Raudan haitallisten vesistövaikutusten vähentäminen turvevaltaisilla metsätalousmailla (Rautavirta) – loppuraportti

Tekijät: Heini Postila, Petra Korhonen, Elina Raumanni, Markus Saari, Hannu Marttila

SISÄLLYSLUETTELO

1. Tiivistelmä / yhteenveto hankkeen toteutuksesta ja saavutetuista tuloksista 3
2. Hankkeen lähtökohta, tavoitteet ja kohderyhmä / kohdealue ja kartta 3
3. Projektin toteutus 5
   3.1. Valuma-alueen paikkatietokartoitus 7
   3.2. Valuma-alueen vedenlaadun tarkastelu 8
   3.3. Vedenpalautuskohteet 9
   3.4. Seuranta-alueen valinta 9
   3.5. Vesienkäsittelyrakenteet rautapitoisten vesien käsittelyyn 10
   3.6. Puuhake-, sahanpuru -/+ sieni bioreaktorin laboratoriotestaukset 10
   3.7. Leppisuonojan padotustutkimukset 12
   3.8. Rautatietopaketti 13
4. Yhteistyö ja sidosryhmätyöskentely 13
5. Viestintä ja tiedottaminen 14
6. Hankkeen tuotokset 16
7. Hankkeen tulokset 16
   7.1. Valuma-alueen paikkatieto ja spatiaalinen vedenlaadun tarkastelu 16
   7.2. Ehdotuksia seuranta-alueen jatkotarkkailuksi 24
   7.3. Vesienkäsittelymenetelmät rautapitoisten vesien käsittelyyn 24
   7.4. Puuhake-, sahanpuru -/+ sieni bioreaktorin laboratoriotestaukset 25
   7.5. Leppisuonojan padotustutkimukset 27
8. Hankkeen innovatiivisuus, monistettavuus, uutuusarvo, hankkeen hyöty 29
9. Toiminnan jatkuvuus 30
10. Projektin rahoitus 31
11. Hankkeen toteutus numeroina 32
12. Yhteenveto ja loppupäätelmät 33
13. Lähdeluettelo 35

Toteutusvaiheen arviointi 36

LIITTEET 38

LOPPURAPORTIN SISÄLTÖ

Hankkeen nimi: Raudan haitallisten vesistövaikutusten vähentäminen turvevaltaisilla metsätalousmailla (Rautavirta)

Hankkeen toteuttaja: Oulun yliopisto. Hankkeessa yhteistyötä on tehty Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry:n kanssa

Yhteyshenkilö ja yhteystiedot (puhelin ja sposti): Heini Postila, +358 294 48 4503, heini.postila@oulu.fi

Hankkeen toteutusaika: 1.6.2021-31.10.2023

Mistä hankkeen toimenpiteiden kuvaus ja tulokset löytyvät hankkeen päättymisen jälkeen?: Hankkeen toimenpiteet ja tulokset löytyvät Oulun yliopiston nettisivuilta https://www.oulu.fi/fi/projektit/raudan-haitallisten-vesistovaikutusten-vahentaminen-turvevaltaisilla-metsatalousmailla-rautavirta ja Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry:n nettisivuilta https://kiiminginjaalinvedet.net/

