

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikka

Minna Kutvonen
Rico-Petteri Mutanen

PURUVETEEN LASKEVAN KUONANJÄRVEN NYKYTILA JA
KUNNOSTUSTOIMENPIDESUOSITUKSET

Opinnäytetyö
Helmikuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2019
Energia- ja ympäristötekniikan
koulutus

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
013 260 600

Tekijät

Minna Kutvonen, Rico-Petteri Mutanen

Nimeke

Puruveteen laskevan Kuonanjärven nykytila ja kunnostustoimenpidesuositukset

Toimeksiantaja

Pro Puruvesi ry

Tiivistelmä

Opinnäytetyö on laadittu Kuonanjärven nykytilan ja valuma-alueen kuormituslähteiden selvittämiseksi. Tutkimusten pääpaino oli pohjan tilan tutkimisessa, ulkoisen ja sisäisen kuormituksen määrittämisessä sekä kunnostusmenetelmien vertailussa. Kuonanjärven vesipinta-ala on noin 5,8 km² ja valuma-alueen pinta-ala on lähes 70 km². Kuonanjärvi kuuluu Metsähallituksen Luontopalvelujen koordinoiman FRESHABIT LIFE IP -hankkeen kohdealueisiin. Aiemmissa tutkimuksissa todettiin Savonlahden olevan Puruveden huonokuntoisimpia lahtialueita Kuonanjoen valuma-alueelta päätyvän ulkoisen kuormituksen seurauksena.

Opinnäytetyössä on omien kenttätutkimusten lisäksi hyödynnetty BIYNS17-opiskelijaryhmän tekemiä kenttätutkimuksia. Valmisaineistoon kuului Metsäkeskuksen, Suomen Ympäristökeskuksen ja ELY-keskuksen teettämiä selvityksiä, raportteja ja vesinäytetuloksia. Kuonanjärven kalastorakennetutkimus on toteutettu Luonnonvarakeskuksen toimesta kesällä 2017.

Kuonanjärvestä lähtee Savonlahteen 10 kg enemmän kokonaisfosforia, kuin sinne ulkoisen kuormituksen takia tulee. Tutkimusten perusteella Kuonanjärven pohjassa sedimenttiä on karkeasti arvioituna noin 14,5 miljoonaa kuutiometriä. Järven heikentyneen ravinteiden pidättämiskyvyn ja alusveden heikon happitilanteen korjaamiseksi ehdotettiin sisäistä kuormitusta vähentäviä kunnostusmenetelmiä. Ehdotukset kunnostustoimenpiteiksi ovat hoitokalastus, ruovikoiden niitto, pohjan pöyhintä ja hapettaminen. Jatkotutkimusaiheiksi ehdotettiin Kuonanjärveen laskevien pienten metsäojien ravinnekuorman, sekä Pienen ja Suuren Vehkajärven nykytilan selvittämistä.

Kieli
suomi

Sivuja 148
Liitteet 2
Liitesivumäärä 4

Asiasanat

rehevöityminen, liete, vesistöjen kunnostus, sedimentit, hapetus, Puruvesi



THESIS
February 2019
Degree Programme in Energy and
Environmental Technology

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Authors

Minna Kutvonen, Rico-Petteri Mutanen

Title

Current State of Lake Kuonanjärvi Discharging to Lake Puruvesi and Recommendations for Restoration Techniques

Commissioned by

Pro Puruvesi ry

Abstract

This thesis was drafted to establish the present condition of Lake Kuonanjärvi and the origin of nutrient load in the drainage area. The main goals of this thesis were in the bottom condition study, evaluation of outer and inner load of the lake and making cost comparison between different aquatic restoration techniques. Surface area of Lake Kuonanjärvi is approximately 5.8 km² and the catchment area is around 70 km². Lake Kuonanjärvi belongs to the domains of FRESHABIT LIFE IP-enterprise coordinated by Finnish Forest and Park Services. Earlier surveys verified that Bay Savonlahti was one of the worst areas of Lake Puruvesi as implication of the nutrient load from the drainage area of River Kuonanjoki.

The field experiments and laboratory investigations of group BIYNS17 were also used as material of this thesis. The ready-made material comprised of the reports and surveys of the Forest Centre, Finnish Environmental Institute and ELY-Centre. The fish fauna research at lake Kuonanjärvi has been implemented by the Natural Resources Institute of Finland in 2017.

About 10 kg more total phosphorus runs from Lake Kuonanjärvi to Bay Savonlahti than it absorbs as a consequence of outer load. Based on research the amount of the sediment in lake Kuonanjärvi was estimated to be 14.5 million m³. To improve the collapsed ability of retention of nutrients and a weak oxygen level of the hypolimnion restoration technics were suggested. Proposals for decreasing the inner load of the lake are biomanipulation, moving the reed field, ruffling the bottom of the lake and oxygenating. Further research suggestions included a more accurate evaluation of the nutrient load from forest ditches to Lake Kuonanjärvi and the current state to lakes Pieni Vehkajärvi and Suuri Vehkajärvi.

Language

Finnish

Pages 148

Appendices 2

Pages of Appendices 4

Keywords

eutrophication, silt, lake restoration, sediments, oxygenating, Lake Puruvesi

Sisältö

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Johdanto | 11 |
| 1.1 | Tutkimuksen taustaa | 11 |
| 1.2 | Toimeksiantaja | 12 |
| 2 | Tietoperusta | 13 |
| 2.1 | Keskeiset käsitteet | 13 |
| 2.2 | Tutkimusalueen kuvaus | 15 |
| 2.2.1 | Kuonanjärven ja lähivaluma-alueen kuvaus | 15 |
| 2.2.2 | Kuonanjärven kaukovaluma-alueen kuvaus | 18 |
| 2.2.3 | Uhanalaiset lajit | 25 |
| 2.3 | Vedenlaatu | 26 |
| 2.3.1 | Fosfori | 26 |
| 2.3.2 | Typpi | 27 |
| 2.3.3 | Fosfaattifosfori | 28 |
| 2.3.4 | Ammoniumtyppi | 28 |
| 2.3.5 | Nitraattityppi | 28 |
| 2.3.6 | Näkösyyvyys | 29 |
| 2.3.7 | a-klorofylli | 29 |
| 2.3.8 | Mangaani | 29 |
| 2.4 | Ulkoisen kuormitus | 30 |
| 2.5 | Fosforimallitarkastelu | 31 |
| 2.6 | Vesistöjen kunnostusmenetelmät | 33 |
| 2.6.1 | Alusveden poisto | 33 |
| 2.6.2 | Bio-manipulaatio | 33 |
| 2.6.3 | Kosteikko | 34 |
| 2.6.4 | Hapettaminen | 35 |
| 2.6.5 | Pintahapetin | 36 |
| 2.6.6 | Alusvettä päällysveteen siirtävä hapetin | 37 |
| 2.6.7 | Päällysvettä alusveteen siirtävä hapetin | 38 |
| 2.6.8 | Pohjan pöyhintä | 39 |
| 2.6.9 | Raivausnuotta | 39 |
| 2.6.10 | Ruoppaus | 40 |
| 2.6.11 | Imuruoppaus | 41 |
| 2.6.12 | Ruovikon niitto | 41 |
| 2.6.13 | Metsien ojitus | 43 |
| 2.7 | Pohjaeläintutkimus | 43 |
| 2.8 | Pohjasedimentti ja pohjasedimentin hapetus-pelkistysaste | 44 |
| 2.9 | Kalastorakennetutkimus | 45 |
| 2.10 | Hoitokalastuksessa poistettavan kalan määrä | 46 |
| 3 | Työn tarkoitus ja tavoitteet, aiheen rajausta ja tutkimustehtävät | 47 |
| 3.1 | Tarkoitus ja tavoitteet | 47 |
| 3.2 | Aiheen rajausta | 48 |
| 4 | Aineisto ja menetelmät | 49 |
| 4.1 | Havaintopaikat | 49 |
| 4.2 | Vedenlaatututkimus | 51 |
| 4.3 | Karttojen laatiminen ja valuma-alueiden määrittäminen | 53 |
| 4.4 | Kosteikon pidättämä vuosikuorma | 54 |
| 4.5 | Pohjan tilan tutkimus | 54 |
| 5 | Tulokset | 56 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | Virtaaman mittaus | 56 |
| 5.2 | Kuonanjärven vedenlaatu vuonna 1966..... | 57 |
| 5.3 | Kuonanjärven vedenlaatu havaintopaikalla 003..... | 58 |
| 5.3.1 | Kuonanjärven vedenlaatu havaintopaikalla 090..... | 61 |
| 5.3.2 | Kuonanjärvestä lähtevän veden laatu havaintopaikoilla Kuona 030 ja Kuonanjoki 185 | 62 |
| 5.3.3 | Suuri Vehkajärvi 002 ja sen lasku-uoma Vehkaoja 018 Kuonanjärveen | 64 |
| 5.3.4 | Kuonanjärveen laskevan Tenhunjoen vedenlaadun havainnot | 66 |
| 5.3.5 | Suureen Vehkajärveen laskevan ojan (152) ja Pienen Vehkajärven laskuojan (037) kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet | 68 |
| 5.3.6 | Pienen Vehkajärven (027) kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet ... | 69 |
| 5.4 | Kalastorakenne | 69 |
| 5.5 | Kuonanjärven minimiravinnetarkastelu | 70 |
| 5.6 | Kuonanjärven kuormitus- ja fosforimallitarkastelu | 72 |
| 5.6.1 | Kuonanjärven fosforimallitarkastelu ja fosforitase | 72 |
| 5.6.2 | Kuonanjärven tyypitase..... | 78 |
| 5.7 | Karelia-ammattikorkeakoulun vedenlaadun tutkimustulokset kevättalvella 2018 | 80 |
| 5.7.1 | Vedenlaatu..... | 80 |
| 5.7.2 | Pohjan tila | 83 |
| 5.7.3 | Pohjasedimentin laboratorioanalyysit..... | 88 |
| 5.7.4 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysaste | 89 |
| 5.7.5 | Pohjaeläimistö..... | 90 |
| 6 | Tulosten tarkastelu..... | 95 |
| 6.1 | Virtaamatilanne | 95 |
| 6.2 | Vedenlaatu..... | 95 |
| 6.2.1 | Kevättalven 2018 vedenlaadun tutkimustulosten tulkinta..... | 95 |
| 6.2.2 | Suomen Ympäristökeskuksen vedenlaadun seurantatulokset Kuonanjärvellä | 96 |
| 6.2.3 | Vedenlaadun seurantatulokset Kuonanjärven valuma-alueella..... | 97 |
| 6.3 | Kuonanjärven fosforitase | 98 |
| 6.4 | Fosforimallitarkastelu | 98 |
| 6.5 | Kokonaistypen kuormitus ja kokonaistyyppitase..... | 99 |
| 6.6 | Kalastorakenne | 100 |
| 6.7 | Pohjan tila | 101 |
| 6.7.1 | Pohjasedimentti- ja laboratorioanalyysit..... | 101 |
| 6.7.2 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysaste | 103 |
| 6.7.3 | Pohjaeläimistö..... | 103 |
| 7 | Kunnostustoimenpiteiden kannattavuusvertailu ja ehdotukset kunnostustoimenpiteiksi..... | 104 |
| 7.1 | Kustannustehokkuuden hintatiedot | 104 |
| 7.2 | Kustannustehokkuuden vertailu | 105 |
| 7.2.1 | Bio-manipulaatio..... | 106 |
| 7.2.2 | Hapettaminen..... | 108 |
| 7.2.3 | Imuruoppaus | 110 |
| 7.2.4 | Kosteikko | 113 |
| 7.2.5 | Ruovikon niitto..... | 116 |
| 7.2.6 | Pohjan pöyhintä | 117 |
| 7.2.7 | Fosforin saostus..... | 119 |
| 7.3 | Kunnostusmenetelmien valintaan vaikuttavat tekijät | 119 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.4 | Kunnostusmenetelmiin liittyvät riskit..... | 120 |
| 7.5 | Kunnostusmenetelmien kustannustehokkuuden vertailu | 121 |
| 8 | Pohdinta..... | 122 |
| 8.1 | Kustannusvertailun pohdinta..... | 124 |
| 8.2 | Tulosten vertailu Puruveden Savonlahden ja Ristilahden tuloksiin | 125 |
| 8.2.1 | Pohjasedimentin määrän ja ulkonäön vertailu..... | 125 |
| 8.2.2 | Pohjasedimenttien laboratorionäytteet | 127 |
| 8.2.3 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet | 129 |
| 8.3 | Opinnäytetyöprosessin tarkastelu | 130 |
| 8.4 | Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus..... | 131 |
| 8.5 | Oppimisprosessi ja ammatillisen kasvun kehitys..... | 132 |
| 8.6 | Työnjako | 133 |
| 8.7 | Jatkotutkimusaiheet | 137 |
| 8.8 | Kiitokset | 138 |
| | Lähteet..... | 139 |

Kuvat

| | |
|---------|--|
| Kuva 1 | Puruveden vesistöalue osavaluma-alueineen. Kuonanjoen osavaluma-alue on rajattu punaisella. |
| Kuva 2 | Kuonanjärven lähivaluma-alue. |
| Kuva 3 | Kuonanjoen vesistöalue. Kuonanjärven kaakkoispäästä lähtee Kuonanjoki, joka laskee Savonlahteen. |
| Kuva 4 | Tyypillinen metsäoja Riitasensuon ojitetuilla turvemaidella Vehkaojan osavaluma-alueella. |
| Kuva 5 | Kuonanjärven alueella sijaitsevat muinaisjäännökset ja muut kulttuuriperintökohteet. |
| Kuva 6 | Kuonanjärven alueen maaperä. |
| Kuva 7 | Kuonanjärven alueen maannostyyppit kartalla. |
| Kuva 8 | Kuonanjärven alueella yksityisten mailla olevat suojelualueet. |
| Kuva 9 | Kuonanjärven luusua (havaintopaikka 030) ilmakuvassa. |
| Kuva 10 | Vehkaojan lasku-uoman edustan alue Kuonanjärvellä. |
| Kuva 11 | Tenhunlahti Kuonanjärvellä. |
| Kuva 12 | Kuonanjärven alueen ilmakehäkuva. |
| Kuva 13 | Luontoselvityksessä todetut lummelampikorenon esiintymisalueet ja suunnitellut niittoalueet. |
| Kuva 14 | Airit-pintahapetin. |
| Kuva 15 | Visiox-hapettimen toimintaperiaate. |
| Kuva 16 | Mixox-hapettimen toimintaperiaate. |
| Kuva 17 | NORDIC-verkon rakenne ja satunnaisotannan periaate syvyysvyöhykkeittäin. |
| Kuva 18 | Kuonanjärven kenttätutkimusten havaintopaikat keväällä 2018. |
| Kuva 19 | Hertta-ympäristötietojärjestelmästä poimittujen vedenlaadun seurantapaikkojen sijainnit Kuonanjärvellä ja sen valuma-alueella. |
| Kuva 20 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteen mittausta Kuonanjärvellä huhtikuussa 2018. |

| | |
|------------|--|
| Kuva 21 | Karelia-ammattikorkeakoulun opiskelija Rico-Petteri Mutanen mittaamassa virtaamaa 22.11.2018 havaintopaikalla Vehkaoja 018. |
| Kuva 22 | Vehkaoja 8.8.2018. |
| Kuva 23 | Tenhunjoki 18.10.2018. |
| Kuva 24 | Tenhunjoki 8.8.2018. |
| Kuva 25 | Pohjasedimentin tyypillinen ulkonäkö ja koostumus Kuonanjärvellä. Kuvan näyte on näytesyvyydeltä 0 - 100 cm havaintopaikalta 5. |
| Kuva 26 | Vehkaojan edustalta ja Kuonanjärven kaakkoispuolelta otetuissa näytteissä ruskeaa, hienojakoista ainesta havaittiin huomattavasti järven tmuuta osaa vähemmän. |
| Kuva 27 | Ruskean, hienojakoisen aineksen ja puhtaan hopeanharmaan saven siirtymäkerros on selkeästi havaittavissa näytesyvyydestä 152 - 187 cm, havaintopaikalta 6. |
| Kuva 28 | Pohjasedimentin jakauma Kuonanjärvellä kevättalvella 2018 tehtyjen sedimenttikairausten perusteella. |
| Kuva 29 | Pohjasedimentin jakauma Kuonanjärvellä paksuuskäyrien syvyystiedoilla varustettuna. |
| Kuva 30 | Kuonanjärven kaakkoisosasta otettu pohjaeläinnäyte. |
| Kuva 31 | Kokkosaaren lounaispuolelta otettu pohjaeläinnäyte. |
| Kuva 32 | Riikolahden edustalta, Kuonanjärven itäpuolelta otettu pohjaeläinnäyte. |
| Kuva 33 | Sarviniemen edustalta, Kuonanjärven kaakkoispuolelta otettu pohjaeläinnäyte. |
| Kuva 34 | Imuruoppaaja (Insinööritoimisto Lassinaro). |
| Kuva 35 | Pieneen Vehkajärveen laskeva Riitasensuon kosteikko 22.11.2018. |
| Kuva 36 | Pohjan pöyhintäala Kuonanjärven eteläpäässä. |
| Kuva 37 | Pohjanpöyhintäala Kokkosaaren pohjoispuolella. |
| Kuviot | |
| Kuvio 1 | Kuonanjärveen kohdistuva vuosittainen kokonaisfosforikuorma kuormituslähteittäin. |
| Kuvio 2 | Kuonanjärveen kohdistuva vuosittainen kokonaistyyppikuorma kuormituslähteittäin. |
| Taulukot | |
| Taulukko 1 | Vesistö- ja valuma-alueetietoja Kuonanjoen ja -järven vesistöalueelta. |
| Taulukko 2 | Kuonanjärven vesitilavuuskohtaiset osuudet syvyyssyvyöhykkeittäin. |
| Taulukko 3 | Järven rehevyydystason määrittäminen keskimääräisen kokonaisfosforipitoisuuden mukaan. |
| Taulukko 4 | Järven rehevyydystason määrittäminen keskimääräisen kokonaistyyppipitoisuuden mukaan. |
| Taulukko 5 | Vesistön tilaan vaikuttavia hapetus-pelkistysasteen muutoksia ja raja-arvoja. |

- Taulukko 6 Kuonanjärven kenttätutkimusten havaintopaikkojen koordinaatit kevättalvella 2018.
- Taulukko 7 Hertta-ympäristötietojärjestelmästä poimittujen vedenlaadun seurantapaikkojen koordinaatit Kuonanjärvellä ja sen valuma-alueella.
- Taulukko 8 Kuonanjärven tutkimuksissa kevättalvella 2018 käytetty välineistö.
- Taulukko 9 Shannon-Wiener-indeksi-arvot selitteineen.
- Taulukko 10 Virtaamamittausten tulokset 22.11.2018 havaintopaikoittain.
- Taulukko 11 Kuonanjärven ensimmäiset viralliset vedenlaadun mittaustulokset 3.3.1966.
- Taulukko 12 Havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetuloksia aikaväliltä 2013–2018 hapen, sameuden ja a-klorofyllin osalta.
- Taulukko 13 Havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetuloksia tuloksia aikaväliltä 2013–2018.
- Taulukko 14 Havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetulokset kiintoaineen ja ravinteiden osalta aikavälillä 2012–2018.
- Taulukko 15 Vedenlaadun havainnot hapen, sameuden ja a-klorofyllin osalta havaintopaikalla Kuona 090.
- Taulukko 16 Happamuuden, sähkönjohtavuuden ja eräiden aineiden pitoisuuksien vedenlaatuhavainnot havaintopaikalla Kuona 090.
- Taulukko 17 Havaintopaikan Kuona 090 vedenlaadun havainnot 16.2.2006–25.3.2015 ravinteiden osalta.
- Taulukko 18 Kuonanjoen (havaintopaikka suluissa) vedenlaadun havainnot kiintoaineen ja ravinteiden osalta aikaväliltä 2011–2018, näytesyvyys 0,1 - 0,2 m.
- Taulukko 19 Vedenlaadun tulokset havaintopaikalta Vehkaoja 018.
- Taulukko 20 Havaintopaikan Suuri Vehka 002 vedenlaadun tulokset kiintoaineen ja ravinteiden osalta.
- Taulukko 21 Vedenlaadun tulokset havaintopaikalta Tenhunjoki 169.
- Taulukko 22 Pienen- ja Suuren Vehkajärven välisen joen vedenlaatumittaukset havaintopaikalla Pieni Vehka laskuoja 037.
- Taulukko 23 Konnansuolta Suureen Vehkajärveen laskevan ojan vedenlaadun tulokset ravinteiden osalta.
- Taulukko 24 Pienen Vehkajärven kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet vuosilta 2008–2012.
- Taulukko 25 Kuonanjärven koekalastustulokset kalalajeittain ja -ryhmittäin heinäkuun lopulla 2017.
- Taulukko 26 Ravinnesuhteet minimiravinteiden arvioimiseksi.
- Taulukko 27 Veden ravinnesuhteiden yhteydet ja minimiravinne.
- Taulukko 28 Minimiravinteiden arviointi vuosien 2015–2018 avovesikauden vesinäytetietojen perusteella havaintopaikalla 003.
- Taulukko 29 Nykyinen kokonaisfosforin arvioitu vuosittainen ulkoinen kuormitus Kuonanjärveen.
- Taulukko 30 Kuonanjärven nykyinen kokonaisfosforitase.
- Taulukko 31 Yhteenveto Kuonanjärven fosforimallitarkastelusta.
- Taulukko 32 Kokonaistypen vuosittainen kuormitus Kuonanjärveen.
- Taulukko 33 Kuonanjärven nykyinen kokonaistyyppitase.
- Taulukko 34 Kuonanjärven vedenlaadun fysikaalis-kemiallisia muuttujia kevättalven 2018 tutkimustulosten perusteella.

- Taulukko 35 Kuonanjärven kevättalven 2018 vedenlaadun tutkimustulokset mineraaliravinteiden osalta.
- Taulukko 36 Kuonanjärven havaintopaikkojen 1 - 12, 003 ja 1a pohjasedimentin ulkonäkö kevättalvella 2018.
- Taulukko 37 Ruskean ja vesipitoisen sedimentin määrä hopeanharmaan saven päällä havaintopaikoittain kevättalvella 2018.
- Taulukko 38 Laboratorioanalyysien tutkimustulosten keskiarvot havaintopaikkojen 003 ja 12 pohjasedimenttinäytteistä Kuonanjärvellä
- Taulukko 39 Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet (E_n) Kuonanjärvellä kevättalvella 2018.
- Taulukko 40 Pohjaeläimistö havaintopaikoittain Kuonanjärvellä kevättalvella 2018.
- Taulukko 41 Shannon-Wiener-indeksit havaintopaikoittain Kuonanjärvellä kevättalvella 2018.
- Taulukko 42 Laboratoriotutkimusten perusteella määritettyjä sedimentin ominaisuustietoja.
- Taulukko 43 Pohjasedimentin ja vesimassan sisältämät ravinnemäärät karkeasti arvioituna.
- Taulukko 44 Hoitokalastuksessa poistetun ravinnekilon hinta kalan tuoton perusteella.
- Taulukko 45 Hoitokalastuksessa poistetun ravinteiden kilohintaiset kustannukset kalan myyntihinta ja 50 % tuki huomioituna.
- Taulukko 46 Hapettimien teknisiä tietoja.
- Taulukko 47 Vuosikustannusten perusteella määritetty kokonaisfosforikilon pidättämisen hinta.
- Taulukko 48 Imuruoppauksessa poistetun ravinteiden kilohinta Lassinaron korotetulla hinnalla 3 €/m³.
- Taulukko 49 Imuruoppauksessa poistetun ravinteiden kilohinta ruoppauskustannuksella 2 €/m³.
- Taulukko 50 Kosteikon rakennuskustannuksia taulukoituna.
- Taulukko 51 Maansiirtotöiden kustannukset kosteikkaa rakennettaessa.
- Taulukko 52 Kosteikon rakentamiseen vaadittavia tarvikkeita hintatietoineen.
- Taulukko 53 Kosteikon pidättämisen ravinnekilon kustannukset tuella ja ilman tukea laskettuna.
- Taulukko 54 Kunnostusmenetelmäkohtaiset kustannukset tuettomissa kunnostusmenetelmissä.
- Taulukko 55 Kunnostusmenetelmäkohtaiset kustannukset tuetuissa kunnostusmenetelmissä.
- Taulukko 56 Ravinteiden poiston arvioitu menetelmäkohtainen enimmäismäärä.
- Taulukko 57 Pohjasedimentin ominaisuuksia laboratoriotutkimusten perusteella Puruveden Ristilahdelta.
- Taulukko 58 Pohjasedimentin ominaisuuksia laboratoriotutkimusten perusteella Puruveden Savonlahdella.
- Taulukko 59 Laboratorioissa määritettyjä pohjasedimentin ominaisuuksia Puruveden Ristilahdelta (Tossavainen 2016a, 41).
- Taulukko 60 Laboratorioissa määritettyjä pohjasedimentin ominaisuuksia Puruveden Savonlahdelta (Rautio 2017, 71).
- Taulukko 61 Puruveden Ristilahden pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet havaintopaikoittain kevättalvella 2015 (Tossavainen 2016a, 32).

Taulukko 62 Puruveden Savonlahden pintasedimentin hapetus-
pelkistysasteet havaintopaikoittain kevättalvella 2017 (Rautio
2017, 63).

Kaavat

- Kaava 1 Ulkoisena kuormituksena saapuvan kokonaisfosforikuorman las-
kukaava.
- Kaava 2 Lappalaisen fosforimallin mukaan määritetty nettosedimentaatio.
Kaava 3 Lappalaisen fosforimalliin perustuva järven kokonaisfosforin sie-
tokyvyn laskukaava.
- Kaava 4 Suurin sallittu kokonaisfosforikuorma järven sietokykyä ylittä-
mättä.
- Kaava 5 Vaarallinen fosforikuorma järvelle.
- Kaava 6 Regressioyhtälö hoitokalastuksessa poistettavan saalismäärän
arvioimiseksi.
- Kaava 7 Kokonaisfosforin suhteellinen pidätysosuus vuosikuormasta.
Kaava 8 Kokonaistypen suhteellinen osuus kosteikkoon tulevasta vuosi-
kuormasta.
- Kaava 9 Shannonin entropian laskukaava.

Liitteet

- Liite 1 Kuonanjärven järvikortti.
Liite 2 Kuonanjärven pohjasedimentin laboratoriotutkimusten testausse-
lostetuloksineen. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistyksen ry:n
laboratorio, Tampere.

1 Johdanto

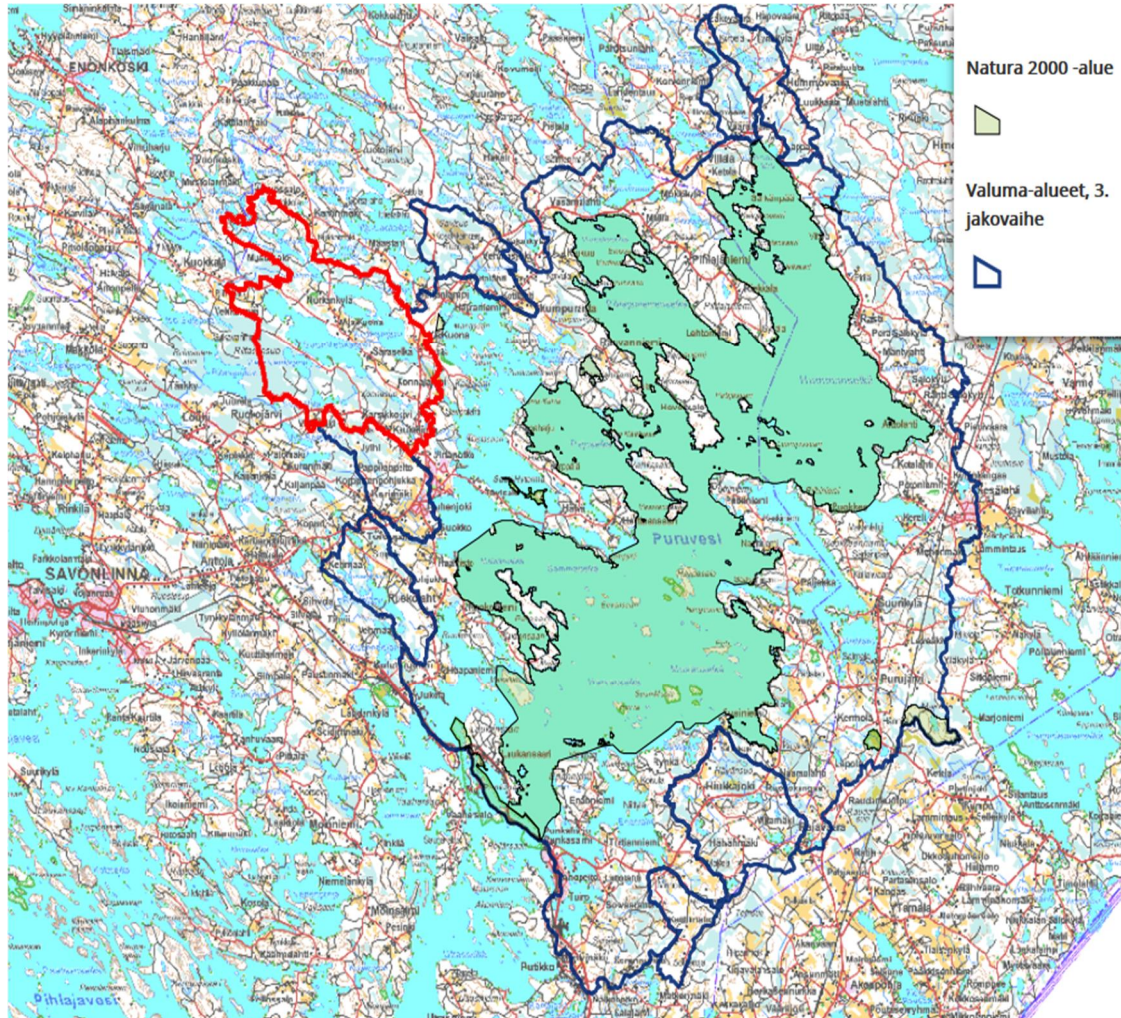
1.1 Tutkimuksen taustaa

Kuonanjärvi on kivinen, matala ja humuspitoinen järvi, joka on osa Vuoksen vesistöaluetta. Kuonanjärven lisäksi Kuonanjoen valuma-alueeseen kuuluu Pieni ja Suuri Vehkajärvi sekä lukuisia lampia. Kuonanjoen valuma-alueella sijaitsevia Pientä ja Suurta Vehkajärveä ovat vuosien saatossa kuormittaneet erityisesti Riitasensuolla sijaitsevat ojitetut suoalueet, joilta vesi laskee molempien Vehkajärvien kautta Kuonanjärveen. Parin kilometrin pituista Kuonanjokea pitkin laajan valuma-alueen vedet laskevat Kuonanjärvestä pahoin liettyneeseen Puruveden Savonlahteen (Rautio 2017, Tossavainen 2017).

Puruvesi luokitellaan vedenlaatunsa puolesta erittäin karuksi, nuottaruohotyypiseksi järveksi. Vedenlaatua on Puruvedellä ja sen valuma-alueella seurattu jo 1960-luvulta lähtien, joten tuoreille mittaustuloksille on olemassa hyvät vertailukelpoiset arvot. Puruveden selkävedet ovat erinomaisessa kunnossa, ja niiden tilanne on pitkän ajan seurannan tuloksena pysynyt vakaana. Puruvesi on tunnettu erittäin kirkkaasta vedestään, sillä paikoin näkösyvyys on jopa 10 metriä. Puruveden lahtivesien tila on päässyt paikoin huonontumaan 2000-luvun aikana, mikä on ilmennyt esimerkiksi näkösyvyysmittauksissa, rehevöitymisinä ja pohjalietteen kertymisinä ranta-alueille. Valuma-alueelta tuleva ulkoinen kuormitus on ollut kasvussa 2000-luvun ajan. Ravinne- ja humuspitoisuudet ovat Puruveden selkävesillä pääosin alhaisia. (Ollikainen 2013, 5.)

Puruvesi ry:n aloitteesta neuvottelut johtivat Puruveden vesiensuojelun yleissuunnitelman laatimiseen, joka on valmistunut Metsäkeskuksen tekemänä vuonna 2013. Yleissuunnitelmahankkeella ja sitä seuraavilla toimenpiteillä on tavoitteena edistää erityisesti Puruveden lahtivesien vedenlaatua. Suunnitelman päätavoite on valuma-alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen, riskialueiden, sekä vesiensuojelurakenteiden ja niiden sijainnin kartoittaminen. Hankkeeseen ja sen

rahoittamiseen osallistuu Pro Puruvesi ry, Savonlinnan kaupunki, Kiteen kaupunki, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan ELY-keskukset ja Suomen metsäkeskuksen vastaavat alueyksiköt. (Ollikainen 2013, 5.)



Kuva 1. Puruveden vesistöalue osavaluma-alueineen. Kuonanjoen osavaluma-alue on rajattu punaisella (Pro Puruvesi 2018c).

1.2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Pro Puruvesi ry, jonka puheenjohtajana toimii eversti evp. Reijo Jantunen. Yhdistyksen perustamisajankohta on 15.7.2010. Pro Puruvesi ry:n tavoitteena on edistää Puruveden vesistöalueen puhtautta ja hyvinvointia sekä tiedottaa ajankohtaisia uutisia Puruveden tilasta. Toteuttaakseen tarkoitustaan yhdistys osallistuu julkiseen keskusteluun tarpeellisten toimenpiteiden

ja aloitteiden osalta sekä järjestää aihepiirin mukaisia keskustelu- ja esitelmätilaisuuksia. Yhdistyksen jäsenistö koostuu pääosin Puruveden alueella asuvista paikallisista ihmisistä, kesäasukkaista, yrityksistä ja yhteisöistä. (Pro Puruvesi 2018a). Yhdistyksen jäsenmäärä oli vuoden 2018 lopussa 1 463 (Pro Puruvesi 2019).

2 Tietoperusta

2.1 Keskeiset käsitteet

Biomanipulaatio tarkoittaa ravintoverkon eri tekijöiden tasapainottamista poistamalla liian suurta eläinplanktonia syövää kalastoa (Eloranta 2005, 25). Petokalakantoja voi vahvistaa istutuksilla (Niinimäki & Penttinen 2014, 76).

Freshabit LIFE IP -hanke on Metsähallituksen Luontopalveluiden koordinoima vesistöhanke. Hanke toteutuu aikavälillä 1.1.2016–30.9.2022, ja sen pääasiallinen rahoitus tulee EU:n LIFE-rahastosta. Puruvesi on yksi hankkeen seitsemästä kohdealueesta. Hankkeen pääasiallinen tavoite on edistää Natura 2000 -vesistöalueiden hyvinvointia ja monimuotoisuutta vesiensuojeluteknisten rakenteiden avulla. Metsäkeskus osallistuu valuma-alueella toteutettavien toimien suunnitteluun ja metsätalouden vesistökuormituksen mallintamistyökalujen kehittämiseen (Metsäkeskus 2018). Tavoitteita ovat myös vesistöihin liittyvän kulttuuriperinnön säilyttäminen, eri sektorien kanssa yhteistyössä toimiminen ja maa- ja metsätalouden toiminnan kehittäminen (Metsähallitus 2018). Perushankkeen 20 miljoonan euron budjetista Puruveden alueelle on suunnattu 2 miljoonaa euroa (Pro Puruvesi 2018b).

Kunnostusmenetelmät ovat rakenteita ja toimia, joilla pyritään vähentämään järven ulkoista tai sisäistä kuormitusta. Valuma-alueen vesiensuojelurakenteilla voidaan vähentää vesistöön kulkeutuvaa ravinteiden määrää. Peltoviljelyn vesistökuormitusta voidaan vähentää suojavyöhykkeillä, säätösalojituksella ja loiven-

tamalla ojaluiskia. (Mattila 2005, 145.) Valuma-alueelle voidaan tehdä ojiin virtaamaa hidastavia patorakenteita, lietetaskuja ja kaivukatkoja. Isompia valuma-alueen rakenteita ovat kosteikot, pintavalutuskentät ja saostusaltaat. (Joensuu, Kauppila, Linden & Tenhola 13–18.) Valuma-alueen rakenteilla pyritään vähentämään haja-asutuksen sekä maa- ja metsätalouden hajakuormitusta.

Sisäisen kuormituksen määrää voidaan pienentää parantamalla pohjan happiolo-suhteita. Sisäistä kuormitusta voidaan vähentää esimerkiksi ruovikon niitolla, bio-manipulaatiolla, hapettamalla ja ruoppauksella.

Pohjasedimentin resuspensio tarkoittaa mekaanisen ärsykkeen, kuten tuulen, jään tai kalojen, aiheuttamaa pohjasedimentin pinnan rikkoontumista. Pinnan rikkoontuessa sedimentistä palautuu ravinteita takaisin hiukkasiksi järven vesimassaan. Sedimentin resuspensio pitää osaltaan yllä järven sisäistä kuormitusta, kun siihen pidättyneet ravinteet vapautuvat uudelleen vesimassaan kasvillisuuden ja levien hyödynnettäväksi. (Saarijärvi & Sammalkorpi 2005, 70.)

Sedimentti on järven pohjaan laskeutuneen orgaanisen ja epäorgaanisen aineen kerrostumaa. Se sisältää myös ravinteita, kuten fosforia ja typpeä. Sedimentissä voi olla myös ympäristömyrkyjä ja raskasmetalleja riippuen valuma-alueen maankäytöstä. Hapekkaan sedimentin väri on harmaa ja hapettoman musta (Penttinen & Niinimäki 2010, 96). Karun järven vuotuinen sedimentaatio on noin 0,1 mm/a ja rehevän järven 5 mm/a (Särkkä 1996, 127).

Sisäinen kuormitus aiheutuu alun perin järven sietokyvyn ylittäneestä tai edelleen ylittävästä ulkoisesta ravinnekuormituksesta. Kun järven vesikasvit kuolevat syksyllä, niiden kasvusto hajoaa veteen ja siitä vapautuu ravinteita. Humusosa painuu pohjaan sedimentiksi (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 12).

Reheville järville tyypilliset sinileväkasvustot saattavat kohottaa vesimassan pH:ta haitalliselle tasolle (Oravainen 1999, 12). Sisäiselle kuormitukselle on tyypillistä myös alusveden vähähappisuus tai hapettomuus, joka aiheuttaa anaerobi-

sen toiminnan myötä ravinteiden, kaasujen ja metallien vapautumista veteen. Sedimentistä vapautuvat metaanikaasukuplat nostavat myös sedimentin pintahiukasia mukanaan päällysveteen (Sassi & Keto 2005, 12).

Ulkoisen kuormitus on järven valuma-alueelta tulevaa ravinnekuormitusta. Ulkoiseen kuormitukseen vaikuttaa luontainen huuhtouma ja ihmistoiminta, kuten maankäyttö (Eloranta 2005, 23–24). Ihmistoiminnan aiheuttama ulkoinen kuormitus on yleensä peräisin loma- ja haja-asutuksesta, turvetuotannosta sekä maa- ja metsätaloudesta (Mattila 2005, 139–141). Sadannan mukana järveen tulee 4–26 kg/km²/a fosforia ja 188–1042 kg/km²/a typpeä (Mattila 2005, 140). Ulkoista kuormitusta aiheuttaa myös kalanviljely (Ympäristökeskus 2019).

Vesistöjen kunnostusmenetelmät ovat rakenteita ja toimia, joilla pyritään vähentämään järven ulkoista tai sisäistä kuormitusta. Valuma-alueen vesiensuojelurakenteilla voidaan vähentää vesistöön kulkeutuvaa ravinteiden määrää. Pelto- ja metsäviljelyn vesistökuormitusta voidaan vähentää suojavyöhykkeillä, sääätösaloitoksella ja loiventamalla ojaluiskia (Mattila 2005, 145).

2.2 Tutkimusalueen kuvaus

2.2.1 Kuonanjärven ja lähivaluma-alueen kuvaus

Tutkimusalue sijaitsee Savonlinnan kaupungin Kerimäen alueella. Kuonanjärvi on matala, kivikkoinen ja humuspitoinen järvi, joka kuuluu Vuoksen vesistöalueeseen. Järven vesipinta-ala on noin 5,77 km², keskisyvyys 1,56 m ja suurin syvyys 5,75 m. Kuonanjärven vesitilavuus on Ympäristötietojärjestelmä Hertan järvikortin tietojen (liite 1) perusteella laskettuna 9 001 013 m³. Kuonanjärven lähivaluma-alueen ala on noin 8,26 km² ja vesistöalueen ala lähes 70 km². Lähivaluma-alueen maankäyttö on pääasiassa metsätalousmaata. Kuonanjärvessä on useita saaria, joista Kokkosaari on suurin. Peltojen osuus lähivaluma-alueesta on pieni, noin 0,5 km². Lähivaluma-alueelta laskee järveen lukuisia pienehköjä metsäoimia, erityisesti järven etelä- ja lounaispuolella Kyllönahonniityn ja Saraselän välillä.

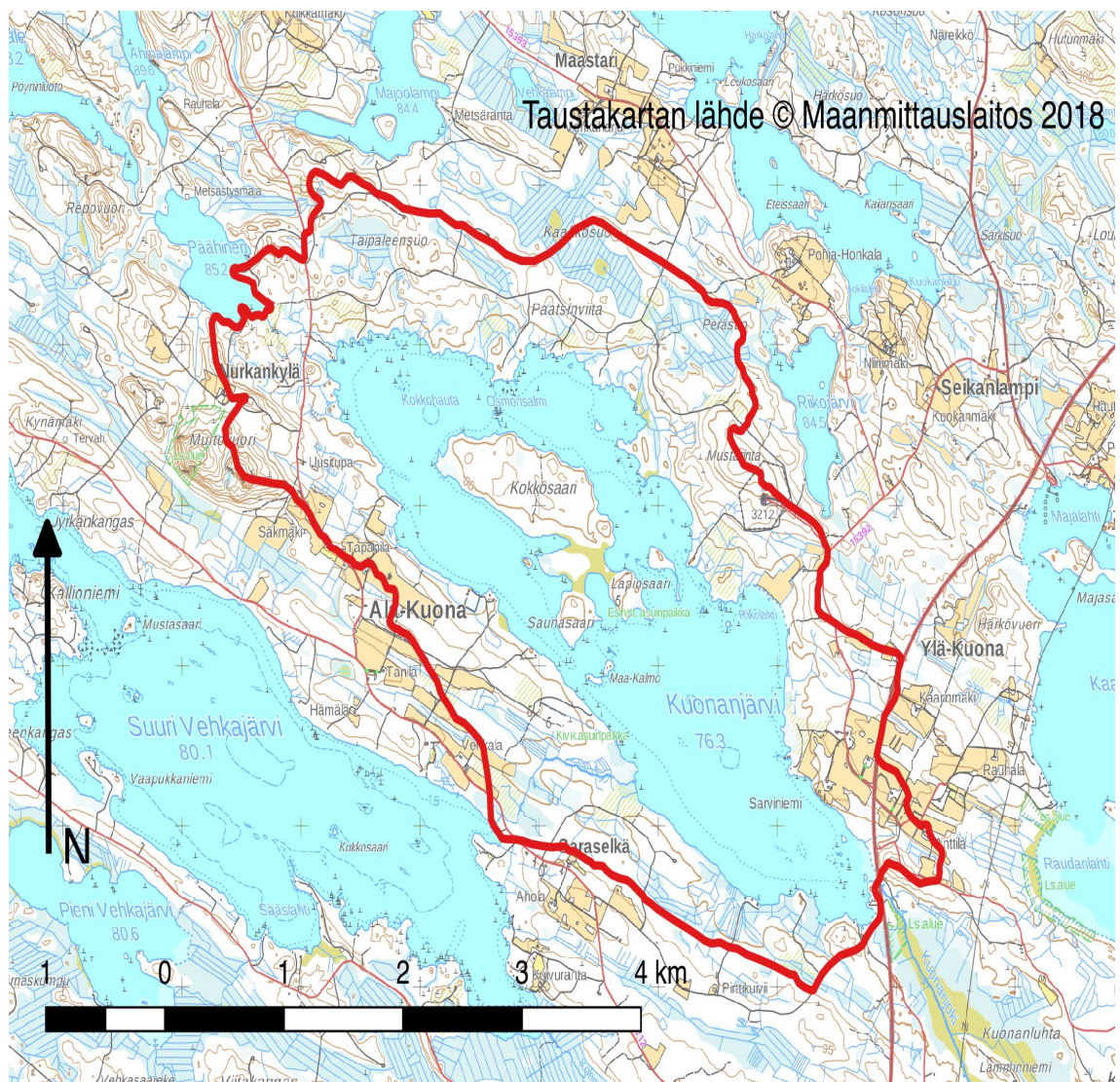
Taulukossa 1 on esitetty vesistö- ja valuma-alue tietoja Kuonanjoen ja -järven vesistöalueelta. Kuonanjärven ominaisuuksia on poimittu järvikortista ja laskettu sieltä saatujen tietojen perusteella (liite 1). Kaukovaluma-alueet on laskettu Suomen ympäristökeskuksen hallinnoiman valuma-alueen rajaustyökalun (VALUE) avulla. Lähivaluma-alueet on määritetty itse käsin.

