

# **Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen puuaineksella**

**Prototyyppien kehittäminen ja testaus kunnostusojituskohteissa**

Esko Keskinen

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2020  
Luonnonvara- ja ympäristöala  
Agrologi (ylempi AMK)  
Biotalouden kehittäminen

Tekijä(t) Keskinen, Esko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Marraskuu 2020
	Sivumäärä 55	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen puuaineksella</b> Prototyypin kehittäminen ja testaus kunnostusojituskohteissa		
Tutkinto-ohjelma Agrologi (ylempi AMK), Biotalouden kehittäminen		
Työn ohjaajat Tero Vesisenaho ja Laura Vertainen (JAMK) sekä Kari-Matti Vuori (SYKE)		
Toimeksiantaja Suomen ympäristökeskus (SYKE)		
Tiivistelmä <p>Turvemaiden hakuuomäärien kasvu yhdessä muuttuvan ilmaston kanssa voi kasvattaa metsätalouden aiheuttamaa vesistökuormitusta. Viimeaikaisten tutkimusten perusteella erityisesti turvemaiden metsätaloudessa tarvitaan uusia vesiensuojelukeinoja. Eräs mahdollisuus on hyödyntää vesien luontaisia itsepuhdistusprosesseja lisäämällä ojiin, laskeutusaltaisiin ja purouomiin puumateriaalia, jonka pintaan kehittyvän biofilmin ja sitä hyödyntävän eliöstön oletetaan suodattavan vedestä ravinteita, humusaineita ja metalleja. Lisäksi rakenteiden oletetaan pidättävän tehokkaasti myös kiintoainesta.</p> <p>Tutkimuksen avulla pyrittiin arviomaan laskeutusaltaisiin lisätyn puuaineksen merkitystä niiden fysikaalisten ja biologisten prosessien tehostajana, jotka edesauttavat eroosion vähentämisessä sekä ravinteiden pidättymisessä ja poistumisessa vesiekosysteemistä takaisin maaekosysteemiin.</p> <p>Tutkimusotteena oli kokeellinen kenttätutkimus ja kvantitatiivinen aineistoanalyysi, jossa vertailtiin kahdella ojitusalalla sijaitsevien puukäsittelyn ja käsittelemättömän (verrokkialtaan) laskeutusaltaan vedenlaatua. Puukäsittely toteutettiin asentamalla huhtikuussa 2018 laskeutusaltaisiin pienpuusta tuotettuja rankanippuja. Avovesikausilla 2018 ja 2019 otetuista vesinäytteistä mitattuina suureina tarkasteltiin erityisesti kiintoaineksen, kemiallisen hapenkulutuksen, typen, fosforin ja liuennon hiilen määriä.</p> <p>Vesinäytteistä saatujen tulosten perusteella puukäsittely alensi systemaattisesti lähtevän veden ainepitoisuuksia kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisravinteiden sekä orgaanisen hiilen osalta. Samoin puukäsittely alensi altaista purkautuvien vesien kiintoainepitoisuuksia selvästi tehokkaammin kuin pelkkä laskeutusallasrakenne.</p> <p>Tutkimustulosten perusteella näyttäisi siltä, että puun lisääminen nykyisin käytössä oleviin vesiensuojelurakenteisiin on helppo ja edullinen tapa tehostaa vesiensuojelua. Menetelmää tulee kuitenkin kehittää siten, että käytettävä puuainekes kerätään konetyönä esimerkiksi ojalinjoiden avaamisen yhteydessä ja asennetaan konetyönä laskeutusaltaan kaivamisen yhteydessä.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )  biofilmi, puukäsittely, ravinnesilmukointi, ekosysteemipalvelut, pidätyskapasiteetti		
Muut tiedot ( <a href="#">salassa pidettävät liitteet</a> )		

Author(s) Keskinen, Esko	Type of publication Master's thesis	Date November 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 55	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Improving forestry water protection with wood</b> Development and testing of prototypes at rehabilitation drainage sites		
Degree programme Master of Natural Resources, Bioeconomy Development		
Supervisor(s) Tero Vesisenaho, Laura Vertainen and Kari-Matti Vuori (Finnish Environment Institute)		
Assigned by Finnish Environment Institute		
Abstract  <p>Recent studies show that new water protection measures are needed, especially in peatland forestry. One possibility is to utilize the natural self-cleaning processes of water by adding wood material to ditches, settling basins and brooks, on the surface of which the biofilm and the organisms that utilize it are expected to filter nutrients, humic substances and metals from the water. In addition, the structures are also expected to effectively retain solids. The study sought to assess the role of wood added to settling basins as an enhancer of physical and biological processes that contribute to reducing erosion and nutrient retention and removal from the aquatic ecosystem back to the terrestrial ecosystem. The research approach was an experimental field study and a quantitative data analysis comparing the water quality of wood-treated and untreated (control basin) settling ponds located in two drainage areas. The wood treatment was carried out in April 2018 by installing bundles made of small wood in the settling basins. In particular, the amounts of solids, nitrogen, phosphorus and dissolved carbon were considered as measured values of water samples taken in the open water seasons 2018 and 2019. Based on the results obtained from water samples, wood treatment systematically reduced the concentrations of substances in the outgoing water in terms of chemical oxygen demand, total nutrients and organic carbon. Similarly, wood treatment significantly reduced the solids concentrations of the water discharged from the basins more effectively than the landing basin structure alone. Based on the results of the study, it would appear that adding wood to the water protection structures currently in use is an easy and inexpensive way to enhance water protection. However, the method must be developed in such a way that the wood used is collected as machine work, for example in connection with the opening of ditch lines, and installed as machine work in connection with the excavation of a settling basin.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) biofilm, wood adding, nutrient spiraling, ecosystem services, retention capacity		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Puun merkitys virtavesissä .....	4
1.2	Opinnäytetyön tausta.....	7
<b>2</b>	<b>Opinnäytetyön tavoitteet ja tutkimustehtävä .....</b>	<b>11</b>
2.1	Opinnäytetyön tavoitteet.....	11
2.2	Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset.....	14
<b>3</b>	<b>Tietoperusta.....</b>	<b>14</b>
3.1	Opinnäytetyön keskeisten käsitteiden määrittely .....	14
3.2	Opinnäytetyön tietoperusta.....	17
<b>4</b>	<b>Menetelmät ja aineisto.....</b>	<b>19</b>
4.1	Tutkimustyön menetelmät.....	19
4.2	Tutkimuskohteet .....	20
4.3	Aineiston analysointi .....	24
4.4	Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus.....	24
<b>5</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>26</b>
5.1	Rankanippujen valmistus ja asennus .....	26
5.2	Vesinäytteiden tulokset.....	28
5.3	Laskennallinen arvio puunlisäyksen vaikutuksesta hyönteisten ja denitrifikaation kautta poistuvista ravinnemääristä.....	33

<b>6</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>35</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>43</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>47</b>
	Liite 1. Ainepitoisuudet ja niiden muutosprosentit lähtevän ja tulevan veden vertailuna .....	47
	Liite 2. Tulevan ja lähtevän veden ainepitoisuuksien keskiarvoista lasketut muutosprosentit.....	48
	Liite 3. Esimerkki YSI-ProDDS -kenttämittarilla toteutettujen intensiiviseurantojen mittaustuloksista .....	49
	Liite 4. Pyydysojan ja Koiramäen koealojen pohjäläintulokset .....	50
	Liite 5. Kuvasarja Metsätalouden vesiensuojelupäivien 2019 esittelykohteen puukäsittelyn toteutuksesta .....	51
	Liite 6. Naamijoen vesiensuojelusuunnitelman 2019 työohjeluonnos .....	54
	Liite 7. Naamijoen vesiensuojeluhankkeen toimijoiden kokemuksia rankanippujen tuottamisesta ja asentamisesta .....	55

## Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki nykyisin yleisesti käytössä olevasta laskeutusaltaasta, jossa virtaamanhallinta on toteutettu putkipadolla. ....	6
Kuvio 2. Havainnekuva putkipadosta ja sen rakentamisesta sekä valutuksen säätöputken kulmayhde.....	6
Kuvio 3. Kuusirangasta valmistettuja nippuja. ....	12
Kuvio 4. Havainnekuva puupinnoille kehittyvästä luontaisesta päällyskasvustosta. ..	15
Kuvio 5. Havainnekuva vedessä olevien ravinteiden ja hiilen mahdollisista poistumisreiteistä maaekosysteemiin biologisten mekanismien kautta.....	17
Kuvio 6. Tutkimuskohteina olevien ojitusalueiden ja niillä olevien laskeutusaltaiden sijainti kartalla. ....	21
Kuvio 7. Tutkimuskohteina olevien ojitusalueiden kartat. ....	22
Kuvio 8. Huhtikuussa 2018 laskeutusaltaisiin jään päälle esiasennetut rankaniput. ..	23
Kuvio 9. Koiramäen allasparien keskimääräisten ainepitoisuuksien muutos prosentteina vertailtaessa altaasta lähteviä pitoisuuksia altaaseen tuleviin pitoisuuksiin. ....	30
Kuvio 10. Pyydysojanallasparien keskimääräisten ainepitoisuuksien muutos prosentteina vertailtaessa altaasta lähteviä pitoisuuksia altaaseen tuleviin pitoisuuksiin. ....	30
Kuvio 11. Puukasettirakenteet sekä vesinäytteet tulevasta ja lähtevästä vedestä ....	32
Kuvio 12. Biofilmin ja sitä hyödyntävien pohjaeläinten runsautta kuusesta valmistetun koekappaleen pinnalla. ....	37
Kuvio 13. Koivusta valmistettuja koekappaleita tutkimuskehikossa. ....	38
Kuvio 14. Koiramäen käsitellyyn altaaseen muodostunutta kasvillisuutta. ....	39
Kuvio 15. Sammakonkutua Koiramäen puukäsitellyssä altaassa toukokuussa 2020. .	40

# 1 Johdanto

## 1.1 Puun merkitys virtavesissä

Kansainvälisissä tutkimuksissa on havaittu, että puuaines on monesta eri syystä tärkeä osa vesiekosysteemien toimintaa. Pohjoisen (boreaalisen) metsävyöhykkeen virtavesissä puuta on luontaisesti ollut paljon: puita on kaatunut uomiin, kulkeutunut virran mukana ajopuina sekä kasvanut pienempien jokien päälle veden lomaan. Uoman muotoutumisen ohella kaatuneet puut vaikuttavat erityisesti virtaveden ekologiseen tilaan. (Wohl, Lininger, Fox, Baillie & Erskine 2017.) Puuaines muun ohella vaikuttaa kiintoaineen ja ravinteiden kulkeutumiseen sekä tarjoaa ravintoa ja suojaa vedessä eläville eliöille (Ryan, Bishop & Daniels 2014). Metsätalousmetsissä sijaitsevista puroissa puuta ei sitä vastoin nykyisin juurikaan ole, koska puut on niistä systemaattisesti poistettu viimeisten vuosikymmenten aikana. Puiden rungoista, oksista sekä neulasista ja lehdistä tiedetään liukenevan veteen ravinteita. Tästä syystä muun muassa metsätalouden vesiensuojeluohjeissa on ohjeistettu keräämään kaatuneet puut sekä hakkuutähteet pois vesistöistä. (Joensuu, Kauppila, Linden & Tenhola 2012.)

Järvien rantavesiin, jokien ja purojen uomiin sekä muihin vesimuodostumiin luontaisesti kulkeutuneen kuolleen puuaineksen on havaittu puhdistavan vettä, lisäävän vesiluonnon monimuotoisuutta ja parantavan kalakantojen tilaa. Veteen uponneen puuaineksen pinnoilla alkaa kasvaa bakteereja, leviä ja sienirihmastoja, jotka yhdessä muodostavat puun pinnalle päällyskasvuston eli biofilmin. Kasvustoa hyödyntävät puolestaan mikroskooppiset ja makroskooppiset selkärangattomat sekä niitä ravintonaan käyttävät selkärangattomat ja selkärangattomat pedot. Siten luonnontilaisten vesiekosysteemien runsaalla uppopuustolla on suuri merkitys päällyskasvustolle ja muulle eliöstölle. Sekä virtavesikunnostuksissa että vesiensuojelukosteikoissa lisätyn uppopuuston on havaittu tehostavan ravinesilmukointia ja lisäävän merkittävästi biologista tuottavuutta ja monimuotoisuutta. (Alsfeld, Bowman & Deller-Jacops 2009; Frainer, Polvi, Jansson & McKie 2018; Suomen ympäristökeskus 2018.)

Vaikka metsätalouden valumavesien vaikutukset tyypillisesti kohdistuvat voimakkaimmin latvavesiin (Rääpysjärvi, Karjalainen, Karttunen, Kuoppala & Aroviita 2016), voi etenkin typen ja humuksen kasvava huuhtoutumisen vaikutus ulottua myös puro- ja jokivesien alajuoksun suurempiin vesiluontotyyppisiin ja muuttaa niiden ekosysteemien rakennetta ja toimintaa (Maileht, Nöges, T., Nöges, P., Ott, Mischke, Carvalho, & Dudley 2013; Vuori & Kuusipuro-Korjonen 2018).

Metsätalouden kunnostusojituksissa sekä uudisojituksessa yleisimmin käytettyjä vesiensuojelutoimenpiteitä ovat kaivukatkot, ojastoon kaivettavat lietekuopat sekä ojitusalueen purkuojiin rakennettavat laskeutusaltaat, joiden tarkoituksena on hidastaa veden virtausnopeutta. Laskeutusaltaan viivyttäessä virtausta veden mukana kulkeutuva kiintoainne ennättää laskeutua altaan pohjaan. Veden viipymää, ja siten laskeutusaltaan pidätyskykyä, voidaan tehostaa erilaisilla virtaamanhallintarakenteilla kuten esimerkiksi pohjapadoilla ja putousportailta sekä V-, setti- ja munkkipadoilla. (Metsäkeskus 2020, 9.)

Kuviossa 1 esitellään laskeutusallas, jossa virtaamansäätö on toteutettu niin kutsutulla putkipadolla. Valutuksen säätöputken (alempi putki) päässä on kulmayhde (kuvassa valkoinen), jonka jatkeena olevan putken supistettu alapää on noin puolen metrin syvyydessä altaan pinnasta. Kuvassa näkyvä ylempi putki on tulvahuippujen hallintaan tarkoitettu ylivuotoputki. Putkipadon tarkoituksena on padottaa vettä tulvahuippujen aikana altaan yläpuoliseen ojastoon ja siten pienentää ojaston hetkellisiä virtaamahuippuja. Ojien virtaaman vähentyessä myös eroosio vähenee, ja jo liikkeelle lähtenyt kiintoainne laskeutuu takaisin ojien pohjiin. Rakenteen havainnekuva sekä valutuksen säätöputken kulmayhde esitellään kuviossa 2.

Vesiensuojelun näkökulmasta katsottuna kysymyksiä herättää putkipadoissa käytettävien putkien muovilaadut (esimerkiksi polyeteeni), joiden on viimeaikaisissa, mikromuovien esiintyvyyttä koskevista tutkimuksista todettu olevan yleisimpiä muovilaatuja muun muassa Itämeressä ja Kallavedessä sekä kaloissa ja pohjaeläimissä (Koistinen 2020).





Kuvio 1. Esimerkki nykyisin yleisesti käytössä olevasta laskeutusaltaasta, jossa virtaamanhallinta on toteutettu putkipadolla.



Kuvio 2. Havainnekuva putkipadosta ja sen rakentamisesta sekä valutuksen säätöputken kulmayhde. (Jämsen & Marttila 2011, 3, 10, muokattu.)

Vaikka edellä esitelty putkipato tehostaa laskeutusaltaan kykyä pidättää kiintoainetta, se ei kuitenkaan kykene lisäämään liukoisen fosforin, typen ja orgaanisen hiilen pidättymistä. Viimeaikaisten tutkimusten (esimerkiksi Finér, Lepistö, Karlsson, Räike, Tattari, Huttunen, Härkönen, Joensuu, Kortelainen, Mattsson, Piirainen, Sarkkola, Sallantausta & Ukonmaanaho 2020) perusteella erityisesti turvemaiden metsätaloudessa tarvitaan juuri siksi uusia vesiensuojelukeinoja. Eräs mahdollisuus on hyödyntää vesien luontaisia itsepuhdistusprosesseja lisäämällä ojiin, laskeutusaltaisiin ja purouomiin puumateriaalia, jonka pintaan kehittyvän biofilmin ja sitä hyödyntävän eliöstön oletetaan suodattavan vedestä ravinteita, humusaineita ja metalleja. Lisäksi rakenteiden oletetaan pidättävän tehokkaasti myös kiintoainesta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voidaanko luonnon omien ekosysteemi-palvelujen toimintaa simuloimalla ja hyödyntämällä lisätä nykyisin käytössä olevien metsätalouden vesiensuojelumenetelmien - ja rakenteiden pidätyskapasiteettia asentamalla ojitusalueiden laskeutusaltaisiin pienpuusta tuotettuja rankanippuja.

Pilottihankkeena toteutetussa tutkimuksessa pyrittiin aluksi selvittämään aihealueeseen liittyvien aikaisempien tutkimusten sekä opinnäytetyön tutkimusolosuhteiden perusteella rankanippujen optimaalinen rakenne sekä tuotettiin tutkimuksessa käytettävien rankanippujen prototyypit. Tutkimuksen toisessa vaiheessa valmiit rankaniput asennettiin metsätalouskohteiden ojitusalueilla sijaitseviin laskeutusaltaisiin, joissa niiden toimivuutta vedenpuhdistuksessa tutkittiin ottamalla vesinäytteitä sekä tekemällä mittauksia tulevasta ja lähtevästä vedestä.

## 1.2 Opinnäytetyön tausta

Suomen ympäristökeskus (SYKE) oli valmistellut johtava tutkija Kari-Matti Vuoren johdolla laajaa tutkimushanketta puupohjaisten materiaalien kehittämisestä haja-kuormituksen vesiensuojelun, vesiviljelyn ja vesistökuunnostusten erilaisiin sovelluksiin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli toimia puupohjaisia vesiensuojelumenetelmiä koskevan laajemman tutkimushankeen suunnitteluvaiheen esiselvityksenä (Suomen ympäristökeskus 2018).

SYKE on ympäristöministeriön alainen monialainen tutkimus- ja asiantuntijalaitos, jonka tehtävänä on ratkaista yhteiskunnan polttavia kysymyksiä, joilla on vaikutusta ympäristöön. SYKE kehittää muun muassa biotalouden vesistövaikutusten arviointia ja vesiensuojelun menetelmiä (Suomen Ympäristökeskus 2020).

