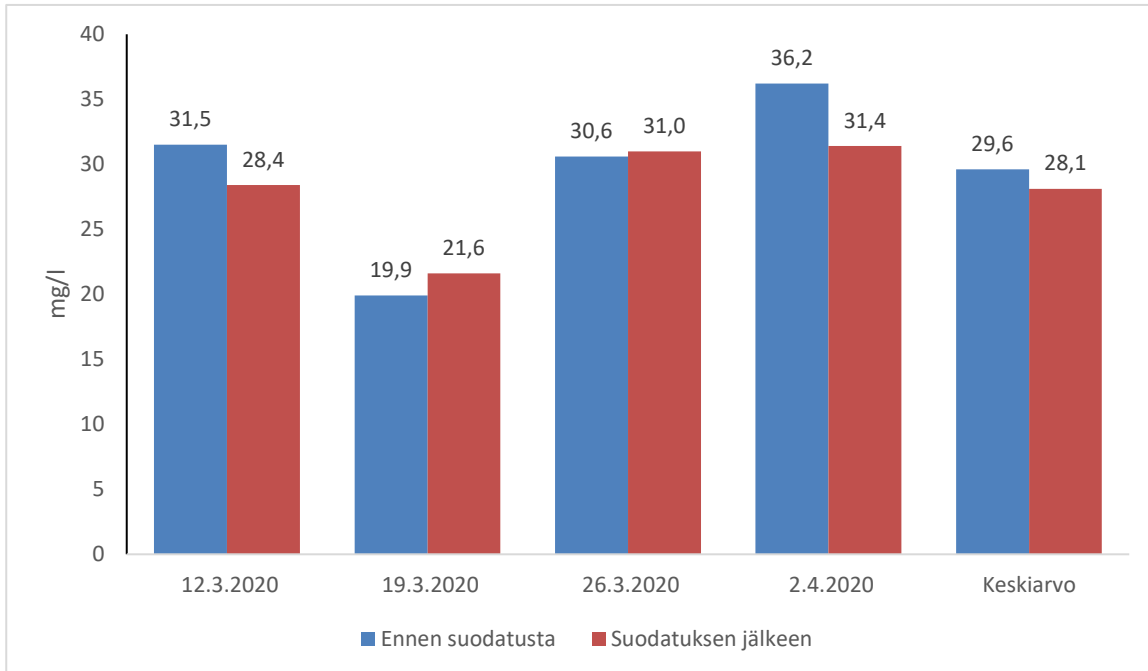
Kuva 6. Vesinäytteiden ammoniumin määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien ammoniumin määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.



4.2.3 Ortofosfaatti

Näytteiden ortofosfaatin määrissä ei ollut havaittavissa merkittäviä eroavaisuuksia ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen otetuissa näytteissä (Kuva 7). Ortofosfaatin määrän keskiarvo laski hidassuodatuksen aikana noin 5 %. Tulosten vaihtelu ei kuitenkaan ole yhdenmukaista ja todennäköisesti johtuu satunnaisvaihtelusta eikä ole merkittävää.

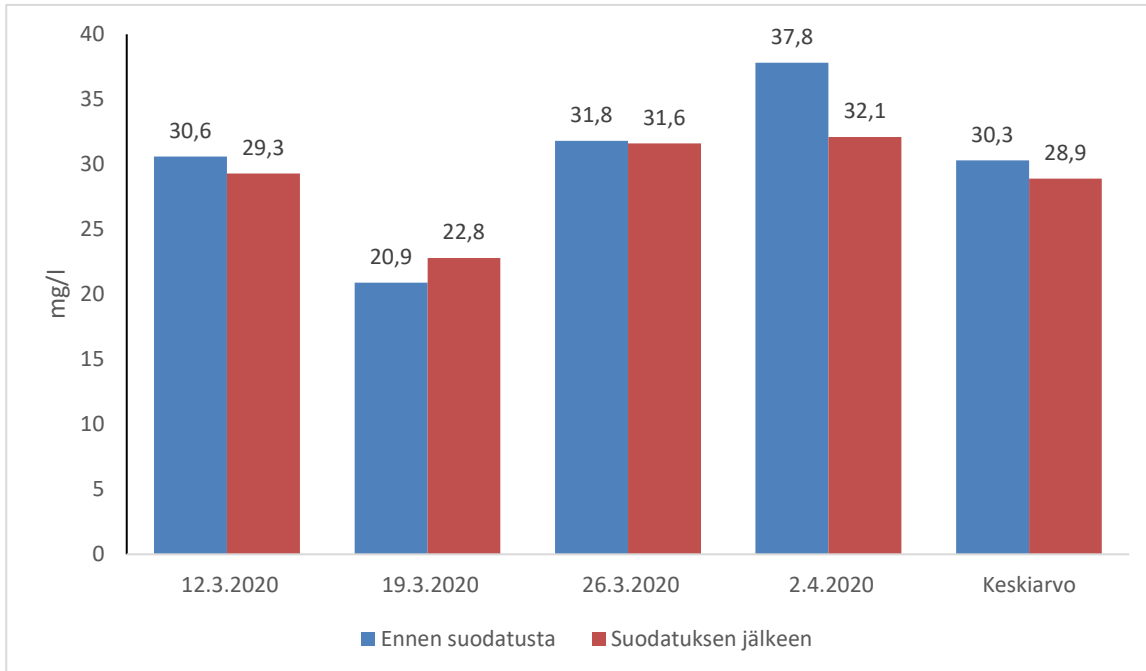
Kuva 7. Vesinäytteiden ortofosfaatin määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien ortofosfaatin määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.