Taulukko 1. Vesistö- ja valuma-alue tietoja Kuonanjoen ja -järven vesistöalueelta.

| Alue/ominaisuus | Arvo | Laskentaperusteet ja huomiot |
|--|-----------------------------|--|
| Kuonanjoen vesistöalue | 72,5 km ² | Kuonanjoen valuma-alueen järvisyys (L) 19,4 % (14,89 km ²) |
| Kuonanjoen valuma-alue | 57,5 km ² | Lähivaluma-alueen ala 3,23 km ² |
| Kuonanjärven vesistö-alue | 69,2 km ² | 72,45 km ² - 3,23 km ² = 69,22 km ² |
| Kuonanjärven valuma-alue | 54,3 km ² | 46,08 km ² + 8,256 km ² = 54,336 km ² |
| Kuonanjärven lähivaluma-alue | 8,3 km ² | |
| Kuonanjärven kaukovaluma-alue | 46,1 km ² | 36,13 km ² + 9,95 km ² |
| Suuren Vehkajärven kaukovaluma-alue | 36,1 km ² | Määritetty VALUE-rajaustyökalun avulla |
| Päähisen (Tenhunjoen) kaukovaluma-alue | 10 km ² | Määritetty VALUE-rajaustyökalun avulla |
| Kuonanjärven vesiala | 5,77 km ² | |
| Kuonanjärven tilavuus (V) | 9,0010 milj. m ³ | |
| Kuonanjärven keski-syvyys | 1,56 m | |
| Kuonanjärven suurin syvyys | 5,75 m | |
| Kuonanjärven tuleva (≈ lähtevä) keskivirtaama (MQ) | 527 l/s | MQ = A _{valuma-alue} x M _{qSuomi 2000–2011} = 9,7 l/s km ² (Linjama 2013) |
| Kuonanjärven viipymä (T) | 6,5 kk | T = V/MQ |

Taulukko 2. Kuonanjärven vesitilavuuskohtaiset osuudet syvyysvyöhykkeittäin (Suomen Ympäristökeskus 2018).

| Syvyysvyöhyke (m) | Vyöhykkeen pinta-ala (ha) | Tilavuus (10 ³ m ³) | Osuus kokonais-tilavuudesta (%) |
|-------------------|---------------------------|--|---------------------------------|
| 0 - 1 | 577,46 | 5014,43 | 55,75 |
| 1 - 2 | 445,73 | 3329,756 | 37,02 |
| 2 - 3 | 164,41 | 632,0781 | 7,03 |
| 3 - 4 | 3,58 | 14,72527 | 0,16 |
| 4 - 5 | 0,59 | 3,279864 | 0,04 |
| 5 - 5,7 | 0,15 | 0,520766 | 0 (0,006) |



Kuva 2. Kuonanjärven lähivaluma-alue.



Kuva 3. Kuonanjoen vesistöalue. Kuonanjärven kaakkoispäästä lähtee Kuonanjoki, joka laskee Savonlahteen.

2.2.2 Kuonanjärven kaukovaluma-alueen kuvaus

Kuonanjärven vesistöalue on Puruveden 3. jakovaiheen alueista suurin, lähes 70 km². Valuma-alueen pinta-alasta noin neljäsosa on vesialuetta. Alueella sijaitsevat suuret järvet, kuten Suuri Vehkajärvi ja Kuonanjärvi, on luokiteltu tyypiltään reheviksi ja vedenlaadultaan tyydyttäväiksi. Valuma-alueen ollessa suurin Puruveden kohdistuva kokonaiskuormitus on samalla myöskin korkein. Kuonanjärven valuma-alueelta tuleva keskimääräinen kuormitus pinta-alayksikköä kohti on korkeimpia johtuen valuma-alueen ominaisuuksista. Puruveden Savonlahti on Kuonanjärven valuma-alueelta tulevan kuormituksen purkupiste, minkä johdosta se on pahasti rehevöitynyt ja pohjalietettä on kertynyt sinne runsaasti (Rautio 2017,

Tossavainen 2017). Valuma-alueen pellot ovat keskittyneet pääosin Kuonanjärven lähivaluma-alueelle, ja niiden osuus on 6,2 % koko alueen maapinta-alasta. Turvemaiden suuri osuus on alueelle tyypillistä, sillä niitä on 29 % metsämaan pinta-alasta. Valtaosa turvemaista on ojitettu. Ojitusala on noin 1 200 ha, joka kattaa neljänneksen metsämaan alasta. Ojitusalueet sijaitsevat Kuonanjärven valuma-alueen etelä- ja itäosissa siten, että alueiden vedet kulkevat Ison Vehkajärven ja Kuonanjärven kautta Puruveden Savonlahteen. (Ollikainen 2013, 26.) Kuonanjärveen luoteesta laskevan Tenhunjoen valuma-alue on pääosin metsämaata.



Kuva 4. Tyypillinen metsäoja Riitasensuon ojitetuilla turvemailla Vehkajoen osavaluma-alueella (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).

Kuonanjärvestä vesi laskee noin pari kilometriä pitkää, aikanaan uittoväyläksi perattua Kuonanjoen uomaan pitkin Puruveden Savonlahteen, joka on pahoin liettynt ulkoisen kuormituksen vaikutuksesta. Merkittävin kuormitusvaikutus Savonlahteen tulee Kuonanjoen valuma-alueen kautta (Rautio 2017, 83).

Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkunan mukaan Kuonanjärven valuma-alueella on muinaisjäännöksiä tai kulttuuriperintökohteita (kuva 5). Muinaismuistolain (295/1963) mukaan

Kiinteät muinaisjäännökset ovat rauhoitettuja muistoina Suomen aikaisemmasta asutuksesta ja historiasta.

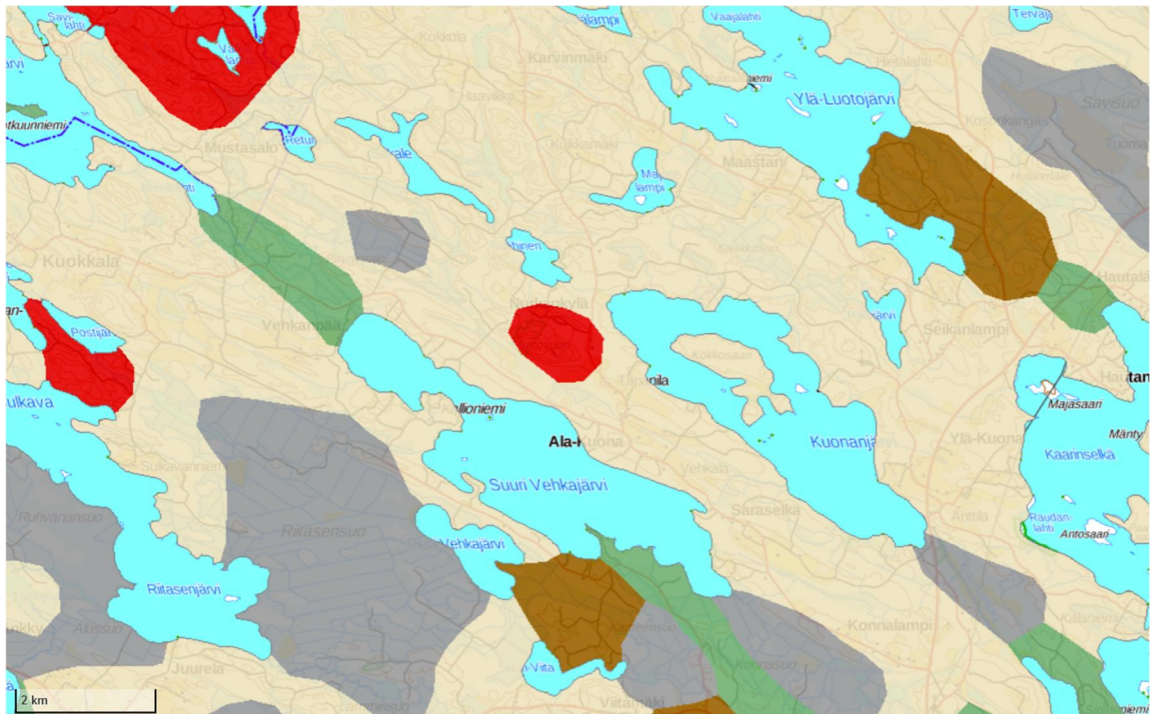
Ilman tämän lain nojalla annettua lupaa on kiinteän muinaisjäännökseen kaivaminen, peittäminen, muuttaminen, vahingoittaminen, poistaminen ja muu siihen kajoaminen kielletty.

Pienen ja Suuren Vehkajärven valuma-alueella sijaitsevalla Riitasensuolla on ollut sotavankileiri, jonka vankeja käytettiin työvoimana polttoturpeen tuotannossa. Riitasensuo on osittain yksityisten maanomistajien maata ja suurimmaksi osaksi UPM-Kymmene omistuksessa. Riitasensuota on viimeksi ojitettu 2000-luvulla ja sinne on jätetty luonnontilaan noin 300 ha:n alue. Noin 400 ha:n alueesta oli kunnostusojitettu vuonna 2007 reilu neljännes. (Puruvesi 2007, 5.)

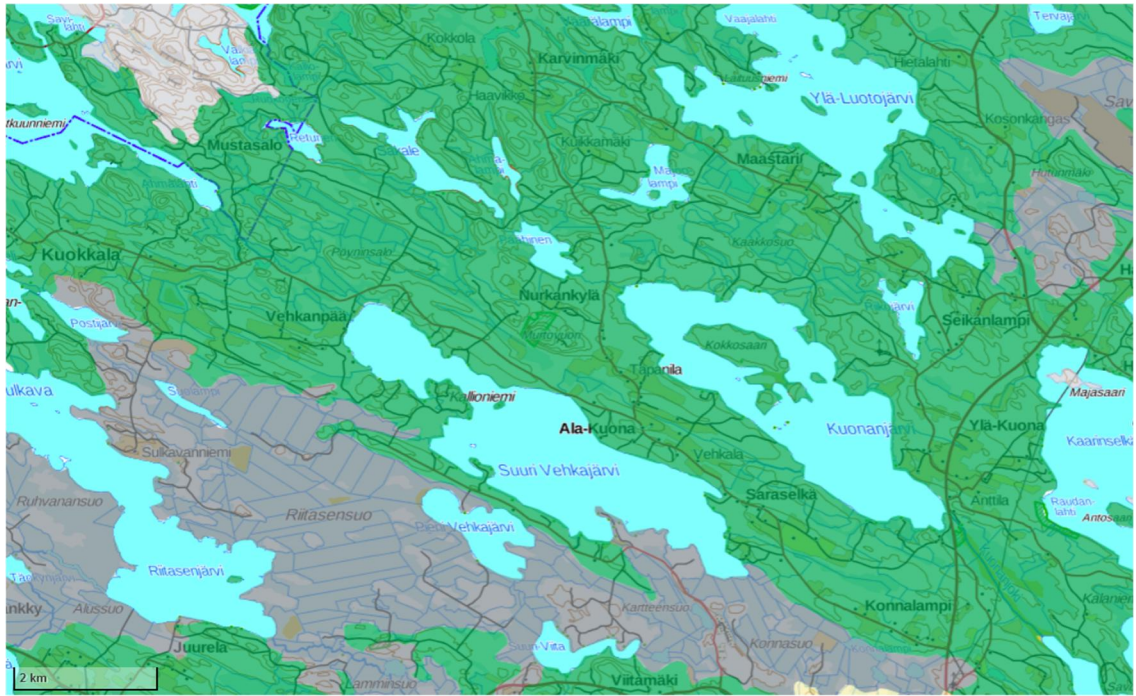


Kuva 5. Kuonanjärven alueella sijaitsevat muinaisjäännökset ja muut kulttuuriperintökohteet (Maanmittauslaitos 14.10.2018).

Kuonanjärven valuma-alueen maaperä on pääosin hiekkamoreenia. Kuonanjärven ja Suuren Vehkajärven välisellä harjulla on myös kallioperän paljastumia. Pienen- ja Suuren Vehkajärven lähivaluma-alueella on myös turvekerrostuma ja kumpumoreenia (kuva 6). Kuonanjärven valuma-alueella yksityisomistuksessa olevilla mailla on suojelualueita (kuva 8). Kuonanjärven valuma-alueella ei ole Natura 2000 -suojelualueita.



Kuva 6. Kuonanjärven alueen maaperä, selitteet: ■ Prekvartäärinen kallioperän paljastumia, ■ Sora ja hiekkamoreeni, ■ Kumpumoreeni, ■ Harju delta sanduri, lajittunut reunamuodostelma, ■ Turvekerrostuma, (Maanmittauslaitos Paikkatietoikkuna 14.10.2018).



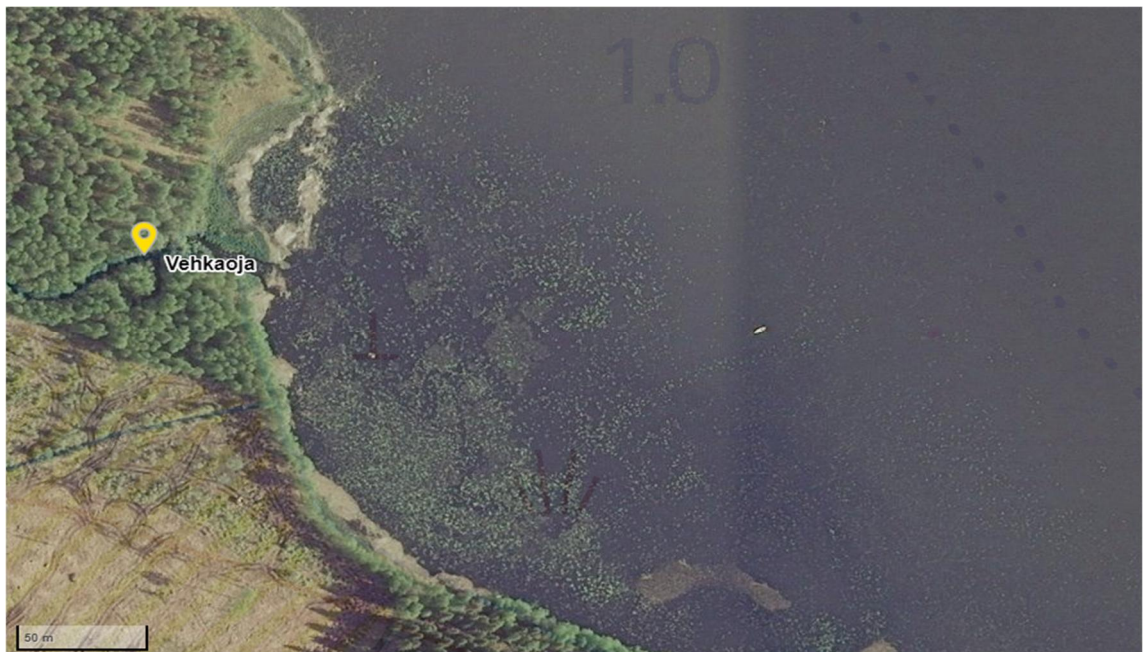
Kuva 7. Kuonanjärven alueen maannostyytit kartalla. Selitteet: ■ Podsol, ■ Gleysol, ■ Leptosol (Maanmittauslaitos Paikkatietoikkuna 27.12.2018).



Kuva 8. Kuonanjärven alueella yksityisten mailla olevat suojelualueet (Maanmittauslaitos 14.10.2018).



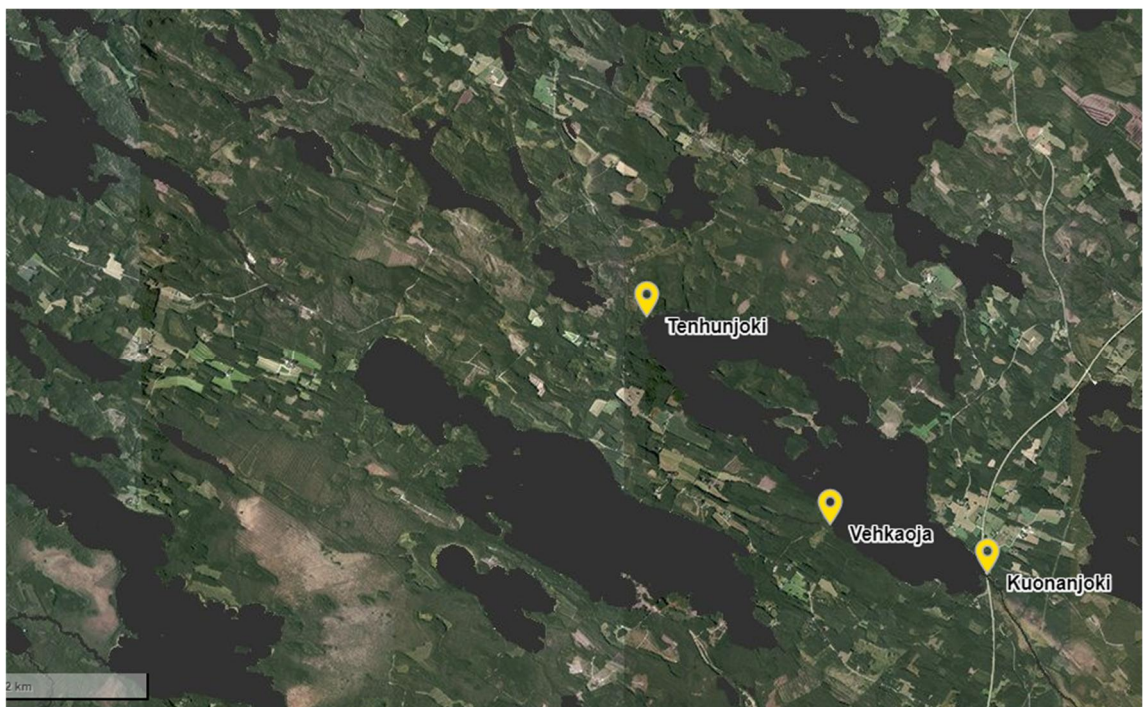
Kuva 9. Kuonanjärven luusua (havaintopaikka 030) ilmakuvassa (Maanmittauslaitos 27.12.2018).



Kuva 10. Vehkaojan lasku-uoman edustan alue Kuonanjärvellä (Maanmittauslaitos 27.12.2018).



Kuva 11. Tenhunlahti Kuonanjärvellä (Maanmittauslaitos 27.12.2018).



Kuva 12. Kuonanjärven alueen ilmakekuva (Maanmittauslaitos 27.12.2018).

2.2.3 Uhanalaiset lajit

Kuonanjärvellä ja Suurella Vehkajärvellä tehdyn luontoselvityksen ja niittosuunnitelman mukaan Kuonanjärven alueella on lummelampikorentoa (*Leucorrhinia caudalis*) Vehkaojan edustalla. Vesilintukartoituksessa ei havaittu kuikan (*Gavia arctica*) tai laulujoutsenen (*Cygnus cygnus*) pesintäpaikkoja suunnitellulla niittoalueella. Vesikasvillisuutta voidaan niittää Kuonanjärvellä suunnitelman mukaisesti viitasammakon lisääntymisen siitä häiriintymättä. Vehkaojan edustalta kaakkoon (kuva 13) havaittiin lummelampikorentoa. (Suonio 2013, 5–8.)



Kuva 13. Luontoselvityksessä todetut lummelampikorenon esiintymisalueet ja suunnitellut niittoalueet (Suonio 2013, 7).

Kuonanjärven ja Savonlahden alueella on tarkoitus toteuttaa hoitokalastus vuosina 2018–2020. Tällä hetkellä vaihtoehtoina on Savonlahden ja Kuonanjoen hoitokalastus rysällä tai paunetilla keväällä tai alkukesällä ja kalastus kohdistettaisiin kalojen kulkuyhdistelmille. Toisena vaihtoehtona olisi Ylä-Kuonan Hautaniemen syvänteen syysnuottaus, joka ei syksyllä 2018 toteutunut. Kolmantena vaihtoehtona on Savonlahden alapuolisen syvänteen syysnuottaus ja luotaus. Kuonanjärven hoitokalastus on tarkoitus toteuttaa syysnuottauksena tai rysäpyyntinä keväällä. Syksyllä 2019 on tarkoitus ottaa suunnitteluun mukaan vesialueen omistajat

järjestämällä tupailta. Hoitokalastus on tarkoitus kilpailuttaa syksyllä 2019. Aiempien hoitokalastusten saalis on mennyt pääosin Itä-Suomen minkkitarhoille, ja osa särjestä on purkitettu. Kaloille yritetään löytää keinoja käytettäväksi myös enemmän ihmisravinnoksi. (Soljakka & Kotanen 2018, 23.) Kuonanjärven alueelle on tehty metsien kunnostusohjelmassa (Ollikainen 2013, 26–35).

2.3 Vedenlaatu

Vesistön vedenlaatu riippuu vesistöön valuma-alueelta saapuvasta ulkoisesta kuormituksesta ja vesistössä itsessään tapahtuvasta sisäisestä kuormituksesta. Merkittävimmät vedenlaatuun vaikuttavat ravinteet ovat kokonaisfosfori ja -typpi. Kokonaisfosforipitoisuuden perusteella järven rehevyystaso on luokiteltu Wetzelin (2001) sekä Vollenweiderin ja Kerekesin (1982) mukaan (Environment Canada 2004). Kokonaistyyppipitoisuuden perusteella järven rehevyystaso on luokiteltu Forsbergin ja Rydingin (1980) määrittämien raja-arvojen perusteella (Busch & Sly 1992).

2.3.1 Fosfori

Fosfori on tärkeä veden rehevyyden arviointiin käytetty ravinnepitoisuus, jolla tarkoitetaan veden sisältämän fosforin eri muotojen kokonaismäärää. Parhaiten veden rehevyystasoa kuvaavat kesäaikana otetut näytteet. Fosforin kulkeutuminen veteen johtuu osittain luonnonhuuhtoumana fosforipitoisista kivistä rapautumalla ja ihmistoiminnasta. Fosfori on oleellinen järven perustuotantoa sekä rehevöitymistä säätelevä minimitekijä. Kesäaikaan kasviplankton saa ravinteiden kierron vilkastumaan, minkä johdosta fosforipitoisuuden ovat korkeammat (Oravainen 1999, 17–19).

Taulukko 3. Järven rehevyytason määrittäminen keskimääräisen kokonaisfosforipitoisuuden mukaan (Wetzel 2001; Vollenweider & Kerekes 1982).

| Järven rehevyytaso | Kokonaisfosforipitoisuus (µg/l) |
|------------------------------------|--|
| Ultraoligotrofinen (Erittäin karu) | < 5 |
| Oligotrofinen (Karu) | 5 - 15 |
| Mesotrofinen (Lievästi rehevä) | 15 - 50 |
| Eutrofinen (Rehevä) | 50 - 150 |
| Hypereutrofinen (Ylirehevä) | > 150 |

2.3.2 Typpi

Kokonaistyyppiä voidaan pitää fosforin ohella vesien rehevyyttä kuvaavana ravinteena. Myös typen osalta kesän aikana otetut näytteet kuvaavat parhaiten veden rehevyytasoja. Ravinnekuituksen vaikutus on suurimmillaan kesän ja syksyn pienten virtaamien aikaan. Niihin aikoihin ravinnepitoisuuksien laimentuminen on jokiuomassa vähäistä ja perustuotanto on voimakkaimmillaan. Kesäaikaan on vallalla typpivarastoja kuluttava tuotanto. Typen käyttö talvella on vähäisempää, jolloin pitoisuustaso on korkeampi. Typpipitoisuudet kasvavat siirryttäessä syvemmälle. Hapettomissa olosuhteissa ammoniumia vapautuu pohjalietteestä, mikä näkyy korkeampina kokonaistyyppipitoisuuksina hapettomilla syvänealuilla. (Oravainen 1999, 20.)

Taulukko 4. Järven rehevyytason määrittäminen keskimääräisen kokonaistyyppipitoisuuden perusteella Forsbergin & Rydingin (1980) mukaan (Busch & Sly 1992).

| Järven rehevyytaso | Kokonaistyyppipitoisuus (µg/l) |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Oligotrofinen (Karu) | < 400 |
| Mesotrofinen (Lievästi rehevä) | 400 - 600 |
| Eutrofinen (Rehevä) | 600 - 1 500 |
| Hypereutrofinen (Ylirehevä) | > 1 500 |

2.3.3 Fosfaattifosfori

Fosfaattifosfori ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) on vesi- ja rantamakrofyyteille sekä kasviplanktonille käyttökelpoisessa muodossa esiintyvän fosforin mineraalimuoto. Fosfori kiinnittyy maaperän hiukkasiin, ja sitä päätyy veteen eroosion mukana. Ihmistoiminnan yleisimpiä fosforin lähteitä ovat maatalous sekä teollisuuden ja asutuksen jätevedet. Fosfori voi vedessä sitoutua jo muutamassa minuutissa kasvillisuuden käyttöön tai päivässä pohjasedimenttiin, jolloin järven lisääntynyt fosforimäärä ei välttämättä ilmene välittömästi veden lisääntyneenä fosforipitoisuutena. (Särkkä 1996, 63–65.)

2.3.4 Ammoniumtyppi

Ammoniumtyppeä ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) tulee vesistöön lähinnä yhdyskuntien jätevesistä ja sitä on myös pelkistyneenä ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) hapettomissa alusvesissä. Korkean (yli 8.0) pH-arvon ja ammoniakkin yhteisvaikutuksesta voi ilmetä kalakuolemia. (Oravainen 1999, 20–21.) Ammoniumtyppi on vedessä nitraattityppeä myrkyllisempää, liikkuvampaa ja helpommin maa-ainekseen pidätyvää (Särkkä 1996, 67). Ammoniumtyppi voi pienentää vesistön happimäärää ja sen vaikutuksia voi vähentää hapettamalla jäteveden ammoniumtyppi nitraattitypeksi (Särkkä 1996, 126).

2.3.5 Nitraattityppi

Nitraattityppeä ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) esiintyy hapekkaissa olosuhteissa. Talvella kokonaistyyppien määrästä suurin osa voi olla nitraattityppeä. Kesällä vähenevän nitraattityypin määrä ilmentää levätuotantoa. Kun vedessä on runsaasti fosforia ja vähän nitraattityppeä, ovat olosuhteet ihanteelliset sinilevän esiintymiselle. (Oravainen 1999, 20.) Nitraattityppeä huuhtoutuu vesistöön yhdyskunnan ja maatalouden jätevesistä (Lahermo, Tarvainen, Hatakka, Backman, Juntunen, Kortelainen, Lakomaa, Nikkarinen, Vesterbacka, Väisänen, Suomela 2002, 31). Suomen järvien nitraattityypin keskipitoisuus on noin 92 $\mu\text{g/l}$ (Särkkä 1996, 127).

2.3.6 Näkösyvyys

Näkösyvyys ilmentää veden humuspitoisuutta, johon valuma-alueen maankäyttö vaikuttaa. Tyypillisesti suomalaisten järvien näkösyvyys on noin 1 - 4 metriä. Veden korkea humuspitoisuus ja savisameus vähentävät näkösyvyttä varsinkin silloin, jos järven valuma-alueella on merkittävästi peltoalaa. Myös metsälammet voivat olla humuspitoisia, jolloin näkösyvyys on noin 0,5 - 1 m. Myös runsas särkikalakanta heikentää näkösyvyttä penkoessaan pohjasedimenttiä ravintoa etsiessään. Voimakkaat tuulet voivat pienentää matalien järvien näkösyvyttä, kun pohjasedimenttiä sekoittuu vesimassaan. Tuottavan vesikerroksen paksuus on noin 2 kertaa näkösyvyys. Näkösyvyteen vaikuttaa myös runsas levätuotanto. (Tossavainen 2016b.)

2.3.7 a-klorofylli

Veden a-klorofyllin pitoisuus ilmentää leväkasvun määrää vesistössä. Leväpitoisuus vaikuttaa myös näkösyvyteen. (Mitikka 2013, 3–5.) Klorofyllin pitoisuus on verrannollinen järven rehevyystasoon. Pitoisuuden mittaus tulee ajoittaa heinä-elokuulle leväkasvun ollessa runsaimmillaan. (KVVY 2019.)

2.3.8 Mangaani

Mangaani on hankalasti hapettava raskasmetalli, jota vapautuu pohjasedimentistä hapettomissa oloissa. Tunnetuimpia haittoja kaivovesissä ovat mangaanin aiheuttamat värjäntymät sekä maku- ja hajuhaitat. Mangaani on myös neurotoksista, aiheuttaen hermostollisia häiriöitä pölynä hengitettynä ja suurina yli 100 µg/l pitoisuuksina juomavedessä. Mangaanipitoista vettä voi käyttää peseytymiseen, mutta sen käyttöä löylyvetenä tulisi vielä tutkia mahdollisten hengitysteiden kautta tulevien vaikutusten takia. (Komulainen 2014, 20–22.) Suomen kaivovesien mangaanipitoisuuden keskiarvo on rengaskaivoissa 59,1 µg/l ja porakaivoissa 106 µg/l (Lahermo ym. 44–45).

2.4 Ulkoinen kuormitus

Ulkoisen kuormituksen määrittämisessä on hyödynnetty muista tutkimuksista saatuja keskiarvoja ja Etelä-Savon ELY-keskuksen ottamia vedenlaadun seurantatietoja. Kuonanjärveen kohdistuva ilmalaskeuma on määritetty Suomen ympäristökeskuksen Lieksan Hietajärven mittausasemalta saatujen keskipitoisuuksien perusteella. Keskimääräinen mitattu ilmalaskeuma on vuosien 2004 ja 2013 välillä ollut 4,9 mg/m²/a kokonaisfosforia ja 330 mg/m²/a kokonaistyppeä (Vuoremaa 2015).

Kuonanjärvelle määritetyn lähivaluma-alueen pinta-ala on 8,3 km². Lähivaluma-alueen kuormituslaskennassa hyödynnetään Metsäntutkimuslaitoksen ja Suomen Ympäristökeskuksen määrittämiä ainevirtaaman määriä. Metsätalousmailta huuhtoutuu kokonaisfosforia keskimäärin 11 kg/km²/a ja kokonaistyppeä keskimäärin 190 kg/km²/a (Kortelainen, Finér, Mattsson, Ahtiainen, Sallantaus, Kubin & Saukkonen 2003, 20).

Lähivaluma-alueella ympärivuotisesti asuttuja taloja on peruskartan perusteella 26 ja loma-asuntoja 22. Ulkoisen kuormituksen määrittämisessä käytetään loma-asutuksen ravinnehuuhtoumamäärinä 0,18 kg/a/loma-asunto kokonaisfosforia ja 0,66 kg/a/loma-asunto kokonaistyppeä. Haja-asutuksen kuormitus määritetään siten, että alle 100 m:n päässä sijaitsevista kiinteistöistä kokonaisfosforia huuhtoutuu 0,64 kg/a/asukas ja kokonaistyppeä 2,4 kg/a/asukas. Vesistöstä 100–1000 m etäisyydellä sijaitsevista taloista kokonaisfosforia huuhtoutuu 0,37 kg/a/asukas ja kokonaistyppeä 1,72 kg/a/asukas. Yli kilometrin päässä olevista kiinteistöistä kokonaisfosforia huuhtoutuu vesistöön 0,10 kg/a/asukas ja kokonaistyppeä 1,03 kg/a/asukas. (Salonen, Frisk, Kärmeniemi, Niemi, Pitkänen, Silvo & Vuoristo 1992, 43.) Jokaiseen ympärivuotisesti asuttuun taloon on oletettu keskimäärin neljä asukasta.

2.5 Fosforimallitarkastelu

Fosforipitoisuus ja järven fosforikuormituksen sietokyky ovat yleensä merkittävimpiä tekijöitä järven rehevöitymisen kannalta. Rehevöitymisen ja sedimentaation ennustamiseen on kehitetty matemaattisia ratkaisumalleja helpottamaan niiden simulointia, esim. (Frisk 1978, 6–7).

Fosforimallitarkastelun avulla voidaan arvioida kohdevesistön kykyä sietää ulkoista kokonaisfosforikuormitusta. Tarkastelu soveltuu myös fosforipitoisuuden ennustamiseen vesistön kuormitustilanteen muutosten myötä. Laskujen perustana ovat Lappalaisen (1975, 1977) ja Friskin (1978, 1989, 1990) kehittämät fosforimallit. Niiden avulla fosforin pidättymiskerroin voidaan laskea vesistöön tulevan kuormituksen, virtaaman ja tilavuuden avulla (Frisk 1978, 39–42). Lappalaisen fosforimallin lisäksi Kuonanjärven fosforinsietokyky määritettiin myös yksinkertaisemmalla, Vollenweiderin ja Dillonin (1974, modifioinut Granberg 1980) fosforimallilla. Mallia käytetään vesistöön ulkoisesti tulevan fosforikuormituksen suuruuden arvioinnissa (Penttinen ja Niinimäki 2010, 185–189).

Kaava 1. Ulkoisena kuormituksena saapuvan kokonaisfosforikuorman laskukaava (Lappalainen 1977; Frisk 1989) Tossavaisen (2016c) mukaan.

$$C_I = I / MQ$$

jossa,

C_I = fosforin alkuperäinen eli sekoituspitoisuus

I = kuormitus (mg/s)

MQ = vuosikeskivaluma, $MQ_{2000-2011} = 9,7 \text{ l/s/km}^2$.

Kaava 2. Lappalaisen fosforimallin mukaan määritetty nettosedimentaatio (Frisk 1978, 103).

$$R = 0,9 \times [(C_I \times T) / (280 + C_I \times T)]$$

jossa,

R = kokonaisfosforin nettosedimentaatio

C_I = fosforin alkuperäinen pitoisuus ($C_I = I/MQ$)

V = vesistön tilavuus (m^3)

$Q = \text{virtaama (m}^3/\text{s)}$

$T = \text{järven viipymä kuukausina (} T = V/MQ \text{)}$.

Kaava 3. Lappalaisen fosforimalliin perustuva järven kokonaisfosforin sietokyvyn laskukaava Friskin (1979) kaavalla Granbergin tutkimuksen (2000, 6) mukaan.

$$I^* = 0,158 \times Q/T [c \times T - 280 + \sqrt{(78400 - 448 \times c \times T + c^2 \times T^2)}]$$

jossa,

$I^* = \text{järven fosforin sietokyky tonneina}$

$c = \text{suurin sallittu fosforin keskipitoisuus järven vedessä (mg/m}^3\text{)}$.

Vollenweiderin fosforimalli:

Kaava 4. Suurin sallittu kokonaisfosforikuorma järven sietokykyä ylittämättä (Penttinen & Niinimäki (2010, 185).

$$Y_a = 0,055 x^{0,635}$$

jossa,

$x = (q_s) = \text{hydraulinen pintakuormitus (m/a)} = MQ \text{ (m}^3/\text{a)} / A \text{ (m}^2\text{)}$. Yhtälössä järvelle asetettu kokonaisfosforin keskipitoisuus on 10 µg/l.

Kaava 5. Vaarallinen fosforikuorma järvelle (Vollenweider & Dillon 1975; Frisk 1980) Tossavaisen (2016c) mukaan.

$$Y_D = 0,174 x^{0,469}$$

jossa,

$x = (q_s) = \text{hydraulinen pintakuormitus (m/a)} = MQ \text{ (m}^3/\text{a)} / A \text{ (m}^2\text{)}$. Yhtälössä järvelle asetettu kokonaisfosforin keskipitoisuus on 20 µg/l.

2.6 Vesistöjen kunnostusmenetelmät

2.6.1 Alusveden poisto

Alusveden poistossa syvänteen alusvettä johdetaan painovoimaisesti tai pumpaamalla luusuaan tai lasku-uomaan. Vesi voidaan hyödyntää myös kasteluun tai johtaa pintavalutuskentän läpi alapuoliseen vesistöön. Menetelmä voi kuitenkin aiheuttaa alapuolisen vesistön pilaantumista. (Penttinen & Niinimäki 2010, 270.)

2.6.2 Biomanipulaatio

Hoitokalastuksessa järvestä poistetaan pienikokoista särkikalaa, lievästi rehevöityneissä järvissä voi riittää petokalakantojen vahvistaminen esim. istutuksin (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 52). Hoitokalastuksen tarkoituksena on vähentää eläinplanktonia syövien kalojen määrää. Tällöin tärkeimmät levänsyöjät eli isokoiset vesikirput ja hankajalkaisäyriäiset menestyvät paremmin, mikä heikentää vesistön levien kasvua. (Sammalkorpi & Horppila 2005, 173.)

Hoitokalastuksessa käytettävän verkon silmäkoon ja tavoitesaaliin määrän arviointia varten on hyvä tutkia kalastorakenne Nordic-koekalastusverkoilla. Hoitokalastuksen suunnittelun yhteydessä tulee suunnitella etukäteen myös saaliin siirtäminen ja hyödyntäminen (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 53).

Hoitokalastusta tulisi tehdä ensimmäisen kahden vuoden ajan tehokkaasti ja pitää kirjaa saaliin määrästä. Kirjanpidolla voidaan todeta saalistavoitteeseen pääseminen. Ellei nuorempia kalasukupolvien poisteta toisena tai kolmantena vuotena hoitokalastuksen aloittamisesta, sen vaikutukset voidaan menettää. Nuottauksessa sivusaaliina saadut kuhat voidaan vapauttaa takaisin järveen. Matalissa järvissä pienet särkikalat parveutuvat syksyisin rannoille, laskuojiin ja järven luusuaan, jolloin niitä ei voi pyytää nuottaamalla. Syksyisin ja keväisin hoitokalastusta voidaan toteuttaa rysillä ja pauneteilla. Särkikaloja voi pyytää rysillä myös niiden parveutuessa ojiin. (Sammalkorpi & Horppila 2005, 180–182.)

Petokalakantoja voidaan vahvistaa istutuksin ja parantamalla petokalojen lisääntymisolosuhteita. Petokalat syövät pienikokoista kalaa ja hoitavat täten vesistöä. Pienilläkin petokalaistutuksilla on hyötyä etenkin uuden lajin kotiutuessa järveen, sillä siten lisätään myös järven virkistyskäyttöarvoa. (Sammalkorpi & Horppila 2005, 183–184.) Osakaskunnat voivat tarvittaessa asettaa verkkojen silmäkokoihin ja kalojen kutuaikaiseen pyyntiin kohdistuvia rajoituksia.

2.6.3 Kosteikko

Kosteikkoja rakennetaan vesilinnuston elinolosuhteiden edistämiseksi sekä valuma-alueelta tulevan ravinnekuormituksen pidättämiseksi. Parhaimpien tutkimuskosteikkojen ravinteiden pidätyskyky on ollut 60–70 % kokonaisfosforikuormasta ja yli 30 % typpikuormasta. Kosteikoilla on myös riistataloudellista ja luonnon monimuotoisuutta edistävää vaikutusta. (Alhainen, Niemelä, Siekinen, Svensberg, Kuittinen, Nurmi, Väyrynen, Rautiainen, Väänänen, Nummi, Berndtson & Korkiakoski 2015, 8.) Kontiolahden Linnunsuon kosteikon on todettu nostavan veden pH:ta (Paloniitty & Pehkonen 2017, 78). Tukiehdot täyttävä kosteikko voi saada Maatalouden ei-tuotannollista investointitukea. Tuen suuruus on 11 669 €/ha hyväksynnän saaneista, toteutuneista kustannuksista. (Kotiseutu-kosteikko Life+ 2019.) Metsien ojitusten yhteydessä tehtäviin kosteikkoihin voi saada Kemera-tukea (Metsäkeskus 2019). Kosteikko vaatii vuosittaista seuranta- ja kasvillisuuden lisääntyessä vesikasvien niittoa. Tarvittaessa kosteikon syvännettä ja saostusaltaita voi ruopata pidätyskyvyn parantamiseksi.

Kosteikon perustamisen kustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti. Pohjois-Karjalan Riistakeskuksen Reijo Kotilaisen antamien tietojen mukaan kosteikon hintaan vaikuttaa monta eri tekijää alkaen kosteikon sijainnista, joten varsinaista keskimääräistä kosteikon vesipinta–alaan sidonnaista hehtaarihintaa kosteikolle ei ole olemassa. Jokaisen kosteikon hinta määrittyy varsin yksilöllisesti siihen kuuluvien työtehtävien laadun, toteuttamistavan ja työmenekin mukaan (taulukot 50–52). Kaivamalla tehty kosteikko on kalliimpi, kuin patoamalla tehty kosteikko. (Kotilainen, 2018). Metsäkeskuksen Ollikaisen (2019) mukaan kosteikon perustamiskustannukset ovat noin 10 000–12 000 €/ha.

2.6.4 Hapettaminen

Hapettamisen tarkoituksena on lisätä hapettoman tai vähähappisen alusveden happimäärää, jolloin pohjasedimentistä ei pääse vapautumaan ravinteita ja raskasmetalleja. Talvella vähähappisissa vesistöissä kalojen elintila pienenee. Ne eivät pysty elämään hapettomissa syvänteissä ja siksi ne siirtyvät matalille alueille hapekkaan veden perässä. Alusveden hapettomuus vaikuttaa myös pohjaeläinten määrään ja sitä kautta varsinkin särkikalajien ravintolanteeseen. Hapettaminen lisää myös tervettä hiilen kiertoa järvestä vähentämällä pohjasedimentin anaerobista toimintaa. (Sassi & Keto 2005, 12.)

Hapettaminen ei ole matalien järvien ensisijainen kunnostusmenetelmä, kun leväkukinnot ja tiheä särkikalakanta lisäävät ravinteiden vapautumista. Myös kalastorakenne vaikuttaa hapetuksen tarpeellisuuteen, sillä vähempiarvoisen kalaston happikuolemia ei kannata taloudellisen kannattavuuden vuoksi estää. (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 55.) Hapettimen siirtäessä leväkukintoja syvemmälle vesimassaan niiden kasvu lopulta pysähtyy. Hapettamalla pyritään muuttamaan haitallinen leväkasvusto vähemmän haitalliseksi leväkasvustoksi. (Lappalainen & Lakso 2005, 154.)

VTT:n tutkimusraportin mukaan matalaa järveä voidaan hapettaa kierrätyshapetuksella tai vaakakierrättämällä hapetettua vettä. Syviin järviin soveltuvat alusveden hapetus ja kierrätyshapetus. Hapetuskustannukset vaihtelevat 40–200 €/ha/a ja sähköasennusten hinta 2000–3000 €. (Sassi & Keto 2005, 3, 5, 81.) Kierrätyshapetuksessa hapekasta päällysvettä siirretään järven alusveteen (Sassi & Keto 2005, 11). Hapettimen voi huoltaa laitteen omistaja itse. Vaihtoehtoisesti laitteen myyjän kanssa voi tehdä ylläpitosopimuksen, jolloin myyjä vastaa laitteen toiminnasta. Hapetuksen voi hankkia myös urakointipalveluna. (Sassi & Keto 2005, 81.)

Uusia hapetinlaitteita on kehitelty Suomessa ja maailmalla. Norjassa on kehitetty aurinkokennolla ja vedyllä toimiva hapetin, jonka hapettava vaikutus perustuu sähköön johtamisesta elektrodeihin. Elektrolyysireaktio hajottaa vettä hapeksi ja vedyksi. Vety hyödynnetään polttoaineena laitteen polttokennoissa öisin. Laitetta aiotaan kokeilla rehevöityneen Biwa -järven syvänteellä Japanissa, johon ei 100

metrin syvyyden takia pystyttyä pumppaamaan hapetta perinteisillä menetelmillä. (Haarberg 2019, 11.)

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on suunniteltu kandidaatintyönä aurinkokennolla toimiva hapetinlautta, jonka laskennallinen hapetuskyky riittää melkein 1 000 000 m³ alusveden hapettamiseen. Verrattaessa lautan pumpun energiatehokkuutta Mixox MC-750 -hapettimen 1,1 kW:n pumppuun lautalle suunniteltu 12 kWh:n pumppu osoittautui laskelmissa energiatehokkaammaksi. (Smolander 2017, 32–34.) Pien-Saimaalla on käytössä aurinkokennoilla toimiva, Lappeenrannan Yliopistolla suunniteltu hapetin, joka pumppaa päällysvettä alusveteen. Lautta on 54 m² kokoinen ja nimellisteholtaan 5 kW:n aurinkopaneeleilla varustettu. Lautalla on automaattinen vedenlaadun seurantajärjestelmä. (Vento 2018.)

2.6.5 Pintahapetin

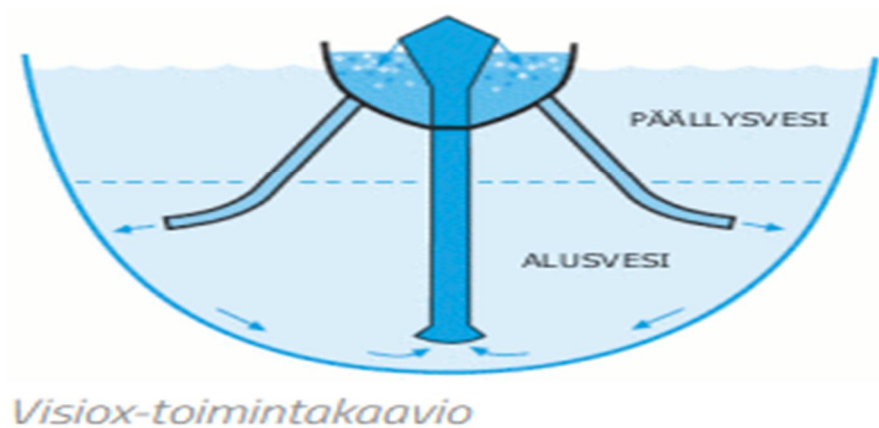
Pintahapettimen toiminta perustuu pyörivän potkurin imuvaikutukseen ja imuaukkojen kautta akselin läpi viuhkamaisesti työntyvään ilmaan (kuva 14). Pintahapetin hapettaa vain järven päällysvettä (Sassi & Keto 2005, 18). Hapetin siirtää imuputken avulla hapetettua ilmaa veteen. Menetelmä ei vaikuta veden kerrosteisuuteen (Sassi & Keto 2005, 18).