### **Metsätalouden vesiensuojelun ajankohtaisuus**

Suomen kokonaispinta-alasta 77,5 % on metsätalousmaata, josta 78,3 % on puuntuotannon käytettävissä. Suomen maapinta-alasta keskimäärin 29 % on soita, joista 53 % on metsäoijitettu. Metsäoijitettujen soiden määrä vastaa 18 % tämänhetkisestä metsätalouden käytössä olevasta maa-alasta. (Luonnonvarakeskus 2018; Laiho, Tuominen, Kojola, Penttilä, Saarinen & Ihalainen 2016.)

Eryteisesti suometsien vesiensuojelu on osoittautunut ongelmalliseksi ja uutena haasteena on liukoisen humuksen ja sen mukana huuhtoutuvan elohopean kuormituksen kasvu sekä riski kohoaville ravinnehuuhtoumille vanhoilta ojitusalueilta (Ukonmaanaho, Nieminen, M., Hytönen, Nieminen, T., Moilanen, Kantola, Kiikkilä, Laurén, Merilä, Penttilä, Piispanen, Starr, Kaila, Pyhtilä & Perämäki 2014; Sarkkola ja Nieminen 2014, 4-5; Strandberg, Palviainen, Eronen, Piirainen, Laurén, Akkanen ja Kankkalla 2016; Porvari, Verta, Munthe & Haapanen 2003; Munthe, Wängberg, Rognerud, Fjeld, Verta, Porvari & Meili, M. 2007; Verta, Kauppila, Londesborough, Mannio, Porvari, Rask, Vuori & Vuorinen 2010). Vanhoja ojitusaloja koskevan uusimman tutkimustiedon mukaan aiemmat laskentatavat ja niiden pohjalta tehdyt arviot metsätalouden vesistökuormituksesta eivät välttämättä anna oikeaa kuvaa metsätalouden vesistövaikutuksista ja siten metsien käytön lisäämisen kokonaiskestävyydestä (Finér, Lepistö, Karlsson, Räike, Tattari, Huttunen, Härkönen, Joensuu, Kortelainen, Mattsson, Piirainen, Sarkkola, Sallantaus & Ukonmaanaho 2020, 13; Nieminen, M., Sallantaus, Ukonmaanaho, Nieminen, T.M. & Sarkkola 2017).

Yleisesti metsätaloudessa käytettävät toimenpiteet kuten hakkuut, uudistusalojen maanmuokkaus, uudis- ja kunnostusojitukset sekä kulotus ja lannoitus aiheuttavat vesistökuormitusta (Finér, Mattson, Koivusalo, Laurén, Makkonen, Nieminen, Tattari, Ahti, Kortelainen, Koskiaho, Leinonen, Nevalainen, Piirainen, Saarelainen, Sarkkola & Vuollekoski 2010, 7). Muuttuvat ympäristöolosuhteet kuten ilmastonmuutos, hap-

paman laskeuman vähentyminen sekä paikalliset maankäytön muutokset ja metsäbiomassan käytön kasvu lisäävät vesistökuormituksen kasvun riskiä (Finèr ym. 2020, 12).

Uuden tieteellisen tiedon valossa on yhteiskunnallisesti tärkeää kysyä: *miten käy turvemaiden metsätaloudelle?* Vastauksessa on pohdittava, miten hiilinieluista ja -varastoista, vesistöistä ja monimuotoisuudesta huolehtiminen sekä erityisesti suometsien kasvava talouskäyttö voidaan yhdistää kestäväällä, varovaisuusperiaatteen mukaisella tavalla. Asiassa ei ole kyse vähäpätöisestä ja helposti ratkaistavasta ongelmasta. Turvemaiden kasvavien puiden kaupallinen arvo on noin 11 miljardia euroa, joka vastaa suuruudeltaan koko suomen viiden vuoden keskimääräistä kantorahatuloa (Luonnonvarakeskus 2018).

Metsänomistajien näkökulmasta katsottuna ongelmassa on kyse siitä, voidaanko turvemaiden kasvavaa metsää ylipäänsä hyödyntää tulevaisuudessa, ja saneleeko globaali ilmastopolitiikka ja hiilensidontatarve sekä tarve suojella vesistöjä metsänhoidossa käytettävän keinovalikoiman. Asiassa on metsänomistajien näkökulmasta katsottuna kyse myös siitä, onko heidän vuosikymmenien aikana Suomen suometsiin investoima työ ja investoinnit valumassa hukkaan globaalin ilmastopolitiikan ja kiristyvän vesiensuojelun seurauksena. Yhteiskunnallisesti ongelmassa on kyse siitä, onko Suomen kokoisella maalla varaa jättää hyödyntämättä 20 % puuvarannostaan sen jälkeen, kun sen kasvattamiseen tähtääviin metsänparannustoimiin on ensin ohjattu vuosikymmenien ajan suuria määriä varoja. Yleistä oikeudenmukaisuusperiaatetta noudattaessaan yhteiskunnan tehtävänä tässä tilanteessa on löytää sekä yhteiskunnallisesti, ekologisesti, teknologisesti että taloudellisesti kestävä ratkaisu vesi- ja ravinnetalouden, ilmaston, hiilensidontan ja luonnonhoidon kannalta ratkaiseviin kysymyksiin turvemaiden metsätalouden turvaamiseksi.

Luonnonvarakeskuksen mukaan puuntuotannollisesti suurin kestävä hakkuumahdollisuus 10-vuotiskaudelle 2015–2024 on 84,3 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa. Sitä seuraavalla 10-vuotiskaudella vuotuinen hakkuumahdollisuus nousee edelleen 93 miljoonaan kuutiometriin. Luonnonvarakeskuksen mukaan 2010 -luvulla hakkuut olivat keskimäärin 80 prosenttia (ennätyskellisinä vuosina 2015 - 2017 83 %) suurimmasta kestävästä hakkuumahdollisuudesta. Puunkäytölle asetettujen kansallisten tavoitteiden saavuttamiseksi hakkuuta aiotaan kohdistaa erityisesti ojitettuihin

turvemaametsiin, joissa arvioidaan olevan seuraavina vuosikymmeninä merkittäviä kuitu- ja energiapuureservejä. (Luonnonvarakeskus 2018; Suomen biotalousstrategia 2014, 29.)

Teollisuuden tarpeista johtuen erityisesti kuitupuuta joudutaan korjaamaan ympäri- vuotisesti. Sulan maan aikainen puunkorjuu on omiaan lisäämään erityisesti turve- maiden kunnostusojitustarvetta. Hakkuiden ja kunnostusojitusten lisääntyessä myös metsätalouden aiheuttaman vesistökuormituksen voidaan arvioida kasvavan vähin- tään samassa suhteessa. Lisääntyvän metsäbiomassan käytön ja siten odotettavissa olevan vesistökuormituksen kasvun johdosta metsätalouden vesiensuojelumenetel- mien tehostamistarve korostuu. (Lilja-Rothsten & Saaristo 2015.)

Vuonna 2019 toteutetussa MetsäVesi -hankkeessa tuotettujen uusien valtakunnallisen arvioiden mukaan metsätalouden osuus metsistä ja soilta tulevasta typen koko- naiskuormituksesta on 16 %, fosforikuormituksesta 25 % ja orgaanisen hiilen kuormi- tuksesta 4 %. Metsätalouden osuus kaikesta ihmistoiminnan aiheuttamasta typen ja fosforin kuormituksesta on noin kaksinkertainen Suomen virallisissa tilastoissa vuon- na 2018 esitettyihin lukuihin nähden (typpi 6 %:sta 12 %:iin, fosfori 8 %:sta 14 %:iin). Selvityksen mukaan metsätalouden aiheuttamassa kuormituksessa näkyy selvästi metsäojituksen vaikutus. (Finér ym. 2020, 36–38.)

Viimeaikaisten tutkimusten (esimerkiksi Finér ym. 2020) perusteella vanhojen ojitus- alueiden ravinnepitoisuuksien kasvu johtuu ojituksen käynnistämästä ja yhä pidem- mälle etenevästä turpeen maatumisesta sekä sitä seuraavasta eroosion lisääntymi- sestä. Sarkkolan mukaan (2017) eroosio puolestaan lisää erityisesti partikkelimaisen typen ja fosforin huuhtoumia. Turpeen maatuessa ravinteita vapautuu koko ajan yhä enemmän helppoliukoiseen muotoon, mikä lisää myös vedessä liuenneena kulkeutu- vien ravinteiden huuhtoutumisriskiä (mt.).

Hellstenin (2017) mukaan useat tutkimusryhmät ovat havainneet yleisesti kohonnei- ta typpipitoisuuksia sekä ojitusalueiden valumavesissä että turvevaltaisten valuma- alueiden alapuolisissa vesistöissä. Kohonneiden typpipitoisuuksien arvioidaan johtu- van siitä, että ojitus yhdessä ilmaston lämpenemisen kanssa lisää turpeen hajoamista ja ravinteiden vapautumista hapettomiin luonnontilaisiin soihin verrattuna. Eri tut- kimuksissa havaittu ravinnepitoisuuksien kasvu viittaa Hellstenin arvion mukaan

myös siihen, että vesiensuojelutoimenpiteet ojitusalueilla eivät ole olleet riittävän tehokkaita. (Mt.)

MetsäVesi -hankkeen tutkijat yhdessä hankkeen ohjausryhmän jäsenten kanssa katsovat loppuraportissaan, että metsätalouden käytäntöjä ja vesiensuojelua on tarpeen parantaa muuttuvassa ympäristössä. Viestinään käytännön toimien parantamiseksi he muun ohella esittävät, että kiintoainekuormituksen vähentäminen on edelleen tärkein suunnittelussa huomioitava asia ja sen hallinnassa on käytettävä kohdekohtaisesti parhaita mahdollisia ratkaisuja. Lisäksi he esittävät, että liukoisten ravinteiden kiinniottoon soveltuvia menetelmiä tulee kehittää ja niitä tulee hyödyntää vanhojen ojitusalueiden kunnostuskohteissa, ja että metsätalouden vesiensuojelumenetelmiä ja -ratkaisuja sekä niiden suunnittelua tulisi kehittää erityisesti turvemaidilla. (Finèr ym. 2020, 71.)

## **2 Opinnäytetyön tavoitteet ja tutkimustehtävä**

### **2.1 Opinnäytetyön tavoitteet**

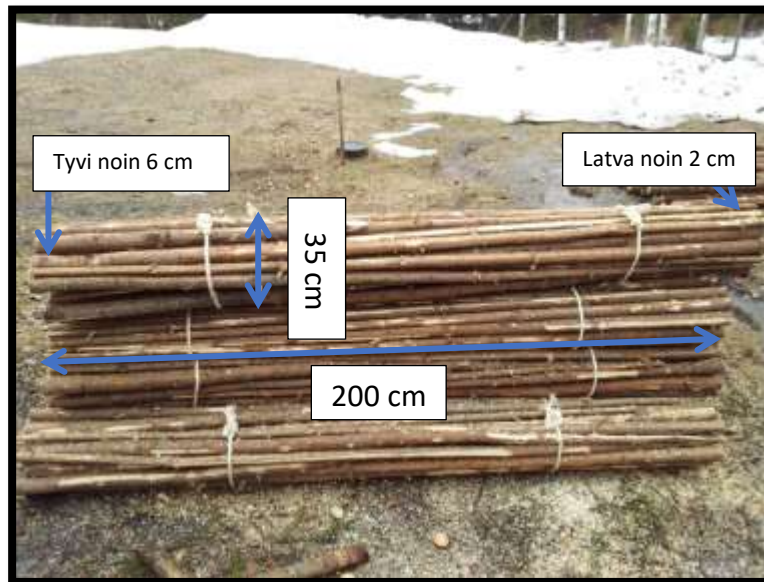
Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää vähempiarvoisesta pienpuusta metsätalouden valumavesien puhdistukseen soveltuvia vesiensuojelumenetelmiä sekä selvittää, millä tavoin uppopuiksi lisätty pienpuuainekes vaikuttaa ojitusalueiden vedenlaatuun.

#### **Tutkimuksen ensimmäinen vaihe**

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin, voidaanko kuviossa 3 esiteltäviä, pienpuusta käsityönä tuotettuja rankanippuja käyttää laskuojiin, laskeutusaltaisiin ja purouomiin lisättävänä puumateriaalina. Kuviossa esiteltävien rankanippujen halkaisija on noin 35 cm ja pituus 200 cm. Yksittäisten rankojen tyven halkaisija on noin 6 cm ja latvan noin 2 cm. Tutkimuksessa käytetyt niput sidottiin hamppuköydellä.

Rankanipun koko valikoitui kolmesta eri syystä. Nipun koolla (halkaisija) haluttiin ensinnäkin simuloida tukkipuun kokoista veteen kaatunutta runkoa, joka kykenee massallaan vastustamaan myös tulva-aikaista veden virtausvoimaa. Toisaalta nipun täytyi

olla painoltaan sellainen, että tutkimuksen tekijä yksinään kykeni käsin siirtämään nipun laskeutusaltaan jälle esiasennuspaikkaan. Lisäksi tutkimustulosten vertailtavuuden ja tutkimuksen toistettavuuden helpottamiseksi jokaisen rankakimpun teholliseksi pinta-alaksi pyrittiin saamaan mahdollisimman tarkasti 1000 dm<sup>2</sup> eli 10 m<sup>2</sup>.



Kuvio 3. Kuusirangasta valmistettuja nippuja.

Koejärjestelyjen hallittavuuden sekä tutkimusnäytteiden määrän rajoittamiseksi tutkimuksessa selvitettiin sen luonteen (esiselvitys) vuoksi ainoastaan mänty- ja kuusirangan soveltuvuutta biofilmin kasvatusalustaksi. Lisäksi valintaa puolsivat havupuiden sisältämä suurempi ligniinipitoisuus, jonka oletettiin edistävän biofilmin kehittymistä sekä oletettu lehtipuita pidempi käyttöikä. Lisäksi havupuiden karkean kuoren arvioitiin edistävän biofilmin tarttumista ja pysymistä puun pinnalla.

Puulajin, puun tuoreuden sekä sijoitussyvyyden vaikutusta biofilmin muodostumiseen (Kirjokivi 2020) ja pohjaeläinten lajimäärään ja runsauteen (Saarinen 2020) selvitettiin tutkimuskohteilla toteutetuilla erillisillä tutkimuksilla.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin rankanippujen valmistuksesta saatujen kokemusten perusteella, voidaanko pienpuusta tuottaa ekologisesti kestäväällä sekä teknologisesti, logistisesti ja taloudellisesti järkevällä tavalla sellaisia pienpuusta valmistettuja vesiensuojeluelementtejä, joilla voitaisiin tehostaa metsätalouden sekä myös maatalouden nykyisten vesiensuojelumenetelmien toimintaa.

## Tutkimuksen toinen vaihe

Tutkimuksen toisessa vaiheessa rankaniput asennettiin tutkimuskohteisiin ja niiden toimivuutta vedenpuhdistuksessa tutkittiin ottamalla vesinäytteitä tulevasta ja lähtevästä vedestä.

Tutkimuksen lähtöoletuksena oli, että rankojen pinnoille kehittyvän biofilmin määrä vaikuttaa rankanippujen pidätyskykyyn: mitä enemmän biofilmiä muodostuu, sitä paremmin biofilmi kykenee suodattamaan epäpuhtauksia käsiteltävästä vedestä. Oletuksen perusteella pääteltiin loogisesti, että kasvatusalustan pinta-alaa lisäämällä biofilmin määrä ja siten myös rankanipun pidätyskyky kasvavat.

Tutkimusasetelman toistettavuuden sekä koeyksiköistä saatavien tulosten vertailtavuuden parantamiseksi rankanipuista tehtiin mahdollisimman samanlaisia. Biofilmin kehittymistä, määrää ja vaikutusta koskevan ennakoarvion mukaisesti huomiota kiinnitettiin erityisesti rankanippujen laskennalliseen pinta-alaan. Jokaisen rankanipun teholliseksi pinta-alaksi pyrittiin saamaan mahdollisimman tarkasti  $1000 \text{ dm}^2$  eli  $10 \text{ m}^2$ . Koska käytettävissä olleiden rankojen läpimitta vaihteli, yhteenlasketun pinta-alan muodostumista mahdollisimman lähelle tavoiteltua tarkkailtiin mittaamalla yksittäisten rankojen pinta-aloja nippujen valmistuksen yhteydessä.

Ennen rankanippujen asentamista määritettiin laskennallisesti mittaamalla tutkimuskohteina olleiden laskeutusaltaiden keskivedenkorkeuden mukaiset vesitilavuudet kuutiometrin tarkkuudella. Jotta rankanippujen pidätyskykyä voitiin vertailla koeyksiköiden välillä, tutkimuksessa käytettiin yhden käsiteltävän vesikuutiometrin suodattamiseen yhtä kasvatusalustan tehollista neliometriä ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ). Käsiteltyjen altaiden laskennalliset vesitilavuudet olivat  $110 \text{ m}^3$  (11 rankanippua) ja  $180 \text{ m}^3$  (18 rankanippua).

Tutkimuksessa ei selvitetty kasvatusalustan optimaalista pinta-alaa suhteessa käsiteltävän veden määrään.



## 2.2 Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen teoriataustana käytettiin ravinteiden kulkeutumista ja kiertoa virtavesisysteemeissä käsittelevää ravinnesilmukointiteoriaa, jonka perusteella johdettiin tutkimuksen perushypoteesit (Newbold, O'Neill, Elwood & van Winkle 1982). Yleiskysymys oli: muuttaako metsäojiin ja laskeutusaltaisiin lisätty rankapuuaines veden fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia? Päättämiskohteena vedenlaatutekijöistä olivat ravinteet ja kiintoaines sekä humusaineet. Tutkimuskoeasetelmaa varten asetettiin nollahypoteesi ja kaksi vaihtoehtoista hypoteesia seuraavasti:

**H<sub>0</sub>:** Rankapuuaineksella ei ole vaikutusta laskeutusaltaisiin tulevan ja siitä lähtevän veden fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin.