OSA I HANKKEEN TOIMINNAN KUVAUS

1. Tiivistelmä / yhteenveto hankkeen toteutuksesta ja saavutetuista tuloksista

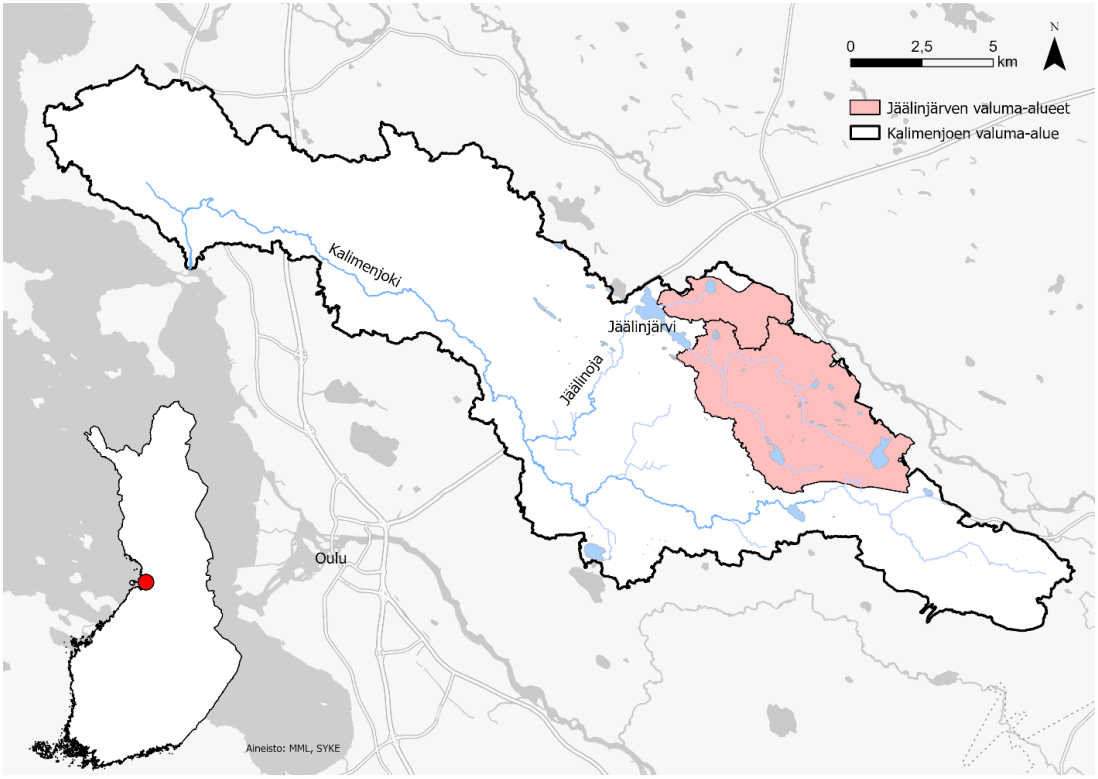
Hanke toteutettiin Oulun Jäälinjärven turvemetsävaltaisella valuma-alueella. Hankkeessa toteutettiin paikkatietopohjainen tarkastelu, jossa perimmäinen tavoite oli kartoittaa alivaluma-aluetasolla raudan liikkeen kannalta riskialttiita alueita, arvioida niitä tekijöitä, jotka rautaan eri alueilla vaikuttavat sekä tämän uuden tiedon avulla kehittää valuma-aluetason vesienhallintaa. Tässä menetelminä olivat uuden hydrologisen virtausverkkomalli työkalun luonti, suosimulaattori mallilla tehdyn kartoituksen ja muiden paikkatietoaineistojen sekä valuma-alueen maaperän/kallioperän ominaisuustietojen hyödyntäminen. Tärkeinä toimenpiteinä olivat myös ympärivuotinen vesinäytteenotto valuma-alueelta rautapitoisuuksien tarkastelemiseksi. Hankkeessa myös testattiin rautapitoisille vesille uusia mahdollisia käsittelymenetelmiä, kuten puunippujen käyttöä ojatasolla, Kalamäen kosteikon toiminnan optimointi käyttämällä raudan pidättämistä edistävää biopolymeeriä sekä pyörreallas. Lisäksi alueella jo olevien vesienkäsittelyrakenteiden toimivuutta seurattiin mm. vesinäytteenotoin ja jatkuvatoimisilla vedenlaatuantureilla. Lisäksi tarkasteltiin mm. Leppisuonojan padotustutkimusta ja laboratoriotasolla puumateriaaleista tehtyjen bioreaktorirakenteiden raudanpoistokykyä. Vesienkäsittelyrakenteilla saavutettiin pääasiassa alle 10 % raudan pidätyksiä. Parhaiten toimi Jäälinjärven 3,5 ha järviallas. Yhdistämällä paikkatieto näytteenotolla kerättyyn vedenlaatuaineistoon luotiin valuma-aluelähtöistä suunnittelua tukeva toimintamalli, jossa mallinnukseen ja kerättyyn aineistoon perustuen voidaan arvioida rautahuuhtouman kannalta riskialttiita alueita ja vedenpidätyksen potentiaalia. Puuston kasvun huomioimalla voidaan edesauttaa metsätalouden ja vesiensuojelun yhteensovittamista. Tämä tukee valuma-aluesuunnittelua paikallisesti, mutta luo toistokelpoisen mallin Jäälin ulkopuolisten valuma-alueiden kartoitukseen ja myös muiden vedenlaatuongelmien hallintaan raudan lisäksi.