Kuva 14. Airit-pintahapetin (W-Rix Oy 2019).

2.6.6 Alusvettä päällysvedeen siirtävä hapetin

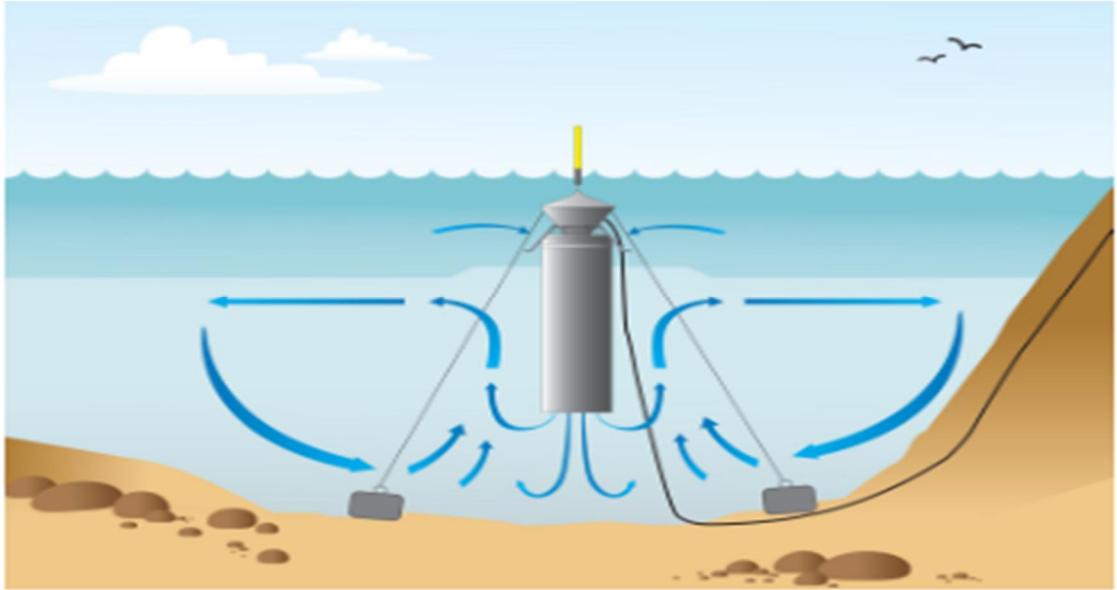
Menetelmällä imetään vettä alemmasta vesikerroksesta päällysvesikerrokseen, menetelmä ei riko veden kerrosteisuutta, mutta toimii sekoittajana (kuva 15). Vastaavanlainen menetelmä, suihkuilmastin, joka hapettaa veden suihkuttamalla sen ilmaan ja johtaen veden harppauskerrokseen säilyttäen veden kerrosteisuuden. (Sassi & Keto 2005, 20–21.) Visiox-hapetinlaite siirtää happea veteen 1 - 2 kg yhdellä kilowattitunnilla sähköä (Vesi-Eko 2019b).



Kuva 15. Visiox-hapettimen toimintaperiaate (Vesi-Eko Oy 2019b).

2.6.7 Päällysvettä alusveteen siirtävä hapetin

Alusveden kärsiessä vähähappisuudesta ja päällysveden happipitoisuuden riittäessä voidaan hapettamiseen käyttää päällysvettä alusveteen siirtävää hapetinta (kuva 16). Mixox-hapettimen hyötysuhde on hyvä, sillä sen hapensiirtokyky on noin 10 - 12 kg päivässä. Hapettimen huoltoväli on olosuhteista riippuen 1 - 4 vuotta. Menetelmällä on mahdollista pakottaa järvi täyskiertoon happikadon uhatessa. (Vesi-Eko Oy 2019.)



Kuva 16. Mixox-hapettimen toimintaperiaate (Vesi-Eko 2019a).

2.6.8 Pohjan pöyhintä

Pohjan pöyhinnällä pyritään vähentämään sedimentin anaerobista toimintaa ja sinileväkukintoja sekoittamalla pohjaan vajonneita sinileväsoluja syvemmälle sedimenttiin. Pohjan pöyhinnällä voidaan kiihdyttää sedimentin aerobista orgaanisen aineen hajotustoimintaa, jolloin anaerobinen happea kuluttava vaikutus vähenee. Hapellisissa olosuhteissa syystäyskierron aikaan tehdyssä pöyhinnässä pohjasedimentillä on runsaasti hapekasta vettä käytettävänä hapettumiseen. (Saarijärvi 2005, 327–330.) Sedimentin pöyhintä soveltuu parhaiten 2 - 10 m syviin ja pieniin, vesialtaan alle sadan hehtaarin järviin (Saarijärvi 2005, 331). Pohjan pöyhintää voi tehdä myös isommilla järvillä pöyhimällä osa-alueita.

2.6.9 Raivausnuotta

Perinteisesti raivausnuotalla puhdistetaan nuottauspaikkoja, mutta se soveltuu myös kunnostusmenetelmänä vesikasvillisuuden poistoon. Vesiruttoa (*Elodea canadensis*) poistettaessa kasvusto saattaa jopa lisääntyä kasvin versojen leviessä järveen. Raivausnuottaamalla saadaan kuitenkin poistettua kasvillisuuden biomassassaan sitoutuneita ravinteita. (Kääriäinen & Rajala 2010, 258.)

Vahvajuuristen vesikasvien, kuten ulpukan (*Nuphar lutea*) poistoon raivausnuotta ei sovellu, koska kasvillisuus nousee juurakosta uudestaan. Raivausnuotta soveltuu kuitenkin sammalten ja karvalehden (*Ceratophyllum demersum*) poistoon. (Pusa 2009, 12.) Alajärven Ojajärvelle tehdyn suunnitelman mukaan 100 metriä pitkällä ja 2 metriä korkealla nuotalla raivausnuottauksen kustannukset olisivat olleet nuottauksen ja traktorityön osalta 325–650 €/ha (Yli-Teevahainen 2018, 16).

Raivausnuottaa voi käyttää myös järven pohjan pöyhimiseen, mikäli pohjasedimentin määrä on vähäinen. Sedimentin pinnan rikkominen ilmastaa pohjasedimentin pintakerrosta, ja happiolosuhteiden kohentuessa fosfori pidättyy pohjasedimenttiin eikä vapaudu veteen.

2.6.10 Ruoppaus

Ruoppauksessa järvestä tai vesistöstä poistetaan mekaanisesti pohjasedimenttiä ja kasvillisuutta. Ruoppausmenetelmiä ovat kauha- ja imuruoppaus, joista kauharuoppauksessa tarvitaan ruopattavan massan kuljettamiseen esimerkiksi proomu. Imuruoppauksessa ruopattu massa siirretään putkistoa pitkin läjityspaikalle. (Riipi 1997, 11.) Ruoppausmassoille tarvitaan läjityspaikka, jossa liika vesi voi valua pois ruoppausmassoista ennen massan pois kuljettamista. (Riipi 1997, 15.)

Ruoppauksen aikaisia haittavaikutuksia on kohonnut liukoisen hapen kulutus ja veden tilapäinen samentuminen. Ruoppauksen aikana vesistöön voi liueta myös haitallisia kemikaaleja ja raskasmetalleja. (Riipi 1997,49.) Kauharuoppauksessa ruopattavaa sedimenttiä karkaa takaisin veteen kauhan nostovaiheen aikana, mutta imuruoppauksessa sedimentin karkaamista ei juurikaan tapahdu. (Riipi 1997, 15–16.) Vahvajuurakkoisten vesikasvien kuten ulpukan (*Nuphar lutea*) kasvillisuuden poistamiseen soveltuvin menetelmä on kauharuoppaus, jolloin kasvin ravinteita sisältävä juurakko saadaan pois (Lassinaro 2018).

Ruoppauksella voidaan lisätä järven vesitilavuutta. Järven sisäistä kuormitusta voidaan hillitä poistamalla sedimentin pintakerros tai koko sedimenttikerrostuma.

Kauharuoppaus tehdään kaivinkoneella, ja se soveltuu käytettäväksi useimmissa tapauksissa. Kauharuoppaus ei sovellu erittäin vesipitoisten massojen ruoppaukseen. Kauharuoppausta voidaan tehdä rannalta, vahvistetun jään päältä tai keluvalta ruoppausalustalta. (Viinikkala, Mykkänen & Ulvi 2005, 213–215.)

2.6.11 Imuruoppaus

Imuruoppauksessa pohjasedimentti sekoitetaan veteen, imetään n. 10 % kiintoainetta sisältävänä seoksena ja pumpataan putkistoa pitkin läjitysalueelle. Imuruoppauksen läjitysalueen tarve on noin kolminkertainen ruopattavaan alaan nähden. Menetelmä soveltuu vain vesipitoisille ja löyhille massoille isompiin ruoppaus Hankkeisiin. (Viinikkala ym. 2005, 216.)

Ruoppausmenetelmää valittaessa tulee huomioida ruopattavan alueen pohjan soveltuvuus eri ruoppausmenetelmille. Ruoppauksen mekaaniset esteet, kuten haot, saattavat tehdä ruoppauksen mahdottomaksi. Ruoppausta suunniteltaessa kaapelien, rakenteiden, suurten kivien ja kallioiden tarkka sijainti tulee selvittää ja merkitä vaurioiden ennaltaehkäisemiseksi. (Viinikkala ym. 2005, 220.) Ruoppauksesta voi aiheutua myös haittavaikutuksia kalojen kutualueisiin. Ruoppaus voi myös kiihdyttää rannan eroosiota. (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 56.)

Ruoppauksessa tulevat läjitysmassat voidaan maisemoida läjitysalueelle tai hyödyntää peltoviljelyssä, jolloin ruoppauksesta voi tulla kannattavampaa. Ruoppausmassojen maisemointi lisää ruoppauskustannuksia. (Viinikkala ym. 2005, 217–219.)

2.6.12 Ruovikon niitto

Järviruoko (*Phragmites australis*) on monivuotinen ruohovartinen kasvi, joka hyötyy järven rehevöitymisestä. Tiheä ruovikko heikentää rantavyöhykkeen pohjan happiolosuhteita, kun tuuli ja jää eivät pääse rikkomaan pohjasedimentin pintaa. Tiheä järviruokokasvusto aiheuttaa myös haittaa järven virkistyskäytölle. Rantaruovikon hyötyjä ovat sen kyky pidättää valuma-alueelta tulevaa ravinnekuormaa

kasvustoon ja sen antama suoja kalanpoikasille ja eläinplanktonille. (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 50.)

Kasvillisuutta kannattaa poistaa harkiten sen hyödylliset vaikutukset huomioiden, kuten valuma-alueelta tulevien ravinteiden pidättäminen ja eroosioherkkien rantojen suojaaminen (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 50). Ruovikon niittoa ja niittojätteen hyödyntämistä on tutkittu Suomen Ympäristökeskuksen Joensuun toimipisteellä Järeä- ja Velho-hankkeissa. Järviruoko antaa myös suojaa vesilinnustolle ja on haukien lisääntymisen kannalta tärkeä kutuaikaan.

Parhaiten niitto soveltuu ruohovartisille kasveille, koska vahvajuurakkoiset kelluslehtiset kasvit kasvavat uudelleen niiton jälkeen. Niitto kannattaa ajoittaa loppukesään, jolloin kiivaimman kasvun aika on ohi ja kasvien varsien nestevirtaukset ovat pienimmillään. Vesirutto (*Elodea canadensis*), karvalehti (*Ceratophyllum demersum*) ja vesisammal lisääntyvät myös kasvin osista, joten niiden poistaminen niittämällä saattaa lisätä kasvillisuuden määrää. (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 50.)

Rantaruovikon niitossa voi tehdä kutukäytäviä rannan läheisyyteen, joilla voi edistää petokalojen lisääntymisolosuhteita. Toimenpide edistää petokalojen ja niiden poikasten elinolosuhteita. (Salminen & Böhring 2002, 72, Sammalkorpi & Horppila 2005, 184.) Järviruokoa voi niittää kesällä, kun kasvu ei ole enää kiihkeimmillään tai talvella jään päältä. Talviniitossa ei kuitenkaan saada yhtä paljon ravinteita poistettua vesistöstä, kuin kesällä niitettäessä ja niiton hyöty ravinteiden poistamisen suhteen jää vähäisemmäksi. (Pusa 2009, 43.) Velho-hankkeen kokeessa oli todettu paksujen kinoksien ja jääalueiden estäneen ruovikon talviniiton osalla niitettäviä alueita (Ajosenpää 2014, 48).

Niittojäte tulee poistaa vedestä huolellisesti ja suunnitella läjitysalueet siten, ettei niittojätteestä valuva ravinteikas vesi pääse suoraan järveen. Niittojätettä voidaan hyödyntää kompostoimalla, maanparannusaineena ja jopa karjan rehuksi. (Kääriäinen & Rajala 2005, 262.) Kuonanjärvellä tehdyn niittoselvityksen mukaan järvellä olisi niitettävää ruovikkoa noin 12 ha (Suonio 2013, 10).

Ruovikon niiton ensimmäinen kerta tulisi ajoittaa kesäkuun lopulle. Ruovikon ollessa tiheä niitto uusitaan 3 - 4 viikon välein. Ruovikon talviniitto helpottaa seuraavan kesän niittotyötä. (Javanainen, Kemppainen, Orjala, Perkonoja, Saarni 2013, 10.)

Silputtua niittojätettä voi kompostoida ravinteiden hyödyntämiseksi (Kääriäinen & Rajala 2005, 262). Hehtaarin ruovikkoalan niittojätteet sisältävät keskimäärin 5–10 kg fosforia ja 50–100 kg typpeä. Ruokoa voi käyttää myös bioenergian tuottamiseen ja kattomateriaalina. (Javanainen ym. 2013, 23–24, Kääriäinen & Rajala 2005, 262.)

2.6.13 Metsien ojitus

Metsien ojituksessa käytetään yleisimmin vesiensuojelurakenteina lietetaskuja, kaivukatkoja, saostusaltaita ja pohjapatoja. Rakenteiden on tarkoitus hidastaa virtaamaa ja pidättää kiintoainekuormitusta. Hakkuiden ja suojavyöhykkeiden ravinteiden pidätyskyvystä tehdyssä tutkimuksessa maan kostean pintakerroksen todettiin pidättävän fosfaattia ja pintamaan ominaisuuksien vaikuttavan pidätyskykyyn (Väänänen, Kenttämies & Ilvesniemi 2006, 110).

2.7 Pohjaeläintutkimus

Pohjaeläintutkimuksella pystytään määrittelemään järven pohjan ekologista tilaa tutkimushetkellä. Pohjaeläimistöissä on indikaattorilajeja. Pohjaeläimistön lajirunsaus tai lajiston vähyys ilmentävät järven pohjan läheisen vesikerroksen happi- ja ravinneolosuhteita. Pohjaeläimistön lajirunsausta voidaan tarkastella laskeamalla tutkimusaineistosta Shannon-Wiener -indeksi, jota tulkitsemalla voidaan määritellä lajiston monimuotoisuutta.

Kasvillisuus tarjoaa lajirikkaimman elinympäristön pohjaeläimille. On olemassa koko elämänsä pohjassa viettäviä tai vain toukkavaiheessa pohjaeläiminä olevia lajeja. Eri pohjaeläimet hankkivat ravintonsa toisistaan poiketen; kuten esimer-

kiksi simpukat käyttävät ravinnokseen hiukkasia ja bakteereita. Muissa pohjaeläimissä on bakteereita, kasvien jätteitä, eläinplanktoneja ja matoja ravinnokseen käyttäviä pohjaeläimiä. Eri lajien ravintotottumukset poikkeavat paljon toisistaan hiukkasia ja bakteereita syövästä simpukoista aina sammakon ja kalanpoikasia syöviin sukeltajan toukkiin asti. Pohjaeläimet ovat myös merkittävä ravinnonlähde kaloille ja eläimille. Vähäisissä happiolosuhteissa menestyvät lähinnä harvasukasmadot (Oligochaeta) ja surviaissääsken (Chironomidae) toukat. (Penttinen & Niinimäki 2010, 60–61.)

Surviaissääsken toukat ja harvasukasmadot ovat herkkiä rehevyytason muuttumiselle (Särkkä 1996, 106). Vähähappisessa syvänteessä harvasukasmatojen osuus yleensä kasvaa (Särkkä 1996, 127). Pohjaeläinlajiston ollessa suppea on syvänteen heikoissa olosuhteissa menestyvillä lajeilla tilaa tehdä runsaslukuisia yhteisöjä (Penttinen & Niinimäki 2010, 76).

2.8 Pohjasedimentti ja pohjasedimentin hapetus-pelkistysaste

Pohjasedimenttitutkimusten keskeisiä tarkkailtavia muuttujia ovat sedimenttikerroksen paksuus, koostumus, vesipitoisuus, hapetus-pelkistysaste ja sedimentin sisältämät ravinnemäärät. Sedimenttikairaukset on helppo toteuttaa kevättalvella jäältä käsin. Hapetus-pelkistysaste on otollisinta mitata vesistön happitilanteen ollessa talvikerrostuneisuusjakson lopussa heikoimmillaan.

Pohjasedimentin pintakerroksesta mitattava, hapen kyllästyneisyyttä kuvaava hapetus-pelkistysaste tunnetaan myös nimellä redox-potentiaali. Hapella kyllästyneen pintasedimentin hapetus-pelkistysaste on noin +520 mV +25 °C lämpötilassa. Alimmillaan hapetus-pelkistysaste voi olla -250 mV. Hapetus-pelkistysaste pienenee happipitoisuuden laskiessa.

Typpiyhdisteiden esiintymismuodot ja happamuus vaikuttavat myös hapetus-pelkistysasteeseen. Hapetus-pelkistysasteen mittaaminen on tärkeää tutkimusalueen pohjasedimentin happipitoisuuden selvittämiseksi. Merkittävä raja-arvo on

+200 mV, jonka alittuessa liukenemattomat ferriyhdisteet muuttuvat veteen liukeneviksi ferroyhdisteiksi, jolloin pohjasedimentistä liukenee fosforia ja muita aineita veteen aiheuttaen rehevöitymistä. (Särkkä 1996, 60–62.) Anaerobinen toiminta laskee hapetus-pelkistysastetta (Wetzel 2001, 639).

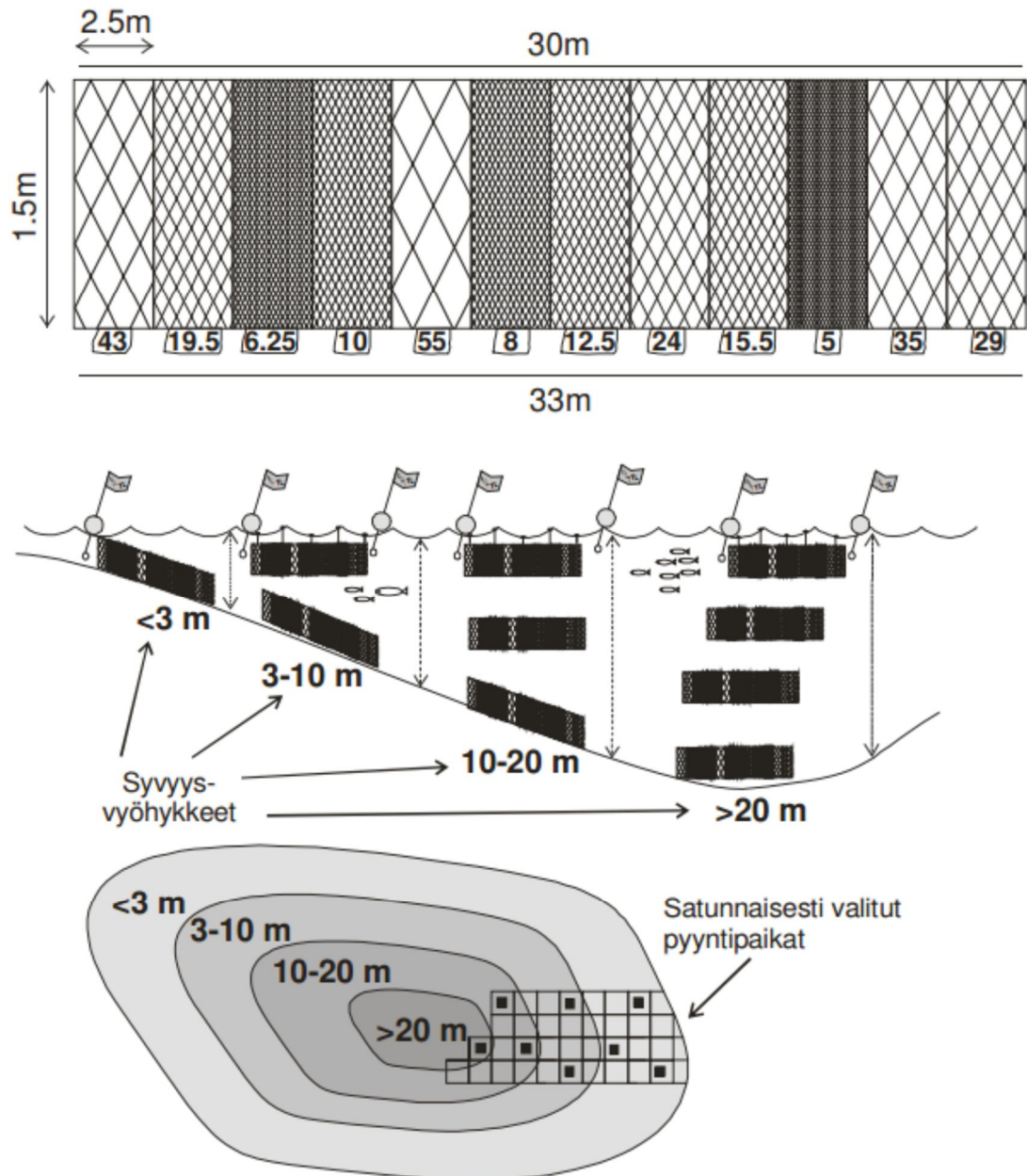
Taulukko 5. Vesistön tilaan vaikuttavia hapetus-pelkistysasteen muutoksia ja raja-arvoja (Särkkä 1996, 60–62).

| E_n-arvo (mV) | Kemiallinen/biologinen tapahtuma |
|--------------------------------|---|
| +520 | Järvivesi on kyllästynyt hapella. |
| +450 → +400 | NO ₃ ⁻ → NO ₂ ⁻ |
| +400 → +350 | NO ₂ ⁻ → NH ₄ ⁺ |
| +300 → +200 | Fe ³⁺ (ferrirauta) → Fe ²⁺ (ferrorauta) |
| +300 → +200 | FePO ₄ → Fe ²⁺ + PO ₄ ³⁻ (ravinteet liukenevat pohjasedimentistä = vesistön sisäinen kuormitus) |
| +100 → +60 | SO ₃ ²⁻ → S |
| -150 | Rikkivety (H ₂ S) alkaa vapautua pohjasedimentistä. |
| -250 | Metaani (CH ₄) alkaa vapautua pohjasedimentistä. |

2.9 Kalastorakennetutkimus

Luonnonvarakeskus (Luke) on toteuttanut verkkokoekalastuksen Kuonanjärvellä 24–27.7.2017 (Kulo 2018). Koekalastus suoritettiin vain syvyysvyöhykkeellä 0 - 3 metriä, koska sitä syvempiä alueita on järvellä niukasti. Kyseisellä syvyysvyöhykkeellä kalastetaan ainoastaan pohjaverkoilla.

Koekalastuksissa käytetään Nordic-verkkoa, joka on 1,5 m x 30 m:n kokoinen yleiskatsausverkko. Verkossa on 2,5 metrin pituisina pätkinä 12 eri solmuväliä (5 - 55 mm) satunnaistetuissa, järjestyksessä. Verkossa solmuvälit kasvavat kertoimen 1,25 mukaan, jolla pyritään verkon pyydystystehokkuuden säilyttämiseen mahdollisimman samana erikokoisille kaloille. Tutkimuksessa tarvittaviin pyyntivuorokausien määriin vaikuttavat kohteen pinta-alat ja syvyys-suhteet. (Olin, Lapalainen, Sutela, Vehanen, Ruuhijärvi, Saura & Sairanen 2014, 6.)



Kuva 17. NORDIC-verkon rakenne ja satunnaisotannan periaate syvyysvyöhykkeittäin (Olin ym. 2014).

2.10 Hoitokalastuksessa poistettavan kalan määrä

Kalastorakennetutkimuksen tulosten perusteella voidaan laskea Kuonanjärvestä hoitokalastuksella poistettavan kalan määrä. Sammalkorven ja Horppilan (2002) määrittämä regressioyhtälö soveltuu poistettavan kalamäärän arviointiin (Elo-ranta 2005, 20).

Kaava 6. Regressioyhtälö hoitokalastuksessa poistettavan saalismäärän arvioimiseksi (Sammalkorpi & Horppila 2005, 179).

$$y = 16,9x^{0,52}$$

jossa,

y = poistettavan kalan määrä kiloina hehtaaria kohden

x = veden kokonaisfosforipitoisuus.

3 Työn tarkoitus ja tavoitteet, aiheen rajaus ja tutkimusteh- tävät

3.1 Tarkoitus ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Kuonanjärven hydrologinen ja ekologinen nykytila. Nykytilan selvittämisessä on hyödynnetty Karelia-ammattikorkeakoulun kevättalvella 2018 tehtyjä tutkimuksia ja Suomen Ympäristökeskuksen ottamia, Hertta-tietojärjestelmään kirjattuja virallisia vedenlaadun tuloksia. AMK:n ottamien vesinäytteiden ja pohjan tilan tutkimusten perusteella saadaan kattava kokonaiskuva Kuonanjärven nykytilasta. Lisäksi tarkastelun kohteena ovat valuma-alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen määrä ja järven arvioitu sisäinen kuormitusaste.

Tavoitteena on myöskin vertailla erilaisia kunnostustoimenpiteitä, joilla voidaan pidättää järveen tulevaa ulkoista kuormitusta ja saada järven arvioitu sisäinen kuormitus kuriin. Tulosten ja johtopäätösten perusteella vertaillaan Kuonanjärvelle parhaiten soveltuvia kunnostustekniikoita ja niiden kustannustehokkuutta. Kunnostustoimenpidevertailun ohella arvioidaan myös kunnostustoimenpiteissä ja niiden tekemättä jättämisessä piilevät mahdolliset riskit ja muut huomioitavat asiat.

Opinnäytetyö vahvistaa koulussa opittua osaamista. Kevättalven ja syksyn 2018 aikana tehdyt näytteenotot ja mittaukset ovat tärkeä osa opinnäytetyön kokonai-

suutta ja Kuonanjärveen kohdistuvan tarkemman tutkimuksen perusta. Opinnäytetyön ollessa parityönä tehtävä projektimuotoinen kokonaisuus opettaa se myös tiimityöskentelyä ja työn jakamista. Lisäksi opinnäytetyön valmistumisen myötä oppii työelämässä vaadittavia taitoja, kuten eri sidosryhmien ja henkilöiden kanssa asioimista sekä tiedon etsimistä eri lähteistä.

3.2 Aiheen rajaus

Opinnäytetyön tutkimustyyppi on määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus, joka sisältää myös toiminnallisia piirteitä. Kenttätutkimukset ja -mittaukset ovat tutkimuksen toiminnallista osa-aluetta. Tulosten raportointi, tulkinta, johtopäätökset ja kunnostusmenetelmien vertailu kuuluvat tutkimukselliselle osa-alueelle.

Opinnäytetyöhön kuuluvia kenttätutkimuksia ja mittauksia teimme pääosin Kuonanjärvellä. Tenhunjoesta, Vehkaojasta ja Kuonanjoesta otettiin vesinäytteet, ja veden virtausnopeus mitattiin vallitsevan virtaamatilanteen määrittämiseksi. Kuormituksen osalta tutkimus rajattiin Kuonanjärven valuma-alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen, järven sisäisen kuormituksen ja Kuonanjärvestä Savonlahteen lähtevän kuormituksen tarkasteluun. Kuonanjärven valuma-alueen tarkastelu keskitettiin pääosin Vehkaojan osavaluma-alueelle johtuen alueen ominaisuuksista.

Kuonanjärvellä ei ole tehty aiemmin pohjan tilan tutkimusta, joten opinnäytetyö tuottaa uutta tietoa järven nykytilasta. Tutkimuksen perustana on hyödynnetty myös saatavilla olevaa valmisaineistoa ja julkaistuja raportteja.

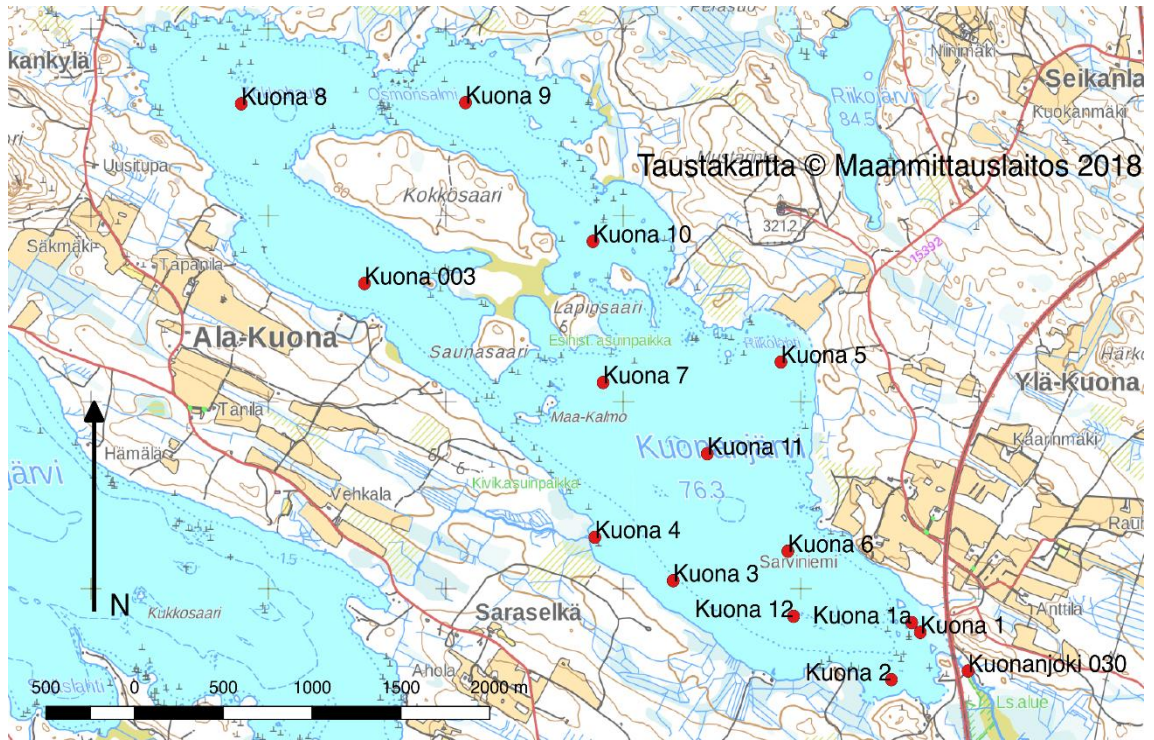
4 Aineisto ja menetelmät

4.1 Havaintopaikat

Havaintopaikkojen sijainnit on valittu siten, että ne jakautuvat mahdollisimman tasaisesti ympäri Kuonanjärveä. Tämä mahdollistaa laajan tietoaineiston keräämisen, minkä perusteella järven nykytilasta saadaan selkeä näkemys. Havaintopaikkoja on erityisesti Kuonanjärveen saapuvien suurempien uomien, kuten Tenhunjoen ja Vehkaojan edustalla sekä Kuonanjoen edustan matalalla suistoalueella.

Taulukko 6. Kuonanjärven kenttätutkimusten havaintopaikkojen koordinaatit keväällä 2018.

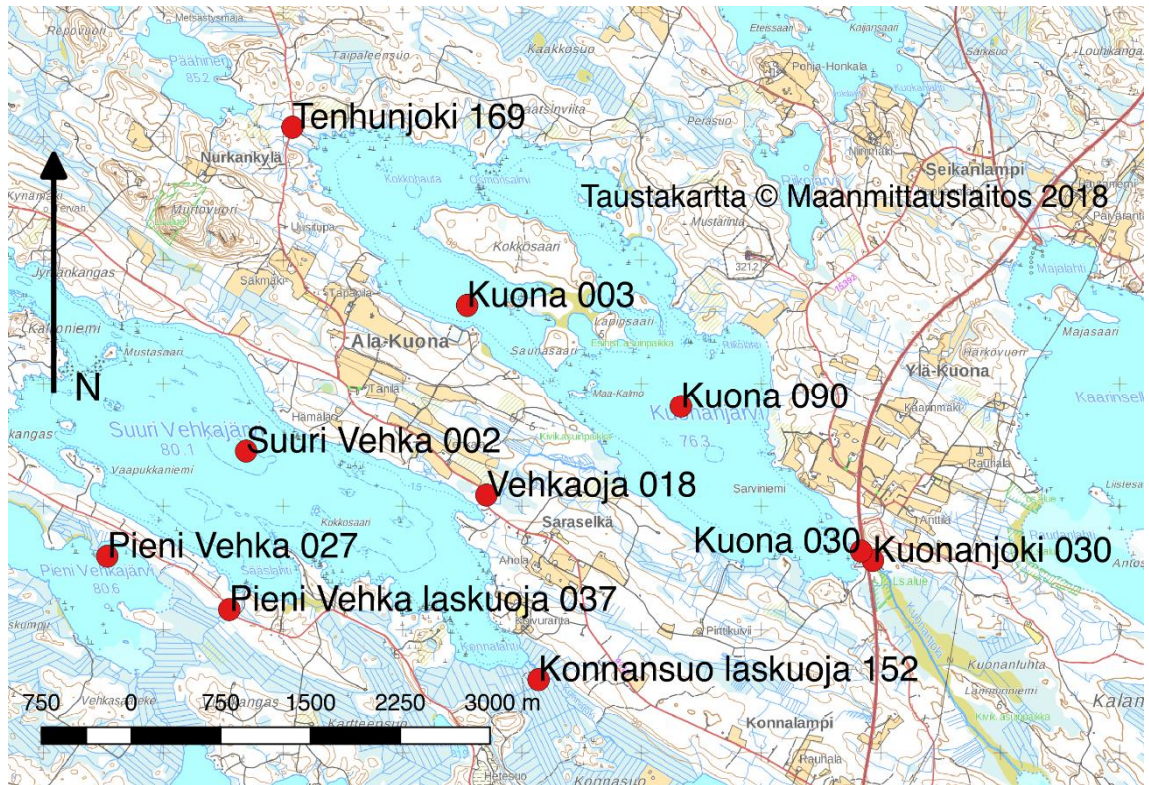
| Havaintopaikka | Vesisyvyys (m) | Koordinaatit (ETRS-TM35FIN, UTM 35V) | |
|----------------|----------------|--------------------------------------|---------|
| | | I | P |
| Kuonanjoki 030 | 0,6 | 618941 | 6872557 |
| Kuona 003 | 2,31 | 615541 | 6874635 |
| Kuona 1 | 1,17 | 618672 | 6872764 |
| Kuona 1a | 1,22 | 618624 | 6872816 |
| Kuona 2 | 1,61 | 618509 | 6872510 |
| Kuona 3 | 1,65 | 617280 | 6973041 |
| Kuona 4 | 0,78 | 616839 | 6873274 |
| Kuona 5 | 2,49 | 617887 | 6874214 |
| Kuona 6 | 3,01 | 617926 | 6873199 |
| Kuona 7 | 2,62 | 616885 | 6874104 |
| Kuona 8 | 2,71 | 614847 | 6875599 |
| Kuona 9 | 2,42 | 616110 | 6875605 |
| Kuona 10 | 1,81 | 616828 | 6874861 |
| Kuona 11 | 3,31 | 617472 | 6873722 |
| Kuona 12 | 2,6 | 617958 | 6872850 |



Kuva 18. Kuonanjärven kenttätutkimusten havaintopaikat keväällä 2018.

Taulukko 7. Hertta-ympäristötietojärjestelmästä poimittujen vedenlaadun seuranta-kohteiden koordinaatit Kuonanjärvellä ja sen valuma-alueella.

| Koordinaatit (ETRS-TM35FIN, UTM 35V) | | | |
|--------------------------------------|----------------|--------|---------|
| Havaintopaikka | Vesisyvyys (m) | I | P |
| Kuonanjoki 030 | 0,6 | 618934 | 6872560 |
| Tenhunjoki 169 | .. | 614080 | 6876075 |
| Vehkaoja 018 | .. | 615702 | 6873091 |
| Kuona 003 | 2,31 | 615541 | 6874635 |
| Kuona 030 | .. | 618835 | 6872636 |
| Kuona 090 | .. | 617329 | 6873814 |
| Pieni Vehka 037 | .. | 613552 | 6872161 |
| Suuri Vehka 002 | 6 | 613693 | 6873448 |



Kuva 19. Hertta-ympäristötietojärjestelmästä poimittujen vedenlaadun seurantaapaikkojen sijainnit Kuonanjärvellä ja sen valuma-alueella.

4.2 Vedenlaatututkimus

Kuonanjärven vedenlaatua tutkittiin helmi-huhtikuun 2018 aikana. Vesinäytteitä otettiin tasaisesti ympäri Kuonanjärveä sekä Kuonanjoesta. Näytteet otettiin mahdollisuuksien mukaan metrin syvyydestä ja metri pohjan yläpuolelta, mutta matalilla havaintopaikoilla näytteet otettiin ainoastaan metri pohjan yläpuolelta tai vesimassan puolivälistä.

Vedenlaatututkimus keskitettiin lämpötilan, happamuuden, näkösyvyyden ja sähkönjohtavuuden tutkimiseen sekä fosfaattifosforin, nitraattitypen ja ammoniumtyypen pitoisuuden mittaukseen. Näytteenoton jälkeen vesinäytteet säilöttiin viipymättä kylmälaukkuihin. Fosfori- ja typpiravinteiden pitoisuudet mitattiin näytteenottoa seuraavana päivänä filterifotometrillä Karelia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa.

Vedenlaatututkimuksen pohja- ja vertailuaineistona käytettiin Hertta-tietokannasta poimittuja virallisia vesinäytetuloja Kuonanjärveltä ja sen valuma-alueelta. Tarkemmassa seurannassa on myös valuma-alueella sijaitseva Suuri Vehkajärvi, jonka vedenlaatua ELY-keskus on seurannut tasaisesti. Ensimmäiset Hertta-tietokantaan kirjatut vesinäytteet on otettu havaintopaikalta 003 jo vuonna 1966.

Taulukko 8. Kuonanjärven tutkimuksissa kevättalvella 2018 käytetty välineistö (jatkuu seuraavalla sivulla).

| Tutkimusvaihe | Käytetty välineistö | Huomioitavaa |
|--|---|---|
| Pohjasedimentin määrä ja koostumus | Turvekaira jatkovarsineen, josta näytteenottimen pituus 1,0 m, rullamitta, kamera. | Sedimenttinäytteet kuvattiin myöhempää tarkastelua varten. |
| Hapetus-pelkistysasteen mittaus pintasedimentistä | Viipaloiva Limnos-sedimenttinoudin lisäosineen, näytteenottimen pituus n. 94 cm, kenttämittari G-8200M. | Mittaus toteutettiin paikan päällä havaintopisteen läheisyydessä. |
| Pohjasedimentin analysointi laboratoriossa | Laboratoriossa määritettiin sedimentin kokonaisfosforin ja -typen määrä. Hehkutushäviön ja -jäännöksen määrittäminen tehtiin hehkutusuunissa. | Näytteenoton jälkeen sedimenttinäytteet pakastettiin. Laboratoriotutkimukset tehtiin Tampereella, Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry:n laboratoriossa. |
| Pohjaeläimistö | Ekman pohjaeläinnäytteenotin, sihtiämpäri, pakasterasiat | |
| Vesinäytteet, näkösyvyys sekä laboratorioanalyysit (Karelia-AMK) | Limnos-vesinäytteenotin, pituus 1,0 m, happikenttämittari G-7031. | |
| Koordinaattien tallennus havaintopaikoilta | Garmin 60CSx -satelliittipaikannin. | Koordinaattien tarkkuus $\pm 2 \dots \pm 3$ metriä. |
| Virtaaman mittaus | JDC Flowatch FL-03 -virtaamamittari varusteineen, kahluuhousut, mittavälineistöä. | |

| | | |
|-------------------------|--|--|
| Muu käytetty välineistö | Ahkiot, moottorisaha, jääkairat, tukkipihdit, luotinaru. | |
|-------------------------|--|--|

4.3 Karttojen laatiminen ja valuma-alueiden määrittäminen

Opinnäytetyössä käytetyt kartat on tehty maksuttomalla QGIS-paikkatieto-ohjelmistolla, ellei toisin ole mainittu. Kuonanjärven alueen rasterikartta on tilattu Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen palvelusta. Kartalla on esitetty havaintopaikkojen ja vesiensuojeluteknisten rakenteiden sijainnit. Kuonanjärven lähi- ja kaukovaluma-alueiden rajat on piirretty karttaan paikkatietosovelluksella. Lähivaluma-alue on piirretty ensin paperille, minkä jälkeen se on piirretty sovelluksella taustakartan päälle. Lähivaluma-alueelle osuvat pellot on myös rajattu käsin, sillä niiden pinta-alaa tarvitaan Kuonanjärveen huuhtoutuvien ravinteiden laskemisessa.

Sedimentin jakaumaa ilmentävää karttaa varten havaintopaikkojen väliset koordinaattipisteet interpoloitiin. Interpoloidut havaintopaikat sisälsivät tiedon kunkin paikan vesisyvyydestä ja sedimentin kertymästä. Interpolointi helpottaa sedimenttijakauman havainnollistamista kartalla. Sedimentin kokonaismäärän laske- mista varten sedimentin kertymää ilmentävät, interpoloidut havaintopaikat avattiin sovelluksen ominaisuustietotaulussa. Siellä näkyivät listattuna kaikki syvyystietoa sisältävät käyrät, jotka sovellus määrittä. Pohjasedimentin kokonaismäärä on mahdollista laskea käyrien keskiarvon ja järven pinta-alan perusteella.

Tarvittavat valuma-alueet on määritetty Suomen ympäristökeskuksen suunnittelemaa valuma-alueen rajaustyökalua (VALUE) apuna käyttäen Kuonanjärvelle, Kuonanjoelle, Vehkaojalle ja Tenhunjoelle. Rajaustyökalu näyttää myös valuma-alueen maankäyttötiedot, joten vesistöalueet ja selkeät avovesiallasmaiset koskeikot oli helppo vähentää valuman kannalta oleellisesta valuma-alueen maapinta-alasta.

4.4 Kosteikon pidättämä vuosikuorma

Kunnostusmenetelmien vertailussa huomioitiin eri vesienkunnostusmenetelmien ravinteiden pidättämiskyky. Kosteikon ravinteiden pidättyvyyttä voidaan arvioida kosteikko-oppaan kaavoilla (Puustinen, Koskiaho, Jormola, Järvenpää, Karhunen, Mikkola-Roos, Pitkänen, Riihimäki, Svensberg & Wiberg 2007, 60).

Kaava 7. Kokonaisfosforin suhteellinen pidätysosuus vuosikuormasta.

$$(\%) = 23,2 \times X^{0,57}$$

jossa,

X = kosteikon pinta-alan suhteellinen osuus sen yläpuolisesta valuma-alueesta.

Kaava 8. Kokonaistypen suhteellinen osuus kosteikkoon tulevasta vuosikuormasta lasketaan kaavalla:

$$(\%) = 10,47 \times X$$

jossa,

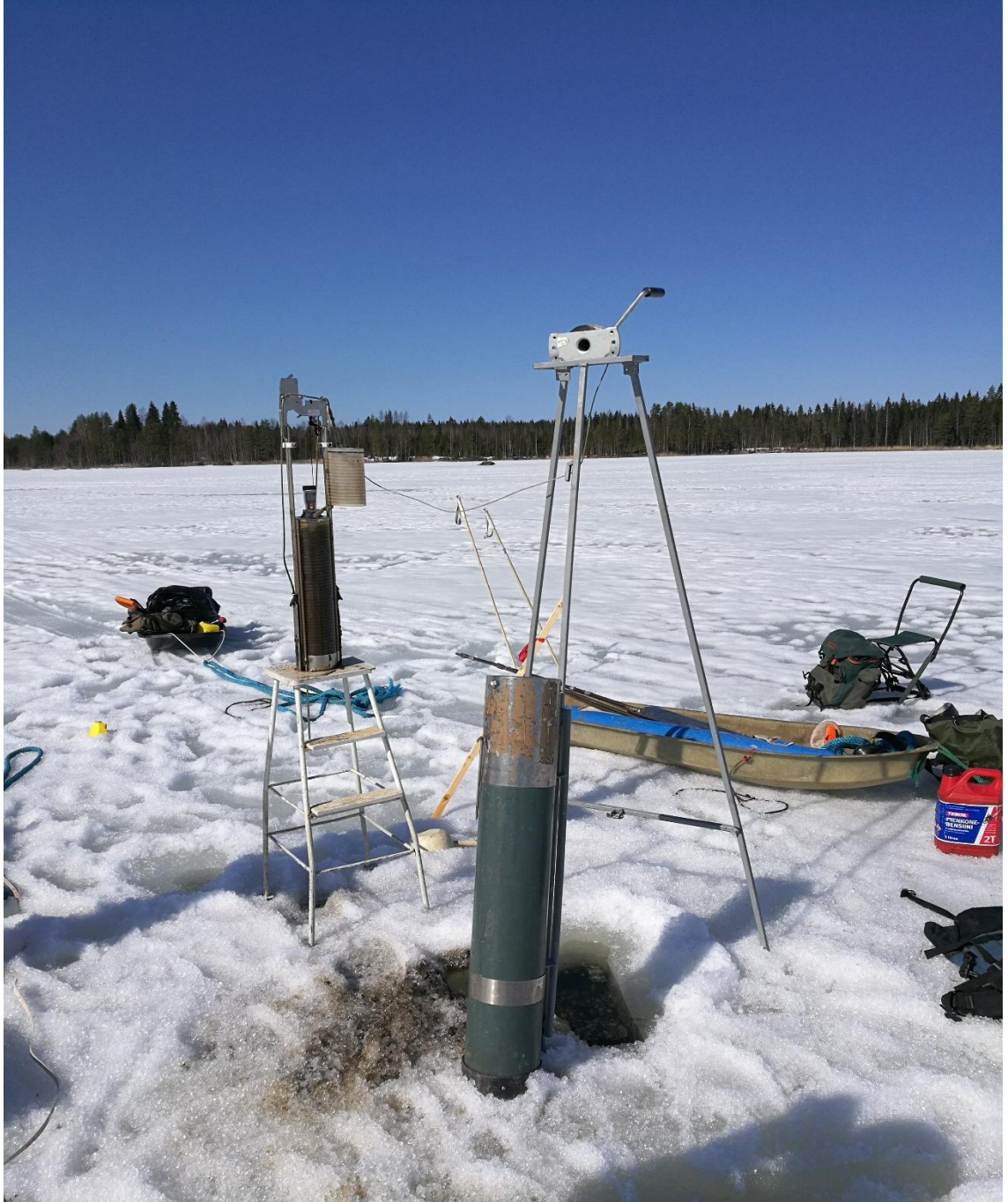
X = kosteikon pinta-alan suhteellinen osuus sen yläpuolisesta valuma-alueesta.