**H<sub>1</sub>:** Rankapuuaines vähentää ainepitoisuuksia.

**H<sub>2</sub>:** Rankapuuaines lisää ainepitoisuuksia.

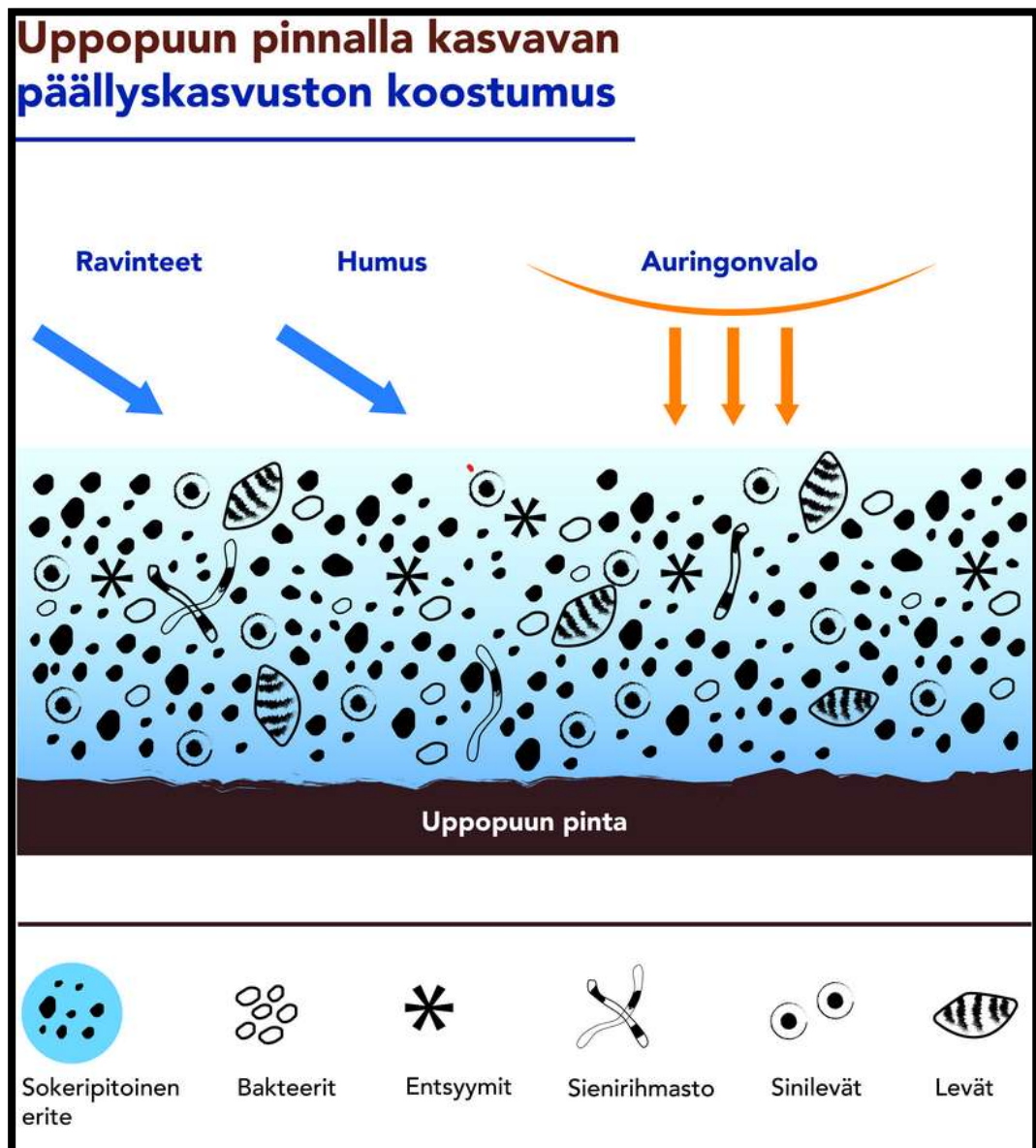
## 3 Tietoperusta

### 3.1 Opinnäytetyön keskeisten käsitteiden määrittely

#### **Ravinnesilmukointi**

Newboldin ja muiden (1982) mukaan ”nutrient spiraling” eli ravinnesilmukointi kuvaa ravinteiden pidättymisprosessia, jossa ravinteet kiertävät virtaavassa vedessä spiraalimaisesti siten, että ravinneatomin vapautuminen ja uudelleen sitoutuminen geokemiallisesti substraattiin tai biologisesti eliöstöön muodostaa ”silmukan”. Seuraava silmukka alkaa, kun ravinneatomi vapautuu uudelleen. Ainepitoisuuksien ja pohjajärvien pidätyskapasiteetin välisestä suhteista riippuen suurempi (tehokas silmukointi) tai pienempi (löyhä silmukointi) osuus ravinteista sitoutuu paikalliseen biologiseen tuotantoon. Ravinteiden sekä orgaanisen aineksen pidättymisessä ja kierrätyksessä kiinteille pinnoille muodostuvilla biofilmeillä on tässä prosessissa keskeinen merkitys.

Hoffmannin ja Heringin (2000) mukaan päällyskasvustolla tarkoitetaan vedenalaisten puupintojen kasvustoa, joka koostuu bakteereista, sinibakteereista, sienirihmastosta, levistä, alkueläimistä, ekstrasellulaarisista entsyymeistä ja detritushiukkasista hytelömäisessä polysakkaridimatriisissa (ks. kuvio 2). Päällyskasvusto pidättää vedessä olevia epäorgaanisia ravinteita kuten fosforia ja typpeä ja välittää ne eteenpäin vesiekosysteemin ravintoverkossa (Price & Carrick 2016; Sanzone, Tank, Meyer, Mulholland & Findlay 2001).



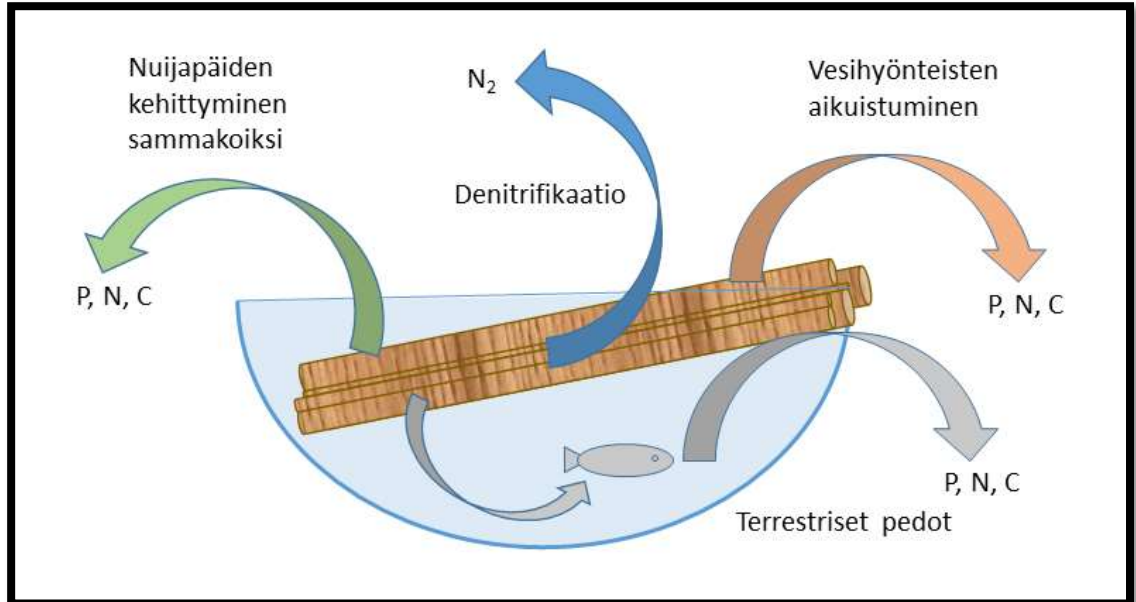
Kuvio 4. Havainnekuva puupinnoille kehittyvästä luontaisesta päällyskasvustosta. (PuuMaVesi -hanke, muokattu.)

## **Ekosysteemipalvelut**

Ekosysteemipalveluilla tarkoitetaan luonnon tarjoamia aineellisia ja aineettomia palveluja. Tässä opinnäytetyössä rankapuuaineksen oletetaan vaikuttavan vesiekosysteemien (laskeutusaltaat, virtavesiuomat) vedenpuhdistukseen, joka on keskeisimpiä ekosysteemipalveluja.

Puu pidättää partikkelimaista ja liuennutta orgaanista ainesta tarjoten samalla pitkään aikaisen kolonisaatioalustan ja hiilen lähteen mikro-organismeille, ravintoa ja vakaan kiinnittymisalustan selkärangattomille sekä suojapaikkoja ja ravintoa kaloille (Lepori, Palm, Malmqvist 2005; Frainer ym. 2018). Wallacen, Websterin ja Meyerin (1995) mukaan puun lisääminen veteen lisäsi sekä karkean että hienojakoisen hiukkasmaisen orgaanisen aineksen pidättymistä selvästi. Opinnäytetyön tarkoituksena oli edellä esitettyyn tieteelliseen tutkimustietoon nojautuen selvittää, tehostaako laskeutusaltaihin lisätty puuainekseen prosesseja, jotka edesauttavat eroosion vähentämisessä sekä ravinteiden pidättymisessä ja poistumisessa vesiekosysteemistä takaisin terresteeseen eli maaekosysteemiin. Eroosion tiedetään vähenevän, jos ojassa tai uomassa oleva puuainekseen hidastaa ja hillitsee veden kiinteää ainesta irrottavaa virtausta. Samalla osa virtauksen mukanaan kuljettamasta aineksesta ravinteineen laskeutuu uoman pohjaan tai pidättyy siellä olevaan puurakenteeseen tai tulvatilanteessa uoman ulkopuolelle. Mikrobit, levät ja kasvit sitovat ravinteita (biologinen pidättyminen), kunnes ne jälleen eloperäisen aineksen hajoamisen kautta vapautuvat takaisin epäorgaaniseen liukoiseen muotoon (remineralisaatio). Tässä opinnäytetyössä pyrittiin arvioimaan, kuinka suuri osa tutkimuskohteina olevien metsätalouden valumavesien ravinteista poistui pysyvästi vesiekosysteemistä maaekosysteemiin puuaineksen lisäyksen seurauksena. Ravinteiden pysyvällä poistumisella tarkoitetaan tässä yhteydessä aineksen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden mekaanista siirtymistä pois ojaston aktiivisesta virtauksesta laskeutusaltaan pohjalle ja puurakenteisiin sekä ravinteiden kulkeutumista päällyskasvustosta ravintoverkkoja pitkin maaekosysteemiin. Lisäksi opinnäytetyössä pyrittiin kirjallisuuslähteiden perusteella arvioimaan, kuinka suuri osa nitraattitypeistä poistui denitrifioivien bakteereiden toiminnan seurauksena typ-pikaasuna ilmaan.

Kuviossa 3 esitellään havainnekuvan avulla vedessä olevien ravinteiden ja hiilen potentiaaliset, biologisten mekanismien toimintaan perustuvat poistumisreitit maa-ekosysteemiin ja ilmakehään.



Kuvio 5. Havainnekuva vedessä olevien ravinteiden (fosfori, P ja typpi, N) ja hiilen (C) mahdollisista poistumisreiteistä maaekosysteemiin biologisten mekanismien kautta. (PuuMaVesi -hanke, muokattu.)

### Pidätyskapasiteetti

Tässä opinnäytetyössä pidätyskapasiteetti kuvaa ainepitoisuuksien muutoksina edellisten käsitteiden (ravinnesilmukointi, ekosysteemipalvelut) toteutumista kenttäkokeessa puunlisäyksen jälkeen. Tutkimuskysymyksistä johdetun vastahypoteesin  $H_1$  mukaan rankapuuaines lisäisi vesiensuojelurakenteiden pidätyskapasiteettia.

## 3.2 Opinnäytetyön tietoperusta

### Aikaisemmat tutkimukset

Prototyypin kaltaisesta vesiensuojelumenetelmästä ei tiettävästi ole aiempaa tutkimusta, mutta useiden kansainvälisten tieteellisten tutkimusten (esimerkiksi Frainer ym. 2018; Lepori ym. 2005; Wallace 1995) perusteella puuaineksen tiedetään tehos-

tavan virtavesiuomastojen ravinteiden, kiintoaineksen sekä muiden aineiden pidättymistä ja vähentävän alapuolisiin vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta.

### **Kirjallisuuskatsaus**

Opinnäytetyö oli osa Suomen ympäristökeskuksen koordinoimaa *Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin (PuuMaVesi)* -tutkimushanketta, jonka yhteydessä laaditussa kirjallisuuskatsauksessa koottiin yhteen aiempaa kansainvälistä ja kansallista tutkimustietoa vedessä olevan puuaineksen merkityksestä orgaanisen aineen ja ravinteiden pidätyksestä sekä siihen vaikuttavista tekijöistä. Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin yleisesti puun ekologista merkitystä vesiekosysteemeissä sekä pyrittiin ensisijaisesti arvioimaan lisätyn puuaineksen merkitystä niiden prosessien tehostajana, jotka edesauttavat eroosion vähentämisessä sekä ravinteiden pidätyksessä ja poistumisessa vesiekosysteemistä takaisin terrestriseen eli maaekosysteemiin. (Salmelin, Hämäläinen, Vuori & Nieminen 2020.)

Kirjokiven (2020) samalla Pyydysojan tutkimuskohteella toteuttamassa puulajin (kuusi, mänty ja koivu), puun tuoreuden sekä sijoitusyvyyden vaikutusta biofilmin muodostumiseen selvittäneessä tutkimuksessa havaittiin, että karkeakaarnaisiin kuuseen ja mäntyyn muodostui tutkimusjakson (touko-syyskuu 2019) aikana enemmän biofilmiä kuin sileäpintaiseen koivuun. Tutkimuksessa havaittiin lisäksi, että valon määrän vaikutuksesta puun sijoitusyvyydellä oli huomattava merkitys biofilmin biomassan määrään kaikilla puulajeilla. Tutkimuksen johtopäätöksiä suositeltiin käyttämään laskeutusaltaisiin lisättävänä puuaineksena karkeakaarnaista kuusta ja mäntyä, sekä sijoittamaan puuaineksen lähelle veden pintaa, jossa valoa on eniten. (Mts. 27.)

Saarinen (2020) puolestaan selvitti Pyydysojan ja Koiramäen tutkimuskohteilla puulajin (kuusi, mänty ja koivu), puun tuoreuden ja sijaintisyvyyden vaikutusta vesiselkärangattomien runsauteen ja monimuotoisuuteen laskeutusaltaissa. Tutkimuksessa havaittiin, että puulaji ja puuaineksen sijaintisyvyys vaikuttivat merkittävästi pohjaeläinten lajimäärään ja runsauden vaihteluun. Pohjaeläinyhteisöt olivat laji- ja yksilömääriltään runsaampia lähempänä veden pintaa tarkastellulla syvyydellä kuin syvemmällä. Tutkimuksen mukaan selvästi runsainta pohjaeläinyhteisöä ylläpiti kuusi,

ja mänty oli koivua mieluisampi elinympäristö pohjaeläimille. Lisäksi mänty ja kuusi olivat lajimääriltään noin 1,5-kertaisia koivuun nähden. Tutkimustulosten tarkastelussa arvioitiin, että puulajien väliset erot voivat johtua havupuiden karkeasta kuorimateriaalista, joka sileäpintaista koivua paremmin tukee monimuotoisemman ja runsaamman pohjaeläimistön kehittymistä. (Mts. 40 - 44)

## 4 Menetelmät ja aineisto

### 4.1 Tutkimustyön menetelmät

Tutkimusotteena oli kokeellinen kenttätutkimus ja kvantitatiivinen aineistoanalyysi, jossa vertailtiin kahdella ojitusalueella sijaitsevien puukäsittely- ja käsittelemättömän laskeutusalueen (verrokkialueen) vedenlaatua. Vesinäytteistä mitattuina suureina tarkasteltiin erityisesti kiintoaineksen, kemiallisen hapankulutuksen, typen, fosforin ja liuenneen hiilen määriä.

Ennen varsinaisen kenttätutkimuksen alkamista opinnäytetyö liittyi keväällä 2018 osaksi *Puupohjaisilla uusilla Materiaaleilla tehoa metsätalouden Vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin (PuuMaVesi)* -tutkimushanketta. Suomen ympäristökeskuksen toimeksiannon mukaisesti opinnäytetyön tekijän tehtäviin PuuMaVesi -hankkeessa kuului kolme tehtäväkokonaisuutta:

#### **Metsätalouden vesiensuojelun teknisten ratkaisujen suunnittelu- ja toimeenpanoprosessit**

Opinnäytetyön tekijä osallistui ohjaus- ja projektiryhmätyöskentelyyn, jossa linjattiin suometsien talouskäytön ja vesistökuormituksen välisten kehitystrendien yhteensovittamisen tarpeita ja käytännön toimenpiteitä sekä toimenpiteiden yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä.

#### **Metsätalouden vesiensuojelumenetelmien teoriataustaan perehtyminen, teknisen toteutuksen suunnittelu ja toteutus sekä vaikutusten mittaaminen ja arviointi**

Opinnäytetyön tekijän tehtäviin kuului laskeutusalueiden puukäsittelyrakenteiden prototyyppiratkaisujen kehitystyö ja toteutettujen ratkaisujen (rankaniput, kasettirakenne) toimivuuden limnologinen ja ekologinen todentaminen. Opinnäytetyön tekijän tehtäviin kuului erityisesti fysikaalis-

kemiallisten ja biologisten näytteiden maastonäytteenotto ja jälkimmäisten osalta näytteiden esikäsittely (pohjaeläinten poiminta).

Opinnäytetyön tekijä suunnitteli ja toteutti sekä ensimmäisen että toisen prototyypin, joiden toimivuuden kenttäseurannan toteutuksen hän hoiti fysikaalis-kemiallisten näytteiden osalta itsenäisesti vastaten myös YSI ProDDS -kenttämittauksista ja mittarin kalibroinneista. Lisäksi opinnäytetyöntekijä osallistui ekologisten vesienpuhdistusprosessien selvittämiseen liittyvien Jyväskylän yliopiston pro gradu-tutkielmien (päälyksäsvuston kehittyminen, pohjaeläimistön rakenne ja koostumus) kenttäkoeasetelmien suunnitteluun ja toteutukseen.