2. Hankkeen lähtökohta, tavoitteet ja kohderyhmä / kohdealue ja kartta

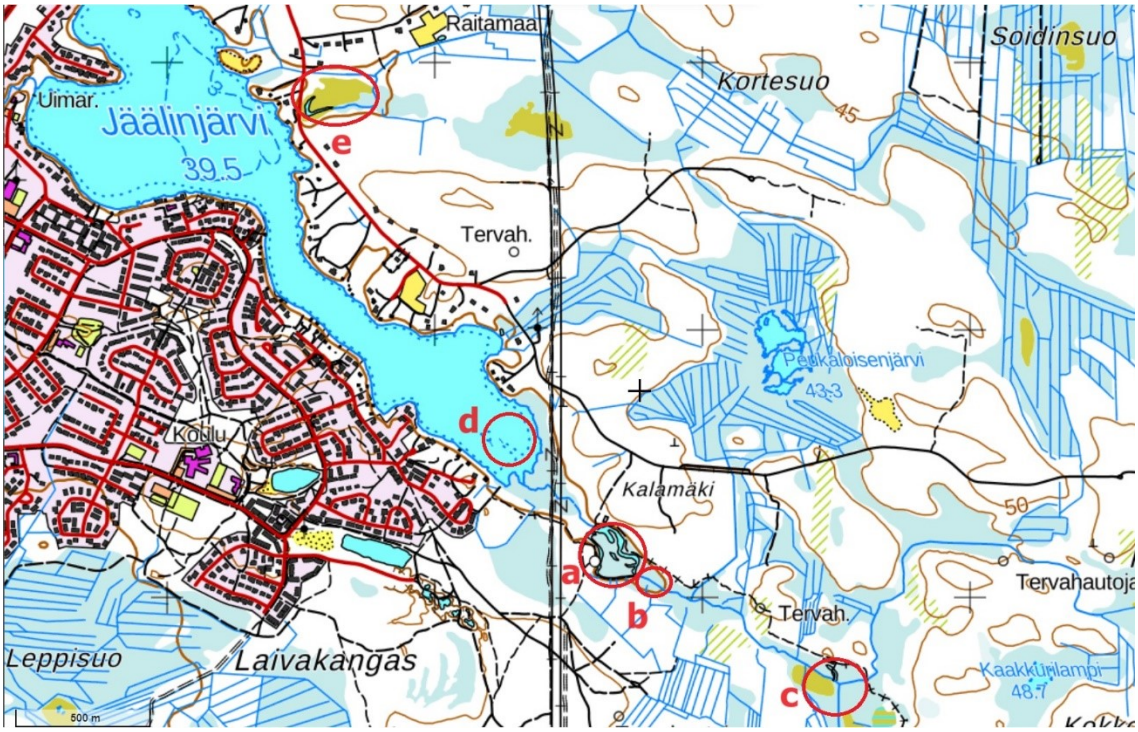
Hankkeen tavoitteena oli pienentää Jäälinjärven turvemetsävaltaiselta valuma-alueelta tulevasta runsaasta raudan vesistökuormituksesta aiheutuvia ongelmia Jäälinjärvessä. Yhtenä lähestymistapana tähän ongelmaan lähdettiin etsimään ratkaisuja kustannustehokkaista vesienkäsittelymenetelmistä. Näitä menetelmiä oli tarkoitus olla rautaa pidättävien luonnonmukaisten materiaalien, kuten puu- ja risunippujen, käyttö ojatasolla, Kalamäen kosteikon toiminnan optimointi käyttämällä raudan pidättäytymistä edistävää biopolymeeriä sekä biohakereaktorijärjestelmän pilotti

alueella. Menetelmien optimointia oli tarkoitus tehdä myös soveltuvin laboratoriokokein. Lisäksi alueella jo olevien vesienkäsittelyrakenteiden toimivuutta oli tarkoitus seurata. Alueella suoritettiin mittaustoimintaa, jonka avulla eri menetelmien tehoa seurattiin. Toisena lähestymistapana taas oli paikkatietopohjainen tarkastelu, jossa perimmäinen tavoite on kartoittaa alivaluma-aluetasolla raudan liikkeen kannalta riskialttiita alueita, arvioida niitä tekijöitä, jotka rautaan eri alueilla vaikuttavat sekä tämän uuden tiedon avulla kehittää valuma-aluetason vesien hallintaa/suojelua. Yhdistämällä nämä kaksi lähestymistapaa, oli tavoitteena saada kokonaiskuvaa rauta-asioista, mikä edesauttaisi kokonaisvaltaisen alueellisen vesiensuojelun kehittämistä. Tietoja voidaan hyödyntää myös muilla valuma-alueilla, jotka kärsivät rautahaasteista. Hankkeen tavoitteena oli myös kehittää tiedon välitystä viestinnän ja vuorovaikutuksen keinoin, esimerkiksi alueellisiin metsänomistajiin.

Hanke kohdistui Oulussa sijaitsevalle Jäälinjärven valuma-alueelle (kuva 1), jonka laajuus on 35,58 km^2 (Ollila 2022). Valuma-alueesta noin 87 % on metsätalousaluetta, ja siitä 40 % on turvemailla. Hankkeessa tarkasteltavat vesienkäsittelyrakenteet sijaitsevat Jäälinjärven lähellä (kuva 2).



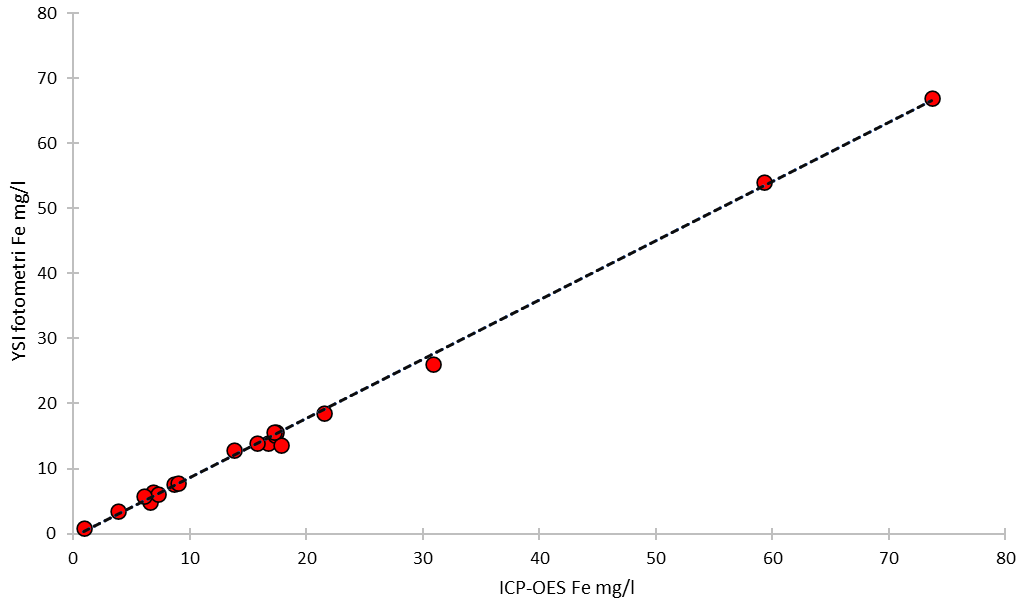
Kuva 1. Jäälinjärvi ja sen valuma-alue.