4.2.4 Kokonaisfosfori

Näytteiden kokonaisfosforin määrissä ei ollut havaittavissa merkittäviä eroavaisuuksia ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen otetuissa näytteissä (Kuva 8). Kokonaisfosforin määrän keskiarvo laski hidassuodatuksen aikana noin 5 %. Tulosten vaihtelu ei kuitenkaan ole yhdenmukaista ja todennäköisesti johtuu satunnaisvaihtelusta eikä ole merkittävää.

Kuva 8. Vesinäytteiden kokonaisfosforin määrät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien kokonaisfosforin määrien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.

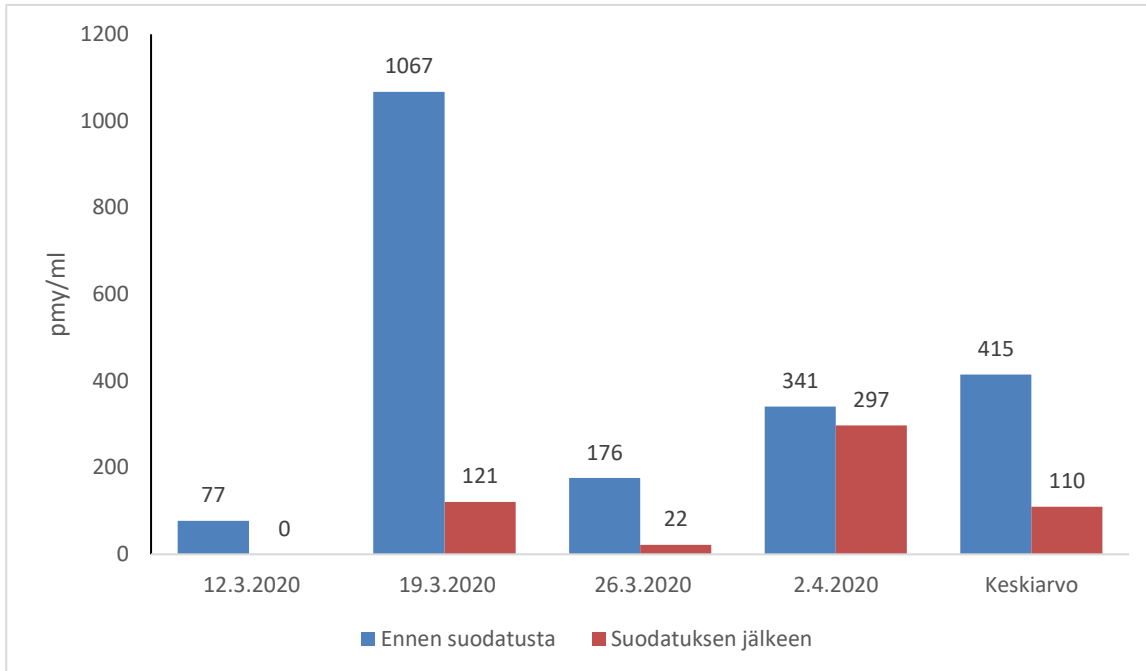


4.3 Mikrobien kokonaismäärät

Näytteiden mikrobien kokonaismäärissä oli havaittavissa eroavaisuuksia ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen otetuissa näytteissä (Kuva 9). Prosentuaalisesti mikrobien kokonaismäärät laskivat eniten 26.3.2020 otetuissa näytteissä. Mikrobien kokonaismäärät ennen ja jälkeen suodatuksen olivat 1067 pmy/ml ja 121 pmy/ml eli mikrobien kokonaismäärä laski noin 88 %. Mikrobien kokonaismäärän keskiarvot ennen ja jälkeen suodatuksen olivat 415 pmy/ml ja 55 pmy/ml eli mikrobien kokonaismäärän keskiarvo laski suodattaessa noin 87 %.