### **Kenttä- ja laboratoriotöiden ohjaaminen**

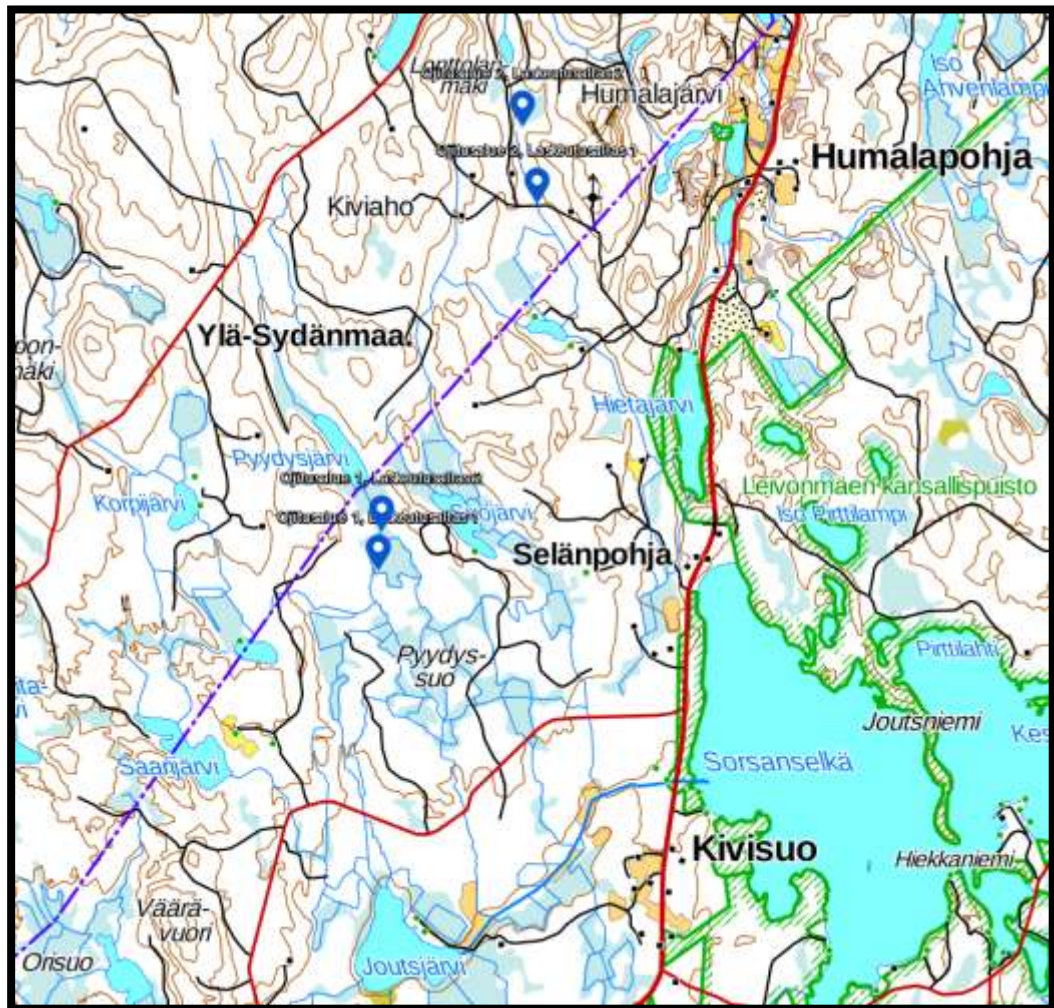
Edellä mainittujen omien tehtäviensä rinnalla tutkimuksen tekijä avusti ja osin itsenäisesti vastasi aiemmin edellä mainittujen Jyväskylän yliopiston pro gradu -tutkielmien tekijöiden ohjauksesta kenttäkokeiden toteutuksen aikana. Lisäksi hän perehdytti Pohjoisen Keski-Suomen ammattiopiston työssäoppijan kenttämittarin käyttöön ja kalibrointiin, vesinäytteenottoon sekä pohjaeläinnäytteiden ottoon ja näytteiden laboratorio-käsittelyyn.

Kenttätutkimusta suorittaessaan opinnäytetyön tekijä havainnoi avovesikausien 2018 ja 2019 aikana kevät- ja syystulvien muodostumista sekä seurasi säännöllisillä, YSI-ProDDS -kenttämittarilla suoritetuilla mittauksilla vedenlaadussa tapahtuneita muutoksia. Hän raportoi tutkimuskohteiden vesitilanteesta tekemänsä havainnot ja mitaustulokset Suomen ympäristökeskuksen johtavalle tutkijalle Kari-Matti Vuorelle sekä erikoistutkija Saija Koljoselle viikoittain suullisesti ja kirjallisesti. Vesitilanteesta ja vedenlaadusta tekemiensä havaintojen perusteella opinnäytetyön tekijä teki esityksen vesinäytteiden ottamisesta opinnäytetyön ohjaajana ja PuuMaVesi -hankkeen projektipäällikkönä toimineelle Vuorelle, joka teki päätöksen näytteenoton ajankohdasta ja otettavista näytteistä.

## **4.2 Tutkimuskohteet**

Tutkimusaineisto kerättiin avovesikausien 2018 ja 2019 aikana kahdelta toisistaan erillään olevalta ojitusalueelta, jotka sijaitsevat Joutsassa (Ojitusalue 1, kunnostusojitus vuonna 2008) ja Jyväskylässä (Ojitusalue 2, kunnostusojitus vuosina 2010 ja

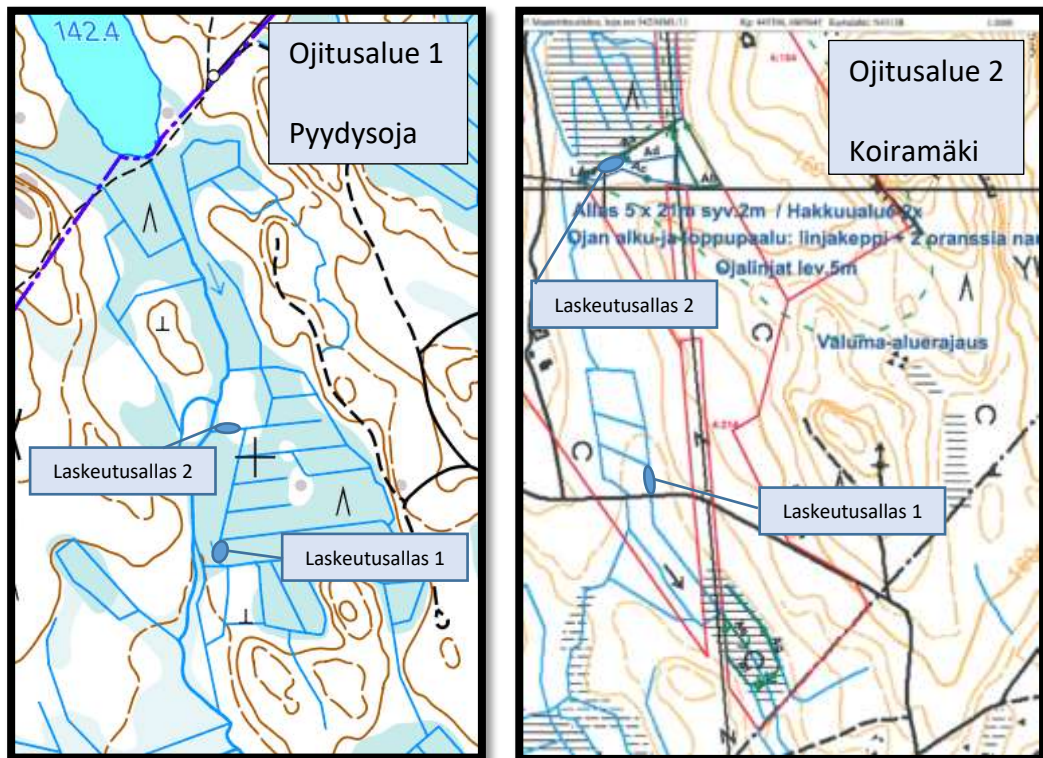
2013). Molemmilla ojitusalueilla sijaitsee kaksi laskeutusallasta, jotka on merkitty kuviossa 6 olevaan karttaan. Molempien ojitusalueiden toiseen laskeutusaltaaseen asennettiin pienpuusta tuotettuja rankanippuja toisen altaan toimiessa käsittelemättömänä verrokkialtaana.



Kuvio 6. Tutkimuskohteina olevien ojitusalueiden ja niillä olevien laskeutusaltaiden sijainti kartalla. (Maanmittauslaitoksen Karttapaikka -palvelu, muokattu.)

Kuviossa 7 esitellään tutkimuskohteina olevien ojitusalueiden kartat, joihin on merkitty perustettavilla koeyksiköillä sijaitsevat laskeutusaltaat.





Kuvio 7. Tutkimuskohteina olevien ojitusalueiden kartat. (Maanmittauslaitoksen Karttapaiikka -palvelu, muokattu.)

### Rankanippujen tuottaminen ja sijoittaminen koeyksiköillä

Rankaniput tuotettiin koeyksiköiden läheisyydessä sijaitsevilta raivauskohteilta marraskuussa 2017 kerätystä havupuuaineksesta (kuusi ja mänty), joka karsittiin, kasattiin (aluspuiden päälle) ja peitettiin (kasojen päädyt auki) koeyksiköiden läheisyyteen. Kevättalvella 2018 rangoista valmistettiin käsityönä määrämittäisiä nippuja (ks. kuvio 3: kimpun halkaisija 35 cm, pituus 200 cm, rankojen yhteenlaskettu pinta-ala 10 m<sup>2</sup>/kimppu), jotka sidottiin hamppuköydellä. Rankanippujen tuottamiseen ja kokoon liittyvät perusteet on esitetty kuvion 3 selostuksen yhteydessä sivuilla 10 - 11.

Rankaniput sijoitettiin koeyksiköiden laskeutusaltaisiin huhtikuussa 2018 ennen jäiden sulamista. Rankaniput aseteltiin jään päälle veden virtausta hidastavaan muodostelmaan. Nippujen pysyminen paikoillaan varmistettiin sitomalla niput kiinni niiden päälle asetettuihin pitkiin rankoihin, jotka estivät nippujen liikkumisen (ks. kuvio 8). Valitulla toimintatavalla haluttiin helpottaa rankanippujen asentamista muun muassa laskeutusaltaiden syvyydestä ja penkköjen jyrkkyydestä johtuvissa vaativissa

maasto-olosuhteissa. Jäiden sullettua rankaniput painuvat altaiden pohjaan asettelumukaisesti.



Kuvio 8. Huhtikuussa 2018 laskeutusaltaisiin jään päälle esiasennetut rankaniput.

### **Vesinäytteiden ottaminen**

Vesinäytteet kerättiin tulva-aikoina marraskuussa 2018, toukokuussa ja lokakuussa 2019 sekä toukokuussa 2020. Vesinäytteet otettiin kahdesta eri pisteestä: laskuojasta ennen laskeutusallasta sekä laskeutusaltaan jälkeen purkuojasta.

Näytteet otettiin Suomen ympäristökeskuksen Oulun laboratorion toimittamiin näyteastioihin, joihin merkittiin näytteiden yksilöivät tunnisteet. Välittömästi näytteiden ottamisen jälkeen näyteastiat pakattiin yhdessä kylmävaraajien ja näytteenottolähetteen kanssa kuljetuksen kestäviin kylmälaukkuihin. Näytteet toimitettiin näytteenottopäivänä Suomen ympäristökeskuksen Jyväskylän toimipisteelle, josta ne lähetettiin ovelta ovelle kuljetuspalveluna Oulun laboratorioon, jossa ne olivat perillä viimeistään seuraavana päivänä.

### **Kenttämittaukset**

Laskeutusaltaiden tulevan ja lähtevän veden laatua tarkkailtiin avovesikausien 2018 ja 2019 aikana säännöllisillä YSI-ProDDS -kenttämittarilla suoritetuilla mittauksilla (2019 3 mittausta viikossa). Esimerkki kenttämittarilla suoritettujen intensiivimittausten tuloksista esitellään liitteessä 4.

### 4.3 Aineiston analysointi

Vesinäytteet toimitettiin analysoitavaksi Suomen ympäristökeskuksen laboratorioon Ouluun, jossa määritettiin laskeutusaltaiden tulevan ja lähtevän veden ainepitoisuudet näytepisteissä näytteenottohetkellä.

### 4.4 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus

Työssä käsiteltävän tutkimusongelman avulla etsittiin metsätalouden harjoittajan omasta aloitteesta mahdollisimman luonnonmukaista ja kustannustehokasta menetelmää turvemaiden metsätaloudesta ja kunnostusojituksista aiheutuvien vesistökuormitusten vähentämiseksi. Tutkimuskohteina olevien ojitusalueiden kunnostusojitukset on toteutettu kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisina hankkeina alueellisen ELY-keskuksen ja Metsäkeskuksen valvonnassa. Hankkeiden suunnittelussa ja toteutuksessa on noudatettu hyvän metsänhoidon suosituksia. Suunnitelmien mukaisesti toteutetut, valuma-alueiden vesimääriin perustuvat vesiensuojelurakenteet ja -toimenpiteet ovat toimineet molemmilla alueilla odotetulla tavalla eikä niiden toiminnan tehostamistarpeesta ole esitetty ulkopuolista vaatimusta. Tutkimushankkeessa on siten kyse ulkopuolisista vaikuttimista vapaasta kiinnostuksesta ja halusta löytää uusia keinoja metsätalouden vesistökuormituksen vähentämiseksi.

Tutkimus toteutettiin kokonaisuudessaan PuuMaVesi -hankkeen ohjausryhmän asiantuntijoiden ohjauksessa ja valvonnassa, sekä tieteellisen tutkimuksen parhaita käytänteitä noudattaen. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Suomen ympäristökeskuksen johtava tutkija Kari-Matti Vuori, joka toimi myös hankkeen projektipäällikkönä. Ohjausryhmä koostui metsätalouden ja -teollisuuden, ympäristötieteiden, koulutuksen sekä tiedotuksen asiantuntijoista, joilla on pitkä ja monipuolinen kokemus tieteellisen tutkimuksen ohjausryhmätoiminnasta.

Tutkimushankkeen ohjausryhmän tehtävänä oli varmistaa hankkeelle varattujen resurssien riittävyys sekä valvoa rahoittajien ehtojen ja ohjeiden noudattamista. Hankkeen toimintasuunnitelman hyväksymisen jälkeen ohjausryhmä valvoi ja seurasi hankkeen sekä sen osaprojektien etenemistä ja sisällöllisten tavoitteiden saavutta-

mista. Tutkimushankkeen ohjausryhmä toimi linkkinä sidosryhmiin, joilla oli reaaliaikainen mahdollisuus seurata tutkimuksen etenemistä sekä esittää mielipiteensä muun ohella tutkimuksen luotettavuuteen liittyvien huomioiden johdosta. Ohjausryhmän eräs tärkeimmistä tehtävistä oli varmistaa, että tutkimuksessa käytetyt mitaus- ja tutkimusmenetelmät mittasivat juuri sitä tutkittavan ilmiön ominaisuutta, mitä tutkimuksella oli tarkoitus mitata.

Tutkimustehtävänä oli selvittää, muuttaako metsäojiin ja laskeutusaltaisiin lisätty rankapuuaines veden fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia. Asiaa tutkittiin kahdella toisistaan erillään olevalla ojitusalueella, joissa molemmissa oli kaksi laskeutusallasta. Molempien allasparien toiseen altaaseen tehtiin puukäsittely, ja toinen oli käsittelemätön verrokkiallas. Kaikkien altaiden tulevasta ja lähtevästä vedestä otettiin vesinäytteet Suomen ympäristökeskuksen Oulun laboratorion toimittamiin näyteastioihin. Näytteet otettiin aina samoista näytepisteistä siten, ettei näytteenotosta aiheutunut uoman pohjasedimentin häiriintymistä ja veden sekaantumista. Suomen ympäristökeskuksen Oulun laboratorio määrittäi näytteistä vedenlaatutekijät ja ainepitoisuudet. Eri näytteenottokertojen tulokset taulukoitiin ja jokaisen suureen keskiarvosta laskettiin tulevan ja lähtevän veden ainepitoisuuksien muutosprosentti (ks. liite 2). Käsiteltyjen altaiden ja verrokkialtaiden muutosprosentteja vertailtiin keskenään, ja altaiden fysikaaliskemiallisista ominaisuuksista tehdyt havainnot raportoitiin tutkimustuloksina, joita verrattiin tutkimushypoteeseihin.

Tutkimuksen kohteena olevan vesiensuojelumenetelmän toimivuutta tutkittiin samanaikaisesti samoilla koealoilla kahdella puulajin, puun tuoreuden ja sijaintisyvyyden vaikutuksia selvittäneellä, Jyväskylän yliopiston pro gradu -tutkimuksella (Saari-  
nen 2020; Kirjokivi 2020).

Tutkimuksen aikana suoritettiin YSI-ProDDS -kenttämittarilla intensiiviseurantaa, josta saatuja tuloksia verrattiin samanaikaisista vesinäytteistä saatuihin tuloksiin. Vaikka tulosten havaittiin poikkeavan jossain määrin toisistaan, kenttämittarilla saatuja tuloksia voitiin kuitenkin pitää suuntaa-antavina havaintoina erityisesti tulevan ja lähtevän veden happi- ja pH-arvojen vaihteluista kenttäkokeen aikana.

Arvioituaan tutkimusta kokonaisuudessaan kriittisesti sekä opinnäytetyön tekijä että ohjausryhmä katsoi, että tutkimus oli suoritettu kokonaisuudessaan oikein, ja että tutkimus oli siten koetusti eli loogisesti validi.

Näytteenotot ja näytteiden analysointi sekä kenttämittaukset suoritettiin asianmukaisesti sekä huolellisesti ja aina samalla tavalla. Kenttämittari kalibroitiin valmistajan ohjeiden mukaisesti säännöllisesti. Tutkimuksen kriittisessä tarkastelussa ei ilmennyt seikkoja, joiden johdosta olisi ollut syytä epäillä muuttujien välisten erojen johtuvan näytteiden ottoon ja näytteiden analysointiin tai kenttämittarin toimintaan ja mittastapaan liittyvistä tekijöistä. Tutkimusta oli siten pidettävä sisäisesti validina.