Kuva 2. Jäälinjärven valuma-alueelle rakennetut vesienkäsittelyrakenteet; a) Kalamäen kosteikko, b) puuniput, c) Kokkohaaran kosteikko ja pyörreallas, d) Jäälinjärven laskeutusallas ja e) Korteojan kosteikko.

3. Projektin toteutus

Hankkeen toimenpiteitä, joilla hankkeen tavoitteita saavutettiin, olivat valuma-alueen paikkatietokartoitus, joka sisälsi uuden hydrologisen virtausverkkomalli työkalun luonnin (Gradu Katri Ollila) sekä suosimulaattori (SUSI) mallilla tehdyn kartoituksen. Lisäksi hyödynnettiin muita paikkatietoaineistoja sekä tietoja valuma-alueen maaperän/kallioperän ominaisuuksista. Tärkeinä toimenpiteinä olivat myös erityisesti vuosina 2022–2023 ollut ympärivuotinen vesinäytteenotto sekä valuma-alueen, että vesienkäsittelyrakenteiden vesistä kartoittamaan etenkin rautapitoisuuksien ajallista ja paikallista vaihtelua. Tehtyjen kartoitusten perusteella voitiin nähdä ja ehdottaa soveltuvia alueita vedenpalautuskohteiksi ja toisaalta seurantakohteiksi, jossa voitaisiin tarkastella kuivatuksen keventämisen ja tuhkalannoituksen vaikutusta puuston kasvuun ja alueen rautahuuhtoumiin yms. Projektin vedenlaatuanalyyseja varten hankittiin YSI 9500 fotometri, jonka avulla rauta-analyyseja pystyttiin tekemään suuremmalla intensiteetillä suhteellisen hyvällä tarkkuudella (kuva 3).



Kuva 3. Fotometrillä mitattujen rautapitoisuuksien vertautuminen laboratoriossa ICP-OES menetelmällä mitattuihin pitoisuuksiin. Fotometrin tulokset ovat hieman matalampia verrattuna ICP-menetelmällä mitattuihin pitoisuuksiin, erotuksen keskiarvo -2,1642 mg/l ja RMSE (Root Mean Square Error) 2,8196. Virhe kasvaa suuremmilla pitoisuuksilla, esimerkiksi huomioitaessa vain alle 10 mg/l pitoisuudet erotus on -0,77 mg/l.

Toimenpiteitä olivat myös biopolymeeritestaukset sekä laboratoriossa että Kalamäen kosteikolla, puunippujen rakentaminen ja niiden seuraaminen Kalamäen kosteikon yläpuolella, sekä laboratoriossa toteutetut eri puuhakemateriaaleista rakennettujen laboratoriokokoluokan bioreaktorirakenteiden raudanpoistotestaukset. Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys rakensi alueelle kevättalvella 2023 pyöröaltaan, jonka rakennuskustannuksiin myös hankkeesta osaltaan osallistuttiin, ja näin voitiin saada tietoa myös pyöröaltaan toimivuudesta raudan pidätyksessä. Näiden uusien rakenteiden lisäksi vedenlaatua ja puhdistustehokkuudellista toimivuutta seurattiin myös muista alueella jo olevista rakenteista. Hankkeen varoilla vuonna 2022 ostettiin hankkeen ja vesienhoitoyhdistyksen käyttöön kaksi YSIN EXO 3 sondia, joilla voidaan mitata jatkuvatoimisesti mm. pH:ta, fDOM, redox-olosuhteita, sähkönjohtavuutta ja sameutta. Nämä olivat aluksi loppukesästä-alkusyksystä 2022 seuraamassa puunippujen ylä- ja alapuolista vedenlaatudataa. Kesällä 2023 niillä seurattiin jatkuvatoimisesti pääasiassa Kalamäen kosteikon ylä- ja alapuolista vedenlaatua ja noin parin viikon ajan pyöröaltaan ylä- ja alapuolista vedenlaatua. Lisäksi Leppisuonojalla seurattiin padotustutkimuksen tilannetta sekä jatkuvatoimisilla pinnankorkeusantureilla että vesinäytteenotoin.

Tiedon välitykseen ja vuorovaikutukseen käytettäviä kanavia ovat olleet mm. Suosimulaattoriesittelyt, paikan päällä Jäälissä tapahtuneet esittelyt, Suometsäilta alueen metsänomistajille, seminaarit, lehtijutut paikallisissa lehdissä, diplomityöt ja loppuraportit, rautahaasteista toteutettavat videot. Näistä on pidetty kirjaa osin Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistyksen ja osin Oulun yliopiston toimesta. Nämä viestintä- ja vuorovaikutustoimet ovat tarkemmin kuvattuna tämän raportin kohdassa 5.