Mikrobien kokonaismäärää tutkiessa ei tehtyrinnakkaismaljoja ja tämä luo pientä epävarmuutta mikrobien kokonaismäärien tuloksille. Tutkimuksen negatiivinen ja positiivinen kontrolli onnistuivat kuitenkin oletusten mukaisesti ja oletettavasti tutkimusta tehdessä ei ole tapahtunut merkittäviä virheitä tai kontaminaatiota. Samoin myös kymmenkertaisesti laimennettujen maljojen tulokset olivat saman suuntaisia laimentamattomien maljojen tulosten kanssa, vaikka eivät olleet kaikkien maljojen kohdalla laskukelpoisia.

Kuva 9. Vesinäytteiden mikrobien kokonaismäärät ennen suodatusta ja sen jälkeen (mg/l) eri mittauspäivinä, sekä kaikkien mittauspäivien mikrobien kokonaismäärien keskiarvo ennen ja jälkeen suodatuksen.



5 TULOSTEN TARKASTELU, JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Hidassuodattimen vaikutus oli selkeimmin havaittavissa ammoniumin määrissä. Ennen suodatusta otetuissa näytteissä oli havaittavissa merkittävästi enemmän ammoniumia kuin suodatuksen jälkeen kerätyissä näytteissä. Tämän saattaa selittää biologisessa suodattimessa tapahtuva nitrifikaatio. Muun muassa El-Sheshtawy ym., (2017) mukaan Lyssenko ja Wheaton (2006) ovat tutkimuksissaan todenneet pisarabiosuodattimen, jota suositaan muun muassa jätevesien puhdistuksessa, puhdistavan noin 0,64 g/m²/päivä ammoniumia vedestä (El-Sheshtawy ym., 2017, s. 323). On myös mahdollista, että hidassuodattimessa on korkea pH ja lämpötila, joiden seurauksena ammonium on saattanut muuttua ammoniakiksi (Hach, 2020). Näytteiden pH- ja lämpötilatietojen puuttuessa niiden vaikutusta ammoniumiin ei voida kuitenkaan varmistaa.

Suodattimen vaikutus oli myös havaittavissa mikrobien kokonaismäärissä. Mikrobimäärät eivät kuitenkaan saavuttaneet potentiaalista, jopa 100 % bakteerien poistoa, joka on esimerkiksi

Tanskassa, Hedehusenessä, Grodanin vastaavissa kivivillatäytteisissä hidassuodattimissa saavutettu (Calmin ym., 2007, s. 13–14). Syynä tähän saattaa olla suodattimien koko, suodatusmateriaalin määrä tai käytetty virtausnopeus. Myös veden yleinen puhtaus saattaa olla selittävä tekijä, sillä suodattimeen ei vielä näytteitä kerätessä ollut muodostunut ”Schmutzdecke” bakteeribiofilmiä, joka on erittäin merkittävässä roolissa bakteerien poistamisessa. Suodattimen toiminta mikrobien poistamisessa oli kuitenkin selkeästi havaittavissa ja mikrobien kokonaismäärät erittäin alhaisella tasolla. Mikäli suodattimen biologista aktiivisuutta haluaisi lisätä, olisi mahdollista lisätä suodattimeen biologisesti aktiivisempaa raakavettä, joka tarjoaisi enemmän ravintoa ja kasvumahdollisuuksia suodattimen bakteereille ja pieneliöille (Palmateer ym., 1999 s.19). Myös suodattimen virtausnopeutta olisi mahdollista hidastaa, mikäli mikrobien tai kiintoaineen poistoa haluaisi tehostaa. Longsdonin mukaan (2008) Bellamy ym. (1985) tutkimuksissa kolibakteerin poistokapasiteetti kasvoi 98,98 prosentista 99,67 prosenttiin ja veden sameus laski 32,14 prosentista 27,24 prosenttiin kun hidassuodatinta käytettiin 0,12 m/h, 40 m/h sijaan (Logsdon, 2008, s.218). Viljelmällä ei kuitenkaan ollut havaittavissa ongelmia kasvitautien tai veden puhtauden suhteen, joten suodattimen virtausnopeuden muokkaamiselle tai aktiivisemmän raakaveden lisäämiselle, ei ole toistaiseksi tarvetta.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää suodattimen toimivuus. Suodatin poisti vedestä tehokkaasti ammoniumin sekä suurimman osan bakteereista ja kiintoaineesta. Voidaan siis todeta, että suodatin toimii kohteen ja tarkoituksen mukaan riittävällä tasolla, varsinkin veden yleisen puhtauden ja kasvien terveyden kannalta.