4.5 Pohjan tilan tutkimus

Kuonanjärvellä pohjasedimentin jakautumista, määrää ja ulkonäköä tutkittiin kaikkiaan 14 havaintopaikalla helmi-huhtikuussa 2018. Tutkimuksessa näytteenottimena käytettiin turvekairaa.

Hapetus-pelkistysasteen mittaus pintasedimentistä ajoittui yhtä mittausta lukuun ottamatta maaliskuulle 2018. Mittauksia tehtiin vedenlaatututkimuksen ja sedimenttikairausten ohessa. Hapetus-pelkistysaste mitattiin viipaloivalla Limnos-sedimenttinoutimella otetusta näytteestä kaikkiaan 9 havaintopaikalla. Ennen mittauksen aloittamista sedimenttinoutimesta laskettiin ylimääräinen vesi pois siten, että sedimenttinäytteen yläpuolelle jäi n. 1 - 2 cm:n kerros alusvettä.

Kenttämittarin mittauselektrodi työnnetään pintasedimenttiin n. 0 - 2 cm:n syvyyteen hapetus-pelkistysasteen mittaamiseksi. Mittarin osoittaman lukeman vaakaantuessa mittaus päätettiin ja lukemat kirjattiin ylös.



Kuva 20. Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteen mittausta Kuonanjärvellä huhtikuussa 2018 (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).

Pohjaeläintutkimuksen tutkimusalueeksi valittiin 9 havaintopaikkaa tasaisesti eri puolilta Kuonanjärveä. Tutkimusta varten jokaisella näytteenottoaikalla otettiin yhteensä kolme rinnakkaista pohjaeläinnäytettä, jotka säilöttiin pakasterasioihin. Näytteenottoa seuraavana päivänä pohjaeläinnäytteet tutkittiin Karelia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Pohjaeläimet poimittiin ja tunnistettiin, minkä jälkeen näytteet kuvattiin. Pohjaeläimistön diversiteetti arvioitiin Claude Shannonin kehittämän Shannon-Wiener -indeksin avulla (taulukko 9). Kyseistä indeksiä kutsutaan myös Shannonin entropiaksi, joka on tehollisen lajimäärän logaritmi (Tossavainen 2016c).

Kaava 9. Shannonin entropian laskukaava.

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

jossa, P_i on lajin i osuus havaintopaikan kokonaisuusilömäärästä. Indeksien arvo on sitä suurempi, mitä enemmän eri lajeja havaitaan. Indeksien luokkien vaihteluväli on 1...5 (taulukko 9).

Taulukko 9. Shannon-Wiener-indeksiarvot selitteineen (Tossavainen 2016c, 100–101).

| Luokka | Indeksin arvo | Shannon-Wiener-indeksi |
|--------|-----------------|------------------------|
| 1 | Erittäin korkea | > 3,71 |
| 2 | Korkea | 2,97 - 3,71 |
| 3 | Melko korkea | 2,22 - 2,97 |
| 4 | Matala | 1,48 - 2,22 |
| 5 | Erittäin matala | < 1,48 |

5 Tulokset

5.1 Virtaaman mittaus

Virtaamamittauksia tehtiin 22.11.2018 havaintopaikoilla Kuonanjoki 030, Vehkaoja 018 ja Tenhunjoki 169 (taulukko 10). Viimeiset vedenlaatututkimukseen tarvittavat vesinäytteet otettiin samana päivänä.

Taulukko 10. Virtaamamittausten tulokset 22.11.2018 havaintopaikoittain.

| Havaintopaikka | Veden lämpötila °C | Valuma-alueen pinta-ala km ² | Virtaama l/s | Valuma l/s/km ² |
|----------------|-----------------------|--|-----------------|-------------------------------|
| Kuonanjoki 030 | 0,7 | 61,82 | 559,29 | 9,05 |
| Vehkaoja 018 | 0,4 | 36,13 | 329,35 | 9,12 |
| Tenhunjoki 169 | 2,2 | 9,95 | 59,5 | 5,98 |



Kuva 21. Karelia-ammattikorkeakoulun opiskelija Rico-Petteri Mutanen mittaamassa virtaamaa 22.11.2018 havaintopaikalla Vehkaoja 018 (Kuva: Tarmo Tossavainen).

5.2 Kuonanjärven vedenlaatu vuonna 1966

Ensimmäiset viralliset Kuonanjärven vedenlaadun havainnot on kirjattu Herta-ympäristötietojärjestelmään maaliskuussa 1966 (taulukko 11). Mittaustulokset ovat vertailun kannalta tärkeitä, sillä ne ovat oletettavasti ajalta ennen soiden ja

kivennäismetsämaiden soistumien koneellisen ojituksen, metsien runsaan lannoittamisen ja intensiivisen maatalouden aikakautta. Mittausajankohtana on valittu talvikerrostuneisuus. Kokonaisfosforin pitoisuudet (5 - 10 µg/l) olivat tuolloin karuille järvivesille tyypillisiä (taulukko 3). Kokonaistypen pitoisuus (500 µg/l) on tyypillistä suuruusluokkaa lievästi reheville järvivesille.

Taulukko 11. Kuonanjärven ensimmäiset viralliset vedenlaadun mittaustulokset 3.3.1966. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 13.10.2018).

| Vedenlaadun ominaisuus | Näytesyvyys (m) | Yksikkö | Tulos |
|---------------------------|-----------------|---------|-------|
| Näkösyvyys | | m | 0,9 |
| Lämpötila | 1 | °C | 0,9 |
| Hapen kyllästysaste | 1 | kyll. % | 52 |
| Happi, liukoinen | 1 | mg/l | 7,1 |
| Kemiallinen hapen kulutus | 1 | mg/l | 11 |
| pH | 1 | | 6,3 |
| Sähkönjohtavuus | 1 | mS/m | 4,7 |
| Kokonaisfosfori | 1 | µg/l | 10 |
| Alkaliniteetti | 2 | mmol/l | 0,12 |
| Lämpötila | 2 | °C | 1,8 |
| Hapen kyllästysaste | 2 | kyll. % | 46 |
| Happi, liukoinen | 2 | mg/l | 6,2 |
| Kemiallinen hapen kulutus | 2 | mg/l | 10 |
| Mangaani | 2 | µg/l | 100 |
| pH | 2 | | 6,2 |
| Rauta | 2 | µg/l | 700 |
| Sähkönjohtavuus | 2 | mS/m | 4,8 |
| Kokonaisfosfori | 2 | µg/l | 5 |
| Kokonaistyyppi | 2 | µg/l | 500 |

5.3 Kuonanjärven vedenlaatu havaintopaikalla 003

Havaintopaikan Kuona 003 vedenlaadun tulokset on esitetty taulukoissa 12 - 14. Paikan kokonaissyvyys on enimmillään noin kolme metriä. Vesinäytteet on otettu 1,0 metrin syvyydestä. Happitilanne on vuosien 2013–2018 aikana ollut hyvä kaikkina havaintoajankohtina, eikä kalojen hyvinvoinnin kannalta tärkeä 5 mg/l raja alittunut yhdelläkään havaintokerralla. Vesi on ollut havaintojen perusteella

ajoittain hyvin sameaa. Veden sisältämän kasviplanktonin biomassaa kuvaavat a-klorofyllipitoisuudet ovat pääosin erittäin korkeita.

Taulukko 12. Havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetuloksia aikaväliltä 2013–2018 hapen, sameuden ja a-klorofyllin osalta. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä (9.7.2018).

| Päivämäärä | Näyte-syvyys | Lämpö-tila | Näkö-syvyys | O ₂ kyll. % | O ₂ | COD Mn | Sameus | a-chl |
|------------------|--------------|------------|-------------|------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| | m | °C | m | kyll. % | mg/l | mg/l | FTU | µg/l |
| 27.5.2013 | 1 | 17,2 | .. | .. | .. | 15 | .. | .. |
| 27.8.2013 | 1 | 19,4 | .. | 91 | 8,4 | 19 | 21 | .. |
| 15.5.2014 | 1 | 9,3 | .. | .. | .. | 16 | 8,9 | .. |
| 9.3.2015 | 1 | 2,1 | .. | 59 | 8,1 | 13 | 2,8 | .. |
| 25.3.2015 | 1 | 2,6 | .. | 67 | 9,2 | 10 | 2,3 | .. |
| 9.7.2015 | 1 | 17,9 | 0,3 | 89 | 8,5 | 17 | 16 | 51 |
| 31.8.2015 | 1 | 17,8 | 0,3 | 110 | 10,3 | 19 | 41 | 93 |
| 30.9.2015 | 1 | 11,2 | 0,4 | 94 | 10,3 | 17 | 36 | .. |
| 1.3.2017 | 1 | 1,6 | 1,6 | 73 | 10,2 | 16 | 2 | .. |
| 11.7.2017 | 1 | 19,6 | 0,4 | 100 | 9,2 | 15 | 19 | 45 |
| 6.9.2017 | 1 | 13,8 | 0,3 | 103 | 10,7 | 18 | 20 | 68 |
| 30.10.2017 | 1 | 1,3 | 0,6 | 81 | 11,5 | 15 | 7,4 | 31 |
| 20.3.2018 | 1 | 0,6 | 0,8 | 84 | 12 | 15 | 0,77 | .. |
| 26.6.2018 | 1 | 19 | 0,65 | 101 | 9,4 | 18 | 11 | 34 |
| 30.7.2018 | 1 | 24,3 | .. | 101 | 8,4 | 19 | 21 | 55 |
| Keskiarvo | | | | 88,7 | 9,7 | 16,1 | 14,9 | 53,9 |

Veden puskurikapasiteetti eli alkaliniteetti on hyvä, mitä ilmentää myös veden kelvollinen happamuustaso. Mangaanipitoisuudet ovat pääosin pieniä, mutta elossyyskuussa mitatut pitoisuudet ovat hieman korkeampia. Rautapitoisuudet ovat hiukan kohonneita heinä-syyskuun mittausajankohtina, mikä johtunee järvellä tapahtuvasta resuspensiosta.

Taulukko 13. Havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetuloksia aikaväliltä 2013–2018. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivä- määrä | Näyte- syvyys | Lämpö- tila | Alkalini- teetti | Mn | pH | Fe | Sähkön- johtavuus |
|------------------|------------------|----------------|---------------------|-------------|----------|--------------|----------------------|
| | m | °C | mmol /l | µg/l | | µg/l | mS/m |
| 27.5.2013 | 1 | 17,2 | .. | .. | 6,83 | .. | 4,7 |
| 27.8.2013 | 1 | 19,4 | 0,17 | 150 | 6,79 | 1 300 | 4,8 |
| 15.5.2014 | 1 | 9,3 | .. | .. | 6,73 | .. | 4,7 |
| 9.3.2015 | 1 | 2,1 | 0,159 | 73 | 6,47 | 480 | 5,3 |
| 25.3.2015 | 1 | 2,6 | 0,156 | 69 | 6,48 | 430 | 4,9 |
| 9.7.2015 | 1 | 17,9 | 0,134 | 130 | 6,88 | 1 100 | 4,4 |
| 31.8.2015 | 1 | 17,8 | 0,151 | 120 | 7,45 | 1 100 | 4,6 |
| 30.9.2015 | 1 | 11,2 | 0,154 | 91 | 6,93 | 770 | 4,4 |
| 1.3.2017 | 1 | 1,6 | 0,21 | 53 | 6,7 | 360 | 6,8 |
| 11.7.2017 | 1 | 19,6 | 0,13 | .. | 8,2 | 1 300 | 4,2 |
| 6.9.2017 | 1 | 13,8 | 0,14 | .. | 7,7 | 1 200 | 4,3 |
| 30.10.2017 | 1 | 1,3 | 0,15 | 69 | 7 | 640 | 4,5 |
| 20.3.2018 | 1 | 0,6 | 0,13 | 35 | 6,6 | 800 | 4,6 |
| 26.6.2018 | 1 | 19 | 0,13 | .. | 7 | 1 300 | 4,1 |
| 30.7.2018 | 1 | 24,3 | 0,15 | .. | 7 | 1 600 | 4,3 |
| Keskiarvo | | | 0,151 | 87,8 | 7 | 952,3 | 4,7 |

Veden kiintoainepitoisuudet (23–38 mg/l, keskiarvo noin 30 mg/l) ovat olleet korkeita kaikkina mittausajankohtina. Kokonaisfosforin pitoisuudet (11–91 µg/l, keskiarvo noin 40 µg/l) ovat vaihdelleet voimakkaasti (taulukko 14). Voimakasta vaihtelua on havaittavissa myös kokonaistyyppipitoisuuksissa (580–1 900 µg/l, keskiarvo noin 1 118 µg/l). Useimmat kokonaisfosforin ja -tyypin pitoisuudet ovat tyyppillisiä selkeästi rehevöityneille järville. Vesiekosysteemin perustuottajille suoraan käyttökelpoisessa muodossa olevien mineraaliravinteiden pitoisuudet ovat olleet pääosin maltillisia avovesikauden aikaan. Maaliskuussa otetuissa vesinäytteissä ammonium- ja nitraattityypin pitoisuudet ovat olleet korkeahkot.

Taulukko 14. Havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetulokset kiintoaineen ja ravinteiden osalta aikavälillä 2012–2018. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivämäärä | Näytesyvyys | Lt. | Kiintoaine | Kok. P | PO ₄ ³⁻ -P | Kok. N | NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ -N |
|------------------|-------------|------|------------|-------------|----------------------------------|----------------|--|---------------------------------|
| | m | °C | mg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 23.3.2012 | 1 | 1,8 | .. | 11 | 1 | 920 | 120 | 280 |
| 17.7.2012 | 1 | 19,3 | .. | 59 | 5 | 1 000 | 2 | 4 |
| 22.8.2012 | 1 | 17,5 | .. | 34 | 6 | 1 000 | 2 | 4 |
| 25.9.2012 | 1 | 10,4 | | 35 | 3 | 1 100 | 2 | 3 |
| 9.3.2015 | 1 | 2,1 | .. | 15 | 3 | 1 000 | 240 | 150 |
| 25.3.2015 | 1 | 2,6 | .. | 12 | .. | 850 | 260 | 120 |
| 9.7.2015 | 1 | 17,9 | .. | 65 | 1 | 1 000 | 2 | 4 |
| 31.8.2015 | 1 | 17,8 | .. | 62 | 3 | 1 900 | 2 | 4 |
| 30.9.2015 | 1 | 11,2 | .. | 52 | 1 | 1 800 | 2 | 4 |
| 1.3.2017 | 1 | 1,6 | .. | 14 | 2,8 | 850 | 280 | 2 |
| 11.7.2017 | 1 | 19,6 | 26 | 55 | 3,3 | 1 300 | 16 | 19 |
| 6.9.2017 | 1 | 13,8 | 38 | 91 | 1 | 1 500 | 2 | 7 |
| 30.10.2017 | 1 | 1,3 | .. | 34 | 3,4 | 900 | 6 | 8 |
| 20.3.2018 | 1 | 0,6 | .. | 12 | 2,7 | 580 | 160 | 2 |
| 26.6.2018 | 1 | 19 | 23 | 43 | 5 | 890 | 15 | 2 |
| 30.7.2018 | 1 | 24,3 | 33 | 47 | 3,6 | 1 300 | 14 | 4 |
| Keskiarvo | | | 30 | 40,1 | 3,0 | 1 118,1 | 70,3 | 38,6 |

5.3.1 Kuonanjärven vedenlaatu havaintopaikalla 090

Taulukko 15. Vedenlaadun havainnot hapen, sameuden ja a-klorofyllin osalta havaintopaikalla Kuona 090. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivämäärä | Näytesyvyys | Lt. | Näkösyvyys | O ₂ kyll. % | O ₂ | COD Mn | a-klorofylli | Sameus |
|------------------|-------------|------|-------------|------------------------|----------------|-------------|--------------|------------|
| | m | °C | m | kyll.% | mg/l | mg/l | µg/l | FTU |
| 16.2.2006 | 1 | 0,6 | 1 | 78 | 11,2 | 15 | .. | 1,6 |
| 12.6.2006 | 1 | 18 | 0,8 | 107 | 10,1 | 14 | 21 | 8,1 |
| | 2 | 17,4 | .. | 103 | 9,8 | 14 | .. | 8,5 |
| 26.7.2006 | 0 - 2 | 19,7 | 0,4 | .. | .. | .. | 75 | .. |
| 25.3.2015 | 1 | 2,6 | 1,7 | 70 | 9,5 | 11 | .. | 3,9 |
| Keskiarvo | | | 0,98 | 89,5 | 10,2 | 13,5 | 48 | 5,5 |

Taulukko 16. Happamuuden, sähkönjohtavuuden ja eräiden aineiden pitoisuuksien vedenlaatuhavainnot havaintopaikalla Kuona 090. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivämäärä | Näytesyvyys | Lt. | Alkaliniteetti | Mn | pH | Fe | Sähkönjohtavuus |
|------------------|-------------|------|----------------|------|------------|------------|-----------------|
| | m | °C | mmol/l | µg/l | | µg/l | mS/m |
| 16.2.2006 | 1 | 0,6 | 0,12 | .. | 6,2 | 830 | 7,5 |
| 12.6.2006 | 1 | 18 | 0,11 | .. | 7,4 | 830 | 5,1 |
| | 2 | 17,4 | 0,11 | .. | 7 | 850 | 5,2 |
| 26.7.2006 | 0 - 2 | 19,7 | .. | .. | .. | .. | .. |
| 25.3.2015 | 1 | 2,6 | 0,116 | 80 | 6,4 | 680 | 5 |
| Keskiarvo | | | 0,11 | | 6,8 | 798 | 5,7 |

Taulukko 17. Havaintopaikan Kuona 090 vedenlaadun havainnot 16.2.2006–25.3.2015 ravinnepitoisuuksien osalta. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivämäärä | Näytesyvyys | Kok. P | Kok. N | NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ -N |
|------------------|-------------|-------------|------------|--|---------------------------------|
| | (m) | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 16.2.2006 | 1 | 32 | 910 | 350 | .. |
| 12.6.2006 | 1 | 45 | 790 | 6 | .. |
| | 2 | 50 | 800 | 2 | .. |
| 26.7.2006 | 0 - 2 | 69 | 1 500 | 8 | .. |
| 25.3.2015 | 1 | 16 | 680 | 250 | 16 |
| Keskiarvo | | 42,4 | 936 | 123,2 | |

5.3.2 Kuonanjärvestä lähtevän veden laatu havaintopaikoilla Kuona 030 ja Kuonanjoki 185

Kuonanjärven veden ollessa täysin sekoittunutta kevät- ja syystäyskiertojen tai tuulisuuden seurauksena edustavat havaintopaikat Kuona 030 ja Kuonanjoki 185 sen keskimääräistä vedenlaatua. Kuonanjärvestä lähtevä vesi edustaa termisen kerrostuneisuuden aikana järven päällysveden laatua. Karelia-ammattikorkeakoulu on hakenut näytteet 22.11.2018 ja ne on mitattu Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:n laboratoriossa.

Kuonanjoen yläjuoksun kiintoainepitoisuudet ovat vuosina 2011–2018 vaihdelleet välillä 0,5–33 µg/l (keskiarvo noin 17 µg/l) ja ne ovat olleet ajoittain hyvin korkeita. Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat vaihdelleet voimakkaasti välillä 14–66 µg/l (keskiarvo noin 39 µg/l) ja ne ovat reheville järvivesille tyypillisiä. Kokonaisytypen pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 670–1800 µg/l (keskiarvo noin 1065 µg/l) ja niissä on esiintynyt erittäin voimakasta vaihtelua. Keskimääräinen kokonaisytyypipitoisuus on tyypillistä suuruusluokkaa reheville järvivesille.

Taulukko 18. Kuonanjoen (havaintopaikka suluissa) vedenlaadun havainnot kiintoaineen ja ravinteiden osalta aikaväliltä 2011–2018, näytesyvyys 0,1 - 0,2 m. Tulokset on poimittu marraskuun 2018 näytettä lukuun ottamatta Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018 ja 13.10.2018).

| Päivämäärä | Näytesyvyys | Lt. | Kiintoaine | Kok. P | PO ₄ ³ -P | Kok. N | NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ -N |
|------------------|-------------|------|-------------|-------------|---------------------------------|--------------|--|---------------------------------|
| | m | °C | mg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 22.2.2011 (030) | 0,1 | 0,6 | .. | 14 | .. | 800 | .. | 260 |
| 16.5.2011 (030) | 0,1 | 12,5 | .. | 32 | .. | 780 | .. | 98 |
| 27.9.2011 (030) | 0,1 | 10,2 | .. | 52 | .. | 1 400 | .. | 16 |
| 25.1.2012 (030) | 0,1 | 0,7 | 0,5 | 18 | .. | 900 | .. | .. |
| 6.8.2012 (030) | 0,1 | 21,2 | .. | 32 | .. | 1 000 | .. | 2 |
| 27.5.2013 (030) | 0,1 | 17,2 | .. | 38 | .. | 900 | 60 | 4 |
| 27.8.2013 (030) | 0,1 | 19,4 | .. | 66 | .. | 1 800 | .. | 2 |
| 15.5.2014 (030) | 0,2 | 9,3 | .. | 45 | .. | 980 | 53 | .. |
| 23.10.2016 (030) | 0,2 | 6,9 | 9 | 29 | 1 | 670 | 2 | 24 |
| 7.6.2017 (030) | 0,2 | 14,9 | 14 | 36 | 1 | 700 | 7 | 6 |
| 8.6.2017 (185) | 0,2 | 12 | 17 | 43 | 1 | 780 | 13 | 4 |
| 18.10.2017 (030) | 0,2 | 6 | 29 | 51 | 1 | 1 100 | 6 | 6 |
| 13.8.2018 (185) | 0,2 | 20,2 | 33 | 46 | 2,8 | 1 600 | 19 | 39 |
| 22.11.2018 (185) | 0,1 | 0,7 | .. | 43 | .. | 1 500 | .. | .. |
| Keskiarvo | | | 17,1 | 38,9 | 1,4 | 1 065 | 22,9 | 41,9 |

5.3.3 Suuri Vehkajärvi 002 ja sen lasku-uoma Vehkaoja 018 Kuonanjärveen

Vehkaoja on Kuonanjärven osavaluma-alueista suurin. Suuren Vehkajärven veden ollessa täysin sekoittunutta edustaa havaintopaikka Vehkaoja 018 sen keskimääräistä vedenlaatua. Termisen kerrostuneisuuden aikana havaintopaikka edustaa järven päällysveden laatua.

Vuosien 2006–2018 havaintojen perusteella Suuresta Vehkajärvestä Kuonanjärveen virtaa 1,2–10 mg/l kiintoainetta (keskiarvo 6,4 mg/l). Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 29–45 µg/l, keskiarvo noin 39 µg/l. Kokonaistypen pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 580–990 µg/l, keskiarvo noin 749 µg/l. Ravinteiden keskipitoisuudet ovat tyypillisiä reheville järvivesille.

Taulukko 19. Vedenlaadun tulokset havaintopaikalta Vehkaoja 018. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä (14.9.2018).

| Päivämäärä | Lt. | Kiintoaine | Kok. P | PO ₄ ³⁻ -P | Kok. N | NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ -N |
|------------------|------|------------|-------------|----------------------------------|------------|--|---------------------------------|
| | °C | mg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 1.2.2006 | 0,6 | .. | 38 | .. | 990 | 260 | .. |
| 7.6.2006 | 14 | .. | 39 | .. | 650 | 8 | .. |
| 8.10.2007 | 11,3 | .. | 45 | .. | 840 | 80 | .. |
| 25.5.2009 | 14,5 | 10 | 44 | 13 | 760 | 96 | 6 |
| 9.11.2009 | 1,4 | 1,2 | 32 | 13 | 760 | 35 | 39 |
| 27.5.2013 | 16,7 | .. | 31 | .. | 720 | 130 | 8 |
| 29.6.2017 | 16,9 | 6 | 29 | 3,1 | 580 | 6 | 6 |
| 6.6.2018 | 12 | 8,5 | 39 | 3,1 | 740 | 98 | 6 |
| 22.11.2018 | 0,4 | .. | 31 | .. | 700 | .. | .. |
| Keskiarvo | | 6,4 | 36,4 | 8,1 | 749 | 89,1 | 13 |



Kuva 22. Vehkaoja 8.8.2018 (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).

Suuren Vehkajärven kiintoainepitoisuudet ovat olleet ajoittain korkeahkoja (0,5–10 mg/l, keskiarvo noin 4,5 mg/l) ja ne ovat vaihdelleet runsaasti havaintoajankohtien välillä. Kokonaisfosforin pitoisuuksissa (27–48 µg/l, keskiarvo noin 34 µg/l) on ollut kohtalaisen voimakasta vaihtelua havaintoajankohtien välillä (taulukko 20). Kokonaistyyppipitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 550–810 µg/l. Ravin-
nepitoisuudet ovat tyypillisiä eutrofisille eli reheville järvivesille.

Taulukko 20. Havaintopaikan Suuri Vehka 002 vedenlaadun tulokset kiintoaineen ja ravinteiden osalta. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 14.9.2018 (jatkuu seuraavalla sivulla).

| Päivämäärä | Näytesyvyys | Kiintoaine | Kokonaisfosfori | Kokonaistyyppi |
|-------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| | m | mg/l | µg/l | µg/l |
| 11.3.2013 | 1 | 2,3 | 40 | 750 |
| 11.3.2013 | 5 | 3 | 43 | 770 |
| 27.6.2013 | 1 | 3,4 | 27 | 590 |
| 27.6.2013 | 5 | 5,3 | 35 | 590 |
| 10.9.2013 | 1 | 5,6 | 48 | 600 |
| 10.9.2013 | 5 | 5,7 | 40 | 580 |

| | | | | |
|------------------|-----|------------|-----------|------------|
| 18.3.2014 | 1 | 1,9 | 36 | 680 |
| 18.3.2014 | 5 | 4 | 38 | 810 |
| 10.3.2016 | 1 | 0,5 | 23 | 740 |
| 10.3.2016 | 5,6 | 5 | 32 | 800 |
| 20.6.2016 | 1 | 8 | 28 | 550 |
| 20.6.2016 | 5,5 | 10 | 34 | 580 |
| 15.9.2016 | 1 | 4 | 29 | 560 |
| 15.9.2016 | 5,1 | 4,7 | 27 | 560 |
| Keskiarvo | | 4,5 | 34 | 654 |

5.3.4 Kuonanjärveen laskevan Tenhunjoen vedenlaadun havainnot

Tenhunjoen osavaluma-alue (noin 10 km²) on Vehkaojan osavaluma-alueen (noin 36 km²) ohella toinen Kuonanjärven merkittävä kaukovaluma-alue. Tenhunjoen vedenlaadusta on kaksi havaintoa. Toinen on toukokuulta 2013 ja toinen marraskuulta 2018.

Tenhunjoen vedenlaatu on kahden näytteen perusteella kokonaisfosforipitoisuudeltaan sama (12 µg/l) ja kokonaistypen pitoisuus on vaihdellut välillä 350–460 µg/l. Molemmat pitoisuudet ilmentävät lähes karun järveden suuruusluokkaa (taulukko 21).

Taulukko 21. Vedenlaadun tulokset havaintopaikalta Tenhunjoki 169. Vuoden 2013 tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivämäärä | Lämpötila | Kok. P | Kok. N | NO₂⁻+NO₃⁻ | pH | Sähkön-joh-tavuus |
|-------------------|------------------|---------------|---------------|--|-----------|--------------------------|
| | °C | µg/l | µg/l | µg/l | | mS/m |
| 27.5.2013 | 16,8 | 12 | 460 | 38 | 6,47 | 3,5 |
| 22.11.2018 | 2,2 | 12 | 350 | .. | .. | .. |
| Keskiarvo | | 12 | 405 | | | |



Kuva 23. Tenhunjoki 18.10.2018 (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).



Kuva 24. Tenhunjoki 8.8.2018 (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).

5.3.5 Suureen Vehkajärveen laskevan ojan (152) ja Pienen Vehkajärven laskuojan (037) kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet

Taulukko 22. Pienen ja Suuren Vehkajärven välisen joen vedenlaatumittaukset havaintopaikalla Pieni Vehka laskuoja 037. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018.

| Päivämäärä | Havaintopaikka | Lt. | Kiintoaine | Kok. P | Kok. N |
|------------------|---------------------------------|------|------------|-----------|--------------|
| | | °C | mg/l | µg/l | µg/l |
| 1.2.2006 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 1,2 | .. | 53 | 1 200 |
| 7.6.2006 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 12,1 | .. | 62 | 940 |
| 8.10.2007 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 11 | .. | 53 | 1 100 |
| 29.11.2007 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 1,1 | .. | 52 | 1 200 |
| 5.11.2008 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 3,6 | 2,1 | 51 | 1 100 |
| 25.5.2009 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 11 | 4,8 | 90 | 1 100 |
| 9.11.2009 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 1,1 | 1,8 | 45 | 1 000 |
| 27.5.2013 | Pienen Vehkajärven laskuoja 037 | 18,6 | .. | 51 | 860 |
| Keskiarvo | | | 2,9 | 57 | 1 063 |

Taulukko 23. Konnaansuolta Suureen Vehkajärveen laskevan ojan vedenlaadun tulokset ravinteiden osalta. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 20.11.2018.

| Päivämäärä | Havaintopaikka | Kok. P | Kok. N |
|------------|-------------------------------|--------|--------|
| | | µg/l | µg/l |
| 5.11.2008 | Konnaansuolta laskeva oja 152 | 12 | 400 |
| 18.5.2009 | Konnaansuolta laskeva oja 152 | 8 | 180 |

5.3.6 Pienen Vehkajärven (027) kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet

Taulukko 24. Pienen Vehkajärven kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet vuosilta 2008–2012. Tulokset on poimittu Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä 9.7.2018).

| Päivämäärä | Näyte-syv. | Lt. | Kiinto-aine | Kok. P | PO ₄ ³⁻ -P | Kok. N | NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ -N |
|------------------|------------|------|-------------|-----------|----------------------------------|------------|--|---------------------------------|
| | m | °C | mg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l |
| 13.3.2008 | 0,5 | 1 | 4,9 | 44 | 20 | 1 200 | 140 | 86 |
| 16.6.2008 | 1 | 16,2 | 12 | 68 | 2 | 910 | 2 | 6 |
| 10.9.2008 | 1 | 12,4 | 7,5 | 54 | 3 | 1 100 | 2 | 8 |
| 1.4.2009 | 0,5 | 0,7 | 1,2 | 110 | 71 | 1 200 | 9 | 170 |
| 30.6.2009 | 1 | 21,3 | 5,5 | 88 | 10 | 940 | 2 | 6 |
| 1.10.2009 | 1 | 7,7 | 12 | 70 | 7 | 950 | 2 | 7 |
| 8.3.2010 | 1 | 1 | 0,25 | 38 | 18 | 840 | 57 | 68 |
| 23.6.2010 | 1 | 17,5 | 6,1 | 65 | 4 | 920 | 2 | 6 |
| 27.9.2010 | 1 | 11 | 5,7 | 69 | 19 | 980 | 82 | 30 |
| 14.3.2011 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 84 | 60 | 1 200 | 110 | 130 |
| 7.7.2011 | 1 | 21,8 | 4,2 | 59 | 9 | 850 | 2 | 4 |
| 15.9.2011 | 0,6 | 14,5 | 3,3 | 60 | 8 | 760 | 16 | 7 |
| 21.3.2012 | 1 | 2,4 | 2,3 | 50 | 33 | 1 200 | 68 | 97 |
| 13.6.2012 | 1 | 18 | 7,9 | 54 | 4 | 880 | 2 | 1 |
| 25.9.2012 | 1 | 9,4 | 5,7 | 49 | 11 | 880 | 18 | 9 |
| Keskiarvo | | | 5,27 | 64 | 18,6 | 987 | 34 | 42,3 |

5.4 Kalastorakenne

Kesän 2017 koekalastuksen keskimääräinen yksikkösaalis Kuonanjärvellä oli 1812 g/verkko ja 119 kpl/verkko. Saalis koostui kaikkiaan 10 eri kalalajista. Järven kalastorakenne on yksilömäärältään särkikalavoittoinen 86 % osuudella. Yksilömäärästä ahvenkalojen osuus oli noin 13 % ja petokalojen osuus saaliista on pieni, noin 2,3 %. Saaliin massasta noin 65 % oli rehevöitymisestä hyötyviä särkikalaja, ahvenkalojen osuus oli noin 17 % ja petokalojen osuus noin 31 %. (Kulo 2018).

Taulukko 25. Kuonanjärven koekalastustulokset kalalajeittain ja -ryhmittäin heinäkuun lopulla 2017 (Kulo 2018).

| Laji | Yksikkö- saalis g/verkko | koko- nais- saalis (g) | Bio- massa- osuus (%) | Yksikkö- saalis (kpl/verk- ko) | Koko- naissaa- lis (kpl) | Yksilö- määrä- osuus (%) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|
| Ahven | 260,3 | 7 287 | 14,4 | 13,5 | 377 | 11,3 |
| Hauki | 323,4 | 9 056 | 17,9 | 0,3 | 7 | 0,2 |
| Kiiski | 5,1 | 144 | 0,3 | 1,3 | 35 | 1,1 |
| Kuha | 37,5 | 1 049 | 2,1 | 1,2 | 34 | 1 |
| Lahna | 330,3 | 9 248 | 18,2 | 13,3 | 372 | 11,2 |
| Pasuri | 249,9 | 6 998 | 13,8 | 16,1 | 451 | 13,6 |
| Salakka | 120,6 | 3 378 | 6,7 | 12 | 336 | 10,1 |
| Sorva | 188,6 | 5 281 | 10,4 | 1,8 | 50 | 1,5 |
| Särki | 295,8 | 8 281 | 16,3 | 59,4 | 1 663 | 50 |
| Säyne | 0,1 | 2 | 0,004 | 0,04 | 1 | 0,03 |
| Yhteensä | 1811,6 | 50 724 | 100 | 118,8 | 3 326 | 100 |
| Ahvenkalat | 302,9 | 8 480 | 16,7 | 15,9 | 446 | 13,4 |
| Särkikalat | 1 185,3 | 33 188 | 65,4 | 102,6 | 2 873 | 86,4 |
| Ahven ≥15cm | 205,5 | 5 741 | 11,3 | 1,3 | 35 | 1,1 |
| Petokalat | 565,9 | 15 846 | 31,2 | 2,7 | 76 | 2,3 |

5.5 Kuonanjärven minimiravinnetarkastelu

Suomen Ympäristökeskuksen kirjaamien avovesikauden havaintojen (2015–2018) perusteella arvioituna Kuonanjärvellä kasviplanktonin perustuotantoa rajoittava ravinne eli minimiravinne on ollut typpi. Tätä arviota tukee myös runsas sinilevien esiintyminen Kuonanjärvessä, sillä sinilevät kykenevät ainoana leväryhmänä sitomaan typpiä ilmakehästä perustarpeisiinsa erityisesti silloin, kun typestä tulee vesiekosysteemin minimiravinne.

Taulukko 26. Ravinnesuhteet minimiravinteiden arvioimiseksi (Salonen ym. 1992, 36–37).

| |
|--|
| 1. Mineraaliravannesuhde ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N}$) / $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) |
| 2. Kokonaisravannesuhde Kok. N / kok. P |

3. Ravinteiden tasapainosuhte
 (Kok. N / kok. P) / ((NH₄⁺-N + NO₃⁻-N + NO₂⁻-N)) / PO₄³⁻-P)

Taulukko 27. Veden ravinnesuhteiden yhteydet ja minimiravinne (Salonen ym. 1992, 36–37).

| 1. Mineraali-ravinnesuhde | 2. Kokonais-ravinnesuhde | 3. Ravinteiden tasapainosuhte | Minimiravinne |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
| < 5 | < 10 | > 1 | N |
| 5...12 | 10...17 | ... | N tai P |
| > 12 | > 17 | < 1 | P |

Taulukko 28. Minimiravinteen arviointi vuosien 2015–2018 avovesikauden vesinäytetietojen perusteella havaintopaikalla 003.

| Päivämäärä | Näyte-syvyys | Kok. P | PO ₄ ³⁻ -P | Kok. N | NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ -N | Ravin-teiden tasa-paino-suhde | Minimi-ravinne |
|------------|--------------|--------|----------------------------------|--------|--|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | m | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | | |
| 27.5.2013 | 1 | 38 | .. | 900 | 60 | 4 | .. | .. |
| 27.8.2013 | 1 | 66 | .. | 1 800 | .. | 2 | .. | .. |
| 15.5.2014 | 1 | 45 | .. | 980 | 53 | .. | .. | .. |
| 9.7.2015 | 1 | 65 | 1 | 1 000 | 2 | 4 | 2,56 | N |
| 31.8.2015 | 1 | 62 | 3 | 1 900 | 2 | 4 | 15,32 | N |
| 30.9.2015 | 1 | 52 | 1 | 1 800 | 2 | 4 | 5,77 | N |
| 11.7.2017 | 1 | 55 | 3,3 | 1 300 | 16 | 19 | 2,23 | N |
| 6.9.2017 | 1 | 91 | 1 | 1 500 | 2 | 7 | 1,83 | N |
| 30.10.2017 | 1 | 34 | 3,4 | 900 | 6 | 8 | 6,43 | N |
| 26.6.2018 | 1 | 43 | 5 | 890 | 15 | 2 | 6,09 | N |
| 30.7.2018 | 1 | 47 | 3,6 | 1 300 | 14 | 4 | 5,53 | N |

5.6 Kuonanjärven kuormitus- ja fosforimallitarkastelu

5.6.1 Kuonanjärven fosforimallitarkastelu ja fosforitase

Vehkaojan valuma-alueen ala on 36,1 km². Koko Suomen vuosien 2000–2011 keskivaluman 9,7 l/s/km² (Linjama 2013) perusteella Vehkaojan valuma-alueen keskivirtaama on 36,13 km² x 9,7 l/s/ km² = 350,5 l/s.

Tenhunjoen valuma-alueen ala on 9,95 km². Koko Suomen vuosien 2000–2011 keskivaluman 9,7 l/s/km² (Linjama 2013) perusteella Tenhunjoen valuma-alueen keskivirtaama on 9,95 km² x 9,7 l/s/km² = 96,5 l/s.

Keskivirtaaman ja vuosien 2006–2018 keskipitoisuuden (36,4 µg/l x MQ_{Vehkaoja}) perusteella Kuonanjärveen päätyy Vehkaojan osavaluma-alueelta noin 402 kg kokonaisfosforia vuosittain. Valuma-alueaalaan nähden kokonaisfosforin kuormitus on keskimäärin 11,1 kg/km²/a. Tenhunjoen osavaluma-alueelta tuleva vuotuinen kokonaisfosforikuormitus on noin 36,5 kg/a ja keskimääräinen kuormitus valuma-alueaalaan nähden on noin 3,7 kg/km²/a.

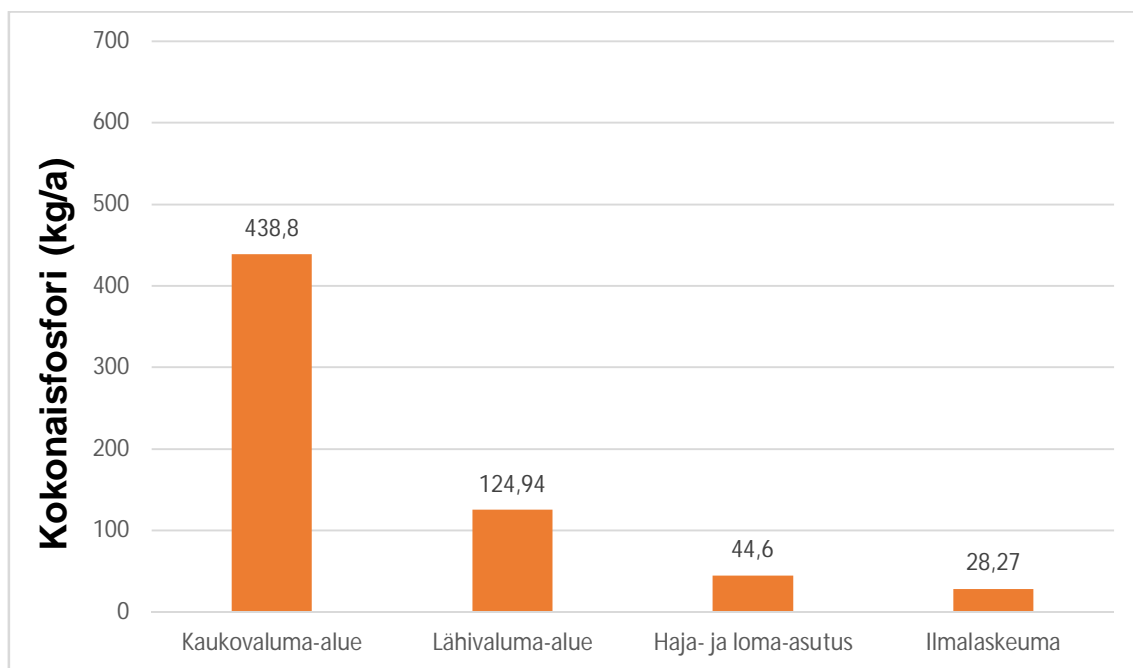
Taulukko 29. Nykyinen kokonaisfosforin arvioitu vuotuinen ulkoinen kuormitus Kuonanjärveen.

| Kuormituksen lähde | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|
| Lähivaluma-alue | Pinta-ala (km ²) | Kok. P kg/km ² /a | Keskipitoisuus, kok. P (µg/l) | MQ _{vuosi} (l/s) | Kok. P kg/a |
| Peltoviljely (oletus; rehua) | 0,5 | 70 | | | 37,1 |
| Metsätaloustoimet yhteensä | 7,7 | 5,6 | | | 43,3 |
| Luonnonhuuhtouma | 8,3 | 5,4 | | | 44,6 |
| Suora ilmalaskeuma järveen | 5,8 | 4,9 | | | 28,3 |
| Haja- ja loma-asutus | | | | | 44,6 |
| Kaukovaluma-alue | | | | | |
| Vehkaojan osavaluma-alue | 36,1 | | 36,4 | 393,4 | 402,3 |
| Tenhunjoen osavaluma-alue | 10 | | 12 | 102,1 | 36,5 |
| Yhteensä | | | | | 636,6 |

Taulukko 30. Kuonanjärven nykyinen kokonaisfosforitase (jatkuu seuraavalla sivulla).

| Fosforitaseen osa-alue | Kg kok. P/a | Nettosedimentaatio (%) | Laskentaperusteet ja huomiot |
|---|--------------------|-------------------------------|--|
| Ulkoinen kuormitus yhteensä | 636,6 | .. | |
| Valuma-alueelta | 608,3 | .. | |
| Laskeuma ilmakehästä | 28,3 | .. | |
| Poistuma Kuonanjokea pitkin Savonlahteen | | .. | |
| Lappalaisen mallilla määritetty | 367 | .. | Tämän verran kokonaisfosforia poistuisi vuosittain Kuonanjärvestä, mikäli sen fosforinpidätysmekanismi olisi vähintään tyydyttävä |
| Todellinen, mitattu | 646,6 | .. | Kuonanjärvestä lähtevän veden keskipitoisuus 38,9 µg/l (vuosien 2011–2018 keskipitoisuus) x A _{valuma-alue} x Mq _{Suomi 2000–2011} |

| | | | |
|-----------------------------------|------------|-------|--|
| Nettosedimentaatio | | .. | |
| Lappalaisen mallilla määritetty | 269,3 | 42,3 | |
| Todellinen, mitattu | -10 | -1,04 | Lappalaisen mallilla määritetty nettosedimentaatiokerroin ei vastaa todellisuutta järvestä tapahtuvan sisäisen kuormituksen takia (kok. P 11–91 µg/l). Järvestä lähtee 1 % (noin 10 kg) enemmän kokonaisfosforia, kuin sinne tulee |
| Vesimassan sisältämä fosfori | 361 | .. | Vedenlaatuhavaintojen keskiarvo vuosilta 2012–2018 (40,1 µg/l). |
| Pohjasedimentin sisältämä fosfori | 1 578 000 | .. | Laboratorioanalyysitulosten keskiarvo havaintopaikoilta 003 ja 12. |



Kuvio 1. Kuonajärveen kohdistuva vuosittainen kokonaisfosforikuorma kuormituslähteittäin.