Erillinen tietopaketti päätettiin korvata ohjausryhmän ja myös rahoittajaviranomaisen kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta erityisesti aiheesta tehdyllä videolla, jossa konkreettisesti ja ytimekkäästi voidaan kertoa rautahaasteista ja niihin liittyvistä ratkaisuista. Tällainen videomuotoinen tietopaketti leviäisi helposti nykyisessä sosiaalisen median ajassa ja tavoittaisi toivottavasti mahdollisimman laajasti metsänomistajia, vesiensuojelun parissa toimivia eri alueiden paikallisia asukkaita ja toki myös viranomaisia ja muista asiasta kiinnostuneita. Sitten lisätietoa ja syvempää tietoa halutessaan videon katsojat ohjattaisiin Elina Raumannin diplomityön pariin. Mahdollisesti ELY-keskuksessa aiheesta tehtäisiin hankkeen päättymisen jälkeen Markus Saaren johdolla myös ELY-keskuksen sarjaan raportti.

Hankkeen aloitus viivästyi alkuperäisestä suunnitelman mukaisesta 1.1.2021, niin että hanke alkoi käytännössä 1.6.2021, jota edeltävänä päivänä hankkeen rahoituspäätös tehtiin. Tämä vaikutti myös lopetuspäivämäärään, eli hankkeen toteutus sai jatkoaikaa 15.11.2023 asti. Hankkeessa ei toteutettu täysikokoisia hakebioreaktoreita raudan poistoon, sillä niihin varattua rahaa nähtiin tärkeämmäksi ohjata YSI:n EXO 3 antureiden hankintaan. Lisäksi epäilytti, että hyvin rautapitoisissa uomissa puuhakebioreaktori voisi tukkeutua aika nopeasti. Sen sijaan päätettiin tehdä myös rautapitoisuuden poistotarkastelut pakastetuista vesinäytteistä jälkikäteen SuVaKi hankkeessa tarkastelluille puumateriaali+sieni laboratoriomittakaavan bioreaktorirakenteille. Testauksissa käytettiin Jäälinjärven valuma-alueen Saarisenojan vettä.

Hankkeessa ei myöskään päivitetty HybArkt-hankkeessa luotua mitoitus- ja suunnittelutyökalua, sillä raudan poiston suhteen ei tutkittukaan maastossa bioreaktorirakennetta. Tällöin ainoaksi rakenteeksi, jota mitoitus- ja suunnittelutyökalulla pystyi tarkastelemaan, jäi Jäälinjärven Järviallas, eli iso laskeutusallas. Tästä yhden kesän tarkastelusta yhden rakenteen osalta ei kuitenkaan saa sellaista tietoa, että voisi päivittää mitoitus- ja suunnittelutyökalua. Niinpä lähinnä tarkasteltiin tilannetta toisin päin, eli että minkä suuruinen laskeutusaltaan tulisi mitoitus- ja laskentatyökalun pohjalta olla, jotta sillä saataisiin havaittu 16 %. Keskimääräisenä virtaamana rakenteeseen käytettiin kesän 1.6-30.9.2023 virtaaman keskiarvoa 385 l/s, ja pitoisuutena keskimääräistä tulevaa pitoisuutta 11,4 mg Fe/l. Näillä pohjalta laskettuna laskeutusaltaan pinta-alaksi riittäisi mitoitus- ja suunnittelutyökalun pohjalta 2,0 ha, kun laskeutusallas on todellisuudessa 3,5 ha.

3.1. Valuma-alueen paikkatietokartoitus

Jäälinjärven valuma-alueelle tehtiin yksityiskohtaisia paikkatietokartoituksia sekä työkalukehittämistä tarkoituksena parantaa alueen hydrologista ja maankäytön tietoa, ja tehdä toimintamalli, mitä voisi edelleen hyödyntää muissa kohteissa. Ensimmäisessä vaiheessa Jäälinjärven alueelle luotiin mallinnus valuma-alueen pintavalunnasta. Tämän tarkoituksena oli saada kuva veden uomavirtauksen pääreiteistä alueella (Ollila 2022). Lisäksi tarkoitus oli selvittää, miltä alueilta ja mitä reittejä pitkin mahdolliset korkeita rautapitoisuuksia sisältävät vedet valuvat kohti Jäälinjärveä. Analyysissa alue

jaettiin myös pienempiin hydrologisiin tarkasteluyksiköihin, jolloin myös alueelta otetut vedenlaatunäytteet voitiin yhdistää tarkemmin paikkatietoaineistoihin. Jos rautahuuhtoumalle riskialttiit alueet ovat suoraan hydrologisesti yhteydessä vastaanottaviin vesistöihin, korkeisiin rautapitoisuuksiin liittyvät ongelmat ovat todennäköisiä. Hydrologista yhteyttä voidaan kuitenkin valuma-aluesuunnittelun avulla vähentää niiltä alueilta, joilta tiedetään huuhtoutuvan paljon rautaa.

Osana Katri Ollilan gradua (Ollila 2022) alivaluma-alueet määritettiin tutkimusalueen vedenlaadunnäytteenottopisteiden yläpuolisiksi valuma-alueiksi. Siten jaottelun pohjalta tehtiin analysointi vesinäytteiden tulosten ja alivaluma-alueiden rautakuormitukseen vaikuttavien ominaisuuksien (kuten kallio- ja maaperän sekä maankäytön) yhteyksistä. Lisäksi yhdessä alivaluma-aluejaottelun ja virtausverkon avulla tarkasteltiin vedenpidätyksen mahdollisuuksia kokonaisvaltaisesti tutkimusalueella hyödyntäen SUSI-mallinnuksen tuloksia. Hankkeessa mallinnettavilla aineistoilla toteutettiin ympäristöriskien arviointia ja myöhemmin tuloksia voidaan käyttää tarkentamaan valuma-aluesuunnittelua sekä kohdentamaan vesiensuojelutoimia niille alueille, joilla siitä on eniten hyötyä (monihyötymahdollisuus).