Arvioidessaan tutkimuksen tulosten yleistettävyyttä eli niiden ulkoista validiteettia opinnäytetyön tekijä sekä ohjausryhmä kiinnittivät huomiota yhtäältä ajallisten ja paikallisten toistojen vähäisyyteen ja toisaalta tutkimuksen kohteina olevien altaiden rakenteellisiin, fysikaaliskemiallisiin sekä ekologisiin eroihin. Jotta tulokset olisivat olleet paremmin yleistettävissä, tutkimuskohteina olevia altaita olisi tullut olla enemmän, ja allasparien olisi tullut olla ominaisuuksiltaan paremmin toisiaan vastavia. Seurantajakson olisi tullut olla myös pidempi, jotta vedenlaadusta tehtyjä havainnotoja olisi saatu enemmän. Tutkimusjaksolle sattui lisäksi kaksi peräkkäistä erittäin kuivaa kesää, jolloin altaissa ei ollut virtaamaa eikä näytteitä voitu ottaa. Opinnäytetyön tekijä ja ohjausryhmä katsoi edellä esitettyihin seikkoihin viitaten, että tutkimustulosten yleistettävyyteen tulisi suhtautua varauksellisesti ennen laajempien ja pitempiaikaisten seurantatulosten valmistumista.

## 5 Tulokset

### 5.1 Rankanippujen valmistus ja asennus

Rankanippujen tuottaminen vaihe vaiheelta käsityönä on suhteellisen hidasta ja siten epätarkoituksenmukaista yleisemmin käytettynä työmenetelmänä. Samaa päätelmään ovat sittemmin päätyneet myös Naamijoen vesiensuojeluhankkeen toimijat, jotka kuvaavat kokemuksiaan rankanippujen tuottamisesta ja asentamisesta liitteessä 7. Kenttäkokeessa käytettyjen rankanippujen (29 kpl) valmistukseen (puiden kaa-

taminen ja karsiminen, rankanippujen kokoaminen ja kuljettaminen altaalle) ja asentamiseen kului opinnäytetyön tekijältä yhteensä viisi työpäivää. Työmenekkiä lisäsi erityisesti ojitusalueen 1, Pyydysoja, laskeutusaltaan sijainti. Maasto-olosuhteiden vuoksi valmiita nippuja tai rankoja ei voitu kuljettaa altaalle konetyönä, vaan tarvittava määrä rankoja täytyi siirtää noin 300 metrin matka kantamalla ja vetämällä altaan viereen, jossa nippujen kokoaminen ja asentaminen tapahtui käsityönä. Ojitusalueen 2, Koiramäki, laskeutusaltaaseen asennetut rankaniput voitiin sitä vastoin kuljettaa asennusvalmiina maataloustraktoriin kytketyllä perävaunulla tietä pitkin aivan laskeutusaltaan viereen ja asentaa suoraan perävaunusta laskeutusaltaan jälle.

Rankanippujen esiasentaminen jälle valikoitui kenttäkokeen työmenetelmäksi yhtäältä nippujen painon ja toisaalta maasto-olosuhteiden vuoksi. Painavien rankanippujen asentaminen paikoilleen käsityönä olisi ollut sulan veden aikana erittäin vaikeaa. Sitä vastoin jäätä hyödyntäen opinnäytetyön tekijä kykeni yksin esiasentamaan rankaniput paikoilleen laskeutusaltaiden jälle (ks. kuvio 8).

Kuviosta 8 ilmenevällä tavalla rankaniput kiinnitettiin pitkiin rankoihin, joiden tehtävänä oli varmistaa nippujen pysyminen paikoillaan. Rankaniput vajosivat odotusten mukaisesti jään sulaessa altaan pohjalle ja pysyivät paikoillaan koko kenttäkokeen ajan. Rankanippujen valmistus ja asennus toteutui kenttäkokeessa tutkimussuunnitelman mukaisella tavalla.

Kenttäkokeessa käytetystä puusta ei aiheutunut laskennallista materiaalikustannusta, sillä rankaniput valmistettiin maanomistajan nuoren metsän kunnostuskohteelta kerätystä pienpuusta, joka olisi muussa tapauksessa jätetty metsään lahoamaan. Mainittakoon, että uppopuuna rangat ovat lahoamisen sijaan huomattavan pitkäaikainen hiilivarasto.

Ainoa rankanippujen valmistuksesta aiheutuva materiaalikustannus aiheutui nippujen sitomiseen käytetyn, luonnonkuidusta valmistetun köyden hankinnasta. Köyttä (paksuus 10 mm) kului yhteensä 90 juoksumetriä, jota määrää vastaava hankintakustannus oli 69,50 euroa.

## 5.2 Vesinäytteiden tulokset

Vesinäytteet kerättiin näytepisteistä syys- ja kevättulvien aikoina neljänä eri kertana: 20.11.2018, 6.5.2019, 14.10.2019 sekä 26.4.2020. Vesinäytteet toimitettiin Suomen ympäristökeskuksen toimipisteeseen Jyväskylään, josta ne lähetettiin edelleen Suomen ympäristökeskuksen laboratorioon Ouluun analysoitaviksi.

Ilmeisesti koronatilanteen aiheuttaman häiriön vuoksi 26.4.2020 otettujen näytteiden toimitus Jyväskylästä Oulun laboratorioon viivästyi siinä määrin, että näytteet ehtivät vanhentua eikä niitä voitu enää analysoida. Hankkeelle varattujen resurssien niukkuuden vuoksi ei ollut mahdollisuutta ottaa uusia vesinäytteitä hukkaan menneiden tilalle.

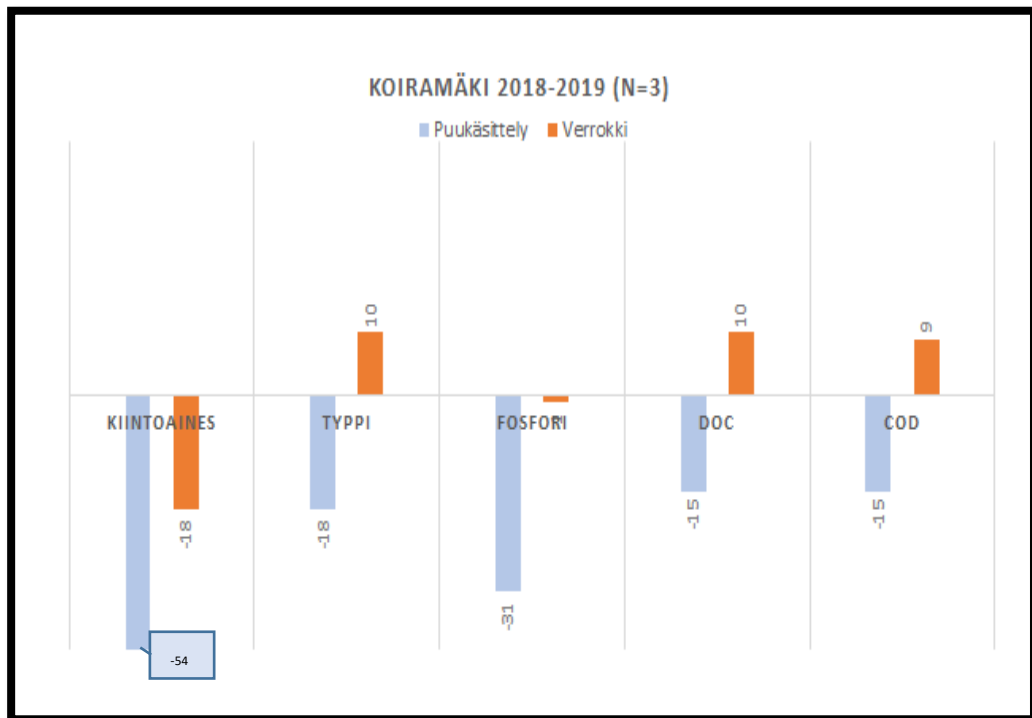
Pyydysojan käsitellyn altaan lähtevästä vedestä 14.10.2019 otettujen näytteiden ainepitoisuuksissa havaittiin poikkeavuutta aiempien vesinäytteiden ainepitoisuuksista tehtyihin havaintoihin verrattuna. PuuMaVesi -hankkeen ohjausryhmän asiantuntijoiden käsityksen mukaan näytteen tulos oli oikea. Heidän mielestään lähtevän veden poikkeavat ainepitoisuudet johtuivat siitä, että laskeutusaltaan normaali toiminta oli häiriintynyt ennen näytteenottoa tapahtuneen voimakkaan altaassa liikkumisen seurauksena. Samassa altaassa toteutettiin 28.5. - 27.9.2019 välisenä aikana puulajin, puun tuoreuden sekä sijoitusyvyuden vaikutusta biofilmin muodostumiseen (Kirjokivi 2020) ja pohjaeläinten lajimäärään ja runsauteen (Saarinen 2020) selvittäneet tutkimukset. Tutkimuksen aikana tutkimuksen tekijät joutuivat työskentelemään kahluuhaalareissa altaassa sekä ottamaan pohjaeläinnäytteitä. Lisäksi hirvet käyttivät laskeutusallasta säännöllisesti juomapaikkanaan sekä kahluupaikkanaan. Hirvien liikkuminen altaassa oli tutkimuksen tekijän havaintojen mukaan lähes päivittäistä sen jälkeen, kun puheena olevat koekehikot poistettiin 24.9.2019. PuuMaVesi -hankkeen ohjausryhmän asiantuntijat katsoivat, että vaikka Pyydysojan koalueelta 14.10.2019 otetuista vesinäytteistä todetut käsitellyn altaan ainepitoisuudet poikkesivat, oletetusti edellä kuvatuista syistä johtuen, osin huomattavasti aiemmin mitatuista ainepitoisuuksista, voitiin näytteistä saadut havainnot kuitenkin huomioida tutkimuksessa tarkasteltavina olleiden suureiden osalta.

Myös Koiramäen verrokkialtaan lähtevästä vedestä 14.10.2019 otettujen näytteiden ainepitoisuuksissa havaittiin erittäin suuria poikkeamia aiempien vesinäytteiden ai-

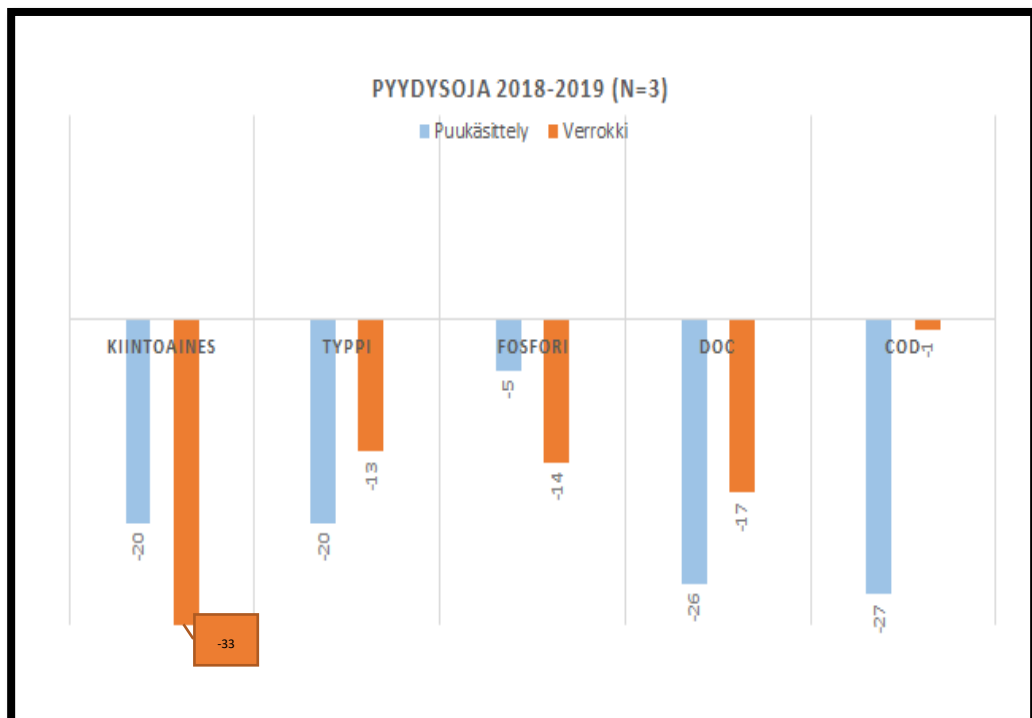
nepitoisuuksista tehtyihin havaintoihin verrattuna. Esimerkiksi lähtevän veden kiintoainepitoisuus oli yli 15-kertainen, fosforin pitoisuus lähes nelinkertainen ja typen pitoisuus yli kaksinkertainen tulevan veden pitoisuuksiin verrattuna. Oletettavasti tulevan veden suhteellisen voimakas näytteenotonaikainen virtaama irrotti laskeutusaltaan pohjasta kiintoainesta, humusta, ravinteita sekä muita aineita, mikä seikka näkyi kohonneina ainepitoisuuksina lähtevässä vedessä. PuuMaVesi -hankkeen ohjausryhmän asiantuntijat katsoivat, että vaikka Koiramäen verrokkialtaasta 14.10.2019 otetuista vesinäytteistä todetut kohonneet ainepitoisuudet johtuivat oletettavasti ennen muuta kyseisen laskeutusaltaan heikosta kiintoaineksen pidätyskyvystä kohonneen virtaaman aikana, poikkesivat lähtevästä vedestä saadut havainnot tutkimuksen kannalta keskeisten suureiden osalta niin paljon aiemmista havainnoista, ettei niitä voitu huomioida tuloksissa (ks. liite 1).

Kuvioissa 9 ja 10 esitetään Koiramäen ja Pyydysojan allasparien keskimääräinen ainepitoisuuksien muutos (pitoisuuksien kasvu positiivisena ja alenema negatiivisena prosenttisarvona) vertailtaessa altaasta lähteviä pitoisuuksia altaaseen tuleviin pitoisuuksiin. Koska Koiramäen verrokkialtaasta 14.10.2019 otetuista näytteistä saatuja havaintoja ei voitu huomioida tuloksissa, PuuMaVesi -hankkeen ohjausryhmän asiantuntijoiden mielestä oli perusteltua laskea kuviossa esitetyt muutosprosentit ainepitoisuuksien keskiarvoista (ks. liite 2).





Kuvio 9. Koiramäen allasparien keskimääräisten ainepitoisuuksien muutos prosentteina vertailtaessa altaasta lähteviä pitoisuuksia altaaseen tuleviin pitoisuuksiin. (PuuMaVesi -hanke, muokattu.)



Kuvio 10. Pyydysojanallasparien keskimääräisten ainepitoisuuksien muutos prosentteina vertailtaessa altaasta lähteviä pitoisuuksia altaaseen tuleviin pitoisuuksiin. (PuuMaVesi -hanke, muokattu.)

Kuvioista 9 ja 10 voidaan havaita, että puukäsittely tehosti laskeutusaltaiden toimintaa kaikkien tässä tutkimuksessa käsiteltyjen vedenlaatuparametrien osalta. Ravin- teet, kiintoaines, kemiallinen hapenkulutus sekä liuennut hiili vähenivät systemaatti- sesti puukäsitellyissä altaissa.

Liitetiedoissa (liitteet 1 ja 2) esitetyistä ainepitoisuuksista voidaan havaita, että vesinäytteistä mitatut tulevan veden kevät- ja syystulvien aikaiset kiintoainepitoisuu- det olivat melko pieniä. Tämä kertoo oletettavasti siitä, että laskeutusaltaita edeltä- vien ojastojen vesiensuojelurakenteet, kuten virtaamansäädöt, olivat toimineet tut- kimusjakson aikana melko hyvin, jolloin eroosio ei ole ollut kenttätutkimuksen aikana kovin voimakasta.

Liitteistä ja kuviosta ilmenevällä tavalla sekä käsitellyt altaat että verrokialtaat pidät- tivät kiintoainesta. Koiramäessä käsitelty allas vähensi kiintoaineksen määrää 54 pro- senttia ja verrokiallas 18 prosenttia. Sitä vastoin Pyydysojalla verrokiallas vähensi kiintoaineksen määrää 33 prosenttia ja käsitelty allas 20 prosenttia. Koska altaiden tulevan veden kiintoainepitoisuuksissa ei havaittu kovin suuria eroja, allasparien ja käsiteltyjen altaiden pidätyskyvyn välinen ero johtui oletettavasti ainakin osittain rankanippujen asennussyvyydestä johtuvista syistä. Koiramäessä niput voitiin altaan muodon ja matalamman syvyyden johdosta asentaa melko lähelle pintaa (nipun ylä- pinta noin 5 - 10 cm normaalivedenkorkeuden mukaisen vedenpinnan alapuolella), jolloin ne kykenivät paremmin rajoittamaan tulva-aikaista virtaamaa sekä suodatta- maan pintaveden mukanaan kuljettamaa kiintoainesta. Sitä vastoin Pyydysojalla ran- kanippuja ei altaan syvyydestä (keskeltä noin 2,5 metriä) johtuen voitu asentaa lähel- le pintaa vaan niput asennettiin altaan pohjaan, jolloin nippujen yläpinnat olivat al- taan reuna-alueilla 30 - 50 cm syvyydessä ja keskemällä allasta 100 - 150 cm syvyy- dessä vedenpinnasta. Kuviosta 8 ilmenevällä tavalla rankanippuja ei asennettu altaan syvimmälle kohdalle.

Tutkimustulosten perusteella on oletettava, että kiintoaineksen sekä humuksen pi- dättymisen tehostamiseksi puuta hyödyntävän vesiensuojelurakenteen yläpinta on asennettava tulva-aikaisen vedenpinnantason yläpuolella ja rakenteen on yllettävä altaan pohjaan asti. Oletusta tukee Karstulassa toteutettu kenttäkoe, jossa uuteen laskeutusaltaaseen rakennettiin kaksi niin kutsuttua puukasettia (ks. kuvio 11). Tule- van ja lähtevän veden näytteistä saatujen tulosten mukaan allas vähensi 77 prosent-

tia kiintoainesta. Kuvion 11 oikeanpuoleisessa kuvassa on Karstulan altaan tulevasta ja lähtevästä vedestä kuvausta varten otetut näytteet, joista voi silminnähdessä havaita veden värissä tapahtuneet muutokset.



Kuvio 11. Puukasettirakenteet sekä vesinäytteet tulevasta (oikeanpuoleinen astia) ja lähtevästä vedestä (vasemmanpuoleinen astia).

Asennussyvyyden merkitystä puurakenteen pidätyskyvyn suhteen tukee myös Tomi Kirjokiven (2020) sekä Milla Saarisen (2020) Pyydysojan ja Koiramäen koelaoilla suorittamien tutkimusten tulokset. Kirjokiven havaintojen mukaan puun pinnalle muodostuneen biofilmin biomassat olivat suurempia matalalla, noin 10 cm syvyydellä, kuin syvällä, noin 50 cm syvyydellä, vedenpinnasta (Kirjokivi 2020, 24). Saarisen havaintojen mukaan puulajin ja sen pinnalle kehittyvän biofilmin määrän lisäksi puuaineksen sijaintisyvyys vaikutti pohjaeläinten lajimäärän ja runsauden vaihteluun.