Suuren Vehkajärven ja Päähisen (Tenhunjoen) valuma-alueilta tulee Kuonajärveen vuosittain noin 439 kg kokonaisfosforia. Lähivaluma-alueelta Kuonajärveen päätyy kokonaisfosforia noin 170 kg/a ja ilmalaskeumana noin 28,3 kg/a.

Lähivaluma-alueella ympärivuotisesti asuttuja taloja on karkeasti arvioituna 26 ja loma-asuntoja 22. Oletuksena on, että jokaisessa ympärivuotisesti asutussa talossa on keskimäärin neljä asukasta. Yhteenlaskettu ulkoinen kokonaisfosforin kuorma on noin 637 kg/a.

Kuonanjärveen päätyvä fosforikuorma:

Alku- eli sekoituspitoisuus C_I , mikäli Kuonanjärvellä ei tapahtuisi sedimentaatiota lainkaan:

$$\text{Kok. P} = 636,6 \text{ kg/a} / 31\,536\,000 = 20,18 \text{ mg/s}$$

$$C_I = 20,18 \text{ mg/s} / 0,527 \text{ m}^3/\text{s} = 38,29 \text{ mg/m}^3$$

Kuonanjärven teoreettinen viipymä ($T = V_{\text{Kuonanjärvi}} / MQ$) järvikortissa (Suomen Ympäristökeskus) ilmoitetun pinta-alan ja keskisyvyyden perusteella:

$$T = (5\,769\,880 \text{ m}^2 \times 1,56 \text{ m} \times 1000) / (54,336 \times 9,7 \text{ l/s/km}^2) = 6,49 \text{ kk}$$

Lappalaisen mallilla määritetty nettosedimentaatiokerroin Kuonanjärvelle:

$$R = 0,9 \times (38,29 \text{ mg/m}^3 \times 6,49 \text{ kk}) / (280 + 38,29 \text{ mg/m}^3 \times 6,49 \text{ kk}) = 0,4231$$

Tämä merkitsee sitä, että pysyvästi Kuonanjärven pohjaan sedimentoituisi noin 42,3 % kokonaisfosforista. Loput siitä, eli noin 57,7 % jää vesimassaan saaden siellä aikaan keskimääräisen kokonaisfosforipitoisuuden.

Keskimääräinen kokonaisfosforin laskennallinen vuosikeskipitoisuus Kuonanjärvelle:

$$C_{\text{calc}} = (1 - 0,4231) \times 38,29 \text{ mg/m}^3 = 22,09 \text{ mg/m}^3$$

Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä poimittujen kokonaisfosforipitoisuuksien keskiarvo on vuosien 2012–2018 välillä 40,1 mg/m³ (taulukko 14).

$$40,1 \text{ mg/m}^3 - 22,09 \text{ mg/m}^3 = 18,01 \text{ mg/m}^3$$

Kuonanjärveen kohdistuva, vuosien 2012–2018 aikana mitattu kokonaisfosforipitoisuus on huomattavasti laskennallista pitoisuutta suurempi.

Vesimassan sisältämä kokonaisfosforin määrä Kuonanjärvessä on $C_{\text{mitattu}} \times V_{\text{Kuonanjärvi}} = 40,1 \text{ mg/m}^3 \times 9\,001\,013 \text{ m}^3 = 360,94 \text{ kg}$.

Kuonanjärveen kohdistuva ulkoinen kokonaisfosforikuorma on 636,6 kg/a. Kuonanjärven fosforikuorman arvioitu sietokyky, kun suurimmaksi sallituksi järvi veden pitoisuudeksi asetetaan 20 µg/l:

$$I = 0,158 \times 0,527 \text{ m}^3/\text{s} / 6,49 \text{ kk} \times [20 \text{ µg/l} \times 6,49 \text{ kk} - 280 + \sqrt{(78\,400 - 448 \times 20 \text{ µg/l} \times 6,49 \text{ kk} + (20 \text{ µg/l})^2 \times (6,49 \text{ kk})^2)}] = 0,54408 \text{ tn/a} = 544,1 \text{ kg/a}$$

Toisin sanoen Kuonanjärven vuotuista ulkoista fosforikuormaa tulisi vähentää $636,6 \text{ kg/a} - 544,1 \text{ kg/a} = 92,5 \text{ kg/a}$

Kuonanjärven kokonaisfosforin sietokyky on noin 544 kg/a. Vuosittaista kokonaisfosforikuormaa tulisi pidättää noin 100 kg (noin 18 %), ettei Kuonanjärven sietokyky ylittyisi.

Kuonanjärven laskennallinen kokonaisfosforin sedimentaatioaste, kun ulkoisen kuormituksen määräksi on asetettu Lappalaisen mallilla määritetty järven laskennallinen kokonaisfosforin sietokyky:

Alku- eli sekoituspitoisuus C_I , mikäli sedimentaatiota ei tapahtuisi Kuonanjärvellä lainkaan:

$$\text{Kok. P} = 544,1 \text{ kg/a} / 31\,536\,000 = 17,16 \text{ mg/s}$$

$$C_I = 17,16 \text{ mg/s} / 0,527 \text{ m}^3/\text{s} = 32,56 \text{ mg/m}^3$$

Lappalaisen mallilla laskettu nettosedimentaatio Kuonanjärvelle, kun järven suurimmaksi sallituksi kokonaisfosforipitoisuudeksi on asetettu 20 µg/l:

$$R = 0,9 \times (32,56 \text{ mg/m}^3 \times 6,49 \text{ kk}) / (280 + 32,56 \text{ mg/m}^3 \times 6,49 \text{ kk}) = 0,3870$$

Mikäli Kuonanjärven vuotuinen kokonaisfosforikuorma olisi 544,1 kg, siitä sedimentoituisi järven pohjaan noin 39 % ja loput siitä (noin 61 %) jäisi vesimassaan muodostaen keskimääräisen kokonaisfosforipitoisuuden 20 µg/l.

Vollenweiderin & Dillonin (1974) fosforimallit:

$$x = (q_s) = (0,527 \text{ m}^3/\text{s} \times 31\,536\,000 \text{ s}) / 5\,769\,880 \text{ m}^2 = 2,88 \text{ m/a}$$

Suurin sallittu kuorma, kokonaisfosforipitoisuuden ollessa 10 µg/l

$$Y_A = 0,055 \times (2,88 \text{ m/a})^{0,635} = 0,108 \text{ g/m}^2/\text{a}$$

$$Y_{A, \text{ Kuonanjärvi}} = 0,108 \text{ g/m}^2/\text{a} \times 5\,769\,880 \text{ m}^2 = 623 \text{ kg/a}$$

Vaarallinen kuorma, kokonaisfosforipitoisuuden ollessa 20 µg/l

$$Y_D = 0,174 \times (2,88 \text{ m/a})^{0,469} = 0,286 \text{ g/m}^2/\text{a}$$

$$Y_{D, \text{ Kuonanjärvi}} = 0,286 \text{ g/m}^2/\text{a} \times 5\,769\,880 \text{ m}^2 = 1650 \text{ kg/a}$$

Taulukko 31. Yhteenveto Kuonanjärven fosforimallitarkastelusta.

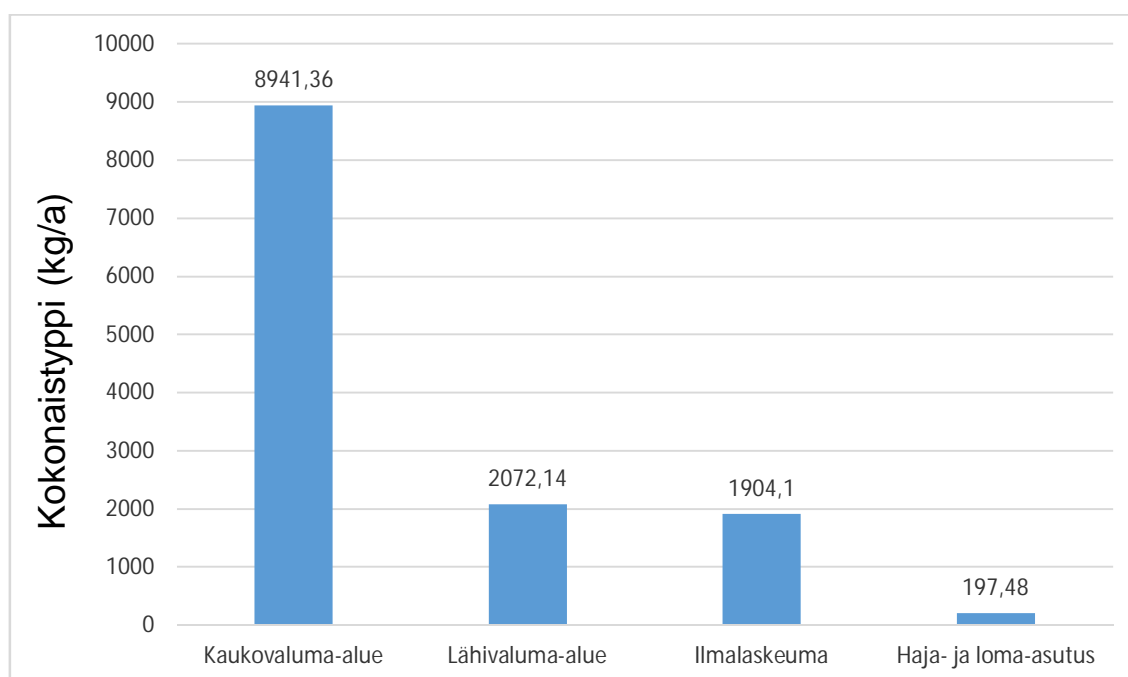
| Ulkoinen kok. P-kuormitus | Kok. P:n ulkoisen vuosikuormituksen nettosedimentaatio | Veden kok. P vuosikeskipitoisuus ($\mu\text{g/l}$) | Laskentaperusteet |
|--|---|--|---|
| 636,6 kg/a (nykyinen) | 42,3 % (269,3 kg/a) todellinen, mitattu; -1,04 % (-10 kg/a) | 22,1 (kuormitukseen perustuva, mallilla ennustettu pitoisuus, mikäli fosforinpidätyskyky olisi tyydyttävä) 40,1 (mitattu) | Sedimentaatio; Lappalainen Kuormitus: Tenhunjoen ja Vehkaojan mitaukset (SYKE) ja Karelia AMK:n ottamat näytteet 22.11.2018. Lähivaluma-alue: ominaisuuskuormitusarvot määritetty maankäytön perusteella. |
| 544,1 kg/a (laskennallinen sietokyky) | 38,7 % (210,6 kg/a) | 20 | Lappalainen (1977), Frisk (1989); Kuonanjärven fosforikuorman sietokyky suurimman sallitun pitoisuuden ollessa 20 $\mu\text{g/l}$. |
| 623 kg/a (suurin sallittu kuorma) | .. | 10 | Vollenweider & Dillon (1974), Granberg (1980); yhtälö ei sovellu Kuonanjärvelle. |
| 1650 kg/a (vaarallinen kuorma) | .. | 20 | Vollenweider & Dillon (1974), Granberg (1980); yhtälö ei sovellu Kuonanjärvelle. |

5.6.2 Kuonanjärven typpitase

Vehkaojan osavaluma-alueelta Kuonanjärveen tuleva kokonaistyyppikuormitus on noin 8,3 tonnia vuosittain, joka valuma-alueaalaan suhteutettuna tekee noin 230 $\text{kg/km}^2/\text{a}$. Tenhunjoen osavaluma-alueelta kokonaistyyppiä tulee järveen vuosittain noin 1,2 tonnia, joka tekee valuma-alueaalaan suhteutettuna 127 $\text{kg/km}^2/\text{a}$.

Taulukko 32. Kokonaistypen vuosittainen kuormitus Kuonanjärveen.

| Kuormituksen lähde | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| Lähivaluma-alue | Pinta-ala (km ²) | Kok. N kg/km ² /a | Keskipitoisuus, kok. N (µg/l) | MQ _{vuosi} (l/s) | Kok. N kg/a |
| Peltoviljely (oletus; rehua) | 0,5 | 1 000 | | | 530 |
| Metsätaloustoimet yhteensä | 7,7 | 50 | | | 386,3 |
| Luonnonhuuhtouma | 8,3 | 140 | | | 1 155,8 |
| Suora ilmalaskeuma järveen | 5,7 | 330 | | | 1 904,1 |
| Haja- ja loma-asutus | | | | | 197,5 |
| Kaukovaluma-alue | | | | | |
| Vehkaojan osavaluma-alue | 36,1 | | 749 | 393,4 | 7 708,9 |
| Tenhunjoen osavaluma-alue | 10 | | 405 | 102,1 | 1 232,5 |
| Yhteensä | | | | | 13 115 |



Kuvio 2. Kuonanjärveen kohdistuva vuosittainen kokonaistyyppikuorma kuormituslähteittäin

Suuren Vehkajärven ja Päähisen (Tenhunjoen) valuma-alueilta tulee Kuonanjärveen vuosittain noin 8 941 kg kokonaistyppeä. Lähivaluma-alueelta Kuonanjärveen päätyy kokonaistyppeä noin 2 270 kg/a ja ilmalaskeumana noin 1 900 kg/a. Yhteenlaskettu kokonaistypen vuosikuorma on 13 115 kg.

Taulukko 33. Kuonanjärven nykyinen kokonaistyyppitase.

| Tyyppitaseen osa-alue | Kok. N kg/a | Huomioitavaa |
|---|--------------------|---|
| Ulkoisen kuormitus yhteensä | 13 115 | |
| Valuma-alueelta | 11 211 | |
| Laskeuma ilmakehästä | 1904 | |
| Poistuma lasku-uoman kautta | 17 702 | Lähtevän veden keskipitoisuus 1 065 µg/l (2011–2018). |
| Vesimassan sisältämä typpi | 10 064 | Keskipitoisuus 1 118,1 µg/l (2012–2018). |
| Saven yläpuolisen, tummanpuhuvan pohjasedimentin sisältämä typpi | 22 091 000 | |

5.7 Karelia-ammattikorkeakoulun vedenlaadun tutkimustulokset kevättalvella 2018

5.7.1 Vedenlaatu

Kuonanjärven vedenlaatua tutkittiin Karelia-ammattikorkeakoulun toimesta kevättalvella 2018. Vesinäytteitä otettiin kymmeneltä eri havaintopaikalta. Vesinäytetulokset on esitetty taulukoissa 34 ja 35. Mitattuja fysikaalis-kemiallisia muuttujia olivat lämpötila, näkösyvyys, happamuus, sähkönjohtavuus sekä fosfaattifosforin ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$), nitraattitypen ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) ja ammoniumtypen ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) pitoisuudet.

Taulukko 34. Kuonanjärven vedenlaadun fysikaalis-kemiallisia muuttujia keväätalven 2018 tutkimustulosten perusteella.

| Havaintopaikka | Päivämäärä | Kok-syv. | Näyte-syv. | Lt. | Näkö-syv. | pH | Säh-kön-johta-vuus |
|-----------------------|------------|----------|------------|-----|-------------|-------------|--------------------|
| | | m | m | °C | m | | mS/m |
| Kuonanjoki 185 | 18.4.2018 | .. | .. | 2,6 | .. | .. | .. |
| Kuona 1 | 28.2.2018 | 1,06 | 0,53 | 0,7 | 0,87 | 6,54 | 5,6 |
| Kuona 1a | 13.4.2018 | 1,22 | 0,61 | 1,2 | .. | 6,06 | 3,2 |
| Kuona 2 | 23.2.2018 | 1,78 | 0,78 | 0,1 | 1,04 | 6,09 | 4 |
| Kuona 2 | 6.4.2018 | 1,47 | 0,74 | 1,3 | 0,82 | 5,98 | 3,7 |
| Kuona 2 | 6.4.2018 | 2,6 | 1 | 1,7 | 0,99 | 6,01 | 5,7 |
| | | | 1,6 | 2,3 | | 5,99 | 6 |
| Kuona 2 | 13.4.2018 | 1,49 | 0,75 | 1,9 | 0,89 | 5,97 | 5,5 |
| Kuona 3 | 28.2.2018 | 1,71 | 0,71 | 0,7 | 0,93 | 6 | 3,9 |
| Kuona 3 | 13.4.2018 | 1,65 | 0,83 | 1,4 | 1,04 | 5,92 | 6,1 |
| Kuona 5 | 23.2.2018 | 2,38 | 1,38 | 1,9 | 1,43 | 6,25 | 5,4 |
| Kuona 6 | 23.2.2018 | 3,05 | 1 | 0,4 | .. | 6,22 | 4,4 |
| | | | 2,05 | 2,4 | | 6,16 | 5,2 |
| Kuona 6 | 6.4.2018 | 2,99 | 1 | 2 | 0,94 | 5,92 | 2,1 |
| | | | 1,99 | 3,5 | | 6,03 | 4,9 |
| Kuona 7 | 28.2.2018 | 2,89 | 1 | 1,6 | 0,93 | 6,06 | 2,5 |
| | | | 1,89 | 2 | | 6,07 | 3,8 |
| Kuona 7 | 13.4.2018 | 2,62 | 1 | 2 | 1,27 | 5,96 | 6,1 |
| | | | 1,62 | 2,9 | | 5,95 | 5,4 |
| Kuona 8 | 18.4.2018 | 2,55 | 1 | 2,5 | 1,13 | .. | .. |
| | | | 1,55 | 3,2 | | | |
| Kuona 9 | 18.4.2018 | 2,42 | 1 | 2,7 | 1,38 | .. | .. |
| | | | 1,42 | 3,1 | | | |
| Kuona 10 | 18.4.2018 | 1,81 | 0,91 | 2,8 | .. | .. | .. |
| Keskiarvo | | | | | 1,05 | 6,07 | 4,64 |

Taulukko 35. Kuonanjärven mineraaliravinnepitoisuudet kevättalvella 2018.

| Havaintopaikka | Päivämäärä | Näytesyv. | PO ₄ ³⁻ -P | NO ₃ ⁻ -N | NH ₄ ⁺ -N |
|-----------------------|------------|-----------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | m | µg/l | µg/l | µg/l |
| Kuonanjoki 185 | 18.4.2018 | .. | 7 | 290 | 104 |
| Kuona 1 | 28.2.2018 | 0,53 | 7 | 490 | 118 |
| Kuona 1a | 13.4.2018 | 0,61 | 0 | 400 | 147 |
| Kuona 2 | 23.2.2018 | 0,78 | 12 | 450 | 115 |
| Kuona 2 | 6.4.2018 | 0,74 | 41 | 330 | 69 |
| Kuona 2 | 6.4.2018 | 1 | 110 | 300 | 265 |
| | | 1,6 | 14 | 480 | 84 |
| Kuona 2 | 13.4.2018 | 0,75 | 12 | 750 | 211 |
| Kuona 3 | 28.2.2018 | 0,71 | 14 | 160 | 103 |
| Kuona 3 | 13.4.2018 | 0,83 | 18 | 310 | 41 |
| Kuona 5 | 23.2.2018 | 1,38 | 2 | <200 | 143 |
| Kuona 6 | 23.2.2018 | 1 | 13 | 280 | 199 |
| | | 2,05 | 0 | 180 | 399 |
| Kuona 6 | 6.4.2018 | 1 | 9 | 490 | 108 |
| | | 1,99 | 13 | 240 | 176 |
| Kuona 7 | 28.2.2018 | 1 | 8 | 240 | 233 |
| | | 1,89 | 5 | 120 | 576 |
| Kuona 7 | 13.4.2018 | 1 | 10 | 550 | 420 |
| | | 1,62 | 6 | 330 | 430 |
| Kuona 8 | 18.4.2018 | 1 | 2 | 290 | 50 |
| | | 1,55 | 2 | 270 | 175 |
| Kuona 9 | 18.4.2018 | 1 | 4 | 140 | 24 |
| | | 1,42 | 8 | 270 | 220 |
| Kuona 10 | 18.4.2018 | 0,91 | 1 | 230 | 49 |
| Keskiarvo | | | 13,3 | 330 | 185,8 |

Kevättalvella 2018 mitatuissa liukoisten eli mineraaliravinteiden pitoisuuksissa esiintyi runsasta vaihtelua (taulukko 35). Fosfaattifosforipitoisuudet vaihtelivat 0–110 µg/l (keskiarvo noin 13 µg/l). Nitraattitypen pitoisuudet vaihtelivat 120–750 µg/l (keskiarvo noin 330 µg/l) ja ammoniumtypen pitoisuudet 24–576 µg/l (keskiarvo noin 186 µg/l). Järven kaakkoisosasta otetuissa näytteissä pitoisuudet ovat korkeimmat.

Näkösyvyys havaintopaikoilla vaihteli metrin molemmin puolin, eikä siinä ollut havaittavissa selvää jakaumaa. Happamuudessa ei ole suuria havaintopisteiden välisiä eroja, sillä pH-arvo vaihtelee välillä 6–6,54. Sähkönjohtavuuden mittaustulokset vaihtelivat välillä 2,1–6 mS/m.

5.7.2 Pohjan tila

Tiedot Kuonanjärven pohjasedimentin ulkonäöstä ja rakenteesta on esitettyinä taulukoissa 36 ja 37. Pohjasedimenttiä tutkittiin havaintopaikoilla Kuonanjärvi 003, Kuonanjärvi 1a ja Kuonanjärvi 1 - 12.

Taulukko 36. Kuonanjärven havaintopaikkojen 1 - 12, 003 ja 1a pohjasedimentin ulkonäkö kevättalvella 2018 (jatkuu seuraavalla sivulla).

| Näytteenotto- paikka ja päivä- määrä | Ve- sisyvyys (m) | Sedimentin näytesyvyys | Sedimentin koostumus |
|--|------------------------|---------------------------|--|
| Kuona 003 (26.3.2018) | 2,31 | 0 - 330 cm | Tummanruskea hienojakoinen aines |
| | | 330 - 498 cm | Vaaleanruskea hienojakoinen aines |
| | | 498 - 500 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 1 (21.2.2018) | 1,17 | 0 - 38 cm | Ruskea, hienojakoinen ja hajoamaton makrofytytiaines |
| | | 38 - 80 cm | Ruskean ja harmaan aineksen (saven) sekoitus, syvemmälle mentäessä savipitoisuus kohoaa |
| | | 80 - 100 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 1a (13.4.2018) | 1,22 | 0 - 4 cm | Osittain hajonnutta makrofytytiainesta sekä hienojakoista, erittäin vesipitoista ruskeaa ainesta |
| | | 4 - 47cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 2 (21.2.2018) | 1,61 | 0 - 25 cm | Erittäin vesipitoista, ruskean hienojakoista aineksen, sekä huonosti hajonneen ja hajoamattoman kasviaineksen seosta |
| | | 25 - 95 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 2 (13.4.2018) | 1,49 | 0 - 20 cm | Vesipitoista, tummanruskeaa hienojakoista ainesta jonka seassa runsaasti hajoamattomia makrofytytin kappaleita |
| | | 20 - 94 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |

| | | | |
|--------------------------------|------|--------------|--|
| Kuona 3 (15.3.2018) | 1,65 | 0 - 2 cm | Tummanruskea hienojakoinen aines |
| | | 2 - 7 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 3 (13.4.2018) | 1,65 | 0 - 12 cm | Tummanruskea, hienojakoinen ja erittäin vesipitoinen aines |
| | | 12 - 15 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 4 (15.3.2018) | 0,78 | 0 - 20 cm | Erittäin vesipitoisen, hienojakoisen ja tummanruskean aineksen sekä hiekan seosta, seassa hajoamattomia makrofyytin kappaletta |
| Kuona 5 (15.3.2018) | 2,49 | 0 - 130 cm | Tummanruskea, erittäin vesipitoinen ja hienojakoinen aines |
| | | 130 - 165 cm | Vaaleanruskea hienojakoinen aines |
| | | 165 - 200 cm | Harmaan aineksen (saven) osuus lisääntyy syvemmälle mentäessä |
| | | 200 - 300 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 6 (21.2.2018) | 3,01 | 0 - 152 cm | Tummanruskea hienojakoinen aines |
| | | 152 - 187 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 7 (13.4.2018) | 2,62 | 0 - 100 cm | Tummanruskea, hienojakoinen ja vesipitoinen aines |
| | | 100 - 125 cm | Tummanruskea, hienojakoinen aines |
| | | 125 - 200 cm | Vaaleanharmaanruskea aines |
| | | 200 - 238 cm | Harmaan ruskehtava hienojakoinen aines |
| | | 238 - 300 cm | Puhdas hopeanharmaa savi, runsaasti ohuita ja pikimustia raitoja saven seassa |
| Kuona 8 (26.3.2018) | 2,71 | 0 - 360 cm | Tummanruskea hienojakoinen aines |
| | | 360 - 464 cm | Tummanruskean hienojakoisen aineksen ja harmaan aineksen (saven) seosta |
| | | 464 - 500 cm | Puhdas hopeanharmaa savi, runsaasti ohuita ja lähes pikimustia raitoja saven seassa |
| Kuona 9 (18.4.2018) | 2,42 | 0 - 132 cm | Tummanruskea hienojakoinen aines |
| | | 132 - 177 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 10 (18.4.2018) | 1,81 | 0 - 140 cm | Tummanruskea, hienojakoinen ja hyvin vesipitoinen aines |
| | | 140 - 196 cm | Syvemmälle mentäessä portaattomasti harmaantuvaa hienojakoista ainesta, jossa ilmeisesti savea seassa |

| | | | |
|--------------------------------|------|--------------|---|
| | | 196 - 200 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 11 (15.3.2018) | 3,31 | 0 - 141 cm | Tummanruskea, hienojakoinen ja vesipitoinen aines |
| | | 141 - 169 cm | Tummanruskean hienojakoisen- ja harmaan aineksen (saven) seosta |
| | | 169 - 200 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |
| Kuona 12 (6.4.2018) | 2,6 | 0 - 33 cm | Tummanruskea, hienojakoinen ja vesipitoinen aines |
| | | 33 - 49 cm | Puhdas hopeanharmaa savi |

Taulukko 37. Ruskean ja vesipitoisen sedimentin määrä hopeanharmaan saven päällä havaintopaikoittain kevättalvella 2018.

| Havaintopaikka | Vesisyvyys (m) | Ruskean, vesipitoisen sedimentin paksuus (cm) |
|------------------|----------------|---|
| Kuona 003 | 2,31 | 498 |
| Kuona 1 | 1,17 | 80 |
| Kuona 1a | 1,22 | 4 |
| Kuona 2 | 1,61 | 23 |
| Kuona 3 | 1,65 | 7 |
| Kuona 4 | 0,78 | 20 |
| Kuona 5 | 2,49 | 200 |
| Kuona 6 | 3,01 | 152 |
| Kuona 7 | 2,62 | 238 |
| Kuona 8 | 2,71 | 464 |
| Kuona 9 | 2,42 | 132 |
| Kuona 10 | 1,81 | 196 |
| Kuona 11 | 3,31 | 169 |
| Kuona 12 | 2,6 | 49 |
| Keskiarvo | 2,12 | 159,43 |



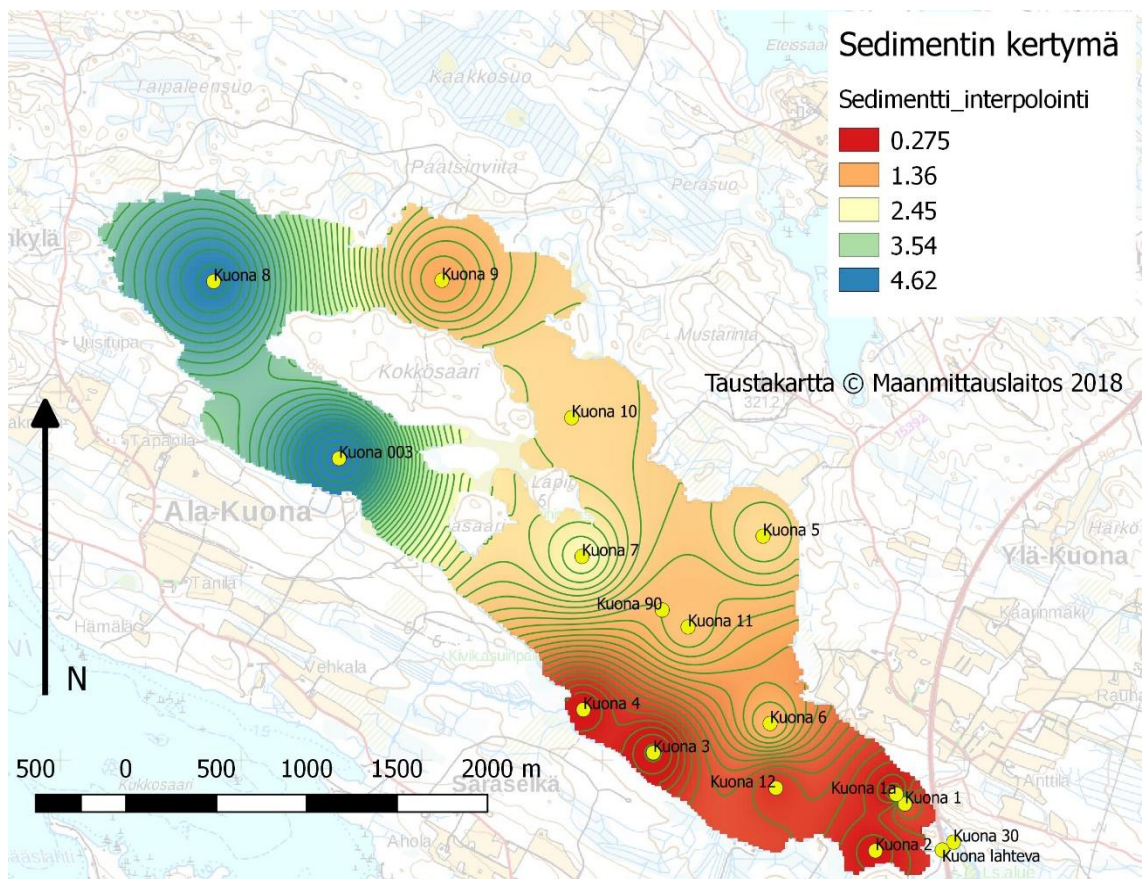
Kuva 25. Pohjasedimentin tyypillinen ulkonäkö ja koostumus Kuonanjärvellä. Kuvan näyte on näytesyvyydeltä 0 - 100 cm havaintopaikalta 5 (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).



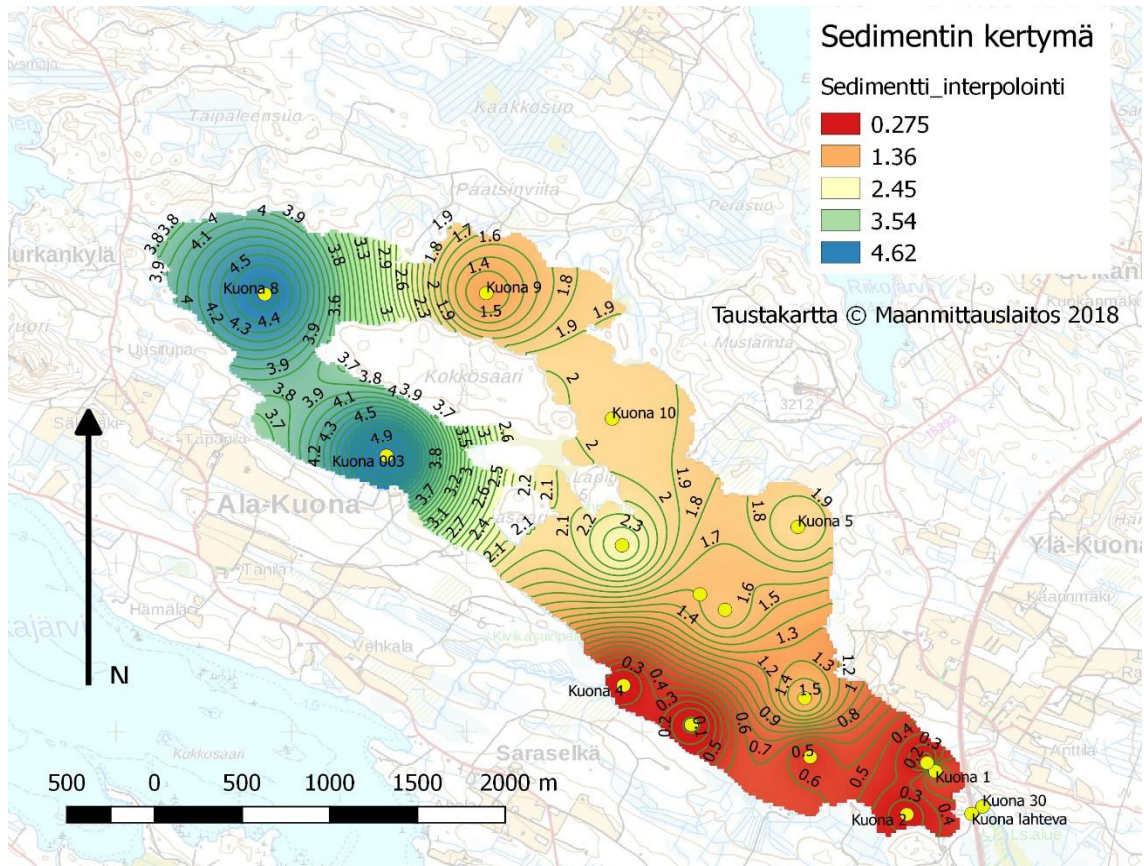
Kuva 26. Vehkaojan edustalta ja Kuonanjärven kaakkoispuolelta otetuissa näytteissä ruskeaa, hienojakoista ainesta havaittiin huomattavasti järven muuta osaa vähemmän (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).



Kuva 27. Ruskean, hienojakoisen aineksen ja puhtaan hopeanharmaan saven siirtymäkerros on selkeästi havaittavissa näytesyvyydestä 152 - 187 cm, havaintopaikalta 6 (Kuva: Rico-Petteri Mutanen).



Kuva 28. Pohjasedimentin jakauma Kuonanjärvellä keväällä 2018 tehtyjen sedimenttikairausten perusteella.



Kuva 29. Pohjasedimentin jakauma Kuonanjärvellä paksuuskäyrien syvyys-tiedoilla varustettuna.

5.7.3 Pohjasedimentin laboratorioanalyysit

Havaintopaikalta 003 otettiin pohjasedimentin kokoomanäytteet 6.4.2018 sedimenttisyvyyksistä 0 - 20 cm ja 20 - 35 cm. Näytteenottoaikaan vesisyvyys oli mittausajankohtana 2,31 m. Kokoomanäyte otettiin myös 6.4.2018 havaintopaikalta Kuonanjärvi 12, sedimenttisyvyydestä 0 - 35 cm. Näytteenottoaikaan vesisyvyys oli mittausajankohtana 2,6 m. Sedimenttinäytteet olivat samankaltaista ruskeaa ja hienojakoista ainesta, jota Kuonanjärven sedimenttitutkimuksissa on aiemminkin tavattu. Näytteet lähetettiin Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry:n laboratorioon Tampereelle analysoitavaksi.

Taulukko 38. Laboratorioanalyysien tutkimustulosten keskiarvot havaintopaikkojen 003 ja 12 pohjasedimenttinäytteistä Kuonanjärvellä.

| Vesipitoisuus (%) | Kuiva-ainepitoisuus (%) | Mineraaliaineksen pitoisuus (%) | Orgaanisen aineksen pitoisuus (%) | Kokonaisfosforin pitoisuus (g/kg kuiva-aine) | Kokonais-typen pitoisuus (g/kg kuiva-aine) |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| 86,1 | 14 | 11,4 | 2,6 | 0,9 | 10,2 |

5.7.4 Pintasedimentin hapetus-pelkistysaste

Hapetus-pelkistysasteen mittauksia pintasedimentille tehtiin kaikkiaan yhdeksällä eri havaintopaikalla. Mittausajankohtina säät suosivat mittaajia, minkä ansiosta mittaukset saatiin suoritettua lähes häiriöttä. Kevättalven aikana mitatut tulokset vaihtelivat välillä -235...+180 mV (taulukko 39). Hapetus-pelkistysasteen arvot olivat matalia joka puolella Kuonanjärveä. Ainoastaan yhdellä havaintopaikalla, Kokkosaaren itäpuolella, arvoksi saatiin positiivinen luku.

Taulukko 39. Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet (E_h) Kuonanjärvellä kevättalvella 2018.

| Havaintopaikka | Vesisyvyys (m) | E_h (mV), 21.2.2018 | E_h (mV), 26.3.2018 | E_h (mV), 6.4.2018 | E_h (mV), 13.4.2018 | E_h (mV), 18.4.2018 |
|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Kuona 003 | 2,31 | .. | -15 | .. | .. | .. |
| Kuona 2 | 1,49 | .. | .. | .. | -77 | .. |
| Kuona 3 | 1,65 | .. | .. | .. | -1 | .. |
| Kuona 6 | 3,01 | -130 | .. | .. | .. | .. |
| Kuona 7 | 2,62 | .. | .. | .. | -88 | .. |
| Kuona 8 | 2,71 | .. | -47 | .. | .. | .. |
| Kuona 9 | 2,42 | .. | .. | .. | .. | -130 |
| Kuona 10 | 1,81 | .. | .. | .. | .. | 180 |
| Kuona 12 | 2,6 | .. | .. | -235 | .. | .. |

5.7.5 Pohjaeläimistö

Pohjaelännäytteet otettiin kaikkiaan kahdeksalta eri havaintopaikalta. Paikat on valittu siten, että järven pohjaeläimistöstä saadaan mahdollisimman laaja näkemys eri puolilta järveä. Näytteistä havaittiin yhteensä 11 eri pohjaeläintaksonia.

Taulukko 40. Pohjaeläimistö havaintopaikoittain Kuonanjärvellä kevättalvella 2018 (jatkuu seuraavalla sivulla).

| Ha- vainto- paikka | Taksoni (kpl/m ²) | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| | pvm | <i>Chao- burus</i> spp. | Chirono- midae | Oligo- chaeta | Cerato- pogo- nidae | Hydrach- nidae |
| | | Sulka- sääski | Surviais- sääski | Harva- sukas- mato | Polttiai- nen | Vesi- punkki |
| Kuona 003 | 10.4.2018 | 543 | 155 | 155 | 0 | 78 |
| Kuona 1 | 28.2.2018 | 0 | 39 | 0 | 0 | 233 |
| Kuona 2 | 23.2.2018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 116 |
| Kuona 3 | 28.2.2018 | 34 | 383 | 150 | 0 | 155 |
| Kuona 5 | 23.2.2018 | 544 | 587 | 0 | 456 | 0 |
| Kuona 6 | 23.2.2018 | 767 | 568 | 0 | 0 | 0 |
| Kuona 7 | 28.2.2018 | 864 | 810 | 0 | 413 | 39 |
| Kuona 8 | 3.4.2018 | 2580 | 1048 | 1203 | 0 | 78 |
| Keski- arvo | | 667 | 449 | 189 | 109 | 87 |
| Osuus (%) | | 42 % | 28,3 % | 11,9 % | 6,8 % | 5,5 % |

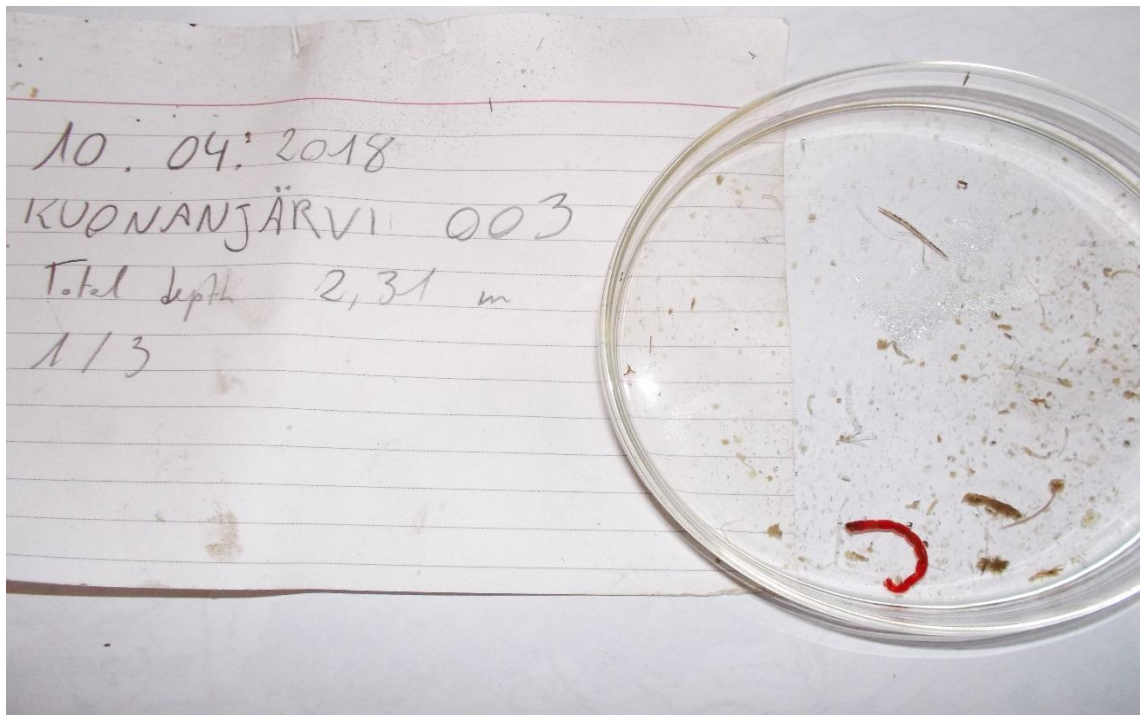
| Ha- vainto- paikka | Taksoni (kpl/m ²) | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|
| | pvm | <i>Ano- donta cygnea</i> | <i>Lym- naea sp.</i> | Ta- nypo- dinae | Cope- poda | Gastro- poda | Planor-bi- dae |
| | | Järvi- sim- pukka | Lima- kotilo | Survi- ais- sääsket | Hanka- jalkai- set | Kotilo | Kiekk- kotilo |
| Kuona 003 | 10.4.2018 | 0 | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 |
| Kuona 1 | 28.2.2018 | 388 | 78 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kuona 2 | 23.2.2018 | 39 | 0 | 0 | 0 | 39 | 39 |
| Kuona 3 | 28.2.2018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kuona 5 | 23.2.2018 | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 | 0 |
| Kuona 6 | 23.2.2018 | 0 | 0 | 34 | 0 | 0 | 0 |
| Kuona 7 | 28.2.2018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kuona 8 | 3.4.2018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Keski- arvo | | 53 | 10 | 9 | 4,9 | 4,9 | 4,9 |
| Osuus (%) | | 3,40 % | 0,60 % | 0,57 % | 0,30 % | 0,30 % | 0,30 % |

Taulukko 41. Shannon-Wiener-indeksit havaintopaikoittain Kuonanjärvellä ke-
vättälvella 2018 (Tossavainen 2018).

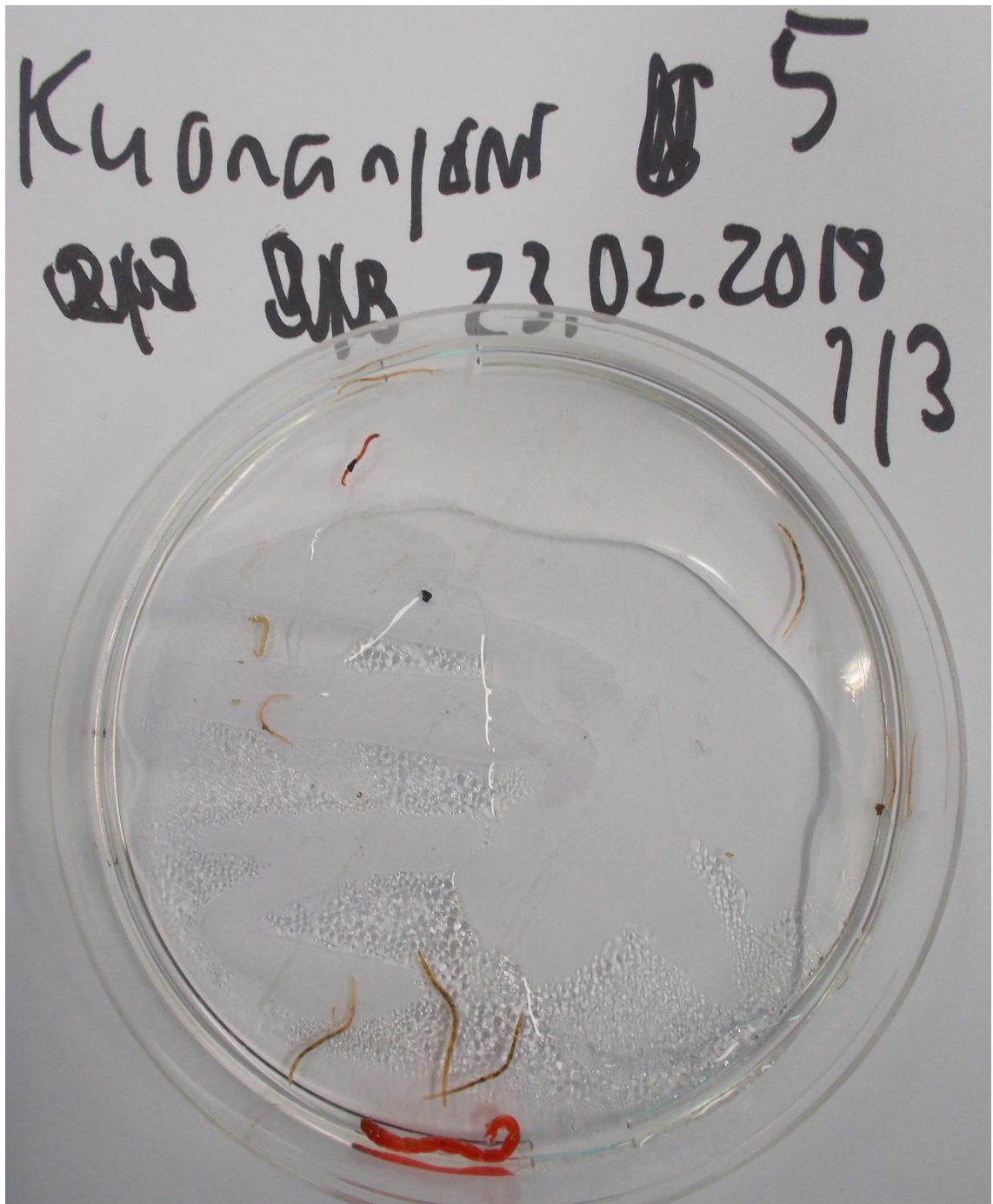
| Havainto- paikka | Päivämäärä | Kokonaissyvyys (m) | Shannon-Wiener- indeksi |
|---------------------|------------|-----------------------|----------------------------|
| Kuona 003 | 10.4.2018 | 2,31 | 1,25 |
| Kuona 1 | 28.2.2018 | 1,2 | 1,09 |
| Kuona 2 | 23.2.2018 | 1,7 | 1,24 |
| Kuona 3 | 28.2.2018 | 1,8 | 1,14 |
| Kuona 5 | 23.2.2018 | 2,4 | 1,18 |
| Kuona 6 | 23.2.2018 | 3,1 | 0,78 |
| Kuona 7 | 28.2.2018 | 2,8 | 1,12 |
| Kuona 8 | 3.4.2018 | 2,7 | 1,11 |



Kuva 30. Kuonanjärven kaakkoisosasta otettu pohjaeläinnäyte (Kuva: Tarmo Tossavainen).