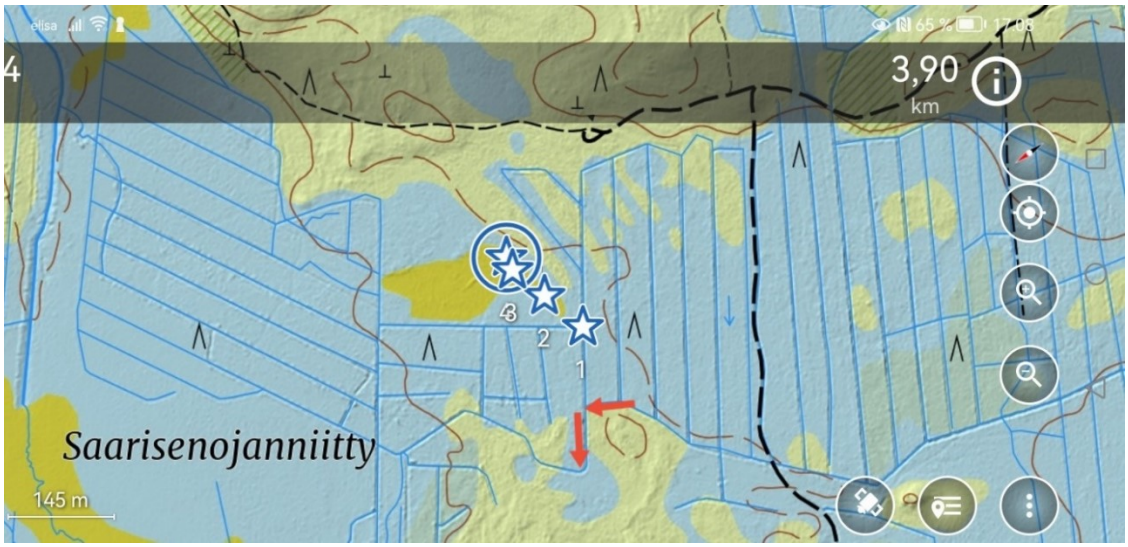
3.2. Valuma-alueen vedenlaadun tarkastelu

Valuma-alueen vedenlaatua seurattiin ja tarkasteltiin suorittamalla näytteenottoa vuosina 2022 ja 2023. Näytteenottopisteiden valintaa ohjasi hydrologian paikkatietokartoitus, jonka pohjalta valuma-alue jaettiin pienempiin alivaluma-alueisiin. Näytteenotto jakautui siten, että koko valuma-alue jaettiin viiteen päävaluma-alueeseen (ns. perusnäytteenotto), joiden lisäksi näytteitä kerättiin kymmenistä pisteistä ympäri valuma-aluetta. Vuonna 2023 koko valuma-alueen vedenlaatua seurattiin tehokkaasti yhteensä 22 pisteestä kuudella näytteenottokierroksella, kun taas vuoden 2022 näytteenotto keskittyi päävaluma-alueisiin. Vesinäytteet analysoitiin kokonaisraudan osalta YSI 9500 fotometrillä.

Näytteenotolla kerätyn datan avulla pystyttiin tarkastelemaan rautapitoisuuksien ajallista ja spatiaalista vaihtelua. Analyysissä käytettiin tilasto- ja paikkatietomenetelmiä, joiden avulla tarkoituksena oli selvittää rautapitoisuuksien spatiaalista vaihtelua valuma-alueella ja tarkastella mahdollisten tekijöiden vaikutusta siihen. Kerätyn vedenlaatudatan lisäksi analyysissa hyödynnettiin avoimia maankäyttöä, maa- ja kallioperää kuvaavia paikkatietoaineistoja sekä vesienhoitoyhdistyksen alueelle teettämän suosimulaattorimallinnuksen lopputuotteita. Tavoitteena oli luoda kokonaiskuva siitä, millä alivaluma-alueilla on suurimmat riskit raudan esiintymiselle ja siitä aiheutuvalle vesistökuormitukselle, sekä arvioida mihin ja miten voimakkaasti rauta näiltä alueilta siirtyy vesistösysteemissä.