Pyydysojan käsitellyn altaan verrokkiallasta pienempi fosforin vähentyminen johtui oletettavasti käsitellyn altaan aiemmin edellä kuvatusta häiriintymisestä ennen 14.10.2019 suoritettua näytteenottoa. Aiempien havaintojen perusteella käsitelty allas oli vähentänyt fosforia verrokkiallasta enemmän (ks. liite 1 ja 2). Koiramäen käsitelty allas vähensi fosforia 31 prosenttia ja verrokkiallas 1 prosenttia.

### 5.3 Laskennallinen arvio puunlisäyksen vaikutuksesta hyönteisten ja denitrifikaation kautta poistuvista ravinnemääristä

PuuMaVesi -hankkeen kirjallisuuskatsauksessa esitettiin arvio opinnäytetyössä toteutetun puunlisäyksen vaikutuksesta hyönteisten ja denitrifikaation kautta poistuvista ravinnemääristä. Laskelmassa arvioitiin, että toteutetulla puunlisäyksellä fosforin poistuma aikuistuvassa hyönteisbiomassassa voisi olla enimmillään jopa 10 % ja typen poistuma noin 5 % metsätalousalueen kokonaiskuormituksesta. Laskelmassa denitrifikaation kautta ilmakehään vapautuvan typen määräksi yhden rankanipun osalta arvioitiin noin 28 grammaa typpeä vuodessa, mikä vastaa suurusluokaltaan maksimiarviota yhdeltä puunipulta aikuistuvien hyönteisten biomassan mukana poistuvan typen vuotuisesta määrästä (noin 25 g N). (Salmelin, Hämäläinen, Vuori & Nieminen 2020, 26 - 27.)

#### **Pohjaeläintutkimukset**

Pohjaeläintutkimukset toteutettiin Koiramäen ja Pyydysojan altailla syksyllä 2018. Lisäksi Koiramäen puukäsitellyllä altaalla otettiin seurantanäytteet vuonna 2019. Samanaikaisesti käynnissä olleen Saarisen (2020) tutkimuksen vuoksi seurantanäytteitä ei otettu Pyydysojan puukäsitellystä altaasta. Näytteenotossa sovellettiin järvilitoraalien standardoitua näytteenoton menetelmää. Näytteet otettiin potkuhaavilla, jonka havaksen silmäkoko oli 400 µm. Puukäsitellyillä altailla avustaja heilutti rankanippua näytteenottajan survoessa samanaikaisesti haavilla tukin vierustan pohja-ainesta. Näytteenottaja eteni 20 sekunnin ajan noin kahden metrin matkan ja kauhoi lopuksi samentuneen vesimassan haavin läpi. Verrokialtaissa näytteenottaja otti näytteen itsenäisesti. Kaikista altaista otettiin kolme rinnakkaista näytettä edeten virtaussuunnan suhteen siten, että ensimmäinen näyte otettiin altaan alaosasta, toinen keski-osasta ja kolmas yläosasta. Näytteet seulottiin sankiseulassa ja varastoitiin näyterasioihin 70-prosenttiseen etanoliin. Lajimäärityksistä vastasi PuuMaVesi -hankkeen tilaama konsultti. Pohjaeläintulokset esitetään taulukkona liitteessä 4.

Puukäsittelyissä altaissa näytteiden taksonimäärä vaihteli Koiramäessä 8 - 12 ja Pyydysojalla 5 - 9 lajin välillä. Yksilömäärä puukäsitellyissä altaissa vaihteli Koiramäessä

116 - 292 ja Pyydysojalla 16 - 164 yksilön välillä. Käsittelemättömissä altaissa määrät jäivät alhaisiksi sekä taksoniluvun (3 - 5) että yksilömäärien (10 - 57) osalta. Keskimääräinen lajirunsaus oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi puukäsittelyissä kuin käsittelemättömissä altaissa (M-W U-testi,  $p < 0.01$ ) sekä Koiramäen että Pyydysojan allaspareissa. Vastaavasti kokonaisyksilömäärät olivat puukäsittelyissä altaissa merkitsevästi korkeammat kuin käsittelemättömissä altaissa (M-W U-testi,  $p < 0.001$ ) molemmilla allaspareilla. Sekä pohjaeläinmäärä että lajirunsaus kasvoi Koiramäen puukäsittelyssä altaassa merkitsevästi vuoden 2019 näytteissä (M-W U-testi,  $p < 0.01$ ).

Puukäsittelyissä altaissa yleisimmät ja runsaimmat taksonit ja pohjaeläinryhmät koostuivat surviaissääskistä (Chironomidae), päivänkorennoista (Ephemeroptera), vesisiirroista (Isopoda) ja sudenkorennoista (Odonata). Verrokkialtaiden harva eliöstö koostui pääosin surviaissääskistä.

## 6 Johtopäätökset

Tutkimuskoeasetelmaa varten asetettiin nollahypoteesi ja kaksi vaihtoehtoista hypoteesia seuraavasti:

***H<sub>0</sub>***: *Rankapuuaineksella ei ole vaikutusta laskeutusaltaisiin tulevan ja siitä lähtevän veden fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin.*

Tutkimustulosten perusteella tämä hypoteesi jäi voimaan hapen ja pH:n osalta. Näiden muuttujien osalta ennakoitiin mahdollista vedenlaadun heikkenemistä eli happivajasta ja happamoitumista. YSI-ProDDS -kenttämittarilla toteutettujen intensiiviseurantojen perusteella happi- ja pH-arvoissa ei havaittu merkitseviä eroja tulevassa ja lähtevässä vedessä koko seurantajakson aikana. Esimerkki kenttämittaustuloksista on esitetty liitteessä 3.

***H<sub>1</sub>***: *Rankapuuaines vähentää ainepitoisuuksia.*

Tämä hypoteesi jäi voimaan kaikkien tässä tutkimuksessa käsiteltyjen vedenlaatuparametrien osalta. Ravinteet, kiintoaines ja liuennut hiili vähenivät systemaattisesti puukäsittelyissä altaissa.

*H<sub>2</sub>: Rankapuuaines lisää ainepitoisuuksia.*

Tämä hypoteesi kumoutui.

Yhteenvetona voidaan todeta, että uppopuusto toimi laskeutusaltaissa teoriaoletusten mukaisesti tehostaen kiintoaine-, ravinne- ja humuskuormituksen pidättymistä. Laskeutusaltaiden puukäsittely voidaan luvussa 4.4 esitellyin, tutkimustulosten yleistettävyyteen liittyvin varauksin suositella otettavaksi laajaan käyttöön metsätalouden vesiensuojelussa.

Tutkimus osoitti, että laskeutusaltaisiin lisättävä puuaines kasvattaa hyödynnettävissä olevien ravintoresurssien määrää ja lisää habitaattien rakenteellista monimuotoisuutta, sekä samalla pohjaeläinten runsautta ja monimuotoisuutta.

Rankanippujen tai muiden puuta hyödyntävien vesiensuojelurakenteiden valmistaminen käsityönä soveltuu lähinnä metsänomistajan omatoimisesti tai talkootyönä toteutettavaksi menetelmäksi esimerkiksi silloin, kun halutaan tehostaa jo olemassa olevan laskeutusaltaan ja ojaston pidätyskapasiteettia tai halutaan paikallisesti ehkäistä eroosiota virtaamaa ja veden korkeutta säätämällä.

Vesiensuojelurakenteisiin käytettävän puuaineksen korjuutyö, kuljetus ja asennus on kustannustehokkainta suorittaa kokonaisuudessaan konetyönä. Käytettävä puuaines voidaan useimmiten korjata ja valmistaa ojitussuunnitelmassa huomioidulla tavalla metsäkoneella ojalinjojen aukaisun tai muun hakkuutyön yhteydessä vähempiarvoisesta pienpuusta kuten latvuksista ja kuljettaa metsätraktorilla suunniteltujen vesiensuojelurakenteiden rakennuspaikoille odottamaan kaivutyön yhteydessä kaivinkoneella tehtävää asennusta (ks. liitteet 5 ja 7).

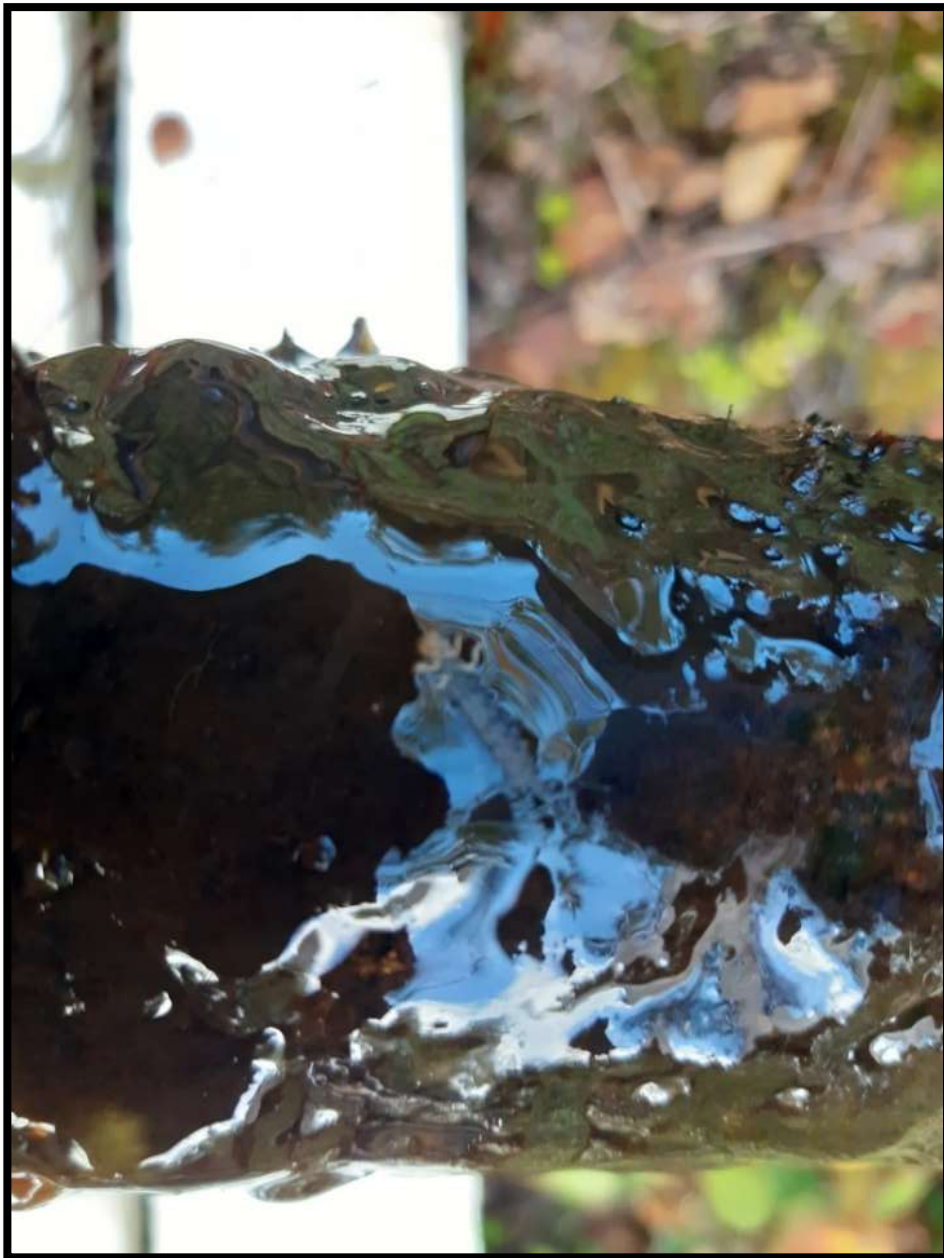
## **7 Pohdinta**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voidaanko luonnon omien ekosysteemipalvelujen toimintaa simuloimalla ja hyödyntämällä lisätä nykyisin käytettävien metsätalouden vesiensuojelumenetelmien - ja rakenteiden pidätyskapasiteettia asentamalla ojitusalueiden laskeutusaltaisiin pienpuusta tuotettuja rankanippuja. Selvityksen tarpeellisuus korostui tutkimushankkeen aikana erityisesti sen jälkeen,

kun MetsäVesi -hankkeessa vuonna 2019 tuotettujen uusien valtakunnallisten arvioiden myötä selvisi, että metsätalouden osuus kaikesta ihmistoiminnan aiheuttamasta typen ja fosforin kuormituksesta on noin kaksinkertainen Suomen virallisissa tilastoissa vuonna 2018 esitettyihin lukuihin nähden. MetsäVesi -hankkeen tutkijat yhdessä hankkeen ohjausryhmän jäsenten kanssa katsoivat loppuraportissaan, että kiintoaineskuormituksen vähentäminen on edelleen tärkein suunnittelussa huomioitava asia ja sen hallinnassa on käytettävä kohdekohtaisesti parhaita mahdollisia ratkaisuja. Lisäksi he esittivät, että liukoisten ravinteiden kiinniottoon soveltuvia menetelmiä tulee kehittää ja niitä tulee hyödyntää vanhojen ojitusalueiden kunnostuskohteissa, ja että metsätalouden vesiensuojelumenetelmiä ja -ratkaisuja sekä niiden suunnittelua tulisi kehittää erityisesti turvemaidilla. (Finèr ym. 2020.) MetsäVesi -hankkeen loppuraportissa esitetyt uudet tiedot metsätalouden vesistökuormituksesta sekä metsätalouden vesiensuojelun kehittämisehdotukset osoittivat, että opinnäytetyön aihe sekä aiheen ajankohtaisuus ja tärkeys oli perusteltu relevantisti niin metsätalouden koko arvoketjun kuin laajemman yhteiskunnallisen merkityksen näkökulmasta.

Aihealuetta koskevissa aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että järvien ranta-veisiin, jokien ja purojen uomiin sekä muihin vesimuodostumiin luontaisesti kulkeutunut kuollut puuaineksi puhdistaa vettä, lisää vesiluonnon monimuotoisuutta ja parantaa kalakantojen tilaa. Tutkimusten mukaan veteen uponneen puuaineksen pinoilla alkaa kasvaa bakteereja, leviä ja sienirihmastoja, jotka yhdessä muodostavat puun pinnalle päällyskasvuston eli biofilmin. Kasvustoa hyödyntävät puolestaan mikrokooppiset ja makroskooppiset selkärangattomat sekä niitä ravintonaan käyttävät selkärangattomat ja selkärangattomat pedot. (Alsfeld ym. 2009; Frainer ym. 2018; Suomen ympäristökeskus 2018.) Tämän opinnäytetyön sekä Kirjokiven (2020) ja Saarisen (2020) pro gradu -tutkielmien kenttäkokeiden koejärjestelyistä saadut kokemukset sekä tutkimusten tulokset osoittivat, että simuloitaessa luonnon omien ekosysteemi- palvelujen toimintaa, tavoitellun lopputuloksen (hyödyn) saavuttaminen edellyttää kaikkien luonnon vaatimien fysikaaliskemiallisten ja biologisten prosessien tuntemista sekä niiden samanaikaista huomioimista, toteuttamista ja hallintaa. Kaikki kolme puukäsittelyn vaikutusta selvittävää tutkimusta osoittivat yhdessä ja erikseen, että näissä prosesseissa ainakin puulajilla ja puuaineksen sijoitusvyvydellä on huomatta-

va merkitys sekä biofilmin määrään että pohjaeläinten lajimäärän ja runsauden vaihteluun. Kuvioista 12 voi havaita, että kuusesta valmistetun koekappaleen pinnalla on runsaasti biofilmiä ja sitä hyödyntäviä pohjaeläimiä. Sitä vastoin kuvioista 13 voi todeta, että koivusta valmistettujen koekappaleiden pinnalle on muodostunut merkittävästi kuusta vähemmän biofilmiä sijoitusyvyydestä riippumatta. Saarisen (2020) mukaan myös pohjaeläinten laji- ja yksilömäärät olivat koivun pinnalla kuusta vähäisemmät.



Kuvio 12. Biofilmin ja sitä hyödyntävien pohjaeläinten runsautta kuusesta valmistetun koekappaleen pinnalla.





Kuvio 13. Koivusta valmistettuja koekappaleita tutkimuskehikossa.

Kuviossa 14 esitellään Koiramäen puukäsittely allas syyskuussa 2020 vallinneessa tilanteessa, jossa puukäsittelyn aloittamisesta on kulunut aikaa runsas kaksi vuotta (vrt. kuvio 8). Välittömästi rankanippujen asentamisen jälkeen ylävirran puolella olevien rankanippujen väleihin alkoi keräytyä runsaasti kiintoainesta, jonka pinta kohosi nopeasti nippujen alapinnan yläpuolelle. Kesän 2018 edetessä ja virtaaman vähentyessä kiintoaineksen muodostamista särkistä alkoi nousta kuvassa näkyvää kasvillisuutta, jota ei ennen puukäsittelyä altaassa ollut. Laskeutusaltaan toiminnan arvioinnin osalta herää jatkotutkimuksia ajatellen kysymys, mikä osa ravinteiden pidätyksestä on seurausta biofilmin toiminnasta ja mikä altaaseen puukäsittelyn jälkeen muodostuneen kasvillisuuden ansiota? Sen paremmin verrokkialtaisiin kuin Pyydysojan käsitellyyn altaaseen vastaavaa tai muuta kasvillisuutta ei muodostunut tutkimusjakson aikana.



Kuvio 14. Koiramäen käsiteltyyn altaaseen muodostunutta kasvillisuutta.

Kuviossa 15 esitellään Koiramäen puukäsitellyssä laskeutusaltaassa toukokuussa 2020 havaittua runsasta sammakonkutua. Opinnäytetyön tekijä havaitsi kuvauspäivänä (7.5.2020) altaassa ja sen purkuojassa yhteensä noin 120 - 140 aikuista sammakkoa. Ennen puukäsittelyn aloittamista sammakoista oli laskeutusaltaasta ja sen läheisyydestä ainoastaan satunnaisia havaintoja. Kesällä ja syksyllä 2020 tehtyjen jälkihavaintojen perusteella sammakoiden ilmestymisen jälkeen altaalla on vierailut kahlaajien, minkin, ketun ja supikoiran lisäksi myös saukko.