Kuva 31. Kokkosaaren lounaispuolelta otettu pohjaeläinnäyte (Kuva: Tarmo Tossavainen).



Kuva 32. Riikolahden edustalta, Kuonanjärven itäpuolelta otettu pohjaeläin-
näyte (Kuva: Tarmo Tossavainen).



Kuva 33. Sarviniemen edustalta, Kuonanjärven kaakkoispuolelta otettu pohjaeläinnäyte (Kuva: Tarmo Tossavainen).

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Virtaamatilanne

Marraskuun loppupuolella Kuonanjoella ja Vehkaojalla tehdyt virtaamamittaukset (taulukko 10) ilmensivät alivirtaamatilannetta. Tenhunjoen virtaama oli selvästi alhaisempi, joka viittaa jo osittain alkaneeseen talvialivirtaamajaksoon. Koko Suomen vuosikeskivaluma on vuosina 2000–2011 ollut 9,7 l/s/km² (Linjama 2013).

6.2 Vedenlaatu

6.2.1 Kevättalven 2018 vedenlaadun tutkimustulosten tulkinta

Kuonanjärvellä kevättalvella 2018 mitatut mineraaliravinnepitoisuudet ovat korkeita lähes jokaisella havaintopaikalla, ja etenkin järven kaakkoisosassa pohjan tuntumassa. Kuonanjoen suistoalueella pitoisuudet ovat selvästi järven keskita-soa korkeammat. Koholla olevat ravinnepitoisuudet viittaavat ulkoisen kuormituksen lisäksi myös järvellä tapahtuvaan sisäiseen kuormitukseen.

Kuonanjärvellä kevättalvella 2018 mitatut nitraattitypen pitoisuudet (120–490 µg/l) ovat varsin korkeita (taulukko 35). Nitraattitypen keskipitoisuus Suomen järvihavaintopaikoilla on 92 µg/l (Särkkä 1996, 67). Myös ammoniumtypen pitoisuudet (24–576 µg/l) ovat korkeat monella havaintopaikalla (taulukko 35). Suomen järvihavaintopaikkojen keskipitoisuus ammoniumtyypelle on 24 µg/l (Särkkä 1996, 67). Ammoniumtyypeä on luonnonvesissä keskimäärin vähän, mutta turvesoiden valumavesissä sitä esiintyä kuitenkin 100–300 µg/l (Oravainen 1999, 21). Erityisesti pohjan tuntumasta otettujen näytteiden pitoisuudet olivat hyvinkin korkeat havaintopaikoilla 6 ja 7. Havaintopaikalla 6 ammoniumtypen pitoisuus oli 399 µg/l ja havaintopaikan 7 pitoisuus oli 576 µg/l. Kuonanjärven mitatut fosfaattifosforin

pitoisuudet (0 - 14 µg/l) ovat korkeahkot erityisesti järven kaakkoisosassa. Keskipitoisuus fosfaattifosforille Suomen järvivesissä on noin 4 µg/l (Särkkä 1996, 65).

Näkösyvyys Kuonanjärvellä vaihteli metrin molemmin puolin, mikä on tyypillistä erittäin humuspitoisille eli polyhumoosisille vesille. Sähkönjohtavuus vaihteli välillä 2,5–5,6 mS/m, joten johtokyky on melko alhainen, eikä veteen ole liennut paljoa suoloja. Kuonanjärven vesi on hieman hapanta, mutta happamuudessa ei ollut suuria havaintopaikkojen välisiä vaihteluita. Mittausten perusteella järven pH-arvo vaihteli välillä 6 ja 6,54. Järven happamuustaso on hyvä kalastolle ja muulle eliöstölle.

6.2.2 Suomen Ympäristökeskuksen vedenlaadun seurantatulokset Kuonanjärvellä

Kuonanjärven vedenlaatua on seurattu Etelä-Savon ELY-keskuksen toimesta havaintopaikalla Kuona 003 jo pidemmän aikaa. Myös Kuonanjärven luusuasta (030) ja Kuonanjoen yläjuoksulta (185) on otettu kohtalaisen hyvin seurantanäytteitä. Veden happipitoisuus on tasaisen hyvä Kuonanjärven jokaisella havaintopisteellä vesipatsaan puolivälissä, eikä kalojen hyvinvoinnin kannalta kriittinen 5 mg/l alittanut yhdessäkään näytteessä. Happipitoisuuden keskiarvo kaikilla havaintopaikoilla on noin 9,6 mg/l (taulukko 12).

Alusveden happitilanteen osalta näytteitä ei ole, mutta heikko pohjaeläintilanne ja pohjasedimentin matala hapetus-pelkistysaste viittaavat vahvasti alusveden ajoittaiseen hapettomuuteen. Sinileväkasvusto voi lisätä veden typpipitoisuutta, kun se kasvaessaan sitoo ilmakehästä typpeä.

Samoilla havaintopaikoilla ravinnepitoisuudet olivat selvästi koholla verrattuna vedenlaadun tyypillisiin raja-arvoihin. Vuosien 2012–2018 kokonaisfosforin keskipitoisuus oli 40,1 µg/l havaintopaikalla 003. Kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet ovat tyypillisiä selkeästi rehevöityneille järville. Vesiekosysteemin perustuotajille suoraan käyttökelpoisessa muodossa olevien mineraaliravinteiden

pitoisuudet ovat olleet pääosin maltillisia avovesikauden aikaan, sillä ne ovat pääosin sitoutuneena vesikasvillisuuteen. Maaliskuussa otetuissa vesinäytteissä ammonium- ja nitraattityypen pitoisuudet ovat olleet korkeahkot. Keskipitoisuuksien perusteella järvi luokitellaan vedenlaadultaan eutrofiseksi eli reheväksi. Kokonaisfosforin pitoisuudet ovat olleet kesäaikaan yli 50 µg/l, minkä perusteella järvi on ylirehevä (Oravainen 1999, 17). Vuosien 2012–2018 kokonaistypen keskipitoisuus oli 1 170 µg/l havaintopaikalla 003.

Veden puskurikapasiteetti eli alkaliniteetti on tulosten mukaan hyvä, 0,151 mmol/l, mitä ilmentää myös veden kelvollinen happamuustaso. Mangaanipitoisuudet ovat pääosin pieniä, mutta elo-syyskuussa mitatut pitoisuudet ovat hie-man korkeampia. Rautapitoisuudet ovat hiukan kohonneita heinä-syyskuun mitausajankohtina, mikä johtunee järvellä tapahtuvasta resuspensiosta.

6.2.3 Vedenlaadun seurantatulokset Kuonanjärven valuma-alueella

Pienen Vehkajärven mitattu kokonaisfosforin keskipitoisuus on vuosien 2008–2012 aikana ollut noin 64 µg/l, joka on tyypillinen rehevöityneille eli eutrofisille järvivesille. Pitoisuuksien voimakkaat vaihtelut ilmentävät järvessä tapahtuvaa sisäistä kuormitusta. Kokonaistypen keskipitoisuus Pienellä Vehkajärvellä on noin 987 µg/l (taulukko 24), joka on tyypillistä luokkaa eutrofisille järvivesille. Myös kokonaistypen pitoisuuksissa esiintyy voimakasta vaihtelua tarkasteluajankoh-tien välillä (taulukko 24).

Suuresta Vehkajärvestä vuosina 2013–2016 aikana mitattu kokonaisfosforin keskipitoisuus on noin 34 µg/l ja kokonaistypen keskipitoisuus noin 645 µg/l (taulukko 20). Molemmat pitoisuudet ovat tyypillistä suuruusluokkaa reheville järvivesille (taulukot 3 ja 4). Suuren Vehkajärven tuloksissa esiintyy melko voimakasta vaihtelua, mikä ilmentää myös siellä tapahtuvaa ajoittaista sisäistä kuormitusta. Kon-nansuolta ja Pienestä Vehkajärvestä Suureen Vehkajärveen laskevat uomat syöttävät keskimäärin noin 57 µg/l kokonaisfosforia ja noin 1 063 µg/l kokonaistyppeä. Uomista mitatut pitoisuudet ovat tyypillisiä reheville järvivesille (taulukot 3 ja 4).

6.3 Kuonanjärven fosforitase

Kuonanjärveen tuleva ulkoinen kuormitus on noin 637 kiloa kokonaisfosforia vuosittain (taulukko 29). Lähivaluma-alueen kuormitus ja luonnonhuuhtouma (170 kg kok. P/a) on arvioitu ominaiskuormitusarvojen perusteella, jotka on saatu muista tutkimuksista (Kortelainen ym. 2003, 20; Linjama 2013; Salonen ym. 1992,43).

Tenhunjoen osavaluma-alueelta kokonaisfosforia tulee karkeasti arvioituna noin 36 kg vuodessa. Havaintopaikalta on ainoastaan kaksi havaintoa, toukokuulta 2013 ja marraskuulta 2018. Molemmilla mittauskerroilla kokonaisfosforipitoisuus oli kuitenkin sama (12 µg/l), joka on lähes karujen järvivesien suuruusluokkaa. Pääosa Kuonanjärveen tulevasta kokonaisfosforista on peräisin Vehkaojan osavaluma-alueelta, josta sitä päätyy Kuonanjärveen noin 400 kg vuodessa.

Hopeanharmaan saven yläpuolisessa tummanpuhuvassa ja vesipitoisessa pohjasedimentissä on kahden havaintopaikan keskiarvon perusteella noin 1,6 miljoonaa kiloa kokonaisfosforia. Järven vesimassassa on noin 360 kg kokonaisfosforia.

Kuonanjärvestä lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 14–66 µg/l (keskiarvo noin 39 µg/l) ja sitä päätyy Savonlahteen noin 647 kg vuosittain.

6.4 Fosforimallitarkastelu

Mikäli Kuonanjärven fosforinpidätysmekanismi olisi vähintään tyydyttävä, nykyisestä arvioidusta kokonaisfosforin vuosikuormasta (noin 636,6 kg) pidäytyisi sitä järven pohjaan 38 %, eli noin 242 kg. Laskennan perusteena on käytetty Lappalaisen mallia, jonka soveltamisen perusvaatimuksiin kuuluu järven vähintään yhden metrin keskisyvyys ja enintään 40 µg/l kokonaisfosforipitoisuus. Kuonanjärven keskipitoisuus on juuri noin 40 µg/l, mutta pitoisuusvaihtelut järvellä ovat olleet erittäin voimakkaita. Kuonanjärvestä välittömästi lähtevän veden kokonais-

fosforin keskipitoisuus on vuosien 2011–2018 aikana ollut noin 38,9 µg/l havaintopaikoilla 030 ja 185. Keskivirtaaman ja keskipitoisuuden perusteella Kuonanjärvestä lähtee vuosittain Savonlahteen noin 647 kg kokonaisfosforia. Siten Kuonanjärvestä lähtee vuosittain Savonlahteen noin 10 kiloa (1,04 %) enemmän kokonaisfosforia, kuin sinne ulkoisen kuormituksen seurauksena tulee (taulukko 31).

Tästä voidaan pohjaeläin-, sedimentti- ja vedenlaatututkimuksen ohella päätellä Kuonanjärven fosforinpidätysmekanismin olevan erittäin heikko. Kuonanjärven sisäkuormitteisen tilan ja heikon ravinteiden pidättymisen takia fosforia virtaa edelleen runsaita määriä Savonlahteen. Runsaana jatkuvat ravinnekuormat kiihdyttävät rehevöitymistä entisestään ja altistavat Savonlahtea sisäiselle kuormitukselle (ks. myös Rautio 2017 ja Tossavainen 2018).

Vollenweiderin ja Dillonin mallien osoittamat ”suurin sallittu” ja ”vaarallinen” fosforikuorma ovat kaukana järven mitattuun, todelliseen ulkoisen kuormituksen sietokykyyn nähden. Kyseiset mallit eivät sovellu Kuonanjärvelle eivätkä vastaa järven todellista käyttäytymistä.

6.5 Kokonaistypen kuormitus ja kokonaistyyppitase

Kuonanjärveen tuleva ulkoinen kokonaistypen kuormitus on noin 13,1 tonnia vuosittain (taulukko 32). Lähivaluma-alueen kuormitus ja luonnonhuuhtouma (2 270 kg kok. N/a) on arvioitu muista tutkimuksista saatujen ominaiskuormitusarvojen perusteella (Kortelainen ym. 2003, 20; Linjama 2013; Salonen ym. 1992,43).

Tenhunjoen osavaluma-alueelta tulee kokonaistyyppiä vuosittain noin 1,2 tonnia. Havaintopaikalta on ainoastaan kaksi havaintoa, joten tulos on karkeahko. Vehkaojan osavaluma-alueelta kokonaistyyppiä päättyy Kuonanjärveen noin 7,7 tonnia vuodessa.

Kuonanjoen kautta virtaa vuosien 2011–2018 havaintojen (keskiarvo noin 1065 µg/l) perusteella Savonlahteen lähes 18 tonnia kokonaistyyppiä vuosittain. Kuonanjärvestä poistuu Savonlahteen siten noin 26 % enemmän kokonaistyyppiä, kuin sinne ulkoisen kuormituksen seurauksena tulee. Tämä selittyy osin järven sisäisellä kuormituksella. Runsaana toistuvasti esiintyvät sinilevät kykenevät sitomaan ilmakehästä tyyppiä, mutta denitrifikaation seurauksena tyyppiä myöskin vapautuu ilmakehään tuntematon määrä. Alusvedessä tulee olla riittävästi happea ravinteiden pidättäytymiseksi pohjassa.

6.6 Kalastorakenne

Luonnonvarakeskus toteutti kalastotutkimuksen Kuonanjärvellä kesällä 2017 (Kulo 2018). Tutkimuksen perusteella järven petokalojen osuus painosaaliista oli 31 %, joka on hieman yli tyypillisten kuormitettujen järvien keskiarvon (Tammi, Rask & Olin 2006, 20). Massasaaliista vallitsevin osuus (65 %) oli särkikalaa, ja se ylittää selkeästi kuormitettujen järvien keskiarvon 61,8 % (Tammi ym. 2006, 17). Lukumääräsaalis koostui valtaosin särkikaloista, joiden osuus (86 %) ylittää selkeästi kuormitettujen järvien keskiarvon 60,6 % (Tammi ym. 2006, 17). Koe-kalastuksen tulosten perusteella järven kalastorakenne on hyvin tyypillinen reheville järville (Kulo 2018).

Runsas särkikalakanta lisää järven sisäistä kuormitusta, kun särkikalat syövät nälissään pohjasedimenttiä pohjaeläinten puuttumisen seurauksena. Sisäinen kuormitus kiihtyy, kun kalat ulostavat sedimentissä olevat ravinteet suoraan kasveille käyttökelpoiseen, liukoiseen muotoon. Veteen vapautuvat liukoiset ravinteet lisäävät ranta- ja vesimakrofyttien sekä kasiplanktonin kasvua, ja hajotessaan makrofytyt vapauttavat veteen ravinteita.

Kuonanjärven massa- ja kappalemääräinen yksikkösaalis (taulukko 25) oli rehevien järvien yksikkösaaliin keskiarvon mukainen (Tammi ym. 2005, 15). Saalis määrä oli yksikkösaaliin painoltaan ja kappalemäärältään pienempi kuin Puruveden Savonlahdella tehdyssä kalastorakennetutkimuksessa 2016. Savonlahdella

keskimääräinen yksikkösaalis oli 2 861,3 g ja kappalemääräinen yksikkösaalis 217,6 kpl (Tossavainen 2017, 23).

6.7 Pohjan tila

6.7.1 Pohjasedimentti- ja laboratorioanalyysit

Kuonanjärven pohjasedimentti koostuu pääosin hienojakoisesta, ruskeasta ja vesipitoisesta aineksesta. Kuonanjoen ja Vehkaojan edustalla pohjasedimenttiä on paikoin vähän ja seassa on runsaasti huonosti hajonnutta kasviainesta. Sedimentin alla olevassa hopeanharmaassa savessa esiintyi useita pikimustia raitoja havaintopaikoilla 7 ja 8.

Pohjasedimentin määrässä on huomattavia havaintopaikkojen välisiä eroja. Sedimentin määrä vaihteli välillä 4...498 cm:iin. Paksuimmat pohjasedimenttikerrokset mitattiin Kokkosaarta ympäröiviltä havaintopaikoilta. Kuonanjärven pohjasedimentin paksuus oli keskimäärin 159,4 cm havaintopaikoilta otettujen näytteiden perusteella. QGis-paikkatieto-ohjelmiston avulla sedimentin paksuuden keskiarvoksi saatiin 250,9 cm, joka on noin 90 cm mittaustuloksien aritmaattista keskiarvoa enemmän. Kuonanjärven vesialan ollessa noin 577 ha voidaan ruskean, hienojakoisen aineksen kokonaismääräksi karkeasti arvioida noin 14,5 miljoonaa kuutiometriä (taulukko 42).

Laboratoriotutkimuksia varten näytteet otettiin Kokkosaaren lounaispuolelta, havaintopaikalta 003 ja Kuonanjärven kaakkoispuolelta, havaintopaikalta 12 (näyttesyvydet 0 - 35 cm). Näytteiden kuiva-ainepitoisuuksien keskiarvo oli 139,5 g/kg, joten kuiva-aineen pitoisuus on 14 % ja vesipitoisuus 86,1 %.

Molempien sedimenttinäytteiden keskiarvon perusteella ominaispainoksi määritettiin 1,1 g/cm³ Arto Itkosen (2015) kaavalla. Kokonaismäärän ja ominaispainon perusteella Kuonanjärven pohjasedimentin kokonaismassaksi saadaan noin 15,8 miljoonaa tonnia. Sedimentin sisältämän veden massa on noin 13,6 miljoonaa tonnia. Kuiva-ainetta on Kuonanjärven pohjassa noin 2,2 miljoonaa tonnia.

Pohjasedimentin kuiva-aineen sisältämän kokonaisfosforin määrä on laboratoriotulosten perusteella yhteensä noin 1,6 milj. kg. Kuiva-aineen sisältämän kokonaistypen määrä on noin 22 milj. kg. Kuonanjärven vesimassassa kokonaisfosforia on noin 360 kg, joka on noin 0,23 ‰ pohjasedimentin sisältämästä kokonaisfosforin määrästä. Kokonaistyyppiä vesimassassa on noin 10 000 kg, joka on noin 0,46 ‰ sedimentin sisältämästä kokonaistypen määrästä. Vesimassan sisältämien ravinteiden kokonaismassan laskemiseen on käytetty Suomen Ympäristökeskuksen Hertta-tietojärjestelmästä poimittuja vesinäytetuloja Kuonanjärveltä vuodesta 2012 alkaen (taulukko 14).

Taulukko 42. Laboratoriotutkimusten perusteella määritettyjä sedimentin ominaisuustietoja.

| Sedimentin koostumus | Sedimentin kokonaismäärä (m ³) | Sedimentin kokonaismassa (tn) | Osuus kokonaismassasta (%) |
|--------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|
| | 14 476 629 | 15 779 525 | 100 |
| Veden osuus | | 13 578 281 | 86,05 |
| Kuiva-aineen osuus | | 2 201 243 | 13,95 |
| Mineraaliaineksen osuus | | 1 790 976 | 11,35 |
| Orgaanisen aineksen osuus | | 410 267 | 2,6 |
| Kokonaisfosfori (0,87 g/kg ka) | | 1578 | 0,01 |
| Kokonaistyyppi (10,15 g/kg ka) | | 22 091 | 0,14 |

Taulukko 43. Pohjasedimentin ja vesimassan sisältämät ravinnemäärät karkeasti arvioituna.

| | Kokonaisfosfori (kg) | Kokonaistyyppi (kg) |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| Pohjasedimentti | 1 578 000 | 22 091 000 |
| Vesi | 361 | 10 064 |

Pohjasedimentistä määritetty kokonaisfosforin pitoisuus (0,87 g/kg) on tyypillinen Kuonanjärven kaltaisille järville, jossa sedimentti on hyvin löyhää ja vesipitoista.

Sedimentin kokonaistyyppipitoisuus (10,15 g/kg) on korkeahko ja tyypillinen erityäin humuspitoisille vesille. Sedimentin korkeahko kokonaistyyppipitoisuus on peräisin maa- ja metsätaloudesta sekä asutuksen hajakuormituksesta.

6.7.2 Pintasedimentin hapetus-pelkistysaste

Kuonanjärvellä pintasedimentin hapetus-pelkistysasteen havainnot helmi-huhtikuulta 2018 vaihtelivat välillä -235...+180 millivoltia (taulukko 39). Mittauksia tehtiin kaikkiaan yhdeksällä eri havaintopaikalla. Ainoastaan havaintopaikalla 10 hapetus-pelkistysaste sai positiivisen arvon. Hapetus-pelkistysaste ei ylittänyt kertaakaan +300 millivoltin rajaa, mikä on perusedellytys fosforin pitäytymisessä pohjassa. Talvikerrostuneisuuden loppuvaiheessa jääpeitteinen kausi on pisimmillään, minkä seurauksena järven happilanne on heikoimmillaan. Kuonanjärven havaintoaineisto kokonaisuudessaan viittaa sisäisen kuormituksen ilmeiseen riskiin, kuten fosforin ja metallien ajoittaiseen vapautumiseen pohjasedimentistä. Vaikka hapetus-pelkistysaste oli monella havaintopaikalla selkeästi alle -150 millivoltia, rikkivedyn hajua ei havaittu.

Kuonanjärvellä avovesikauden aikaan kohonneet kokonaisfosforin pitoisuudet saattavat ilmentää Kuonanjärven kaltaisella, liettyneellä ja matalalla järvellä resuspensiota. Järvi on melko pitkä, joten tuulet pääsevät paikoitellen sekoittamaan sen vesimassaa tehokkaasti. Tällöin pohjasedimentistä sekoittuu ja liukenee fosforia ja tyyppiä vesimassaan veden virtausten aiheuttamana.

6.7.3 Pohjaeläimistö

Kuonanjärvellä kevättalvella 2018 tehdyssä pohjaeläintutkimuksessa havaintopaikkojen näytteistä löytyi yhteensä 11 eri pohjaeläintaksonia. Suurinta kappalemäärää neliometriä kohden edustivat sulkasääsken toukat (*Chaoborus flavicans*), toiseksi suurinta surviaissääsken toukat (Chironomidae) ja kolmanneksi suurinta harvasukasmadot (Oligochaeta).

Pohjaeläinten monimuotoisuutta tutkittiin laskemalla pohjaeläimistön Shannon-Wiener-biodiversiteetti-indeksi (Tossavainen 2018, 56–59). Tutkimusaineistosta laskettujen Shannon-Wiener-indeksien perusteella Kuonanjärven pohjaeläinten lajistoa voidaan pitää suppeana jokaisella havaintopaikalla.

Huhtikuussa 2018 Kuonanjärven havaintopaikalta 003 otetussa pohjaeläinnäytteessä esiintyy runsaslukuisina heikkoihin happiolosuhteisiin sopeutuneita harvasukamatoja ja surviaissääsken toukkia (Penttinen & Niinimäki 2010, 76). Vähähappisissa olosuhteissa menestyvät surviaissääsken toukat (Chironomidae) ja harvasukamadot (Oligochaeta) olivat kappalemäärältään alle profundaalivyöhykkeelle tyypillisen neliömetrikohtaisen yksilömäärän (Särkkä 1996, 104). Kuonanjärven koillisosan havaintopaikan (3) lajisto oli vähäinen koostuen vähähappisille olosuhteille tyypillisistä lajeista. Pohjaeläimistön lajjakauma on tyypillinen eutrofisille vesille. Kokonaisuudessaan Kuonanjärven pohjaeläinten lajisto oli vähäinen. (Tossavainen 2018, 74.)

7 Kunnostustoimenpiteiden kannattavuusvertailu ja ehdotukset kunnostustoimenpiteiksi

7.1 Kustannustehokkuuden hintatiedot

Opinnäytetyön kustannusvertailussa käytettiin laskennallisiin arvioihin perustuvia ravinnekuormituksen määriä. Valuma-alueen vesiensuojelurakenteita tarkasteltiin ainoastaan Riitasensuon kosteikon osalta, koska muut valuma-alueen vesiensuojelutekniset rakenteet on esitetty Ollikaisen (2013, 26–35) laatimassa Puruveden vesiensuojelun yleissuunnitelmassa. Työmenekin ja muiden kustannusten määrät olivat pääosin yksittäisten yrittäjien antamia tietoja. Osa kustannus- ja tukitiedoista perustuu median ja aiheesta kirjoitettujen raporttien kustannusarvioihin.

7.2 Kustannustehokkuuden vertailu

Kustannustehokkuutta vertailevaan osioon valittiin vertailun perusteella Kuonanjärveen soveltuvimmat kunnostusmenetelmät. Kunnostusmenetelmien kustannustehokkuutta vertailtiin laskemalla eri menetelmillä järvestä eliminoidun tai valuma-alueelta pidätetyn typpi- ja fosforikilon hinnan. Kustannusvertailu on toteutettu esimerkkitapausten perusteella.

Kunnostusmenetelmän kustannukset jaetaan pidätetyn ravinteiden määrällä. Pidempivaikutteisien suuremmat kustannukset jaetaan tasapoiston (Minilex 2019) periaatteella 20 vuoden ajalle. Ilman tukia ja arvonnlisäveroa kunnostusmenetelmien kustannustehokkuuden vertailu on selkeämpää. Menetelmällä voidaan myös mallintaa ja tehdä herkkyystarkastelua toimenpiteestä mahdollisesti saatavien tuottojen tai tukien vaikutuksesta käytetyn menetelmän lopullisiin kustannuksiin. Joissakin laskelmista huomioitiin myös tukia. Tasapoiston (Minilex 2019) periaatteella voidaan vertailla toimenpiteen ja sen vaikutusajan tuntiessa menetelmän mielekkyyttä. Kustannustehokkuuden vertailu on selkeämpää, kun ravinteille on määritetty kilohinta pelkkien peruskustannusten osalta.

Järven kunnostaminen ei vielä tällä hetkellä ole kunnostajalle kannattavaa yritystoiminnan kaltaista työtä. Selvittämällä järveä merkittävimmin rehevöittävien ravinteiden kustannustehokkaimmat poisto- tai pidättämismenetelmät voidaan samalla sijoituksella saada enemmän toivottuja tuloksia aikaan.

Opinnäytetyön kustannusvertailussa on käytetty laskennallisiin arvoihin perustuvia ravinnekuormituksen määriä ja vesiensuojeluteknisten rakenteiden ravinteiden pidättämiskykyä. Kustannustiedot perustuvat osittain yksittäisten yrittäjien antamiin hintatietoihin, joihin vaikuttaa heidän oman kalustonsa tuotantokapasiteetti.

Osa kustannustiedoista perustuu mediasta poimittuihin ja aiheesta kirjoitettujen raporttien kustannusarvioihin. Kuonanjärven hapettamiseen soveltuvia laitteita saattaa löytyä usean eri valmistajan valikoimasta, joten hapettimien hapetustehot voivat poiketa opinnäytetyön suuntaa-antavista tiedoista.

Myös kunnostusmenetelmän vaikutusaika vaihtelee menetelmäkohtaisesti. Kunnostusrakenteen huoltotarpeeseen vaikuttaa myös rakenteeseen tuleva ulkoinen kuormitus, jolloin rakenteiden toiminta-aika ja huollontarve saattavat lisätä tai vähentää poistetun ravinnemäärän kilohintaa.

7.2.1 Biomanipulaatio

Koekalastustulosten perusteella laskettiin Kuonanjärvestä poistettavan kalan määrä. Laskemiseen käytettiin järven kokonaisfosforin keskipitoisuuteen perustuvaa, Sammalkorven ja Horppilan (2005, 179) määrittämää regressioyhtälöä. Kalan tuorepainosta fosforia on noin 3 - 7 ‰ ja typpeä 2,5 - 3 % (Niinimäki & Penttinen 2014, 53). Kuonanjärvestä tulisi poistaa muutaman ensimmäisen vuoden ajan noin 68 tonnia kalaa vuodessa. Kun hoitonuottaus maksaa (Koistinen 2018) 1 € (arvonlisävero 24 %) nuotattua kalakiloa kohden, poistetun fosforikilon kustannukseksi arvonlisäveroa huomioimatta saadaan 143–330 € hoitonuottauskustannuksella 68 000 €. Typen vastaava poistokustannus olisi 33–40 €/kg. Hoitokalastukseen voi saada tukea 50 % (Koistinen 2018). Mikäli hoitokalastukseen saadaan 50 %:n tuki, ja kala pystytään myymään yli 0,5 €/kg hinnalla, hoitokalastuksesta jää katetta. Kustannuksissa ei huomioida arvonlisäveroa (24 %) (taulukko 45).

Hoitokalastuksen kustannuksia on mahdollista pienentää, jos saalis pystytään myymään elintarviketeollisuuden raaka-aineeksi. Mikäli saalis saadaan myytyä 0,40 €/kg katteella, poistetun fosforikilon hinnaksi jäisi 100–204 € ja poistetun typpikilon hinnaksi 20–24 €/kg saaliin koostumuksesta riippuen.

Hoitokalastussaaliin tuottoon vaikuttavat saaliin määrä, saalisyksilöiden koko, saaliin lajittelu ja kuljetuskustannukset. Kalan myyntihinta ei saisi kuljetuskustannukset huomioiden ylittää 1 €/kg, jotta sen jatkojalostaminen olisi vielä taloudellisesti kannattavaa. (Vallas 2018a.)

Etelä-Suomessa toimiva Särkifood Oy jalostaa hoitokalastuskalaa, mutta sinne toimitettaessa rahtikustannukset saattavat olla liian suuret saaliista saatavaan ta-

loudelliseen hyötyyn nähden. Paavo Vallaksen diplomityössä kartoitettiin yrityksiä, joilla olisi edellytyksiä hoitonuottaussaaliin jatkokäsittelyyn. Näitä yrityksiä ovat Järki Särki Oy, Helsingin Kalatalo ja Apetit Oy. Särkikalan hyödyntämistä edistettiin myös John Nurmisen Säätion lähikalahankeella, Suomen kiertotalouteen liittyvällä Sitran Kierrolla kärkeen -hankkeella ja Nutritional Cycle Challenge -hankkeella vuonna 2016. (Vallas 2018b, 22–24.)

Hoitokalastus voi parantaa veden laatua useamman vuoden ajaksi. Toisella hoitokalastuskerralla hyviä tuloksia voidaan ylläpitää vähemmällä hoitokalastusmäärällä. Hoitokalastuksen jälkeen ahvenet kasvavat yleensä petokalan kokoiseksi, noin 15–20 cm mittaisiksi. Niiden ruokavalio muuttuu, jolloin ne pystyvät kontrolloimaan särkikalajien määrää. Vaeng-järven ravinnepitoisuudet kokonaisfosforin ja typhen osalta olivat pienentyneet 50 % kummankin hoitokalastuksen jälkeen, ja pohjasedimentistä vapautuvan fosforin määrä oli laskenut todennäköisesti parantuneen hapetus-pelkistysasteen myötä. Kalojen kiihdyttämä pohjasedimentin resuspensio oli vähentynyt, ja särkikalakannan pienentäminen oli vähentänyt veden fosfori- ja typpipitoisuutta. (Søndergaard, Torben, Lauridsen, Johansson & Jeppesen 2017, 13–14.) Hoitokalastus kannattaa kohdistaa pienikokoisiin yksilöihin, jolloin saavutetaan paras hyöty veden fosforipitoisuuden vähentämiseksi (Niinimäki & Penttinen 2014, 53).

Hoitokalastuksessa poistettavan kalan määrä on laskettu havaintopaikan Kuona 003 vesinäytetietojen perusteella. Vuosien 2015–2018 vesinäytetietojen keskipitoisuuden perusteella (taulukko 14) veden kokonaisfosforipitoisuus on 41,8 µg/l.

Vuosittain poistettava kalan määrä hehtaaria kohden:

$$y = 16,9 \times 41,8^{0,52} = 117,78 \text{ kg/ha}$$

$$\text{Hoitokalastuksen määrä yhteensä } 576,988 \text{ ha} \times 117,78 \text{ kg/ha} = 67\,958,72 \text{ kg}$$

Järven keskifosforipitoisuuteen perustuvan, Sammalkorven ja Horppilan (2005, 179) määrittämän regressioyhtälön mukaan Kuonanjärven hoitokalastuksessa

tulisi poistaa noin 68 000 kg kalaa. Hoitokalastusta tulisi tehdä 3 - 4 vuoden ajan, että hoitokalastus kohdistuisi myös kalaston nuorempiin ikäluokkiin.

Taulukko 44. Hoitokalastuksessa poistetun ravinnekilon hinta kalan tuoton perusteella.

| Kalan kilohinta | Kok. P min. | Kok. P max. | Kok. N min. | Kok. N max. |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| €/kg | €/kg | €/kg | €/kg | €/kg |
| 0,1 | 150 | 300 | 30 | 36 |
| 0,2 | 133 | 267 | 27 | 32 |
| 0,3 | 117 | 233 | 23 | 28 |
| 0,4 | 100 | 200 | 20 | 24 |
| 0,5 | 83 | 167 | 17 | 20 |
| 0,6 | 67 | 133 | 13 | 16 |
| 0,7 | 50 | 100 | 10 | 12 |
| 0,8 | 33 | 67 | 7 | 8 |
| 0,9 | 17 | 33 | 3 | 4 |

Taulukko 45. Hoitokalastuksessa poistetun ravinteen kilokohtaiset kustannukset kalan myyntihinta ja 50 % tuki huomioon otettuna.

| Kalan kilohinta | P min. | P max. | N min. | N max. |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| (€) | €/kg | €/kg | €/kg | €/kg |
| 0,1 | 67 | 133 | 16 | 13 |
| 0,2 | 50 | 100 | 12 | 10 |
| 0,3 | 33 | 67 | 8 | 7 |
| 0,4 | 17 | 33 | 4 | 3 |
| 0,5 | .. | .. | .. | .. |
| 0,6 | -33 | -33 | -4 | -3 |
| 0,7 | -33 | -67 | -8 | -6,67 |
| 0,8 | -50 | -100 | -12 | -10 |
| 0,9 | -67 | -167 | -16 | -13 |

7.2.2 Hapettaminen

Kuonanjärven hapettamiseen soveltuisi päällysvettä alusveteen pumpaava hapetin. Kuonanjärven päällysveden happitilanne on myös kevättalvella tyydyttävä, jolloin on mahdollista käyttää kierrätyshapetusta. Hapettimen etuna on päällysveden hapen kierrättäminen alusveteen, joka on hapen ilmastusmenetelmää kus-

tannustehokkaampi ratkaisu (Lappalainen & Lakso 2005, 158). Alusveden happipitoisuuden lisääminen saa myös sedimentin pinnan happipitoisuuden kohoamaan, jolloin pohjasedimentissä olevat ravinteet pidättyvät pohjasedimentin maa-hiukkasiin. Hapettamisen seurauksena metallit pidättyvät pohjasedimenttiin parantuneen hapetus-pelkistysasteen myötä. Pohjaeläimistö monipuolistuu hapekkaampien pohjan olosuhteiden myötä.

Laskelmassa käytettiin hapettimen pidättyvänä fosforimääränä Lappalaisen mallilla lasketun nettosedimentaation fosforimäärää (269,3 kg/a), jonka järvi pidättäisi, mikäli fosforinpidätysmekanismi olisi kunnossa. Esimerkkinä päällysvettä alusvedeen pumppaavasta hapettimesta kustannusvertailussa käytettiin Mixox-hapettimen tietoja. Vesieko Oy:n Saarijärven (2019) mukaan Mixox 1100 -hapettimen käyttö- ja huoltokustannukset vaihtelevat 15 000–20 000 €/a. Laitteen käyttökustannukset vaihtelevat sen mukaan, onko asiakas ostanut laitteen itselleen, vai ostanut laitteen ja siihen liittyvän ylläpidon valmiina palveluna. Laitteen käyttökustannusten ollessa 15 000 €/a pidättyneen fosforin kilohinnaksi jää 55,7 €/kg. Laitteen vuosittaisten käyttökustannusten ollessa 20 000 € pidätetyn fosforin kilohinnaksi jää 74,27 €/kg. Lopullisissa kustannuksissa tulee huomioida lisäksi myös arvonlisäveron osuus 24 %.

Taulukko 46. Hapettimien teknisiä tietoja (Vesi-Eko Oy 2003; 2007).

| Hapettimen tiedot | Mixox | Visiox |
|---------------------------------------|--------------|---------------|
| Malli | MC-1100 | |
| Hapensiirtoteho (O ₂ kg/d) | 800 | 72 |
| Tehotarve (kW) | 2,5 | 3 |
| Virtaama (m ³ /d) | 87 000 | 11 232 |
| Käyttöalue (ha) | 20 - 500 | |

Taulukko 47. Vuosikustannusten perusteella määritetty kokonaisfosforikilon pidättämisen hinta.

| Vuosikustannukset | Kokonaisfosforin pidätyksen hinta |
|--------------------------|--|
| € | €/kg |
| 15 000 | 55,7 |
| 20 000 | 74,27 |

7.2.3 Imuruoppaus

Sedimentin ruoppauskustannukset arvioitiin sedimenttikartoituksen perusteella kokolöyhän savikerroksen yläpuolisen sedimentin määrän ja puolen metrin sedimenttikerroksen poistolle. Poistettavan sedimentin määrä arvioitiin QGIS-paikkatietosovelluksella. Poistettavan sedimentin pinta-alaksi saatiin karkeasti arvioituna noin 384 ha. Tilavuus muunnettiin massaksi sedimentin märkätiheyslaskelman perusteella, jolloin ruoppauksen kilohinnan perusteella pystyttiin määrittämään sedimentin poistosta aiheutuvat keskimääräiset kustannukset. Muuntamiseen käytettiin mm. Itkosen (2015) käyttämää sedimentin märkätiheyden laskentamenetelmää. Sedimentin laboratorioanalyysitietojen perusteella laskettiin sedimentin sisältämän typen ja fosforin määrä. Tällöin pystyttiin laskemaan poistetun ravinteen kilohinta.

Insinööritoimisto Lassinarolta (2018) saatujen kustannustietojen perusteella imuruoppauskustannukset voisivat olla noin 2 €/m³. Kun kolmasosa ruoppauksen kustannuksista on läjityksen kuluja, saadaan kokonaiskustannuksiksi 3 €/m³. Tällöin Kuonanjärven koko sedimentin määrän 14,5 miljoonaa m³ imuruoppauskustannukset olisivat noin 43,5 miljoonaa €. Mikäli Kuonanjärvestä poistettaisiin vain puolen metrin kerros pohjasedimenttiä, olisi se mahdollista tehdä noin 384 ha:n alalle. Poistettavan massan määrä olisi 1 920 000 m³, jolloin ruoppauskustannukset olisivat noin 5,7 miljoonaa euroa (taulukko 48).

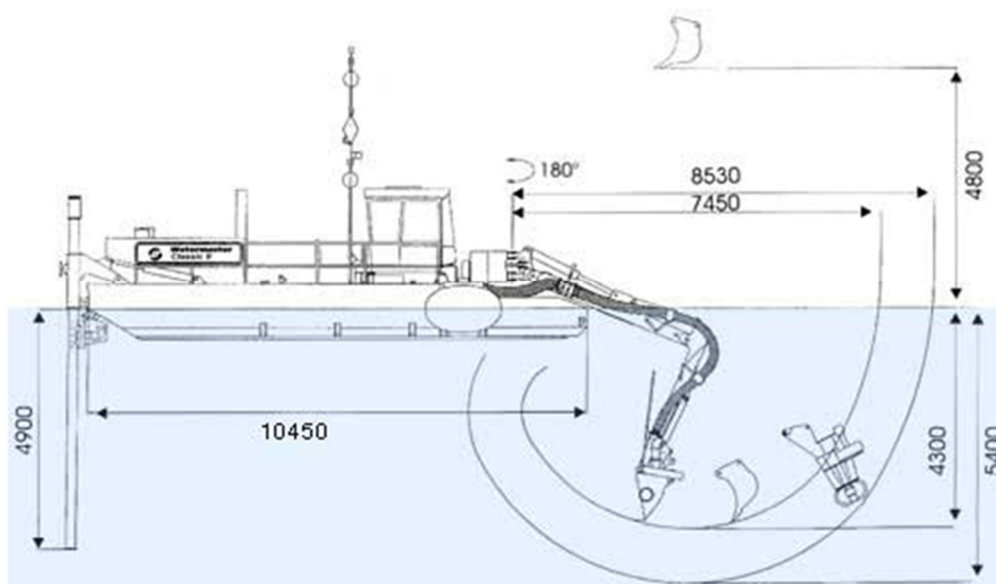
Vertailukohteena käytettiin Tohmajärven Vääränlahdella toteutetun imuruoppauksen kokonaiskustannusten hintatietoja vuodelta 2011, jossa 38 000 sedimenttikuoion ruoppaus maksoi yli miljoona euroa (Suomalainen 2013). Ruoppauskustannukset olivat rahanarvoindeksillä (Tilastokeskus 2019) vuoden 2018

rahaksi muutettuna 28,29 €/m³. Kyseisellä hinnalla Kuonanjärven koko sedimenttimassan poiston kustannukset olisivat 409 miljoonaa euroa ja puolen metrin sedimenttikerroksen poistolle noin 54 miljoonaa euroa.

Vääränlahden kuutiokustannuksella laskettuna poistetun fosforikilon hinnaksi tulisi 259,53 €/kg ja typpikilon hinnaksi 18,54 €. Ruoppauksella on pitkä vaikutusaika. Mikäli ruoppauksen kustannukset jaettaisiin 20 vuoden ajalle, fosforikilon hinnaksi tulisi 12,98 €/kg ja typpikilon hinnaksi 0,93 €/kg ilman tukia.

Kerimäen Kirkkorannan ruoppaushanketta tuki ELY-keskus 25 % (Härkönen 2018).

Kuonanjärven sedimentin ruoppaus olisi Suomen mittakaavassa suuri hanke. Tällä hetkellä Suomen suurin ruoppaushanke on Tampereen kaupungin toteuttama Hiedanrannan ns. nollakuituhanke, jossa sitä ruopataan noin miljoona kuutiometriä. Kuonanjärven ruoppaus pitäisi todennäköisesti ajoittaa useamman vuoden ajalle. Ruoppaus vaatisi useampia läjitysalueita. Ruoppauksen nostokorkeuden optimi olisi vesipinnasta mitattuna alle 10 metrin korkeuserolla ruoppauspaikkaan nähden. Putkiston pituuden tulisi olla alle 500 metriä, sillä pidempi putkistolinja nostaisi kustannuksia. (Lassinaro 2018.) Kaikista ruoppauksista on tehtävä ilmoitus ELY-Keskukseen, ja yli 500 m³ ruoppauksiin on haettava lupa viranomaiselta (Vesilaki 587/3).



Kuva 34. Vesimestari Classic-imuruoppaaja (Insinööritoimisto Lassinaro Oy 2019).