3.3. Vedenpalautuskohteet

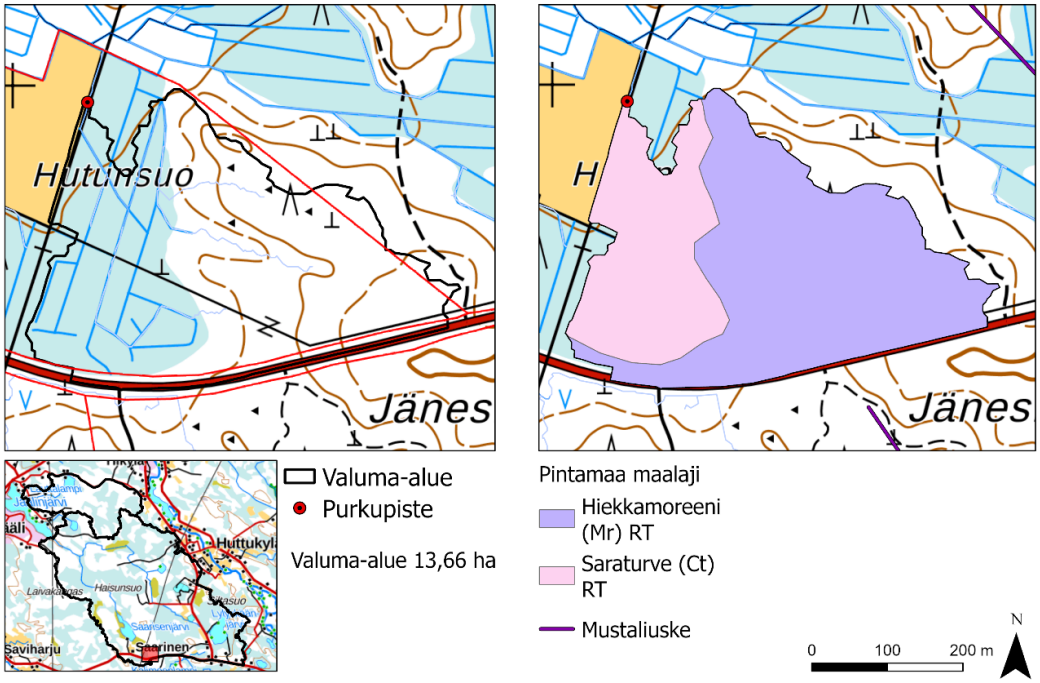
Ojasta allikkoon -hankkeen (Tapio Oy ym. 2022) aineisto on käyty läpi Jäälinjärven valuma-alueen osalta. Aineiston vedenpalautukselle potentiaalisista kohteista erittäin toteuttamiskelpoiseksi on osoittautunut Kokkokankaan eteläpuolella oleva suo, joka on käyty tarkastamassa vesienhoitoyhdistyksen toimesta (Liite 1). Maastossa tehdyn vaaituksen perusteella vedet on helppo johtaa itälaidan ojasta suolle vaakatasossa (kuva 4). Ojan kuivatusvaikutuksen arvioitiin olevan heikko. Myös alueen maanomistajuus arvioitiin toteuttamisen kannalta helpoksi, mutta maanomistajiin ei ole oltu yhteyksissä.



Kuva 4. Potentiaalisella vedenpalautuskohteella tehtyjen vaaituspisteiden sijainnit tähdelle. Nuolet osoittavat veden tämänhetkisen virtausreitin.

3.4. Seuranta-alueen valinta

Projektin aikana on tehty esitys koealojen etsimisestä pitkäaikaiseen seurantaan. Seuranta-alueen valinta aloitettiin paikkatietotarkastelulla. Kriteereinä valinnassa oli valuma-alueen kompakti koko, kunnostusojituksen taloudellinen kannattamattomuus, logistisesti helppo sijainti, vähäinen maanomistajien määrä ja soveltuvuus tuhkalannoitukseen. Nämä kriteerit täyttäviä kohteita löydettiin Jäälinjärven valuma-alueelta kuusi. Maastotarkastusten perusteella näistä tarkoitukseen soveltui lopulta vain yksi alue Saarisenojan valuma-alueen eteläosassa (kuva 5). Alueella on tehty alustava vaaitus.



Kuva 5. Valikoituneen seuranta-alueen valuma-alue, näytteenottopiste ja maaperä.

3.5. Vesienkäsittelyrakenteet rautapitoisten vesien käsittelyyn

Hankkeessa testatut uudet vesienkäsittelyrakenteet rautapitoisten vesien käsittelyyn olivat biopolymeeritestaukset sekä laboratoriossa että Kalamäen kosteikolla, puunippujen rakentaminen ja niiden seuraaminen sekä pyörreallas. Näiden uusien rakenteiden lisäksi vedenlaatua ja puhdistustehokkuudellista toimivuutta seurattiin myös muista alueella jo olevista rakenteista, joita olivat Kalamäen ja Korteojan kosteikot ja Jäälinjärven Järviallas. Hankkeen varoilla ostettiin vuonna 2022 kaksi YSIN EXO 3 sondia, joilla voidaan mitata jatkuvatoimisesti mm. pH:ta, fDOM, sähkönjohtavuutta ja sameutta. Nämä olivat aluksi loppukesästä-alkusyksystä 2022 seuraamassa puunippujen ylä- ja alapuolista vedenlaatudataa. Kesällä 2023 niillä seurattiin jatkuvatoimisesti pääasiassa Kalamäen kosteikon ylä- ja alapuolista vedenlaatua ja noin parin viikon ajan pyöröaltaan ylä- ja alapuolista vedenlaatua. Lisätietoa testauksista on luettavissa diplomityöstä (Raumanni 2023).