Kuvio 15. Sammakonkutua Koiramäen puukäsittelyssä altaassa toukokuussa 2020.

Vaikka edellä esitetyt, lasketusaltaista tehdyt opinnäytetyön tekijän silminnäkijähavainnot on jätetty tutkimuksen tarkasta rajaamisesta johtuen pois tulosten raportoinnista, ne kuitenkin tarjoavat arvokasta tietoa puukäsittelyn syy-seuraussuhteiden pohdinnan tueksi suunniteltaessa tulevia aihealuetta käsitteleviä tutkimushankkeita ja niiden koejärjestelyjä.

PuuMaVesi -hankkeen tiedot löytyvät Suomen ympäristökeskuksen verkkosivuilta lyhytosoitteesta <https://www.syke.fi/hankkeet/PuuMaVesi>. Verkkosivuilla on linkit hankkeen julkaisemaan kirjallisuuskatsaukseen sekä hankkeen yhteydessä julkaistuihin tutkimuksiin. Lisäksi sieltä löytyvät linkit muun ohella hankkeen Twitter -tilille sekä eri medioiden ja kanavien tutkimushankkeesta julkaisemiin uutisiin ja videoihin (Suomen ympäristökeskus 2020). Aktiivisen tiedottamisen ansiosta hanke on saanut laajaa huomiota, ja metsäalan eri toimijoiden kiinnostus menetelmää kohtaan on kasvanut hankkeen edetessä. Metsäkeskuksen keväällä 2020 metsänomistajille suun-

taaman kyselyn perusteella kyselyyn vastanneista metsänomistajista 80 % ilmoitti voivansa olla kiinnostunut kokeilemaan puumateriaalia vesiensuojelun tehostamiseen, mikäli sopiva paikka löytyisi. Metsäammattilaisille (vastanneista 89 % ilmoitti toimivansa viikoittain metsätalouden vesiensuojelun parissa) suunnatun kyselyn tulosten mukaan 90 % vastanneista oli kiinnostunut menetelmän käyttöönotosta.

Metsäkeskus valmistelee parasta aikaa puukäsittelyn toimintamallia. Toimintamallista on tarkoitus toteuttaa sen valmistumisen jälkeen koulutusvideo alan toimijoiden käyttöön.

Metsäkeskus voi myöntää suometsien hoitoon tarkoitettua kestävän metsätalouden rahoituslain mukaista Kemera -tukea puukäsittelyllä tehtävään vesiensuojelutyöhön ojitetun alueen kunnostamisen yhteydessä.

Metsäkeskus toteutti 16.9.2020 *Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin* -webinaarin, jossa PuuMaVesi -hankkeen projektipäällikkö Kari-Matti Vuori kertoi, miten uppopuu pysäyttää ravinteita ja lisää luonnon monimuotoisuutta. Metsäkeskuksen Asta Vaso esitteli hankkeessa toteutettuja kohteita ja Juha Jämsen esitteli alustavan puukäsittelyn toimintamallin sekä jatkotoimenpiteitä. Webinaarin jälkeen Metsäkeskuksen osallistujille suorittaman kyselyn mukaan lähes 94 % vastanneista oli sitä mieltä, että menetelmää tulisi ryhtyä käyttämään laajemmin luonnonhoidossa.

Metsätalouden vesiensuojelupäivillä 2019 Kari-Matti Vuori esitteli PuuMaVesi -hanketta ja samalla myös tämän opinnäytetyön silloin alustavia tutkimustuloksia. Esityksen materiaali on nähtävissä osoitteessa

<https://www.metsakeskus.fi/metsatalouden-vesiensuojelupaivat-materiaalit>. (Metsäkeskus 2019.) PuuMaVesi -hankkeen ohjausryhmän pyynnöstä tämän opinnäytetyön tekijä toteutti vesiensuojelupäivien yhteydessä Kerimäellä sijaitsevaan laskeutusaltaaseen puukäsittelyn yhdessä paikallisten koneyrittäjien kanssa. Puukäsittely laskeutusallas toimi vesiensuojelupäivien esittelykohteena. Allas ja sen putkipatorakenteet ennen puukäsittelyä on esitelty kuvioissa 1 ja 2. Kuvasarja altaan puukäsittelyn toteutuksesta esitellään liitteessä 5.

Esimerkkinä menetelmän käytöstä esitellään tässä yhteydessä Freshabit -hankkeena toteutettu Naamijoen vesiensuojelun toimenpidesuunnitelman 2019 mukainen puu-

käsittely, jota koskevan työohjeluonnoksen opinnäytetyön tekijä on laatinut yhdessä Suomen ympäristökeskuksen erikoistutkija Saija Koljosen kanssa. Työohjeluonnos sekä toimijoiden kokemuksia rankanippujen asentamisesta esitellään liitteissä 6 ja 7.

Kun huomioidaan erityisesti opinnäytetyön luonne (esiselvitys) ja sen avulla saatu selvitys puukäsittelyn vaikutuksista laskeutusaltaan toimintaan ja monimuotoisuuden sekä opinnäytetyön myötä käynnistynyt PuuMaVesi -hanke kokonaisuudessaan, metsätalouden vesiensuojelun kehittämisprojektina toteutettua opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena.

Kuten tästä raportista ilmenee, avoimia kysymyksiä puukäsittelyn vaikutuksista laskeutusaltaiden toimintaan jäi tutkimushankkeen päättyessä paljon. Itse asiassa niitä on huomattavasti enemmän kuin ennen selvitystyön aloittamista. Aihealueen tutkimusta on siis jatkettava.

## Lähteet

- Alsfeld, A., Bowman, J. & Deller-Jacops, A. 2009. Effects of woody debris, microtopography and organic matter amendments on the biotic community of constructed depressional wetlands. *Biological Conservation* 142 (2):247-255. Viitattu 26.10.2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320708003996>
- Finèr, L., Mattson, T., Koivusalo, H., Laurèn, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S. & Vuollekoski, M. 2010. Vesistökuormituksen laskenta metsäisiltä valuma-alueilta. *Suomen ympäristö* 10/2010, 33.
- Finèr, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T., & Ukonmaanaho, L. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 – MetsäVesi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6. Viitattu 18.10.2020. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162009>
- Frainer, A., Polvi, L., Jansson, R. & McKie, B. 2018. Enhanced ecosystem functioning following stream restoration: The roles of habitat heterogeneity and invertebrate species traits. *Journal of Applied Ecology* 55 (1): 377-385. Viitattu 23.10.2020. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/toc/13652664/2018/55/1>
- Hellsten, S. 2017. Kohonneita typpipitoisuuksia havaittu yleisesti. Referoitu haastattelu Lunnanvarakeskuksen verkkosivuilla julkaistussa artikkelissa: Soiden ojittaminen näkyy vesistöissä yhä enemmän. Viitattu 1.11.2017. <https://www.luke.fi/uutiset/soiden-ojittaminen-nakyy-vesistoissa-yha-enemman/>.
- Hoffmann, A. & Hering, D. 2000. Wood-Associated Macroinvertebrate Fauna in Central European Streams. *International Review of Hydrobiology* 85:25-48. Viitattu 26.10.2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291522-2632%28200003%2985%3A1%3C25%3A%3AAID-IROH25%3E3.0.CO%3B2-R>.
- Joensuu, S., Kauppila, M., Linden, M. & Tenhola, T. 2012. Hyvän metsänhoidon suositukset - Vesiensuojelu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. Viitattu 1.11.2017. <http://www.metsanhoitosuositukset.fi/suositukset/vesiensuojelu/>.
- Jämsen, J. & Marttila, H. 2011. Ohjeistus virtaamansäätöpadon rakentamiseen. Metsäkeskuksen julkaisu 5/2011. Metsäkeskus Keski-Suomi. Viitattu 12.11.2020. <https://www.metsakeskus.fi/julkaisut/ohjeistus-virtaamansaatopadon-rakentamiseen>.
- Kirjokivi, T. 2020. Puulajin, puun tuoreuden ja sijoitussyvyyden vaikutus biofilmin muodostumiseen vesiympäristössä. Jyväskylän yliopisto. Ympäristötieteen pro gradu -tutkielma. Viitattu 18.10.2020. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/69755>
- Koistinen, A. 2020. Mikromuoveja löytyy kaikkialta vesistöissä, määrät vesieliöissä ja kaloissa vaihtelevat. Mikromuovit Suomen vesistöissä – mahdollisten uhkien selvitys (MIF). Suomen ympäristökeskuksen ja Itä-Suomen yliopiston tiedote 24.8.2020.

- Viitattu 13.11.2020. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuoveja\\_loytyy\\_kaikkialta\\_vesistois\(58322\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuoveja_loytyy_kaikkialta_vesistois(58322)).
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikkotuottoiset ojitetut suometsät — missä ja paljonko niitä on? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2016:73-93. Viitattu 23.10.2020. <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/>
- Lepori, F., Palm, D. & Malmqvist, B. 2005. Effects of stream restoration on ecosystem functioning: detritus retentiveness and decomposition. *Journal of Applied Ecology* 42 (2):228-238. Viitattu 23.10.2020. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/toc/13652664/2005/42/2>
- Lilja-Rothsten, S., & Saaristo, L. 2015. Metsäbiomassojen ympäristöriskit -selvitys. Tapio Oy. Viitattu 23.10.2020. <https://tapio.fi/puhtaat-vedet-ja-metsien-infra/>
- Luonnonvarakeskus 2018. Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen. Viitattu 23.10.2020. <https://www.luke.fi/uutinen/valtakunnan-metsien-12-inventointi-vmi12-puuvarat-kasvavat-edelleen/>
- Maileht, K., Nöges, T., Nöges, P., Ott, I., Mischke, U., Carvalho, L. & Dudley, B. 2013. Water colour, phosphorus and alkalinity are the major determinants of the dominant phytoplankton species in European lakes. *Hydrobiologia* 704:115-126. Viitattu 23.10.2020. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-012-1348-x>
- Metsäkeskus 2019. Vuoden 2019 vesiensuojelupäivien esitykset. Viitattu 15.11.2020. <https://www.metsakeskus.fi/metsatalouden-vesiensuojelupaivat-materiaalit>.
- Metsäkeskus 2020. Kuormitus kuriin -hankkeen loppuraportti. Hankkeen esittelymateriaalit : Metsätalouden vesiensuojelurakenteita -esite. Viitattu 12.11.2020. <https://www.metsakeskus.fi/kuormitus-kuriin>.
- Munthe, J., Wängberg, I., Rognerud, S., Fjeld, E., Verta, M., Porvari, P. & Meili, M. 2007. Mercury in Nordic ecosystem. IVL Report B1761. Viitattu 10.11.2017. [https://www.researchgate.net/publication/254470620\\_Mercury\\_in\\_Nordic\\_ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/254470620_Mercury_in_Nordic_ecosystems).
- Newbold J., O'Neill R., Elwood J. & van Winkle W. 1982. Nutrient spiralling in streams: implications for nutrient limitation and invertebrate activity. *The American Naturalist* 120, 5. Viitattu 8.11.2017. <http://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/284017>.
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M. & Sarkkola, S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609, 974-981. Viitattu 14.11.2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>
- Porvari, P., Verta, M., Munthe, J. & Haapanen, M. 2003. Forestry Practices Increase Mercury and Methyl Mercury Output from Boreal Forest Catchments. *Environmental Science and Technology* 37, 2389-2393. Viitattu 10.11.2017. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0340174>.
- Price, K. & Carrick, H. 2016. Effects of experimental nutrient loading on phosphorus uptake by biofilms: evidence for nutrient saturation in mid-Atlantic streams.

Freshwater Science 35(2) :503-517. Viitattu 26.10.2020.  
<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/686269>.

Ryan, S., Bishop, E. & Daniels, J. 2014. Influence of large wood on channel morphology and sediment storage in headwater mountain streams, Fraser Experimental Forest, Colorado. *Geomorphology* 217, 73-88. Viitattu 23.10.2020.  
<https://www.sciencedirect.com/journal/geomorphology/vol/217/suppl/C>

Rääpysjärvi, J., Karjalainen, S.M., Karttunen, K., Kuoppala, M. & Aroviita, J. 2016. Metsätalouden vaikutukset purojen ja jokien biologiseen tilaan — MEBI -hankkeen tulokset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2016. Viitattu 23.10.2020.  
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/161512>

Saarinen, M. 2020. Puulajin, puun tuoreuden ja sijaintisyvyyden vaikutus vesiselkärangattomien runsauteen ja monimuotoisuuteen pienvesistöissä. Jyväskylän yliopisto. Ympäristötieteen pro gradu -tutkielma. Viitattu 18.10.2020.  
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/70992>

Salmelin, J., Hämäläinen, H., Vuori, K. & Nieminen, M. 2020. Puuaineksen lisäyksen mahdollisuudet ravinteiden pidättäjänä ja eliöstön monipuolistajana kuormitetuissa vesistöissä: kirjallisuuskatsaus. Viitattu 18.10.2020.  
[www.syke.fi/hankkeet/puumavesi](http://www.syke.fi/hankkeet/puumavesi)

Sanzone, D., Tank, J., Meyer, J., Mulholland, P. & Findlay, S. 2001. Microbial incorporation of nitrogen in stream detritus. *Hydrobiologia* 464:27-35. Viitattu 26.10.2020. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013930102876>.

Sarkkola, S. & Nieminen, M. 2014. Vesistöjen orgaanisen aineksen lisääntymisen syitä. *Vesitalous* 2014, 6, 5-9. Viitattu 8.11.2017. [www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vesitalous\\_1406\\_netti.pdf](http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vesitalous_1406_netti.pdf).

Sarkkola, S. 2017. Turve maatuu – ravinteet huuhtoutuvat. Referoitu haastattelu Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilla julkaistussa artikkelissa: Soiden oijittaminen näkyy vesistöissä yhä enemmän. Viitattu 1.11.2017.  
<https://www.luke.fi/uutiset/soiden-oijittaminen-nakyy-vesistoissa-yha-enemman/>.

Strandberg, U., Palviainen M., Eronen, A., Piirainen, S., Laurén, A., Akkanen J. & Kankaala, P. 2016: Spatial variability of mercury and polyunsaturated fatty acids in the European perch (*Perca fluviatilis*) – Implications for risk-benefit analyses of fish consumption. Viitattu 8.11.2017.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974911631051X>.

Suomen biotalousstrategia 2014. Viitattu 17.12.2017. [http://biotalous.fi/wp-content/uploads/2014/07/Julkaistu\\_Biotalous-web\\_080514.pdf](http://biotalous.fi/wp-content/uploads/2014/07/Julkaistu_Biotalous-web_080514.pdf).

Suomen ympäristökeskus 2018. Puupohjaisilla uusilla Materiaaleilla tehoa metsätalouden Vesiensuojeluun ja vesistökuunnostuksiin. PuuMaVesi -hankkeen esittely. Viitattu 23.10.2020. <https://www.syke.fi/hankkeet/PuuMaVesi>.

Suomen ympäristökeskus 2020. SYKE Info. Viitattu 26.10.2020.  
[https://www.syke.fi/fi-FI/SYKE\\_Info](https://www.syke.fi/fi-FI/SYKE_Info).

Ukonmaanaho, L., Nieminen, M., Hytönen, J., Nieminen, T., Moilanen, M., Kantola, M., Kiikkilä, O., Laurén, A., Merilä, P., Penttilä T., Piispanen, J., Starr, M., Kaila, A.,



Pyhtilä, H. & Perämäki, P. 2014. Energiapuunkorjuun vaikutus ravinne- ja raskasmetallihuuhtoumiin ja ravinteiden riittävyyteen suometsissä. Viitattu 7.11.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp289.htm>.

Verta, M., Kauppila, T., Londesborough, S., Mannio, J., Porvari, Rask, M., Vuori, K. & Vuorinen, P. 2010. Metallien taustapitoisuudet ja haitallisten aineiden seuranta Suomen pintavesissä – Ehdotus laatu normidirektiivin toimeenpanosta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2010. Viitattu 10.11.2017. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/39683>.

Vuori, K-M. & Kuusipuro-Korjonen, K. 2018. Kolme kertomusta järviemme tilasta. Vesistömuutokset kansalaisten, limnologisten mittauksen ja ympäristöhallinnon näkökulmasta. Alue ja ympäristö 47(1), 50-61. Viitattu 23.10.2020. <https://doi.org/10.30663/ay.65784>.

Wallace, J., Webster, J. & Meyer, J. 1995. Influence of log additions on physical and biotic characteristics of a mountain stream. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 52: 2120-2137. Viitattu 26.10.2020. <https://doi.org/10.1139/f95-805>.

Wohl, E., Lininger, K., Fox M., Baillie, B. & Erskine, W. 2017. Instream large wood loads across bioclimatic regions. Forest Ecology and Management 404: 370-380. Viitattu 23.10.2020. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201800028872>.

## Liitteet

### Liite 1. Ainepitoisuudet ja niiden muutosprosentit lähtevän ja tulevan veden vertailuna

#### LIITE 1.

Ainepitoisuudet ja niiden muutosprosentit lähtevän ja tulevan veden vertailuna. Mittaukset: Suomen ympäristökeskuksen laboratorio, Oulu.