Taulukko 48. Imuruoppauksessa poistetun ravinteon kilohinta Lassinaron korotetulla hinnalla 3€/m³. Ruoppauskustannusten perusteella laskettuna.

| Aika (vuosia) | Tueton | | Tuki 25 % | |
|---------------|--------|--------|-----------|--------|
| | Kok. P | Kok. N | Kok. P | Kok. N |
| 20 | 1,38 | 0,1 | 1,03 | 0,07 |
| 30 | 0,92 | 0,07 | 0,69 | 0,05 |
| 40 | 0,69 | 0,05 | 0,52 | 0,04 |
| 50 | 0,55 | 0,04 | 0,41 | 0,03 |
| 60 | 0,46 | 0,03 | 0,34 | 0,02 |
| 70 | 0,39 | 0,03 | 0,29 | 0,02 |

Taulukko 49. Imuruoppauksessa poistetun ravinteiden kilohinta ruoppauskustannuksella 2€/m³ (ei sisällä arvonlisäveroa).

| Aika (vuosia) | Tueton | | Tuki 25 % | |
|---------------|--------|--------|-----------|--------|
| | Kok. P | Kok. N | Kok. P | Kok. N |
| 20 | 0,92 | 0,07 | 0,69 | 0,05 |
| 30 | 0,61 | 0,04 | 0,46 | 0,03 |
| 40 | 0,46 | 0,03 | 0,34 | 0,02 |
| 50 | 0,37 | 0,03 | 0,28 | 0,02 |
| 60 | 0,31 | 0,02 | 0,23 | 0,02 |
| 70 | 0,26 | 0,02 | 0,2 | 0,01 |

7.2.4 Kosteikko

Kosteikon perustamisen kustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti. Pohjois-Karjalan Riistakeskuksen riistasuunnittelija Reijo Kotilaisen antamien tietojen mukaan kosteikon hintaan vaikuttaa moni eri tekijä (esim. kosteikon sijainti), joten varsinaista keskimääräistä kosteikon vesipinta-alaan sidonnaista hehtaarihintaa kosteikolle ei ole olemassa. Jokaisen kosteikon hinta määrittyy varsin yksilöllisesti siihen kuuluvien työtehtävien laadun, toteuttamistavan ja työmenekin mukaan. Kaivamalla tehty kosteikko on kalliimpi kuin patoamalla tehty. (Kotilainen 2018.) Ollikaisen (2019) mukaan kosteikon perustamiskustannukset ovat noin 10 000–12 000 €/ha.

Taulukko 50. Kosteikon rakennuskustannuksia taulukoituna (Kotilainen 2018).

| Toimenpide | €/h | €/m ³ | Osuus kokonaiskustannuksista (%) |
|---|---------|------------------|----------------------------------|
| Kosteikon suunnittelu | 25 - 35 | | 5 |
| Pienemmän kosteikon suunnittelu | | | 10 - 20 |
| Suunnittelun vaaitustyö | 40 - 50 | | |
| Alkuraivaustyöt | | | |
| Vesakon poisto käsiraivauksena | 25 - 35 | | |
| Ensiharvennus motolla (kuljetusmatka 200 m) | | 14 - 18 | |
| Päätehakkuu | | 6 - 8 | |
| Pieni päätehakkuu | | 9 | |
| Rakenteiden asennus henkilötyönä | 25 | | |
| Viimeistelytyöiden kylvömuokkaus | 60 | | |

Taulukko 51. Maansiirtotöiden kustannukset kosteikkoa rakennettaessa.

| Maansiirtotyöt | €/h | € |
|-------------------------------------|------------|----------|
| Kuorma-auto tai traktori | 60 - 65 | |
| Kivimurskeen hinta/i-m ³ | | 15 |
| Kaivinkone pitkäpuominen 28 m | 75 | |
| Kaivinkone pitkäpuominen 16 - 18 m | 80 | |
| Kaivinkone 14 tn, 8 m puomilla | 70 | |

Taulukko 52. Kosteikon rakentamiseen vaadittavia tarvikkeita hintatietoineen.

| Tarvikkeet | Halkaisija (mm) | Pituus (m) | Hinta (€) |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Putki SN 8 | 200 | 6 | 80 |
| Putki SN 8 | 300 | 6 | 210 |
| Suodatinkangas 100 m ² | | | 70 |

Esimerkkitapauksena käsitellään Kuonanjärven kaukovaluma-alueella sijaitsevaa Riitasensuon 1,5 ha:n kosteikkoa. Kosteikko on tehty kaivamalla. Kosteikon kustannukset ovat olleet noin 20 000 €, ja se on tehty Kemera-hankkeen tuella noin 5 vuotta sitten (Ollikainen 2019). Kosteikon yläpuolisen valuma-alueen ala on noin 130 ha (Ollikainen 2018).

Kosteikkoon tuleva kuormitus laskettiin hyödyntämällä huuhtoumana tulevia, keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia. Metsämaalta tulee kokonaisfosforia 11 kg/km²/a, josta on luonnonhuuhtoumaa 5,4 kg/km²/a ja kokonaistyyppiä 190 kg/km²/a, josta on luonnonhuuhtoumaa 140 kg/km²/a (Kortelainen ym. 2003, 20). Riitasensuon kosteikon pinta-alan osuus yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta on 1,2 %. Kosteikon pidättämä suhteellisen kokonaisfosforin määrä laskettiin lehtori Ilpo Tahvanaisen korjaamalla Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu- ja mitoitussoppaan Puustinen ym. (2007, 60) mukaisella menetelmällä (kaava 6).

Kokonaisfosforin kosteikkoon tuleva vuosikuorma on 14,3 kg, josta luonnonhuuhtouman osuus on 7,0 kg. Kosteikkoon tuleva kokonaistyyppien vuosikuorma on 247 kg, josta luonnonhuuhtoumaa on 182 kg. Kaavalla 6 laskettuna kokonaisfosforin suhteellinen pidätysosuus on 25,2 %, jonka perusteella kosteikko pidättää 3,6 kg

kokonaisfosforia vuodessa. Kokonaistypen suhteellinen pidätysosuus on 12,8 %, minkä perusteella kosteikko pidättää 29,8 kg kokonaistyppeä vuodessa.

Mikäli kosteikon ravinteiden pidättämiskyky säilyy seuraavan 20 vuoden aikana yhtä tehokkaana, kokonaisfosforia pidättyy 72kg ja kokonaistyppeä 596,8 kg. Jakamalla kosteikon hinta pidättyneiden typpikilojen määrällä saadaan typen pidättämisen hinnaksi 33,5 €/kg. Samalla menetelmällä laskettuna fosforin pidättämisen hinta on 278 €/kg. Kosteikon täyttäessä tukiehdot, sen tekemiseen voi saada Maatalouden ei-tuotannollisten investointien tukea. Tuen suuruus on 11 669 €/ha hyväksynnän saaneista, toteutuneista kustannuksista. (Kotiseutukosteikko Life+ 2019.) Tukeen ei sisälly suunnittelun osuus (Kotilainen 2018). Fosfori- ja typpikilon pidättämisen hinta on esitetty 90 % tuella ja ilman tukea taulukossa 53.

Taulukko 53. Kosteikon pidättämän ravinnekilon kustannukset tuella ja ilman tukea laskettuna.

| Vuodet | Kosteikko 90 % tuella | | Tueton kosteikko | |
|--------|-----------------------|-------------|------------------|-------------|
| | Kok. P €/kg | Kok. N €/kg | Kok. P €/kg | Kok. N €/kg |
| 20 | 28 | 3,35 | 278 | 34 |
| 30 | 19 | 2,23 | 185 | 22 |
| 40 | 14 | 1,68 | 139 | 17 |
| 50 | 11 | 1,34 | 111 | 13 |
| 60 | 9 | 1,12 | 93 | 11 |
| 70 | 8 | 0,96 | 79 | 9,6 |



Kuva 35. Pieneen Vehkajärveen laskeva Riitasensuon kosteikko 22.11.2018 (Kuva: Minna Kutvonen).

7.2.5 Ruovikon niitto

Ruovikon niiton etuna on lisääntynyt rantavyöhykkeen sedimentin aerobinen hajoaminen tuulen ja jään vaikutuksesta. Mosaiikkimaisesti toteutettavalla niitolla saadaan aikaan suojapaikkoja vesilinnuille ja parannetaan haukien kutumahdollisuuksia. Ruovikon niitolla on myös maisemallisia ja virkistyskäyttömahdollisuuksia edistäviä vaikutuksia. Niittotyön kustannuksille ei voi laskea kaikkia niiton hyötyjä järven ekologiseen tilaan liittyen pelkästään ravinteiden pidättymisen kilohintana.

Ruovikon niitto kohottaa pintasedimentin hapetus-pelkistysastetta. Niittojätteen mukana järvestä poistuu ravinteita, jotka veteen jäädessään kiihdyttäisivät järven sisäistä kuormitusta. Ruovikon niiton kustannuksia tiedusteltiin puhelimitse Turun alueella vaikuttavalta Jale Line Oy:n Janne Lehdolta.

Kuonanjärven alueen niitettäväksi ruovikkoalaksi määritettiin karkeasti 11,7 ha. Lehdon 2019 antamien tietojen mukaan ruovikon niitto Truxor-merkkisellä laitteella maksaisi noin 1 €/m², ja työaikaa tuhannen neliömetrin alan niittämiseen kuluisi noin 3 - 4 tuntia. Lehdon (2019) mukaan ruovikon niiton työnopeuden ja kustannusten arvioinnissa voisi käyttää tietoa 2 000 €/ha/pv, jolloin siinä olisi huomioitu niiton osuus ja keruuveneen työn osuus. Kyseisen hintatiedon perusteella 11,7 ha:n ruovikkoalan niitokustannukset olisivat noin 23 460 €. Lopullisia kustannuksia arvioitaessa tulee huomioida myös arvonnlisäveron osuus (24 %) ja mahdollinen verovähennyskelpoisuus.

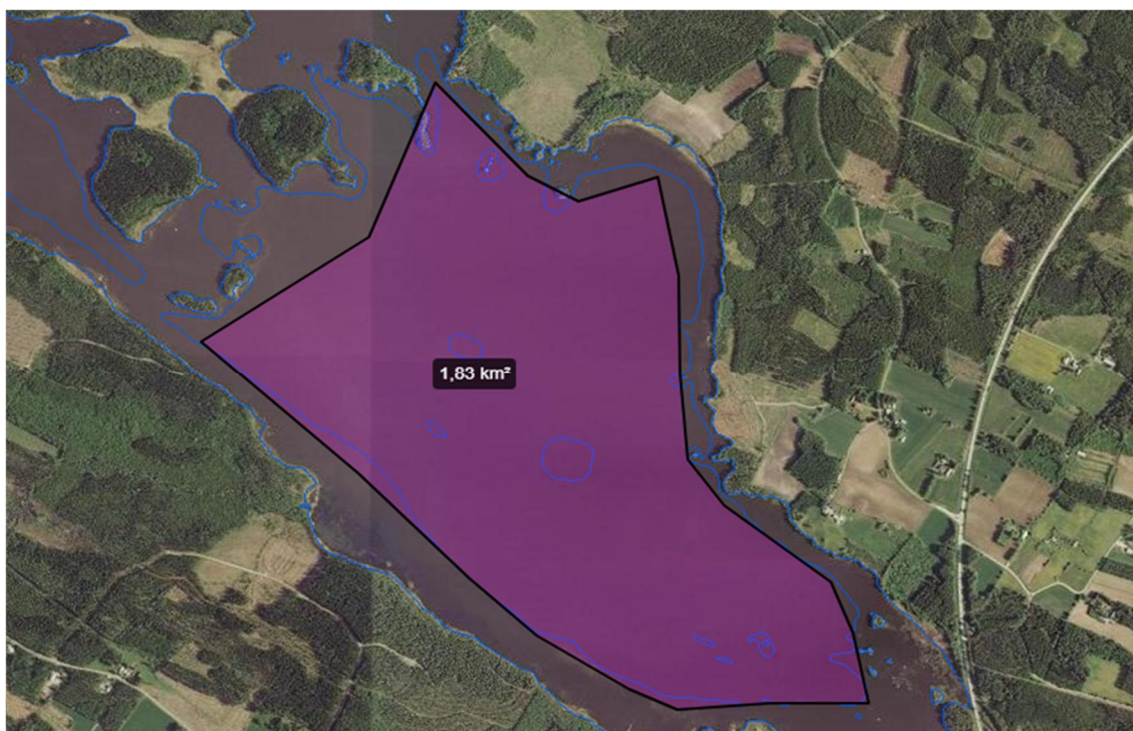
Hehtaarin päivänopeudella työhön kuluisi yhdeltä yrittäjältä noin 12 työpäivää. Mikäli niitto tehtäisiin ensimmäisenä kesänä kahdesti ja seuraavina kahtena kesänä kerran, ensimmäisenä kesänä suoritettavan kahden niitokerran kustannukset olisivat 46 920 euroa ja kahden seuraavan kesän 23 460 euroa kesässä. Ensimmäisenä kesänä kahdelta niitokerralta tulisi ruovikkomassaa noin 24 hehtaarin alalta. Ensimmäisen kesän niittojätteen sisältämä fosforin määrä olisi keskimäärin 88–176 kg ja typen määrä 880–1 760 kg. Toisella niitokerralla kasvuston määrä olisi noin 50 % ensimmäistä niitokertaa vähemmän (Javanainen, Kemppainen, Orjala, Perkonoja & Saarni 2013, 24). Tällöin ensimmäisenä kesänä poistetun fosforikilon hinnaksi saadaan 267–533 € ja poistetun typpikilon hinnaksi 27–53 €.

Velho-hankkeen kustannuksilla v. 2014 ruovikon niiton kilokustannuksiksi oli saatu typpikilolle 7–22 € ja fosforikilolle 80–270 €/kg (Ajosenpää 2014, 100). Silputtua niittojätettä voi kompostoida ravinteiden hyödyntämiseksi (Kääriäinen & Rajala 2005, 262). Hehtaarin ruovikkoalan niittojätteet sisältävät keskimäärin 5 - 10 kg fosforia ja 50–100 kg typpeä. Ruokoa voi käyttää bioenergian tuottamiseen ja kattomateriaalina. (Javanainen ym. 2013, 23–24.)

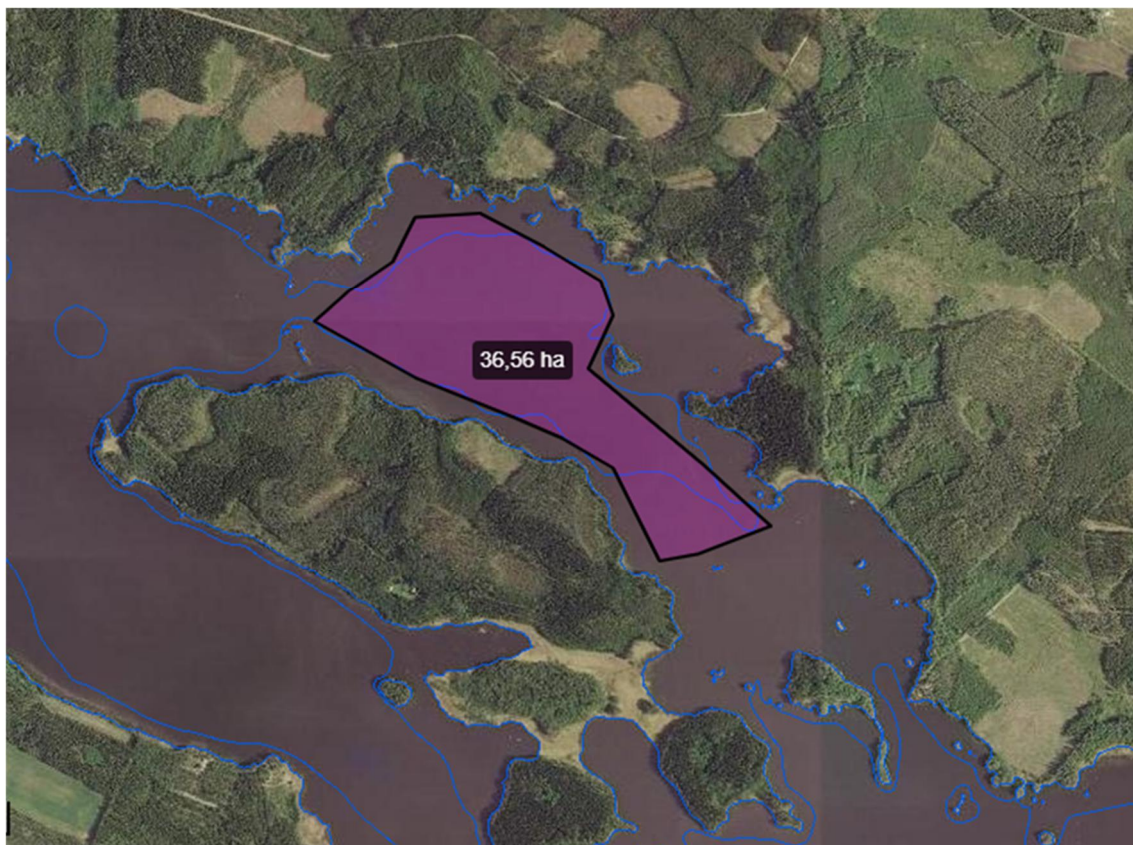
7.2.6 Pohjan pöyhintä

Kuonanjärvellä pohjaa voisi pöyhiä raivausnuotalla. Raivausnuottauksen hintatieto on peräisin Alajärven Ojajärvelle tehdystä Kunnostussuunnitelmasta. Rai-

vausnuottauksen hinta olisi suunnitelman mukaan noin 325 €/ha. (Yli-Teevahainen 2018.) Sedimentin pöyhinnän osuus puolen metrin sedimenttikerroksen alalle on määritetty paikkatietoikkunan pinta-alalaskurilla (kuvat 19 ja 20). Nuottattavaa alaa olisi noin 210 hehtaaria (kuvat 19 ja 20). Pohjan pöyhinnän kokonaiskustannukset olisivat noin 68 000 €. Pohjan pöyhinnällä on myönteisiä vaikutuksia järven ekologiseen tilaan, mutta asiaa on tutkittu tiettävästi toistaiseksi vasta vähän.



Kuva 36. Pohjan pöyhintäala Kuonanjärven eteläpäässä.



Kuva 37. Pohjanpöyhintäala Kokkosaaren pohjoispuolella.

7.2.7 Fosforin saostus

Fosforilla saostamisen kustannukset ovat keskimäärin 60–200 €/ha ja käsittely tulisi uusaa kolmen vuoden välein (Penttinen & Niinimäki 2010, 310). Kun vuoden 2010 hintatieto (200€/ha) korotetaan Tilastokeskuksen (2019) rahanarvolaskurilla vuoden 2018 rahan arvoon, fosforin saostukseen kustannukset olisivat noin 220 €/ha. Fosforin saostamisen kokonaiskustannukset olisivat Kuonanjärvelle tällöin noin 128 000 €. Kun fosforinsaostusta suositellaan uusittavaksi kolmen vuoden välein jää vuosittaisiksi kustannuksiksi 42 600 €.

7.3 Kunnostusmenetelmien valintaan vaikuttavat tekijät

Kunnostusmenetelmien valinnassa kiinnitettiin huomiota kustannustehokkuuteen ja vaikutusaikaan. Fosforin kemiallista saostamista ei suositella Kuonanjärvelle

menetelmän lyhyen vaikutusajan (3-5 vuotta) takia. Fosforin kemiallinen saostaminen voi aiheuttaa merkittävän kalakuoleman. (Penttinen & Niinimäki 2010, 262.) Kuonanjärven kalaston arvoa lisää järven kuhakanta ja mahdollisesti veden kuolleen kalan arvo on heikompi. Ihmisravinnoksi käytettäessä tulee huomioida elintarvikehygieniä, jolloin kuolleen kalan taloudelliseksi arvoksi jää vain niissä olevien ravinteiden hyödyntäminen lannoitekäytössä. Kala täytyy kuitenkin ensin kompostoida tai käsitellä biokaasulaitoksessa ennen lannoitekäyttöä. Tällöin käsittelylaitosten porttimaksut ja rahtikustannukset lisäävät hoitokalastuksen kokonaiskustannuksia.

Vedenpinnan nostoa ei Kuonanjärvelle suositella. Kunnostusmenetelmää sovelletaan yleensä vesistöön, jonka pintaa on aiemmin laskettu. Kuonanjärven alusveden poistaminen ei ole järkevä kunnostustoimenpide, koska kunnostuksen päämääränä on vähentää Kuonanjärvestä Puruveden Savonlahteen kohdistuvaa kuormitusta.

7.4 Kunnostusmenetelmiin liittyvät riskit

Kunnostusmenetelmien riskit vaihtelevat menetelmäkohtaisesti. Toisinaan kohteeseen soveltumaton kunnostusmenetelmä ei tuota toivottua tulosta järven vedenlaadun tai virkistyskäyttömahdollisuuksien näkökulmasta. Riskien tiedostaminen ja minimointi työn suunnitteluvaiheessa lisää hankkeen onnistumismahdollisuuksia. Kunnostusmenetelmien valintaa pitääkin harkita huolellisesti. Ennen kunnostusmenetelmän valintaa pitäisi saada selvitettyä luotettavasti järveen tuleva ulkoinen kuormitus. Järven sisäisen kuormituksen hoitamisen vaikutukset voivat jäädä varsin lyhytaikaisiksi, jos ulkoinen kuormitus ei ole kurissa.

Järven ulkoisen kuormituksen vähentämisen tarve tulisi selvittää. Jos ulkoinen kuormitus vastaa järven sietokykyä, järven ongelmana saattaa olla enää voimakas runsaan pohjasedimentin ja särkikalavaltaisen kalaston ylläpitämä sisäinen kuormitus.

Esimerkkinä on Tohmajärven Vääränlahden ruoppaus (Suomalainen 2013). Sen vaikutukset saattavat jäädä toivottua lyhytaikaisemmiksi valuma-alueelta tulevan runsaan kiintoainekuormituksen takia. Tiedot perustuvat limnologi Tarmo Tossavaisen ottamiin vesinäytteisiin ja virtaamatietoihin perustuviin laskelmiin (Tossavainen 2014). Onkamojärven imuruoppauksessa ruoppauspää tukkeutui haoista ja esti toimenpiteen onnistumisen (Pro Onkamonjärvet ry 2019).

Suuret teräväreunaiset kivet ja haot saattavat aiheuttaa nuotan havaksen repeytymisen, jolloin hoitokalastuksen päämäärä jää toteutumatta ja nuotan korjauksesta aiheutuu lisäkuluja. Nuottauslinjat tulee selvittää huolellisesti ja tarvittaessa tehdä raivaukset ja hankalien paikkojen merkitsemisen. Niittämisen vaikutuksesta vähenevän ruovikkoalan tilalle voi tulla myös uusi kasvi, kuten lumme (Kääriäinen & Rajala 2005, 266).

Ruovikon niitossa tulee etukäteen harkita, riittääkö ruovikon mosaiikkimainen harventaminen, vai niitetäänkö koko ruovikkoala. Niittämisen vaikutuksesta vähenevän ruovikkoalan tilalle voi tulla myös uusi kasvilaji, kuten vitakasvusto tai lumpeikko. Ruovikon niittoa hidastaa kivikkoisuus ja kuivalta maalta niittäminen. Runsas osmankäämikasvillisuus on myös niittotyötä hidastava tekijä. (Lehto 2019.) Biomanipulaation riskejä ovat hoitokalastuksen jälkeen suurehkot lisääntyvät nuoremmat kalasukupolvet (Niinimäki & Penttinen 2014, 100).

7.5 Kunnostusmenetelmien kustannustehokkuuden vertailu

Ravinteiden pidättämisen kilohinnat ja menetelmäkohtaiset kustannukset on esitetty taulukossa 54 tuettomien kunnostusmenetelmien osalta. Tuettujen kunnostusmenetelmien ravinteiden pidättämisen kilohinnat on esitetty taulukossa 55 tuki mukaan lukien. Taulukon 54 laskelmissa ei ole huomioitu tukia, eikä arvonlisäveroä. Ruoppauksen ja kosteikon perustamiskustannukset on jaettu 20 vuoden ajalle.

Taulukko 54. Kunnostusmenetelmäkohtaiset kustannukset tuettomissa kunnostusmenetelmissä. Kosteikon ja ruoppauksen kustannukset jaettu 20 vuodelle.

| Menetelmä | Kok. P €/kg | Kok. N €/kg | €/a |
|---------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Biomanipulaatio | 333 | 33 | 68 000 |
| Fosforin saostaminen | | | 42 600 |
| Hapettaminen | 74 | | 20 000 |
| Kosteikko | 277 | 33 | 1 000 |
| Raivausnuottoaus (210 ha) | | | 68 250 |
| Ruoppaus | 1,38 | 0,1 | 2 171 500 |
| Ruoppaus 0,5 m | 1,38 | 0,1 | 288 000 |
| Ruovikon niitto | 533 | 53 | 46 900 |

Taulukko 55. Kunnostusmenetelmäkohtaiset kustannukset tuetuissa kunnostusmenetelmissä. Ruoppauksen ja kosteikon kustannukset jaettu 20 vuodelle.

| Menetelmä | Kok. P €/kg | Kok. N €/kg | €/a |
|-----------------|-------------|-------------|-----------|
| Biomanipulaatio | 167 | 17 | 34 000 |
| Ruoppaus | 1,03 | 0,07 | 1 630 000 |
| Ruoppaus 0,5 m | 1,03 | 0,07 | 290 000 |
| Kosteikko | 28 | 3,35 | 1 000 |

8 Pohdinta

Kuonanjärven valuma-alueelle ominaista on turvemaiden suuri osuus. Ojitetulta turvealueelta vesi laskee pääosin Pieneen Vehkajärveen, joka on eutrofinen, ajoittain jopa hypereutrofinen järvi. Pienen Vehkajärven laskujokea (037) pitkin Suureen Vehkajärveen virtaa vuositasolla runsaasti ravinteita (taulukko 22). Suuri Vehkajärvi pidättää siihen tulevaa ulkoista kuormitusta heikosti, ja valtaosa ravinnekuormasta jatkaa kulkuaan Vehkaojaa pitkin Kuonanjärveen. Pieni- ja Suuri Vehkajärvi sekä Kuonanjärvi ovat sisäkuormitteisia, eivätkä siten kykene pidättämään ravinteita tai kiintoainetta.

Eriyisesti Vehkaoja syöttää vuosittain Kuonanjärveen runsaasti ravinteita ja kiintoainetta, jotka ovat vuosien saatossa kertyneet sen pohjaan sedimentiksi. Pohjasedimenttiä on kertynyt Kuonanjärveen paikoitellen niin runsaasti, että järven sietokyky ylittyy ainakin ajoittain. Sedimentti on koostumukseltaan erittäin vesipi-toista, löyhää ja heikosti mineralisoitunutta ainesta. Pohjasedimentin seassa ha-vaittiin hajoamatonta kasviainesta, joka lisää hapenkulutusta alusvedessä ja se-dimentin pintakerroksissa luonnollisesta hajotustoiminnasta johtuen.

Hapettomissa oloissa pohjasedimentistä vapautuu ravinteita ja raskasmetalleja vesimassaan, joka puolestaan kiihdyttää sisäistä kuormitusta entisestään. Poh-jan heikko fysikaalis-kemiallinen tila on havaittavissa myös pohjaeläintuloksia tar-kasteltaessa, sillä lajisto on hyvin suppea ja pohjaeläinten määrä on pieni. Kuo-nanjärvellä kesällä 2017 tehdyn kalastorakennetutkimuksen (Kulo 2018) perusteella järven koekalastussaaalis koostui pääosin särkikaloista (taulukko 25) ja niiden pääravintoa ovat pohjaeläimet. Pohjaeläimistön ollessa heikko särkika-lat syövät nälissään pohjasedimenttiä. Ulosteen mukana poistuessaan sedimen-tin sisältämät ravinteet muuttuvat vesikasveille ja leville suoraan käyttökelpoi-seen, liukoiseen muotoon.

Yleisesti järven sietokyvyllä tarkoitetaan siihen tulevaa, niin maltillista kuormi-tusta, että järvi ennättää hajottaa järven oman ja valuma-alueelta tulevan elope-räisen aineksen. Aineksen tulee mineralisoitua niin tehokkaasti, että pohjan hap-pitilanne pysyy kyllin hyvänä ravinteiden pidättäytymiseksi pohjassa. Hap-pitilanteen ollessa riittävän hyvä esimerkiksi fosfori saostuu hapettuneen fer-riraudan mukana järven pohjaan.

Kuonanjärvestä lähtee aikanaan uittoväyläksi perattua Kuonanjokea pitkin Sa-vonlahteen vuosittain noin 10 kg (1,04 %) enemmän kokonaisfosforia, kuin sinne ulkoisen kuormituksen seurauksena tulee. Tämä on seurausta Kuonanjärvellä ajoittain tapahtuvasta sisäisestä kuormituksesta. Savonlahteen tulevasta ulkoi-sesta kuormituksesta osa ajautuu puolestaan Puruveden huomattavasti karum-mille ja kirkkaammille selkävesille. Puruveden paikoittaista rehevöitymistä kiih-dyttää Savonlahdesta selkävesille ajautuva mineraaliravinteiden kuorma.

8.1 Kustannusvertailun pohdinta

Ravinteiden poisto- ja pidättämiskyky voidaan kohdistaa enemmän fosforin tai typen poistoon eri menetelmillä. Kustannusvertailussa ilman tukia ja arvonlisäveroä tehokkaimmiksi menetelmiksi osoittautui ruoppaus. Ruoppaus on kallista ja sen kuutiokustannukset vaihtelevat eri lähtötietojen perusteella runsaasti (1 - 28 €).

Ruoppauksen lopullisia kustannuksia Kuonanjärvellä arvioitaessa tulisikin tehdä ruoppaussuunnitelma ja kustannusarviossa tulisi huomioida läjitysalueista, putkiston pituudesta ja ruoppausmassan nostokorkeudesta aiheutuvat mahdolliset lisäkustannukset. Kosteikon suunnittelulle ei myönnetä tukea Maatalouden eituotannollisen investoinnin tuessa (Kotilainen 2018), joten tukien osuus kosteikolle oli 90 % ja ruoppaukselle 25 % (Härkönen 2018) kustannustehokkuus lisääntyi odotetusti (taulukot 48 ja 53). Hoitokalastus olisi kokonaisuudessaan edullisin vaihtoehto, mikäli siihen saisi 50 % tuen ja nuotattu kala myydään. Hoitokalastuksen merkittävin etu on runsaan särkikalakannan vähentyminen.

Biomanipulaation merkittävin etu on runsaan särkikalakannan vähentyminen. Pohjan resuspension väheneminen vähentää pohjasta veteen vapautuvien ravinteiden määrää. Vesikirppujen ja hankajalkaisäyriäisten on mahdollista lisääntyä särkikalamäärän vähentyessä. Hoitokalastuksen vaikutuksesta vesistön ravinnepitoisuudet saattavat laskea merkittävästi. (Søndergaard ym. 2017, 13–14.)

Ruoppauksen kustannukset ovat suuria (taulukot 54 ja 55), mutta sen vaikutusaika järven tilaan on myös merkittävän pitkä muihin kunnostusmenetelmiin verrattuna. Ruoppauksessa ravinnekilon poistokustannus on kuitenkin pienempi muihin menetelmiin verrattuna, jos kustannuksia vertaillaan ilman tukia ja tuotteen myyntiä. Vesikasvillisuuden niitto on tällä menetelmällä vertailtuna kallis menetelmä, mutta sillä on myönteisiä vaikutuksia järven eliöstön olosuhteisiin ja mahdollisesti myös alueen virkistyskäyttöarvoon.

Hapettimen valinnassa tulee kiinnittää huomiota siirretyn happikilon kustannuksiin ja laitteiden hyötysuhteiden vertailuun. Esimerkiksi päällysvettä alusveteen

pumppaavan Mixox-hapettimen hapensiirtokyky on parempi kuin Visiox-hapettimella, joka hyödyntää ilmakehän happea järven hapettamiseen (taulukko 46). Mikäli päällysveden happitilanne mahdollistaa veden kierrätyshapetuksen, ilmasta lisätyn hapen käyttö alusveden happitilanteen parantamiseksi ei ole kannattavaa. Hapetin mahdollistaa paremmat elinolosuhteet pohjaeläimistölle, ja sen myötä lajisto lisääntyy sekä monipuolistuu ja kalojen ravintotilanne mahdollisesti paranee.

Taulukko 56. Ravinteiden poiston menetelmäkohtainen arvioitu enimmäismäärä.

| Menetelmä | Kok. P kg/a | Kok. N kg/a |
|------------------|--------------------|--------------------|
| Hoitokalastus | 408 | 2040 |
| Ruoppaus | 1 578 000 | 22 091 000 |
| Ruoppaus (0,5 m) | 209 286 | 2 929 875 |
| Kosteikko | 4 | 30 |
| Ruovikon niitto | 117 | 1173 |
| Hapetus | 269 | .. |

Kunnostusmenetelmiä valittaessa voidaan kiinnittää huomiota myös eri menetelmien toisistaan poikkeavaan ravinteiden pidättämiskykyyn. Ruovikon niitto, ruoppaus, hoitokalastus ja kosteikko poistavat enemmän tyypeä kuin fosforia. Ruoppauksessa ja biomanipulaatiossa fosforin vaikutusten väheneminen on vuositasolla suurinta (taulukko 56). Sisäistä kuormitusta hoidettaessa kunnostusmenetelmän valinnassa kannattaakin huomioida myös järven minimiravinne ja keskittyä menetelmiin, joilla kasvulle merkittäväntä ravinnetta fosforia saadaan vähennettyä (Niinimäki & Penttinen 2014).

8.2 Tulosten vertailu Puruveden Savonlahden ja Ristilahden tuloksiin

8.2.1 Pohjasedimentin määrän ja ulkonäön vertailu

Puruveden Ristilahden vesiala on noin 250 ha ja sen tummanpuhuvan, löyhän ja vesipitoisen pohjasedimenttikerroksen paksuus vaihteli 25...319 cm välillä. Sedimenttikerroksen keskimääräinen paksuus on 1,05 m. (Tossavainen 2016a, 23.)

Sedimentin kokonaismäärä on karkeasti arvioiden noin 2,6 miljoonaa kuutiometriä ja kokonaismassa noin 2,9 miljoonaa tonnia. Kokonaisfosforia pohjasedimentissä on noin 270 tonnia ja kokonaistyppeä noin 4,7 miljoonaa tonnia. (Tossavainen 2016a, 41.)

Taulukko 57. Pohjasedimentin ominaisuuksia laboratoriotutkimusten perusteella Puruveden Ristilahdelta (Tossavainen 2016a, 42).

| | Sedimentin kokonaismäärä (m³) | Sedimentin kokonaismassa (tn) | Osuus kokonaismassasta (%) |
|---------------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | 2 625 000 | 2 937 060 | 100 |
| Veden osuus | | 2 408 389 | 82,2 |
| Kuiva-aineen osuus | | 522 797 | 17,8 |
| Mineraaliaineksen osuus | | 434 685 | 14,8 |
| Orgaanisen aineksen osuus | | 88 112 | 3 |

Puruveden Savonlahden vesiala on noin 50 ha (Rautio 2017, 12). Siellä vastaavan pohjasedimenttikerroksen paksuus vaihteli välillä 23...500 cm ja sedimenttikerroksen keskimääräinen paksuus oli 2,96 m. Sedimentin kokonaismäärä on karkeasti arvioituna noin 1,5 miljoonaa kuutiometriä ja kokonaismassa noin 1,57 miljoonaa tonnia. Pohjasedimentissä on kokonaisfosforia ja -typpeä saman verran, noin 230 tonnia. (Rautio 2017, 70.)

Taulukko 58. Pohjasedimentin ominaisuuksia laboratoriotutkimusten perusteella Puruveden Savonlahdella (Rautio 2017, 71).

| | Sedimentin kokonaismäärä (m³) | Sedimentin kokonaismassa (tn) | Osuus kokonaismassasta (%) |
|---------------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | 1 480 000 | 1 568 800 | 100 |
| Veden osuus | | 1 377 406 | 87,8 |
| Kuiva-aineen osuus | | 191 394 | 12,2 |
| Mineraaliaineksen osuus | | 144 330 | 9,2 |
| Orgaanisen aineksen osuus | | 47 064 | 3 |

Kuonanjärven pohjasedimentin koostumus on Puruveden Ristilahden ja Savonlahden tavoin pääosin ruskeaa, löyhää ja hienojakoista ainesta. Sedimentin sävy on Kuonanjärvellä ja Savonlahdella pääosin samankaltainen, mutta Ristilahdella sedimentti on tummempaa. Savonlahdella useassa sedimenttinäytteessä havaittiin puun kappaleita. Puuaines on ilmeisimmin peräisin Kuonanjoella aikanaan harjoitetusta puutavaran uitosta ja Savonlahden rannalla aikanaan harjoitetusta puutavaran kuorinnasta. Seassa havaittiin myös hajoamatonta makrofyyttiaainesta. Ristilahden sedimenttinäytteissä hajoamatonta ainesta oli vähemmän, mutta näytteiden seassa oli enemmän hiekkaa.

Löyhän ja vesipitoisen pohjasedimentin määrä on vaihdellut havaintopaikoittain runsaasti Puruveden lahtialueilla ja Kuonanjärvellä. Sedimenttiä on Kuonanjärvellä ja Savonlahdella paikoin jopa 5 metriä, mutta Savonlahden sedimenttikerroksen keskimääräinen paksuus on Ristilahtea ja Kuonanjärveä huomattavasti korkeampi, lähes kolme metriä. Kuonanjärvessä pohjasedimenttiä on vertailukohteista eniten, johtuen laajimmasta vesialasta.

Pinta-alaan suhteutettuna Savonlahdessa sedimenttiä on eniten ja Ristilahdella vähiten. Sedimentin kokonaismäärien erot selittyvät Ristilahden ja Kuonanjoen valuma-alueiden välisillä eroilla ja Savonlahden lyhyellä viipymällä. Kuonanjoen valuma-alue on yli 60 % Ristilahden valuma-aluetta suurempi. Laajalla valuma-alueella on merkittävä vaikutus Savonlahteen, sillä se on kooltaan pieni ja melko suojainen lahtialue. Kuonanjärveen ja Savonlahteen tuleva ulkoinen kuormitus on pääosin pistemäistä kuormitusta, sillä molempiin kohteisiin merkittävimmät ravinne- ja kiintoainekuormat tulevat yhden uoman kautta. Ristilahden valuma-alueen ulkoinen kuormitus on enimmäkseen hajakuormitusta, joka päättyy sinne usean eri uoman kautta. Ristilahden lähivaluma-alueella harjoitetaan myös enemmän maataloutta.

8.2.2 Pohjasedimenttien laboratorionäytteet

Pohjasedimenttinäyte laboratorioanalyysijä varten otettiin Ristilahdella lähes keskeltä lahtialueen selkää. Kokoomanäyte on otettu sedimenttisyvyydestä 0 - 50 cm.

Taulukko 59. Laboratoriossa määritettyjä pohjasedimentin ominaisuuksia Puruveden Ristilahdelta (Tossavainen 2016a, 41).

| Vesipitoisuus (%) | Kuiva-ainepitoisuus (%) | Orgaanisen aineksen pitoisuus (%) | Mineraali-aineksen pitoisuus (%) | Kokonaisfosforin pitoisuus (g/kg kuiva-aine) | Kokonaistypen pitoisuus (g/kg kuiva-aine) |
|--------------------------|--------------------------------|--|---|---|--|
| 82,2 | 17,8 | 3 | 14,8 | 0,52 | 9 |

Savonlahden pohjasedimenttinäyte on otettu keskeltä lahtialueen selkää. Kokoomanäyte on otettu näytesyvyyydestä 0 - 50 cm.

Taulukko 60. Laboratoriossa määritettyjä pohjasedimentin ominaisuuksia Puruveden Savonlahdelta (Rautio 2017, 71).

| Vesipitoisuus (%) | Kuiva-ainepitoisuus (%) | Orgaanisen aineksen pitoisuus (%) | Mineraali-aineksen pitoisuus (%) | Kokonaisfosforin pitoisuus (g/kg kuiva-aine) | Kokonaistypen pitoisuus (g/kg kuiva-aine) |
|--------------------------|--------------------------------|--|---|---|--|
| 87,8 | 12,2 | 3 | 9,2 | 1,2 | 1,2 |

Savonlahden pohjasedimenttinäyte on otettu keskeltä lahtialueen selkää. Kokoomanäyte on otettu näytesyvyyydestä 0 - 50 cm. (Rautio 2017, 71).

Tuloksia vertaillen käy ilmi, että Kuonanjärven pohjasedimentissä on eniten kokonaistyppeä (10,15 g/kg kuiva-ainetta), joten sedimentin sisältämä typpivarasto on merkittävä. Savonlahdella kokonaistypen määrä on huomattavasti Kuonanjärveä pienempi, 1,2 g/kg kuiva-ainetta. Kokonaisfosforia on vähiten Ristilahden sedimentissä, 0,52 g/kg kuiva-ainetta. Kokonaistyppeä on alueen pinta-alaan suhteutettuna ylivoimaisesti vähiten Savonlahdessa, koska sen viipymä on Kuonanjärveen ja Ristilahteen verrattuna erittäin lyhyt. Alueen kokoon suhteutettuna kokonaistyppeä on Kuonanjärven pohjasedimentissä eniten. Kokonaisfosforia on eniten Savonlahdessa suhteessa alueen pinta-alaan ja vähiten sitä on Ristilahdessa.

8.2.3 Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet

Ristilahden pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet vaihtelivat voimakkaasti välillä -142...+485 mV (taulukko 61). Hapetus-pelkistysaste oli hyvä ainoastaan kahdella mittauskerralla (+399 mV ja +485 mV) havaintopaikoilla 1 ja 9. Tulosten perusteella pintasedimentin happitilanne on Ristilahdella melko heikko.

Taulukko 61. Puruveden Ristilahden pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet havaintopaikoittain kevättalvella 2015 (Tossavainen 2016a, 32).

| Havaintopaikka | Vesisyvyys (m) | E _h (mV) 24.2.2015 | E _h (mV) 17.3.2015 | E _h (mV) 24.-25.3.2015 |
|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 1,77 | .. | +485 | +197 |
| 2 | 2,5 | .. | -2 | +6 |
| 3 | 2,41 | -77 | -28 | +133 |
| 4 | 2,19 | -34 | -142 | +91 |
| 5 | 1,35 | +115 | +105 | +35 |
| 6 | 1,7 | +194 | -131 | .. |
| 7 | 1,23 | +215 | .. | +175 |
| 8 | 1,42 | .. | -8 | +175 |
| 9 | 1,69 | +399 | .. | +159 |
| 10 | 0,75 | +48 | .. | .. |
| 11 | 2,54 | .. | .. | +128 |
| 12 | 2,3 | .. | .. | +114 |
| 13 | 2,3 | .. | .. | +69 |

Savonlahdella pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet vaihtelivat havaintoajankohtina välillä -214...+299 mV. Savonlahden pintasedimentin happitilanne on Ristilahtea parempi, sillä ainoastaan yksi mittaus on saanut negatiivisen arvon. Vaikka Savonlahdella yksikään mittaustulos ei ylitä fosforin pohjassa pidättymisen kannalta oleellista +300 mV:n arvoa, on Savonlahden pintasedimentin happitilanne Ristilahtea ja etenkin Kuonanjärveä parempi. Savonlahdella sisäisen kuormituksen riski on Ristilahtea ja Kuonanjärveä pienempi, mutta täysin mahdollinen etenkin talvikerrostuneisuusjakson lopulla.

Taulukko 62. Puruveden Savonlahden pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet havaintopaikoittain kevättalvella 2017 (Rautio 2017, 63).

| Havainto- paikka | Vesisyv. (m) | E _h (mV) 15.3.2017 | E _h (mV) 27.3.2017 | E _h (mV) 29.3.2017 | E _h (mV) 5.4.2017 |
|---------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1,08 | .. | .. | .. | +91 |
| 2 | 1,24 | .. | +257 | .. | .. |
| 5 | 2,28 | .. | .. | +131 | .. |
| 8 | 2,5 | .. | +262 | .. | .. |
| 9 | 2,07 | .. | .. | .. | +166 |
| 11 | 2,26 | .. | .. | +271 | .. |
| 15 (ulappa) | 3,6 | +111 | .. | +297 | .. |
| 16 (ulappa) | 6,52 | +260 | .. | .. | .. |
| 17 (ulappa) | 8,09 | +211 | .. | .. | .. |
| 18 (ulappa) | 8,41 | -214 | .. | .. | +299 |

Kuonanjärven tuloksiin verrattuna Ristilahdella ja Savonlahdella happitilanne on huomattavasti parempi. Kuonanjärvellä hapetus-pelkistysaste saa positiivisen arvon ainoastaan havaintopaikalla 10. Kuonanjärven pintasedimentin heikko happitilanne luo heikot elinolot pohjaeliöille ja kiihdyttää järvellä ajoittain tapahtuvaa sisäistä kuormitusta entisestään. Savonlahden kohtalainen happitilanne selittyy osin lahdessa tapahtuvilla virtauksilla, jotka johtuvat Savonlahden pienestä tilavuudesta ja sinne tulevasta suuresta virtaamasta. Virtaukset saavat pintasedimentin hapettumaan paremmin.

8.3 Opinnäytetyöprosessin tarkastelu

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli selvittää Kuonanjärveen tuleva ulkoinen kuormitus. Tavoitteena oli myöskin järven sisäisen kuormitusasteen, ravinnekuorman sietokyvyn ja nettosedimentaatioasteen selvittäminen. Alustavat kunnostusmenetelmien suositukset ja niiden kannattavuusvertailu kuuluivat myös työnkuvaan.

Opinnäytetyön tavoitteet muuttuivat sen laatimisen aikana, mutta muuttuneet tavoitteet saavutettiin. Toteutumatta jääneitä tavoitteita olivat Kuonanjärven valuma-alueella tapahtuvien kunnostustoimien ja hoitokalastuksen dokumentointi. Valuma-alueella ei tehty dokumentoitavia kunnostustoimia vielä vuoden 2018 aikana. Hoitokalastuksen oli määrä toteutua Kuonanjärvellä vuonna 2018.