Lähteet

Calmin, G., Dennler, G., Belbahri, L., Wigger, A. & Lefort, F., (2007) Assessing efficacy of ultra-filtration and slow filtration in soil-less production by molecular detection. *Archives des Sciences* 2008(61), 7-16. Haettu 20.2.2021 osoitteesta

https://www.unige.ch/sphn/Publications/ArchivesSciences/AdS%202004-2015/AdS%202008%20Vol%2061%20Fasc%201/2_Lefort%2007-16_61_1.pdf

Ehret, D., Alsanius, B., Wohanka, W., Menzies, J. & Utkhede, R. (2001) Disinfection of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie, EDP Sciences* 21 (4), 323-339. Haettu 13.10.2020 osoitteesta

https://www.researchgate.net/publication/41706201_Disinfection_of_recirculating_nutrient_solutions_in_greenhouse_horticulture

El-Sheshtawy, A., Salah, A., Rahman Ibrahim, M.A., Mocuta, D. N., Turek Rahoveanu, A., & Hossu, A. M. (2017). The Nitrification Capacity of Different Types of Biological Filters - An Overview. Teoksessa S. Hugues, & N. Cristache (eds.) *Risk in Contemporary Economy*. Iasi, Romania: LUMEN Proceedings, 321-328. Haettu 9.12.2020 osoitteesta

https://www.researchgate.net/publication/321737714_The_Nitrification_Capacity_of_Different_Types_of_Biological_Filters_An_Overview

Hach. (2020) *Ammonia vs. Ammonium – what is the difference between these forms of nitrogen?* Haettu 6.4.2020 osoitteesta

https://uksupport.hach.com/app/answers/answer_view/a_id/1011356/~ammonia-vs.-ammonium-%E2%80%93-what-is-the-difference-between-these-forms-of-nitrogen%3F-

Haig, S. J., Collins, G., Davies R. L., Dorea C. C., & Quince, C. (2014) Biological Aspects of Slow Sand Filtration: Past, Present and Future. *Water Science & Technology* 9/2011. Haettu 23.10.2020

https://www.researchgate.net/publication/242049422_Biological_aspects_of_slow_sand_filtration_Past_present_and_future

Hansson, T. & Johansson, A. K. (2007) Goda exempel på rening av Returvatten från odling av grönsaker och prydnadsväxter i växthus. *Jordbruksinformation* 4/2007. Haettu 23.3.2021 osoitteesta https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo07_4.pdf

Huisman, L. & Wood, W.E. (1974) *Slow sand filtration*. Geneva: World Health Organization. Haettu 23.10.2020 osoitteesta <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38974/9241540370.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kangas, N., Jalkanen, J., Mononen, H., Tuominen, J., Rantala, M. & Ojala, I. (2016) *Kasvihuonealan vastuullisuus raportti* 2016. Kauppapuutarhaliitto ry. Haettu 20.2.2021 osoitteesta https://kauppapuutarhaliitto.fi/wp-content/uploads/2018/12/vastuullisuusraportti_301116.pdf

Kaukoranta, T., Jokinen K., Näkkilä, J. & Särkkä L. (2016) LED-valotusta kasvihuoneeseen. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 13/2017. Haettu 20.2.2021 osoitteesta <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/538474>

Latvala, A. & Rytönen, T. (1979) *Hidassuodatuksen käyttö juomaveden maku- ja hajuhaittojen poistamisessa*. Helsinki: Vesihallitus. Haettu 8.10.2020 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/157031/Vesihallitus%20Tiedotus%20173.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Logsdon, G. (2008) *Water Filtration Practices: Including Slow Sand Filters And Precoat Filtration*. American Water Works Association. Haettu 16.9.2020 osoitteesta <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=3116726>

Palmateer, G., Manz, D., Jurkovic, A., McInnis, R., Unger, S., Kwan, K. K. & Dutka B.J., (1999) *Toxicant and Parasite Challenge of Manz Intermittent Slow Sand Filter*. Haettu 27.2.2021 osoitteesta <https://www-onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.hamk.fi/doi/10.1002/%28SICI%291522-7278%28199905%2914%3A2%3C217%3A%3AAID-TOX2%3E3.0.CO%3B2-L>

Prem, M. & Ranjan, P. (2018) Schmutzdecke- A Filtration Layer of Slow Sand Filter. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7/2018. Haettu 9.11.2020 osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/326706835_Schmutzdecke-
_A_Filtration_Layer_of_Slow_Sand_Filter](https://www.researchgate.net/publication/326706835_Schmutzdecke-A_Filtration_Layer_of_Slow_Sand_Filter)