Vesinäytteet	PUUKÄSITTELY	PUUKÄSITTELY	muutos %	VERROKKIALLAS	VERROKKIALLAS	muutos %
	Koiramäki tuleva	Koiramäki lähtevä		Koiramäki tuleva	Koiramäki lähtevä	
Pvm	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018
kiintoaine (mg/l)	2,7	1,4	-48,1	2,1	2,2	4,8
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	38	35	-7,9	33	34	3,0
kok. N (µg/l)	850	830	-2,4	730	780	6,8
kok. P (µg/l)	16	13	-18,8	15	16	6,7
DOC (mg/l)	29	28	-3,4	25	27	8,0

Vesinäytteet	PUUKÄSITTELY	PUUKÄSITTELY	muutos %	VERROKKIALLAS	VERROKKIALLAS	muutos %
	Koiramäki tuleva	Koiramäki lähtevä		Koiramäki tuleva	Koiramäki lähtevä	
Pvm	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019
kiintoaine (mg/l)	0,8	0,8	0,0	0,8	0,8	0,0
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	39	39	0,0	28	29	3,6
kok. N (µg/l)	810	820	1,2	560	580	3,6
kok. P (µg/l)	13	12	-7,7	15	13	-13,3
DOC (mg/l)	27	26	-3,7	20	20	0,0

Vesinäytteet	PUUKÄSITTELY	PUUKÄSITTELY	muutos %	VERROKKIALLAS	VERROKKIALLAS	POISTETTU muutos %
	Koiramäki tuleva	Koiramäki lähtevä		Koiramäki tuleva	Koiramäki lähtevä	
Pvm	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019
kiintoaine (mg/l)	4,5	1,5	-66,7	2,5	41	1540,0
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	38	24	-36,8	26	53	103,6
kok. N (µg/l)	1100	620	-43,6	570	970	70,2
kok. P (µg/l)	23	11	-52,2	14	69	392,9
PO <sub>4</sub> -P (µg/l)	7	5,00	-28,6	7	23	228,6
DOC (mg/l)	29	18	-37,9	19	30	57,9

Vesinäytteet	PUUKÄSITTELY	PUUKÄSITTELY	muutos %	VERROKKIALLAS	VERROKKIALLAS	muutos %
	Pyydysoja tuleva	Pyydysoja lähtevä		Pyydysoja tuleva	Pyydysoja lähtevä	
Pvm	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018	20.11.2018
kiintoaine (mg/l)	1,9	1,8	-5,3	4,5	4	-11,1
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	57	50	-12,3	32	30	-6,3
kok. N (µg/l)	900	730	-18,9	690	550	-20,3
kok. P (µg/l)	14	11	-21,4	15	12	-20,0
DOC (mg/l)	45	39	-13,3	26	24	-7,7

Vesinäytteet	PUUKÄSITTELY	PUUKÄSITTELY	muutos %	VERROKKIALLAS	VERROKKIALLAS	muutos %
	Pyydysoja tuleva	Pyydysoja lähtevä		Pyydysoja tuleva	Pyydysoja lähtevä	
Pvm	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019	6.5.2019
kiintoaine (mg/l)	1,0	1,0	0,0	1	1	0,0
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	61	47	-23,0	31	30	-3,2
kok. N (µg/l)	750	600	-20,0	520	470	-9,6
kok. P (µg/l)	18	12	-33,3	15	14	-6,7
DOC (mg/l)	41	33	-19,5	24	22	-8,3

Vesinäytteet	PUUKÄSITTELY	PUUKÄSITTELY	muutos %	VERROKKIALLAS	VERROKKIALLAS	muutos %
	Pyydysoja tuleva	Pyydysoja lähtevä		Pyydysoja tuleva	Pyydysoja lähtevä	
Pvm	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019	14.10.2019
kiintoaine (mg/l)	2,9	1,9	-34,4	4,3	1,6	-62,8
COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	51	26	-49,0	34	36	5,9
kok. N (µg/l)	770	610	-20,8	630	580	-7,9
kok. P (µg/l)	12	19	58,3	16	15	-6,3
DOC (mg/l)	39	20	-48,7	28	27	3,8

## Liite 2. Tulevan ja lähtevän veden ainepitoisuuksien keskiarvoista lasketut muutosprosentit

### LIITE 2.

Tulevan ja lähtevän veden ainepitoisuuksien keskiarvoista lasketut muutosprosentit. Mittaukset: Suomen ympäristökeskuksen laboratorio, Oulu.

Näytteenotto	20.11.2018			6.5.2019			14.10.2020			20.11.2018			6.5.2019			14.10.2019			muutos	%
	tuleva	tuleva	tuleva	ka.	lähtevä	lähtevä	lähtevä	ka.	muutos	20.11.2018	6.5.2019	14.10.2019	ka.	muutos	%					
<b>PYYDYSOJA KÄSITELTY</b>																				
Kiintoaine (mg/l)	1,9	0,8	2,9	1,866667	1,8	0,8	1,9	1,5	-0,19643	-20										
COD (mg/l)	57	61	51	56,33333	50	47	26	41	-0,27219	-27										
P (µg/l)	14	18	12	14,66667	11	12	19	14	-0,04545	-5										
N (µg/l)	900	750	770	806,6667	731	600	610	647	-0,19793	-20										
DOC (mg/l)	45	41	39	41,66667	39	33	20	30,66667	-0,264	-26										
<b>PYYDYSOJA VERTAILU</b>																				
Kiintoaine (mg/l)	4,5	0,8	4,3	3,2	4	0,8	1,6	2,133333	-0,33333	-33										
COD (mg/l)	32	31	34	32,33333	30	30	36	32	-0,01031	-1										
P (µg/l)	15	15	16	15,33333	12	14	15	13,66667	-0,1087	-11										
N (µg/l)	690	520	630	613,3333	550	470	580	533,3333	-0,13043	-13										
DOC (mg/l)	26	24	26	25,33333	24	22	17	21	-0,17105	-17										
<b>KOIRAMÄKI KÄSITELTY</b>																				
Kiintoaine (mg/l)	2,7	0,8	4,5	2,666667	1,4	0,8	1,5	1,233333	-0,5375	-54										
COD (mg/l)	38	39	38	38,33333	35	39	24	32,66667	-0,14783	-15										
P (µg/l)	16	13	23	17,33333	13	12	11	12	-0,30769	-31										
N (µg/l)	850	810	1100	920	830	820	620	756,6667	-0,17754	-18										
DOC (mg/l)	29	27	29	28,33333	28	26	18	24	-0,15294	-15										
<b>KOIRAMÄKI VERTAILU</b>																				
Kiintoaine (mg/l)	2,1	0,8	2,6	1,833333	2,2	0,8	1,5	1,5	-0,18182	-18										
COD (mg/l)	33	28	26	29	34	29	31,5	31,5	0,086207	9										
P (µg/l)	15	15	14	14,66667	16	13	14,5	14,5	-0,01136	-1										
N (µg/l)	730	560	570	620	780	581	680,5	680,5	0,097581	10										
DOC (mg/l)	25	20	19	21,33333	27	20	23,5	23,5	0,101563	10										

### Liite 3. Esimerkki YSI-ProDDS -kenttämittarilla toteutettujen intensiiviseurantojen mittaustuloksista

#### LIITE 3.

Esimerkki YSI-ProDDS kenttämittarilla toteutettujen intensiiviseurantojen mittaustuloksista, joiden perusteella happi- ja pH-arvoissa ei havaittu merkitseviä eroja tulevassa ja lähtevässä vedessä.

DATE	TIME	SITE	pH	pH (mV)	ODO (% Sat)	ODO (mg/L)
1.5.2019	1:36:02 ip.	Pyydys2_out	4,93	89,5	74,8	9,55
1.5.2019	1:50:01 ip.	Pyydys2_in	5	86	79,8	10,19
1.5.2019	2:50:05 ip.	Pyydys1_out	4,71	102,9	85,4	10,14
1.5.2019	3:16:00 ip.	Pyydys1_in	4,33	123,8	109,4	12,93
1.5.2019	4:31:01 ip.	Koira2_out	6,41	9	109	12,51
1.5.2019	4:40:03 ip.	Koira2_in	5,99	32,1	104,8	12,32
1.5.2019	5:00:22 ip.	Koira1_out	6,1	26,1	95	11,52
1.5.2019	5:08:22 ip.	Koira1_in	5,78	43,3	94,9	11,71
4.5.2019	11:39:01 ap.	Koira2_in	5,69	47,7	102,5	13,47
4.5.2019	11:46:01 ap.	Koira2_out	5,52	56,6	97,2	13,27
4.5.2019	12:08:42 ip.	Koira1_in	5,66	49	94,8	12,99
4.5.2019	12:15:03 ip.	Koira1_out	5,82	40,3	95,1	12,96
4.5.2019	1:00:06 ip.	Pyydys1_in	4,73	100	107,2	14,3
4.5.2019	1:06:50 ip.	Pyydys1_out	4,64	104,4	93	12,69
4.5.2019	1:24:00 ip.	Pyydys2_in	5,4	62,7	86,7	12,02
4.5.2019	1:30:00 ip.	Pyydys2_out	5,14	76,8	85,9	11,9
6.5.2019	2:39:51 ip.	Pyydys1_out	5,03	84,8	94,5	11,47
6.5.2019	2:46:05 ip.	Pyydys1_in	4,4	119,6	108,8	13,26
6.5.2019	3:05:15 ip.	Pyydys2_out	5,42	62,9	81,3	10,38
6.5.2019	3:10:01 ip.	Pyydys2_in	5,45	61,4	87,1	10,73
6.5.2019	7:08:00 ip.	Koira2_out	6,6	11,3	106,8	12,88
6.5.2019	7:13:03 ip.	Koira2_in	6,33	13,1	104,4	12,93
6.5.2019	7:32:02 ip.	Koira1_out	6,23	18,2	94,5	12,11
6.5.2019	7:37:00 ip.	Koira1_in	6,14	23,5	94,9	12,05

## Liite 4. Pyydysojan ja Koiramäen koalojen pohjaeläintulokset

TAKSONIKKOOSTUMUS 2018	PUU				PUU				REF				REF				2019					
	Koiram.1	Koiram.2	Koiram.3	ka.	Pyydyys1	Pyydyys2	Pyydyys3	ka.	Koiram.1	Koiram.2	Koiram.3	ka.	Pyydyys1	Pyydyys2	Pyydyys3	ka.	Puu Koiram.1	Koiram.2	Koiram.3	ka.		
<b>OLIGOCHAETA</b>	0	0	2	0,7	0,0	0	2	0,7	0	2	0	0,7	0	0	0	0,3	4	11	8	5,7		
<b>ISOPODA</b>																						
<i>Asellus aquaticus</i>	18	2	8	9,3	2,0	0	0	0,7	0	2	0	0,7	0	2	0	0,7				7,7		
<b>ODONATA</b>																						
<b>Aeschna spp.</b>																						
<i>Cordulia gaster boltoni</i>	1	0	0	0,3	0,0	0	2	0,7												5,0		
<i>Somatochlora metallica</i>																					0,3	
<i>Coenagrionidae juv.</i>	1	2	0	1,0																	1,7	
<i>Leucorrhinia sp.</i>	0	2	2	1,3	0,0	2	0	0,7													0,3	
<b>HIRUDINEA</b>																						
<i>Epiplatia octoculata</i>																					0,7	
<b>ACARINA</b>																						
<i>Hydracarina</i>	2	0	3	1,7	0,0	0	2	0,7	0	0	2	0,7	0	0	2	0,7	5	4	1	3,3		
<b>EPHEMEROPTERA</b>																						
<i>Cloeon dptereni coil.</i>	26	2	4	10,7	4,0	4	0	2,7													4,0	
<i>Leptophlebia marginata</i>																						
<i>Leptophlebia vesperina</i>																						
<b>HETEROPTERA</b>																						
<i>Sigara sp.</i>					0,0	0	4	1,3	2	0	0	0,7	2	0	0	0,7	0	1	0	0,3		
<b>MEGALOPTERA</b>																						
<i>Sialis litorea</i>																					0,3	
<b>TRICHOPTERA</b>																						
<i>Holocentropus dubius</i>					0,0	2	0	0,7	0	0	1	0,3									0,3	
<i>Limnephilidae juv.</i>																					0,3	
<i>Oligoneche striata</i>	0	2	0	0,7	0,0	0	2	0,7													1,3	
<b>COLEOPTERA</b>																						
<i>Colymbetes striatus ad.</i>					2,0	0	0	0,7	0	2	0	0,7	1	0	0	0,3	0	0	1	0,3		
<i>Colymbetinae l. juv.</i>	2	0	4	2,0																		
<i>Dytiscus marginalis ad.</i>									0	0	1	0,3									0,3	
<i>Donacia sp.</i>	6	2	0	2,7																	1,0	
<i>Hydroporus sp. ad.</i>					0,0	2	0	0,7					0	2	0	0,7	0	1	2	1,0		
<i>Plistambus maculatus ad.</i>	0	0	2	0,7	0,0	2	0	0,7					0	0	1	0,3						
<b>DIPTERA</b>																						
<b>Chaoboridae</b>																						
<i>Chaoborus crystallinus</i>	6	0	2	2,7	8,0	16	2	8,7	19	0	4	7,7										
<b>Simuliidae</b>																						
<i>Chironomidae</i>	218	106	88	137,3	70,0	136	2	69,3	36	4	21	20,3	4	4	0	2,7	88	151	296	178,3		
<i>Ceratopogonidae</i>	0	0	1	0,3													2	1	3	2,0		
<b>Tabanidae</b>																	2	0	0	0,7		
<b>Limoniidae &amp; Peltidae</b>																	0	1	0	0,3		
<i>Dicranota</i>					0,0	0	2	0,7									0	0	2	0,7		
<b>BIVALVIA</b>																						
<i>Pisidium sp.</i>	6	0	0	2,0																		
<i>Sphaerium corneum</i>																	85	4	33	40,7		
<b>GASTROPODA</b>																						
<i>Radix ballica</i>	4	1	2	2,3													7	1	2	3,3		
<i>Bathypneustes conortus</i>	2	0	0	0,7													4	4	1	3,0		
<b>Kokonaissyksyllömäärä</b>	292	119	116	175,7	86,0	164	16	88,7	57	10	29	32,0	8	8	7	7,7	227	190	373	263,3		
<b>Taksonimäärä (hajurusaus)</b>	12	8	11	10,3	5,0	7	9	7,0	3	4	5	4,0	4	3	3	3,3	16	16	18	16,7		

(Taulukko PuuMavesi -hanke, muokattu.)

Liite 5. Kuvasarja Metsätalouden vesiensuojelupäivien 2019 esittelykoh-  
teen puukäsittelyn toteutuksesta



Liite 5 jatkuu.




Liite 5 jatkuu.





## Liite 6. Naamijoen vesiensuojelusuunnitelman 2019 työohjeluonnos

1 (1)



3.12.2019

**FRESHABIT LIFE IP (LIFE 14 IPE/FI/023) HANKKEEN- TOIMENPIDESUUNNITELMA**

**Hankkeen nimi**  
*Naamijoen vesiensuojelun toimenpidesuunnitelma 2019*

**TEKSTI TYÖOHJEEKSI PUUN LISÄYKSEEN:**

\*Biofilmin muodostuminen ja toiminta on tehokkainta valaistussa pintakerroksessa, jossa on myös hapekkainta vettä. Puun vettä puhdistava vaikutus liittyy juuri tähän biofilmin toimintaan. Rankaniput kannattaa sijoittaa pintaveteen. Samalla rankaniput suodattavat hienojakoista humusta rakenteellisesti.

\*Altaiden tilavuus huomioiden puumateriaalia on huomattavan vähän. Voiko altaan rakennusohjeen tehdä sellaiseksi, että molemmissa päädyissä olisi ns. asennushyllyt (matalammat alueet) rankatukkien asemoimiseksi oikeaan korkeusasemaan?

\*Kerimäen koealtaassa oli noin 10 kuutiota puuta – altaan koko huomattavasti pienempi, kuin Naamijoella. Voiko valtion maiden puuston osalta käyttää sitä suunniteltua enemmän?

\*Voisiko kohteissa käyttää kasettirakennetta (kuten Kerimäellä), kustannustehokkuus ja kiintoaineiden kiintymisestehokkuus paranevat? Vaatisi suurempaa puumäärää. Alkuperäisen rankanippu-suunnitelman sijaan kasettirakennetta oletettavasti ehdotetaan PuuMaVesi -hankkeen tuloksissa toimintatavaksi jatkossa.

Puumateriaalin lisääminen parantaa altaan toimintaa vesiensuojelurakenteena tehostaen kiintoaineiden laskeutumista ja mahdollistamalla ravinteiden kiintymisen altaaseen. Rankanippujen ohjeellisesta kokoamisesta ja paikalleen asettamisesta:

- alustavien tulosten perusteella biofilmiä näyttäisi muodostuvan eniten kuusesta ja männystä tehtyihin nippuihin, ei niinkään esimerkiksi koivun runkoihin
- soveltuva puuaineksi on havupuuta, rangan tyvimitta vähintään 8cm (ladotaan tyvisyyttä vuorotellen) ja pituus mahdollisimman pitkä, noin 4-12m
- yhden nipun halkaisija keskimäärin noin 50 cm (huomioitava koneellinen siirrettävyys)
- nippu sidotaan riittävän tiheästi (noin 1,5m välein) haponkestävällä sidontavanteella koneellisen käsittelyn mahdollistamiseksi
- niput sijoitetaan hyllyrakenteen päälle tiiviisti peräkkäin poikittain altaan reunalta reunalle
- nippujen paikallaan pysyminen varmistetaan paaluilla tai kivillä
- kuten alussa todetaan, puumateriaalin toiminta on parasta pintakerroksessa ja siksi niput asennetaan siten, että ne peittyvät juuri ja juuri keskivedenkorkeuden mukaisen pinnan alapuolelle
- nipun ei ole tarkoitus upota, sillä se toimii paremmin lähellä veden pintaa

**HUOM.** Kustannustehokkain ratkaisu olisi rakentaa altaiden päättyihin hyllyt, joiden pohjaan painetaan kaivinkoneella päästä teroitettua paalut (noin 1,5-2 m välein) kahteen riviin (noin 0,8-1 m väli) ja latoa rangat tähän paalujen väliin. Rankoja voi latoa limittäin ja ne voivat olla hyvin erimittaisia. Rakenteesta saadaan riittävän tiivis altaan reunalta reunalle. Näin rankakimppujen kokoamista ei tarvitsisi tehdä ja korkeutta voisi säätää tarpeen mukaan. Tämä on ns. kasettirakenne.

---

Suomen metsäkeskus, Hällinshatu 22, PL 8053, 96101 Rovaniemi  
www.metsakeskus.fi, www.metsaan.fi, Y-tunnus: 2440921-4

Liite 7. Naamijoen vesiensuojeluhankkeen toimijoiden kokemuksia rankanippujen tuottamisesta ja asentamisesta

**Kokemuksia PUUMAVESI- hankkeen rankatukkien asentamisesta**



- Havupuurunkojen niputtaminen on hidasta ja miestyövaltaista, mikäli työtä ei tehdä hakkuun yhteydessä
- Rankatukkien asentaminen vaadittuun korkeusasemaan (asennussyvyys < 1m, mutta tukit eivät saa olla veden pinnassa) on ohutturpeisilla kohteilla ja suurissa laskeutusaltaissa vaikeaa sekä työlästä ja voi väärin asennettuna aiheuttaa vesiensuojeluriskin
- "Ilmavien" rankatukkien rakentaminen ja asentaminen vaatii runsaasti miestyötä

metsäkeskus   

(Naamijoen FRESHABIT LIFE IP (LIFE 14 IPE/FI/023) -HANKE, muokattu)