Kävimme kenttätutkimusten yhteydessä katsomassa Riitasensuon kosteikkoa. Kosteikon valuma-alue tietojen perusteella arvioitiin laskennallisesti siihen kohdistuva kuormitus sekä kosteikon ravinteiden pidätyskyky. Kustannusvertailussa käytettiin mahdollisimman ajankohtaisia hintatietoja arvonlisävero huomioiden. Kunnostusmenetelmien kustannustehokkuuden arvioinnissa huomioitiin myös mahdollisten tukien vaikutusta hintaan. Kustannustehokkuutta vertailtiin tavanomaisesta poiketen määrittämällä kilohinta eliminoidulle ravinteelle, jolloin eri menetelmät ovat keskenään vertailukelpoisempia.

Metsäkeskuksen vuonna 2013 laatimassa Puruveden vesiensuojelun yleissuunnitelmassa on kartoitettu varsin hyvin Kuonanjärven valuma-alueella sijaitsevat eroosioriskikohteet ja sinne suunnitellut vesiensuojelutekniset rakenteet. Yleissuunnitelma on ollut hyvä lähtökohta Puruveden osavaluma-alueilla tehtäville tutkimuksille ja toimenpiteille. Yleissuunnitelma toimii myös pohjana FRESHABIT LIFE IP -hankkeen mukaisten tavoitteiden toteuttamiselle, sillä se keskittyy Puruveden rehevöityneiden lahtialueiden ja niiden osavaluma-alueiden kunnostamiseen. Rehevöityneiden lahtialueiden ja niiden valuma-alueiden kunnostaminen on erityisen tärkeää Puruveden puhtaamman tulevaisuuden kannalta.

8.4 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus

Haastavin osa opinnäytetyössä oli ulkoisen kuormituksen määrittämiseen liittyvä valuma-alueiden rajaaminen. Lähivaluma-alue rajausta tehtiin käsin, mutta muut tutkimuksessa käytetyt valuma-alueet on määritetty Suomen Ympäristökeskuksen VALUE -valuma-alueen rajaustryökalua apuna käyttäen. Kuormitustuloksissa saattaa esiintyä pieniä eroja, jotka selittyvät eriävillä valuma-alueen rajausmenetelmillä ja vesinäytetietojen otannalla eri aikaväliltä. Pieniä eroja tuloksissa voi havaita myös käyttämällä eri lähdemateriaalia ja laskutapoja. Tulosten erot ovat kuitenkin niin pieniä, etteivät ne muuta Kuonanjärveen kohdistuvan kuormituksen kokonaiskuvaa.

Opinnäytetyö on tehty hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Tutkimuksessa on pyritty käyttämään alkuperäisiä lähdetietoja ja tekemään asianmukaiset lähdeviitaukset tekniikan opintojen opinnäytetyön ohjeistuksen mukaisesti. Työn tekijät ovat noudattaneet huolellisuutta ja tarkkuutta tutkimuksen tekemisessä ja tulosten tulkinnessa. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6.)

Opiskelijatyönä tutkimusta varten tehty näytteenotto on tehty standardinmukaisesti sekä riittävän ammatillisen pätevyyden omaavan henkilön ohjaamana ja valvomana. Sedimentti- ja vesinäytteiden analyysitulokset on tutkittu sertifioidussa ja akkreditoidussa laboratoriossa. Pohjaeläintutkimuksen laboratoriotyö on tehty Karelia-AMK:n Sirkkalan laboratoriossa opiskelijatyönä limnologi Tarmo Tossavaisen ohjauksessa. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6.)

Tulokset ja tutkimusaineisto on kirjattu ja raportoitu huolellisesti. Näytteet on myös säilytetty asianmukaisesti. Kunnostusmenetelmien kustannusvertailuun on pyritty hankkimaan ajankohtaisia hintatietoja alan ammattilaisilta, joille on tietojen kysymisen yhteydessä mainittu tietojen käytöstä opinnäytetyön lähdeaineistona. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6–7.)

8.5 Oppimisprosessi ja ammatillisen kasvun kehitys

Opinnäytetyössä opettavaisinta on ollut saatavissa olevan tiedon ja lähdeaineiston hyödyntäminen, jonka perusteella on luotu täysin uutta tietoa. Opinnäytetyön tekeminen on opettanut myös lähdekriittisyyttä ja hyvää tieteellistä käytäntöä. Sen tekeminen parityönä on opettanut vastuun jakamista ja ryhmätyötaitoja. Muutamaan otteeseen muuttuneet tutkimustehtävät opinnäytetyössä opettivat kärsivällisyyttä. Palkitsevaa ja mielenkiintoista on ollut huomata opinnäytetyön eteneminen ja kasautuminen pienistä osista valmiiksi opinnäytetyöksi. Vaikka opinnäytetyö on tehty parityönä, on työmäärä ollut ajoittain suuri. Tutkimustyö ei sujunut aivan ongelmitta, vaan laskuja täytyi käydä useita kertoja läpi pientenkin laskuvirheiden poissulkemiseksi. Ongelmien selvittäminen lisäsi ammatillista itsevarmuutta ja loi uskoa omiin kykyihin ratkaista ongelmia myös työelämässä.

Opinnäytetyö lisäsi merkittävästi ammatillista osaamista näyttöön, mittaus-tekniikkaan ja raportointiin. Työn aikana heräsi myös mielenkiinto energiaopintojen puolella opittujen tekniikoiden mahdollisesta soveltamisesta vesistöjenkunnostusmenetelmissä. Ala on laaja ja sen eri osa-alueilla on vielä paljon opittavaa.

8.6 Työnjako

Opinnäytetyö tehtiin parityönä. Arvioinnin helpottamiseksi teimme työnjaosta yhteenvedon, jossa työn jakautuminen on esitetty kappaleittain.

| | | |
|-------|--|--------------|
| 1 | Johdanto | |
| 1.1 | Tutkimuksen taustaa | Rico-Petteri |
| 1.2 | Toimeksiantaja | Rico-Petteri |
| 2 | Opinnäytetyön tietoperusta | |
| 2.1 | Keskeiset käsitteet | Minna |
| 2.2 | Tutkimusalueen kuvaus | Molemmat |
| 2.2.1 | Kuonanjärven ja lähivaluma-alueen kuvaus | Molemmat |
| 2.2.2 | Kuonanjärven kaukovaluma-alueen kuvaus | Molemmat |
| 2.2.3 | Uhanalaiset lajit | Minna |
| 2.3 | Vedenlaatu | Minna |
| 2.3.1 | Fosfori | Rico-Petteri |
| 2.3.2 | Typpi | Rico-Petteri |
| 2.3.3 | Fosfaattifosfori | Minna |
| 2.3.4 | Ammoniumtyppi | Minna |
| 2.3.5 | Nitraattityppi | Minna |
| 2.3.6 | Näkösyvyys | Minna |
| 2.3.7 | a-Klorofylli | Minna |
| 2.3.8 | Mangaani | Minna |
| 2.4 | Ulkoinen kuormitus | Minna |
| 2.5 | Fosforimallitarkastelu | Minna |
| 2.6 | Vesistöjen kunnostusmenetelmät | Minna |
| 2.6.1 | Alusveden poisto | Minna |
| 2.6.2 | Bio-manipulaatio | Minna |

| | | |
|--------|--|--------------|
| 2.6.3 | Kosteikko | Minna |
| 2.6.4 | Hapettaminen | Minna |
| 2.6.5 | Pintahapetin | Minna |
| 2.6.6 | Alusvettä päällysveteen siirtävä hapetin | Minna |
| 2.6.7 | Päällysvettä alusveteen siirtävä hapetin | Minna |
| 2.6.8 | Pohjan pöyhintä | Minna |
| 2.6.9 | Raivausnuotta | Minna |
| 2.6.10 | Ruoppaus | Minna |
| 2.6.11 | Imuruoppaus | Minna |
| 2.6.12 | Ruovikon niitto | Minna |
| 2.6.13 | Metsien ojitus | Minna |
| 2.7 | Pohjaeläintutkimus | Minna |
| 2.8 | Pohjasedimentti ja pohjasedimentin hapetus-pelkistysaste | Rico-Petteri |
| 2.9 | Kalastorakennetutkimus | Rico-Petteri |
| 2.9.1 | Hoitokalastuksessa poistettavan kalan määrä | Minna |
| 3 | Työn tarkoitus ja tavoitteet, aiheen rajaus ja tutkimustehtävät | |
| 3.1 | Tarkoitus ja tavoitteet | Rico-Petteri |
| 3.2 | Aiheen rajaus | Rico-Petteri |
| 4 | Aineisto ja menetelmät | Rico-Petteri |
| 4.1 | Havaintopaikat | Rico-Petteri |
| 4.2 | Vedenlaatututkimus | Rico-Petteri |
| 4.3 | Karttojen laatiminen ja valuma-alueiden määrittäminen | Rico-Petteri |
| 4.4 | Kosteikon pidättämä vuosikuorma | Minna |
| 4.5 | Pohjan tilan tutkimus | Rico-Petteri |
| 5 | Tulokset | |
| 5.1 | Virtaaman mittaus | Rico-Petteri |
| 5.2 | Kuonanjärven vedenlaatu vuonna 1966 | Rico-Petteri |
| 5.3 | Kuonanjärven vedenlaatu havaintopaikalla 003 | Rico-Petteri |
| 5.3.1 | Kuonanjärven vedenlaatu havaintopaikalla 090 | Rico-Petteri |
| 5.3.2 | Kuonanjärvestä lähtevän veden laatu havaintopaikoilla Kuona 030 ja Kuonanjoki 185 | Rico-Petteri |

| | | |
|-------|--|--------------|
| 5.3.3 | Suuri Vehkajärvi 002 ja sen lasku-uoma Vehkaoja 018 Kuonanjärveen | Rico-Petteri |
| 5.3.4 | Kuonanjärveen laskevan Tenhunjoen vedenlaadun havainnot | Rico-Petteri |
| 5.3.5 | Suureen Vehkajärveen laskevan ojan (152) ja Pienen Vehkajärven laskuojan (037) kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet | Rico-Petteri |
| 5.3.6 | Pienen Vehkajärven (027) kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuudet | Rico-Petteri |
| 5.4 | Kalastorakenne | Minna |
| 5.5 | Kuonanjärven minimiravinnetarkastelu | Rico-Petteri |
| 5.6 | Kuonanjärven kuormitus- ja fosforimallitarkastelu | Rico-Petteri |
| 5.7 | Kuonanjärven typpitase | Rico-Petteri |
| 5.8 | Karelia-AMK:n vedenlaadun tutkimustulokset kevättalvella 2018 | Rico-Petteri |
| 5.8.1 | Vedenlaatu | Rico-Petteri |
| 5.8.2 | Pohjan tila | Rico-Petteri |
| 5.8.3 | Pohjasedimentin laboratorioanalyysit | Rico-Petteri |
| 5.8.4 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysaste | Rico-Petteri |
| 5.8.5 | Pohjaeläimistö | Rico-Petteri |
| 6 | Tulosten tarkastelu | |
| 6.1 | Virtaamatilanne | Rico-Petteri |
| 6.2 | Vedenlaatu | Rico-Petteri |
| 6.2.1 | Kevättalven 2018 vedenlaadun tutkimustulosten tulkinta | Rico-Petteri |
| 6.2.2 | Vedenlaadun seurantatulokset Kuonanjärvellä | Rico-Petteri |
| 6.2.3 | Vedenlaadun seurantatulokset Kuonanjärven valuma-alueella | Rico-Petteri |
| 6.3 | Kuonanjärven fosforitase | Rico-Petteri |
| 6.4 | Fosforimallitarkastelu | Rico-Petteri |
| 6.5 | Kokonaistypen kuormitus ja kokonaistyppitase | Rico-Petteri |
| 6.6 | Kalastorakenne | Minna |
| 6.7 | Pohjan tila | Rico-Petteri |
| 6.7.1 | Pohjasedimentti- ja laboratorioanalyysit | Rico-Petteri |

| | | |
|-------|--|--------------|
| 6.7.2 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysaste | Rico-Petteri |
| 6.7.3 | Pohjaeläimistö | Minna |
| 7 | Kunnostustoimenpiteiden kannattavuusvertailu ja ehdotukset kunnostustoimenpiteiksi | |
| 7.1 | Kustannustehokkuuden hintatiedot | Minna |
| 7.2 | Kustannustehokkuuden vertailu | Minna |
| 7.2.1 | Biomanipulaatio | Minna |
| 7.2.2 | Hapettaminen | Minna |
| 7.2.3 | Imuruoppaus | Minna |
| 7.2.4 | Kosteikko | Minna |
| 7.2.5 | Ruovikon niitto | Minna |
| 7.2.6 | Pohjan pöyhintä | Minna |
| 7.2.7 | Fosforin saostus | Minna |
| 7.3 | Kunnostusmenetelmien valintaan vaikuttavat tekijät | Minna |
| 7.4 | Kunnostusmenetelmiin liittyvät riskit | Minna |
| 7.5 | Kunnostusmenetelmien kustannustehokkuuden vertailu | Minna |
| 8 | Pohdinta | |
| 8.1 | Kustannusvertailun pohdinta | Minna |
| 8.2 | Tulosten vertailu Puruveden Savonlahden ja Ristilahden tuloksiin | Rico-Petteri |
| 8.2.1 | Pohjasedimentin määrän ja ulkonäön vertailu | Rico-Petteri |
| 8.2.2 | Pohjasedimenttien laboratorionäytteet | Rico-Petteri |
| 8.2.3 | Pintasedimentin hapetus-pelkistysasteet | Rico-Petteri |
| 8.3 | Opinnäytetyöprosessin tarkastelu | Molemmat |
| 8.4 | Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus | Minna |
| 8.5 | Oppimisprosessi ja ammatillisen kasvun kehitys | Rico-Petteri |
| 8.6 | Työnjako | Molemmat |
| 8.7 | Jatkotutkimusaiheet | Molemmat |
| 8.8 | Kiitokset | Molemmat |

8.7 Jatkotutkimusaiheet

Vedenlaadun tutkimuksessa käytetty valmisaineisto oli varsin niukka erityisesti Tenhunjoen osalta, josta oli aiemmin otettu vain yksi näyte vuonna 2013. Kuonanjärveen pienemmistä uomista tuleva hajakuormitus ei ole tiedossa, sillä Kuonanjärveen laskevista uomista vesinäytteitä on otettu ainoastaan Tenhunjoesta ja Vehkaojasta. Maastokäynnillä lokakuussa 2018 tehtyjen havaintojen perusteella Kuonanjärveen laskee lähivaluma-alueelta useita, noin 0,5 - 1m leveitä uomia erityisesti järven eteläpäässä Kyllönahonniityn läheisyydessä. Lokakuussa tehtyjen havaintojen perusteella uomat virtasivat ainakin syysylivirtaamajakson aikaan melko runsaasti. Samalle alueelle oli kaivettu kaksi laskeutusallasta kunnostusojitusten yhteydessä. Pienemmistä Kuonanjärveen laskevista uomista tulisi mitata virtaama ja ottaa vesinäytteitä erityisesti kevät- ja syysylivirtaamajakson aikaan todellisen ulkoisen kuormituksen selvittämiseksi. Kuonanjärvellä kenttätutkimusten aikana näytteet on otettu ainoastaan talvikerrostuneisuusjakson loppupuolella. Tenhunjoesta, Vehkaojasta ja Kuonanjoesta näytteet otettiin syysylivirtaamajakson loppupuolella.

Kuonanjärvestä näytteitä tulisi ottaa etenkin liukoisten ravinteiden pitoisuuksien selvittämiseksi myös kesäkerrostuneisuusjakson aikaan. Täten makrofyyttien kulltamasta ravinneosuudesta saisi selkeämmän näkemyksen. Tenhunjoesta näytteitä tulisi ottaa tiiviimmin erityisesti kevät- ja syysylivirtaamien aikaan. Kuonanjärveen vuosittain tulevan todellisen kiintoainemäärän laskeminen ei onnistu, sillä Tenhunjoen vesinäytteistä ei ole määritetty kiintoainepitoisuutta. Vehkaojasta ja Kuonanjoesta vesinäytteitä on otettu kohtalaisen hyvin, mutta niidenkin säännöllisempi seuraaminen erityisesti yli- ja alivirtaamajaksojen aikaan helpottaisi vedenlaadun muutosten tarkkailua.

Tarkemmalla hajakuormituksen selvittämisellä Kuonanjärveen kohdistuvasta ulkoisesta kuormituksesta saataisiin parempi kokonaiskuva. Kuonanjärven valuma-alueelle toteutettujen vesiensuojeluteknisten rakenteiden ravinteiden pidätyskyvyn seuraaminen helpottuisi, jos rakenteelle tulevasta uomasta ja rakenteelta lähtevästä uomasta otettaisiin vesinäytteitä säännöllisesti.

Kuonanjärven valuma-alueella tutkimusta tulisi keskittää erityisesti Pienen ja Suuren Vehkajärven nykytilan selvittämiseen. Erityisesti ulkoisen ja sisäisen kuormituksen selvittäminen olisi erityisen tärkeää. Kuormituksen lähteet tulisi selvittää huolella, jotta valuma-alueelle tehtävät mahdolliset kunnostustoimet ohjautuisivat mahdollisimman tehokkaasti paikoille, joilla niiden tarve on kriittisin.

Kunnostustoimenpiteiden jatkotutkimusten osalta tulisi selvittää, voisiko biokaasulaitoksen rejektiveden käsittelytekniikkaa hyödyntää imuruoppauksen massojen käsittelyssä (Kailio 2018). Tällöin läjitysalue voisi olla huomattavasti pienempi, sillä läjitysalueiden tekeminen lisää imuruoppauksen kustannuksia. Lisäksi tulisi selvittää, onko imuruoppausmassaa mahdollista tuotteistaa vähittäismyyntiin soveltuvaksi puutarhatuotteeksi. Hoitokalastuksen osalta tulisi selvittää, onko lähialueen kalanjalostukseen keskittyneillä yrityksillä mahdollisuutta tuotteistaa hoitokalastuksen yhteydessä saatua kalaa, jolloin logistiikasta koituvat kustannukset pienentyisivät.

8.8 Kiitokset

Tekijät kiittävät tutkimuksen eri vaiheissa mukana olleita opiskelijoita ja paikallisia ihmisiä. Kenttätutkimusten raskaat olot ovat kevättalven 2018 aikana vaatineet ahkeruutta ja jaksamista kaikilta mukana olleilta. Paikallinen moottorikelkkailija kävi ajamassa urat havaintopaikkojen välille liikkumisen helpottamiseksi, mistä olemme kiitollisia. On ollut mukava havaita, että paikallisilla on halua auttaa tutkimuksen toteuttamisessa. Tahdomme kiittää Pro Puruvesi ry:n Reijo Jantusta opinnäytetyön toimeksiannosta ja sujuvasta yhteistyöstä. Suuret kiitokset kuuluvat lisäksi myös kenttätutkimuksissa mukana olleille energia- ja ympäristötekniikan BIYNS17 -ryhmän opiskelijoille, Jere Tiitalle ja Ranskassa Lillen yliopistossa opiskelevalle Joanna Latoszekille. Kiitämme Etelä-Savon ELY-keskusta valmisaineistosta vesinäytteiden osalta ja kustannusvertailuosioon hintatietoja antaneita yrityksiä. Suurin kiitos kuuluu lehtori Tarmo Tossavaiselle ansiokkaasta opinnäytetyön ohjauksesta ja ammattitaitoisesta opastuksesta.

Lähteet

- Ajosenpää, T. 2014. Suunnittelulla ja ruo'on hyötykäytöllä tehokkuutta rantojen hoitoon tuloksia ja kokemuksia Velho-hankkeessa. Varsinais-Suomen ELY-keskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-057-8>. 19.2.2019.
- Alhainen, M., Niemelä, T., Siekkinen, J., Svensberg, M., Kuittinen, J., Nurmi, J., Väyrynen, H., Rautiainen, M., Väänänen, V.-M., Nummi, P., Berndtson, S. & Korhonen, P. 2015. Kosteikko-opas. Raisio: Suomen riisikeskus.
- Busch, W.-D. N. & Sly, P.G. 1992. The Development of an Aquatic Habitat Classification System for Lakes. Florida: CRC Press. <https://books.google.fi/books?id=RL1HDwAAQBAJ&pg=PT62&lpg=PT62&dq#v=onepage&q&f=false>. 30.1.2019.
- Eloranta, P. 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 13–29.
- ELY-keskus. 2019. Harkinnanvaraiset valtionavustukset vesistö-, vesitalous- ja kalataloushankkeisiin. ELY-keskus. <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/avustukset-vesisto-ja-kalataloushankkeisiin>. 5.2.2019.
- Environment Canada. 2004. Canadian Guidance Framework for the Management of Phosphorus in Freshwater Systems. Environment Canada. <http://lakes.chebucto.org/DATA/PARAMETERS/TP/ccme.pdf>. 23.1.2019.
- Frisk, T. 1978. Järvien fosforimallit. Vesihallitus. <http://hdl.handle.net/10138/152821>. 17.12.2018.
- Frisk, T. 1989. Development of mass balance models for lakes. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/25702>. 17.12.2018.
- Granberg, K. 2000. Hankasalmen Iso-Hertun, Asemaselän ja Kauhankavesi 44: n kasvi – ja eläinplanktonitutkimus ravintoketjukunnostusta varten. Jyväskylä: Keski-Suomen Ympäristökeskus.
- Hagelberg, E., Vuoristo, M. & Raimoranta, E. 2008. Järviruo'on käyttö rehuna. Länsi-Suomen ELY-keskus. <https://docplayer.fi/25720450-Jarviruo-on-kaytto-rehuna-eija-hagelberg-mimmi-vuoristo-emil-raimoranta.html>. 27.1.2019.
- Haarberg, G. 2019. KIFEE – Kyoto International Forum for Environment and Energy. Trondheim: NTNU. <https://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?cid=1253964489475&pagename=Vedlegg-Pointer>. 27.1.2019.
- Härkönen, S. 2018. Kerimäen Kirkkoranta on ruopattu – Paikkoja pääsee sipistelemään vasta jäiden lähdettyä. Itä-Savo. <https://ita-savo.fi/uutiset/lahella/b0d52e61-96a8-41cb-8784-ecc8776a390f>. 27.1.2019.
- Insinööritoimisto Lassinaro Oy. 2018. Vesirakennuskalusto ja tekniset tiedot. Insinööritoimisto Lassinaro Oy. <https://www.lassinaro.fi/kalusto>. 27.12.2018.
- Itkonen, A. 2015. Sedimentin märkätiheyden laskentakaava. FCG Oy. Julkaimaton aineisto.
- Javanainen, K., Kemppainen, R., Orjala, M., Perkonoja, M. & Saarni, K. 2013. Rytinää ruovikoihin – välkettä vesiin: Ohjeita ranta-alueiden hoitoon. Varsinais-Suomen ELY-keskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-773-3>. 14.1.2019.

- Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. 2013. Vesiensuojeluopas. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Kailio, A. 2018. Valio haluaa Suomeen lantaekosysteemin – lietelantaa voi hyödyntää esimerkiksi biokaasun valmistuksessa. https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/luonnovarat/valio-haluaa-suomeen-lanta-ekosysteemin-lietelantaa-voi-hyodyntaa-esimerkiksi-biokaasun-valmistuksessa-6732637. 21.2.2019.
- Koistinen, A. 2018. Patsolan-Uudenkylän osakaskunnan puheenjohtaja. Patsolan-Uudenkylän osakaskunta. Puhelinkeskustelu. 23.11.2018.
- Komulainen, H. 2014. Juomaveden mangaaniin liittyy terveysriski. Terveystieteiden tutkimuskeskus ja hyvinvoinnin laitos. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014040923366> 8.1.2019.
- Kortelainen, P., Finér, L., Mattsson, T., Ahtiainen, M., Sallantausta, T., Kubin, E. & Saukkonen, S. 2003. Luonnonhuuhtouma metsäisiltä valuma-alueilta. Teoksessa Finér, L., Laurén, A. & Karvinen, L. (toim.). Ajankohdasta metsätalouden ympäristökuormituksesta. Tutkimustietoa ja työkaluja -seminaari, Kolin luontokeskus Ukko 23.9.2002. Joensuu: Metsäntutkimuslaitos, 17–25.
- Kotilainen, R. 2018. Riistasuunnittelija. Riistakeskus. Henkilökohtainen tiedonanto. 12.12.2018.
- Kotiseutukosteikko Life+. 2019. Ei-tuotannollisten investointien korvaus. <https://kosteikko.fi/kosteikon-perustaminen/luvat-ja-rahoitus/ei-tuotannollisten-investointien-korvaus/>. 27.1.2019.
- Kulo, K. 2018. Kuonanjärven koekalastus vuonna 2017. Luonnonvarakeskus. Tutkimusraportti.
- KVVY Tutkimus Oy. 2019. Klorofylli. <https://vesienhoito.kvvy.fi/kunnostajan-abc/vesistotulokset/klorofylli/>. 30.1.2019.
- Kääriäinen, S. & Rajala, L. 2005. Vesikasvillisuuden poistaminen. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 249–271.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002. Tuhat Kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaaliskemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD511CB71-0A6E-4559-A174-96E26E96AA71%7D/57054>. 6.1.2019.
- Lappalainen, K. M., Niemi, J. & Kinnunen, K. 1979. A phosphorus retention model and its application to Lake Päijänne. Vesientutkimuslaitos. <http://hdl.handle.net/10138/30301>. 18.2.2019.
- Lappalainen, M. & Lakso, E. 2005. Järvien hapetus. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 151–169.
- Lassinaro, K. 2018. Suullinen tiedonanto. 20.12.2018.
- Lehto, J. 2019. Yrittäjä. Jale Line Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 10.1.2019.
- Linjama, T. 2013. Suomen sadanta- ja valuntatietoja 2000–2011. Joensuu: Pohjois-Karjalan ELY-keskus. Julkaisematon aineisto.
- Maanmittauslaitos. 2018. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>. 12.4.2018.
- Maanmittauslaitos. 2019. Paikkatietikkuna. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>. 30.1.2019.

- Mattila, H. 2005. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 137–151.
- Metsähallitus. 2018. FRESHABIT LIFE IP -hanke – Yhteistyötä vesiperintömme säilyttämiseksi. <http://www.metsa.fi/freshabit>. 29.6.2019.
- Metsäkeskus. 2018. FRESHABIT LIFE IP -HANKE. <https://www.metsakeskus.fi/freshabit-life-ip-hanke>. 29.6.2018.
- Metsäkeskus. 2019. Tuki metsäluonnon hoitohankkeisiin. <https://www.metsakeskus.fi/tuki-metsaluonnon-hoitohankkeisiin>. 5.2.2019.
- Minilex. 2019. Kirjanpitolaki ja suunnitelman mukaiset poistot. <https://www.minilex.fi/a/kirjanpitolaki-ja-suunnitelman-mukaiset-poistot>. 21.2.2019.
- Mitikka, S. 2013. Järvien vedenlaadun vertailu. Suomen Ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B642BB7A7-42F9-4A67-85BA-D0FF1CC7DBCA%7D/57406>. 27.1.2019.
- Muinaismuistolaki. 295/1963.
- Niinimäki, J. & Penttinen, K. 2014. Vesienhoidon Ekologiaa. Ravintoverkkokunnostus. Helsinki: Books on Demand.
- Nousiainen, M. 2018. Vesiensuojelurakenteet. Minna.O.Kutvonen@edu.karelia.fi. 4.12.2018.
- Olin, M., Lappalainen, A., Sutela, T., Vehanen, T., Ruuhijärvi, J., Saura, A. & Sairanen, S. 2014. Ohjeet standardinmukaisiin koekalastuksiin. RKTL:n työraportteja 21/2014. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. <http://hdl.handle.net/10138/153535>. 27.9.2018.
- Ollikainen, S. 2013. Puruveden valuma-alueen yleissuunnitelma. Suomen Metsäkeskus. <https://docplayer.fi/3911196-Puruveden-vesiensuojelun-yleissuunnitelma.html>. 4.1.2019.
- Ollikainen, S. 2018. Vesiensuojelurakenteet. Minna.o.Kutvonen@edu.karelia.fi. 2.11.2018.
- Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>. 8.1.2019.
- Pehkonen, L. & Paloniitty, P. 2017. Kontiolahden Linnunsuon kosteikon nykytila ja vesiensuojeluteknisten rakenteiden suunnitelma kosteikolta Jukajokeen laskevaan uomaan. Karelia-ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäyteyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705117632>. 4.1.2019.
- Penttinen, K. & Niinimäki, J. 2010. Vesiensuojelun perusteet ja vesistöjen kunnostus. Helsinki: Opetushallitus.
- Pro Onkamojärvet ry. 2018. Onkamojärvien kunnostukset vuonna 2016. Pro Onkamojärvet ry. <https://www.onkamojarvet.fi/onkamojarvien-kunnostukset>. 27.1.2019.
- Pro Puruvesi ry. 2018a. Toiminta ja tavoitteet. <http://www.propuruvesi.fi/toiminta-ja-tavoitteet.php>. 4.7.2018.
- Pro Puruvesi ry. 2018b. FRESHABIT LIFE IP Puruvesi. <http://www.propuruvesi.fi/FRESHABIT/>. 5.7.2018.
- Pro Puruvesi ry. 2018c. Puruveden vesienhoidon tilanneseurantakartta. <http://propuruvesi.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=5bfdbea7e20d4b3ca862083304cb44b1>. 17.12.2018.
- Pro Puruvesi ry. 2019. Liittyminen jäseneksi. Jäsenmäärä vuoden 2018 lopussa. http://propuruvesi.fi/liittyminen_jaseneksi.php. 26.1.2019.

- Pusa, T. 2009. Vesikasvien niittojen vaikuttavuus selvitys. Etelä-Savon Ympäristökeskus. ESARA 1/2009. <http://hdl.handle.net/10138/42959>. 27.1.2019.
- Puustinen, M., Koskiahho, J., Jormola, J., Järvenpää, L., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svensberg, M. & Wiberg, P. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. Suomen Ympäristökeskus. Vammala. <http://hdl.handle.net/10138/38401>. 4.1.2019.
- Rautio, S. 2017. Puruveden Savonlahden nykytila sekä alustavat suositukset kunnostustoimenpiteiksi. Karelia ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologian koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017110616622>. 18.1.2019.
- Riipi, T. 1997. Ruoppaus- ja läjitystekniikoiden valinta maalajien ominaisuuksien ja ympäristövaikutuksien perusteella. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 1853. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1997/T1853.pdf>. 12.9.2018.
- Saarijärvi, E. 2005. Pohjasedimentin pöyhintä. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 327–334.
- Saarijärvi, E. & Sammalkorpi, I. 2005. Kunnostustarpeen määrittäminen. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 61–75.
- Saarijärvi, E. 2019. Hapetin. Minna.O.Kutvonen@edu.karelia.fi. 25.1.2019.
- Salminen, M. & Böhling, P. 2002. Kalavedet Kuntoon. Helsinki: Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
- Salonen, S., Frisk, T., Kärmeniemi, T., Niemi, J., Pitkänen, H., Silvo, K. & Vuoristo, H. 1992. Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjänä – vaikutusten arviointi. Julkaisusarja: A 96. <http://hdl.handle.net/10138/190459>. 27.12.2018.
- Sammalkorpi, I. & Horppila, J. 2005. Ravintoketjukunnostus. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 169–191.
- Sarvilinna, A. & Sammalkorpi, I. 2010. Rehevien järvien kunnostus ja hoito. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Sassi, J. & Keto, A. 2005. Järvien kunnostuksen menetelmät – Hapetuslaitteiden laboratorio- ja kenttäkokeet. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2307. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2307.pdf>. 8.1.2019.
- Silvennoinen, J. 2007. Riitasensuon maisema kokee ison muutoksen. Puruvesi 20.8.2007: 5.
- Smolander, R. 2017. Aurinkovoimalla toimivan järven alusveden hapetuspumppauslautan suunnittelu. LUT School of Energy Systems. Sähkötekniikka. Kandidaatintyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201706217410>. 27.1.2019.
- Soljakka, P. & Kotanen, J. 2018. FRESHABIT Life IP Puruvesi. Etelä-Savon ELY-keskus. Luento Puruvesi -seminaarissa Kerimäellä. 4.8.2018.
- Søndergaard, M., Torben, L., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S., & Jeppesen, E. 2017. Repeated Fish Removal to Restore Lakes: Case Study of Lake Væng, Denmark – Two Biomanipulations during 30 Years of Monitoring. Oslo: Norwegian Institute for Water Research. <https://doi.org/10.3390/w9010043>. 9.1.2019.

- Suomen ympäristökeskus. 2018. VALUE – Valuma-alueen rajaustyökalu KM10. <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>. 15.12.2018.
- Suomen ympäristökeskus. 2019. Avoimet ympäristötietojärjestelmät. https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat. 27.1.2019.
- Suonio, M. 2013. Kuonanjärven ja Suuren Vehkajärven luontoselvitys ja niittosuunnitelma. Etelä-Savon ELY-keskus. https://esvesienhoito.fi-les.wordpress.com/2014/10/slns_kuonanjarvi_luontoselvitys_2013.pdf. 8.1.2019.
- Särkkä, J. 1996. Järvet ja ympäristö – limnologian perusteet. Tampere: Gaudemus Kirja.
- Suomalainen, S. 2013. Ruoppaus ei auttanut. Karjalainen 21.9.2013: 5.
- Tammi, Rask, Olin, 2006. Kalayhteisöt järvien ekologisen tilan arvioinnissa ja seurannassa, alustavan luokittelujärjestelmän perusteet. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kala- ja riistaraportteja 383. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-776-531-2>. 14.11.2018.
- Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. 2012. Hyvän metsänhoidon suositukset – Vesiensuojelu. Tapio: Metsätalouden kehittämiskeskus. <https://tapio.fi/metsatietoa/julkaisut-ja-raportit/hyvan-metsanhoidon-suositukset-vesiensuojelu/>. 12.1.2019.
- Tilastokeskus. 2019. Rahanarvonmuunnin. <https://www.stat.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>. 27.1.2019.
- Tossavainen, T. 2014. Pelkkä ruoppaus ei riitä pelastamaan Tohmajärven Vääränlahtea. Karjalainen 9.5.2014: 17.
- Tossavainen, T. 2016a. Puruveden Ristilahden pohjan nykyinen tila – Sedimentin laatu ja määrä sekä pohjaeläimistö. Tutkimusraportti. Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja C, Raportteja: 35. Karelia-ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-275-203-1>. 18.1.2019.
- Tossavainen, T. 2016b. BIY6010. Vesitalous -opintopaketti. Karelia-ammattikorkeakoulu.
- Tossavainen, T. 2016c. BIY6016. Vesiekosysteemit -opintopaketti. Karelia-ammattikorkeakoulu.
- Tossavainen, T. 2017. Puruveden Savonlahden kalastorakenne 2016 ja alustavat kalastonhoidon suositukset. Tutkimusraportti. Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja C, Raportteja: 41. Karelia-ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-275-227-7>. 26.1.2019.
- Tossavainen, T. 2018. Puruveden laskevan Kuonanjärven nykyinen tila sedimentin laatu ja määrä, pohjaeläimistö, vedenlaatu, sekä kuormitus- ja fosforimallitarkastelu kunnostussuunnittelun perustaksi. Raportti. 98 sivua. http://www.propuruvesi.fi/cms-assets/documents/Kuonanj_sedim_raportti.pdf. 5.2.2019.
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkauksen käsitteleminen. https://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf. 30.1.2019.
- Työturvallisuuskeskus. 2019. Puutavaran kuljetus jäällä. https://ttk.fi/tyoturvallisuus_ja_tyosuojelu/toimialakohtaista_tietoa/maatalousalat_ja_metsaala/turvallinen_tyoskentely_metsatoissa/puutavaran_kuljetus_jaalla.6730.news. 24.1.2019.
- Vallas, P. 2018a Kalan hinta. Minna.O.Kutvonen@edu.karelia.fi. 26.11.2018.

- Vallas, P. 2018b. Effectual Ecoprenourship in the Finnish Fish Industry – a Case Study. Aalto Yliopisto. Ympäristöjohtamisen koulutus. Diplomi-työ. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201810055296>. 9.1.2019.
- Vesi-Eko Oy. 2003. Mixox-hapettimen tuotetiedot. Vesi-Eko Oy. <http://vesieko.fi/download.php?id=17>. 30.1.2019.
- Vesi-Eko Oy. 2007. Visiox-ilmastimen tuotetiedot. Vesi-Eko Oy. <http://vesieko.fi/download.php?id=21>. 30.1.2019.
- Vesi-Eko Oy. 2019a. Mixox-hapetus. Vesi-Eko Oy. <http://vesieko.fi/mixox-hapetus>. 30.1.2019.
- Vesi-Eko Oy. 2019b. Visiox-ilmastus. Vesi-Eko Oy. <http://vesieko.fi/visiox-ilmastus>. 30.1.2019.
- Vento, M. 2018. Uusi aurinkoenergialla toimiva pumppaamo parantaa Pien-Saimaan tilaa. Kuntatekniikka -lehti. <https://kuntatekniikka.fi/2018/06/12/uusi-aurinkoenergialla-toimiva-pumppaamo-parantaa-pien-saimaan-tilaa/>. 27.1.2019.
- Vesilaki 587/2011.
- Vesi- ja ympäristöhallitus. 1988. Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokittaminen. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 20. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. <http://hdl.handle.net/10138/144350>. 24.1.2019.
- Viinikkala, J., Mykkänen, E. & Ulvi, T. 2005. Ruoppaus. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Helsinki: Edita & Suomen ympäristökeskus, 211–227.
- Vollenweider, R.A. & Dillon, P.J. 1974. The Application of the Phosphorus Loading Concept to Eutrophication Research. Canada: Centre of Inland Waters.
- Vuorenmaa, J. 2015. Ympäristön yhdennetyn seurannan laskeuma-arvot. Hietajärvi, Patvinsuon kansallispuisto, Lieksa. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus. Julkaisematon aineisto.
- Väänänen, R., Kenttämies, K. & Ilvesniemi, H. 2006. Orgaanisen pintakerroksen fosfaatinpidätyskyky suojavyöhykkeillä ja hakkualoilla. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Wetzel, R. 2001. Limnology – Lake and River Ecosystems. Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- W-Rix Oy. 2019. Airit-ilmastimet. <http://www.waterix.fi/tuotteet/airit-ilmastimet/>. 24.1.2019.
- Yli-Teevahainen, V. 2018. Ojajärven alustava kunnostussuunnitelma. Ramboll Oy. https://www.vesiensuojelu.fi/pohjanmaa/wp-content/uploads/2018/01/Raportti-Ojai%C3%A4rvi_24.1.2018-1.pdf. 18.2.2019.
- Ympäristökeskus. 2019. Vesistöjen kuormitus ja luonnonhuuhtouma. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma. 21.2.2019.

Kuonanjärven järvikortti. Ympäristötietopalvelu Hertta 2018.

| Järvi | | | |
|---|---|---------------------------------|---|
| Nimi | Kuonanjärvi | | |
| Numero | 04.184.1.001 | Kunta | Savonlinna |
| ELY | Etelä-Savon ELY ympäristö ja luonnonvarat | | |
| Vesistö | 04.184 Kuonanjoen va | | |
| Pohjoinen (ETRS-TM35FIN) | 6874360 | Itä (ETRS-TM35FIN) | 616627 |
| Pohjoinen (Euref) | 61.98366 | Itä (Euref) | 29.22580 |
| Korkeustaso | N60+76,30 | Korkeus N2000 | N2000+76,50 |
| Vesienhoitoalue | Vuoksen vesienhoitoalue | | |
| Säännöstelyhanke | | | |
| Luotaus | | | |
| Luotaaja | Etelä-Savon ELY | | |
| Luotauksen alkupäivä | 04.06.2012 | Luotauksen loppupäivä | 05.06.2012 |
| Luotausmenetelmä | Kaikuluotaus, DGPS-paikannus | | |
| Linjatiheys | 75 m | Luotaustiheys | 1 m |
| Tasosijainnin tarkkuus | 2 m | Syvyyshavainnon tarkkuus | 0,2 m + 1% syvyydestä |
| Luotaustaso | N60+76,30 | Luotaustaso N2000 | N2000+76,50 |
| Kiintopiste | | | |
| Asteikko | | Luovutus MML:lle | 14.3.2014 |
| Saaret | | | |
| Saarten rantaviiva | 12,8233 km | Saarten lukumäärä | 66 |
| Saarten pinta-ala | 92,7207 ha | < 100 m² | 27 |
| | | 100 m² - 1 ha | 37 |
| | | 1 ha - 1 km² | 2 |
| | | > 1 km² | 0 |
| Fysiografia | | | |
| Vesiala (Ranta10) | 576,988 ha | Suurin syvyys | 5,75 m |
| Kokonaisrantaviiva (Ranta10) | 31,006 km | Tilavuus | 8994,79 10 ³ m ³ |
| Pohjoinen (ETRS-TM35FIN) | | Itä (ETRS-TM35FIN) | |
| Pohjoinen (Euref) | | Itä (Euref) | |
| Keskisyvyys | 1,56 m | Määrittäminen | Luotauspisteet |
| Yläpuolinen valuma-alue | | | |
| Pinta-ala | ha | Järviala | ha |
| | | | |
| Lisätieto | | | |
| PerusCD 1997 vedenpinta N60+76.3 | | | |

Kuonanjärven järvikortti. Ympäristötietopalvelu Hertta 2018.

| Syvyys m | Pinta-ala ha | Tilavuus 10³ m³ |
|-----------------|---------------------|--|
| 0 | 577,456 | 8994,79 |
| 1 | 445,726 | 3980,36 |
| 2 | 164,412 | 650,604 |
| 3 | 3,58229 | 18,5259 |
| 4 | 0,593865 | 3,80063 |
| 5 | 0,14648 | 0,520766 |

Kuonanjärven pohjasedimentin laboratoriotutkimusten testausseoste tuloksi-
neen. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry:n laboratorio, Tampere.



TESTAUSSEOSTE
7.6.2018

18-12211 1 (2)
#1

Karelia-ammattikorkeakoulu
Biotalouden keskus
Tossavainen Tarmo
Sirkkalantie 12 B
80100 JOENSUU



Tilausno 325493 (XS), saapunut 22.5.2018
Näytteenottaja: Tarmo Tossavainen/ Karelia-AMK

NÄYTTEET

| Lab.nro | Näytteen kuvaus |
|---------|--|
| 34295 | Kuonanjärvi/12, 0-35 cm |
| 34296 | Kuonanjärvi/ 003, 0-20cm sekä 20-35 cm |

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

| Määrittäminen | Yksikkö | 34295 | 34296 |
|----------------------|---------|-------|-------|
| *Kiviainepitoisuus | g /kg | 164 | 115 |
| *Hehkutusjäätös | g/kg | 138 | 89 |
| *Hehkutusjäätös | g/kg | 26 | 26 |
| *Fosfori, sedimentti | g/kg ka | 0,74 | 1,0 |
| *Typpi, sedimentti | g/kg ka | 8,3 | 12 |

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, = = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin,
> = suurempi tai yhtäsuuri kuin.
*-merkitty on akkreditoitu menetelmä.

Heli Orakangas

Heli Orakangas
Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Pro Puruvesi ry/Jantunen Reijo

Tässä tutkimusraportissa esitetyt testatulokset pätevät ainoastaan testatulle näytelölle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
Tutkimusraportin saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
Patamäenkatu 24
33900 TAMPERE

Postiosoite
PL 265
33101 TAMPERE

Puhelin
(03) 2461 265
*(03) 2461 111

Sähköposti
heli.orakangas@kvvy.fi

Aiv.rek./enn.pid.rek.
2823750-1

Kuonanjärven pohjasedimentin laboratoriotutkimusten testausseoste tuloksi-
neen. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry:n laboratorio, Tampere.



TESTAUSSEOSTE
7.6.2018

18-12211 2 (2)
#1

MENETELMÄTIEDOT

| Määrittäminen | Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluisissa) |
|----------------------|--|
| *Kuiva-aine | SFS 3008:1990 (TL25) |
| *Hehkutusjäänös | SFS 3008:1990 (TL25) |
| *Hehkutushäviö | Laskennallinen (TL25) |
| *Fosfori, sedimentti | SFS-EN ISO 11885:2009 (HNO ₃ -haj+ICP-OES) (TL25) |
| *Typpi, sedimentti | Sis. menet. KVYVY LA83 (SFS 5505:1988) (TL25) |

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

| Tunnus | Tutkimuslaitoksen nimi |
|--------|----------------------------|
| TL25 | KVYVY/Tampere (FINAS T064) |

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

| Määrittäminen | Näyte | Tuloksen epävarmuus | Määrittämissp.: |
|----------------------|------------|---------------------|-----------------|
| *Kuiva-aine | 2018/34295 | ±10 % | 23.5.2018 |
| | 2018/34296 | ±10 % | 23.5.2018 |
| *Hehkutusjäänös | 2018/34295 | ±15 % | 24.5.2018 |
| | 2018/34296 | ±15 % | 24.5.2018 |
| *Hehkutushäviö | 2018/34295 | ±15 % | 24.5.2018 |
| | 2018/34296 | ±15 % | 24.5.2018 |
| *Fosfori, sedimentti | 2018/34295 | ±15 % | 6.6.2018 |
| | 2018/34296 | ±15 % | 6.6.2018 |
| *Typpi, sedimentti | 2018/34295 | ±20 % | 5.6.2018 |
| | 2018/34296 | ±20 % | 5.6.2018 |

Tässä tutkimusraportissa esitetyt testaus tulokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.