3.6. Puuhake-, sahanpuru -/+ sieni bioreaktorin laboratoriotestaukset

Suometsien valumavesien käsittely ja ravinteiden kierrätys puuhakebioreaktorilla, SuVaKi, 2021–2022 hankkeessa tehtiin laboratoriossa testauksia, joissa sieni, eli lakkakääpä (*Ganoderma Lucidum*) ja osterivinokas (*Pleurotus Ostreatus*) materiaalia oli yhdistettynä (ympättynä) sahanpuruun ja/tai puuhakkeeseen (koivu ja mänty+kuusi). Testauksien tavoitteena oli selvittää, miten nämä rakenteet poistavat typpeä turvemetsätalousalueen valumavesistä. Testauksissa käytettiin suorakaiteen

muotoisia HDPE:stä valmistettuja laatikoita, joiden sisään materiaali oli laitettuna (kuva 6). Laatikoiden mitat olivat 58,5 cm (pituus) x 12,5 cm (leveys) x 4,7 cm (syvyys). Jokaisen yksikön sisään, 7 cm loppupäästä, asetettiin 0,5 cm paksu muovirakenne, johon kiinnitettiin metalliverkko (huokoskoko=2 mm). Tämän tavoitteena oli, että loppupäähän saatiin pelkästään vesitila, johon esimerkiksi sähkönjohtavuusanturit voidaan asettaa merkkiainekokeen ajaksi. Sahanpuru+ lakkakääpä materiaalista tarkasteltiin sekä yksikköä, joka oli avoimena, että yksikköä, joka oli peitetty muovilla hapen pääsyn rajoittamiseksi. Muutoin tarkastelussa käytetyt yksiköt käynnistettiin avoimina.

Kuva 6. Bioreaktorien laboratoriotestaukset. Kuva: Matthew Hopkins.

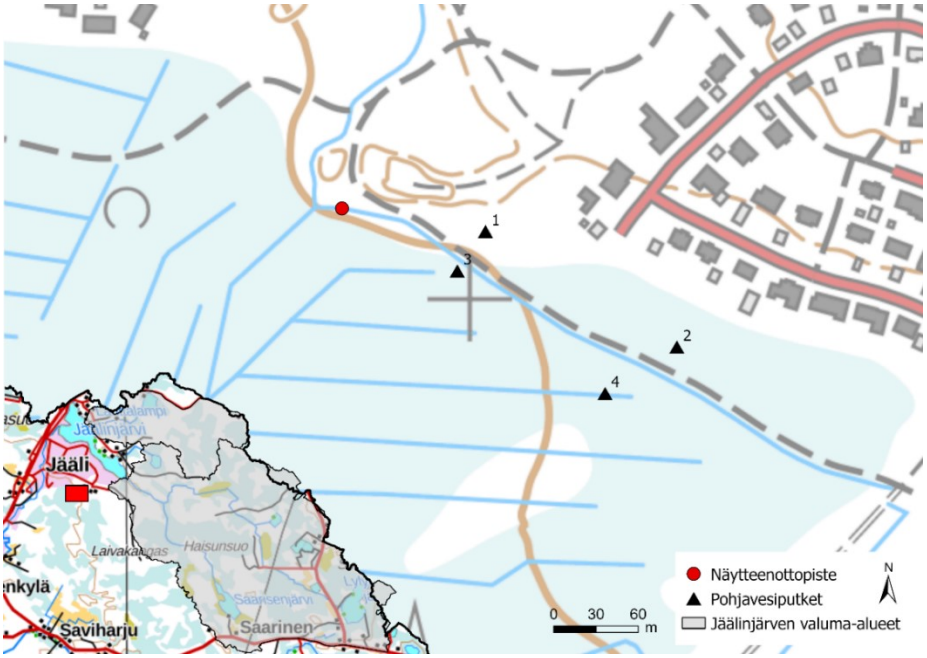
Sahanpuru+sieniymppitestaukset käynnistettiin joulukuussa 2021. Testauksissa käytettiin Jäälin turvemetsätalousalueelta (Saarisenoja (65.082692, 25.737643)) kerättyä vettä. Vettä lisättiin sienihakemateriaalin pinnalle alkupäähän peristalttisen pumpun avulla niin, että ensimmäisen viikon ajan sahanpuru+ osterivinokas testin alussa pumppausmäärä oli noin 2,0 l/vrk, jolloin viipymä oli laskennallisesti noin yksi vrk, mutta se vaikutti aivan liian lyhyeltä puhdistusprosessien tapahtumiseksi. Tätä viipymää ei enää käytetty muissa testauksissa. Tämän jälkeen pumppausnopeutta laskettiin (noin 1,0 l/vrk), jotta viipymäksi saadaan noin kaksi vrk. Sahanpuru+ lakkakääpä testaus aloitettiin noin 10 vrk myöhemmin kuin sahanpuru+ osterivinokas testaus. Poistoputken avulla vedenpinta pidettiin yksikössä halutulla tasolla. Laboratoriokokeessa haluttiin tavoitella mahdollisimman luonnontilaisen kaltaisia olosuhteita, joten kokeet aloitettiin 5°C asteen lämpötilassa, ja 135 vrk kuluttua siirryttiin 12°C lämpötilaan. Kokeen loppuvaiheessa (sahanpuru+lakkakäävällä noin 270 vrk aloituksesta ja sahanpuru+osterivinokkaalla noin 280 vrk), siirryttiin vielä kolmen vrk:n viipymään. Kesäkuussa 2022 päädyttiin käynnistämään testaukset myös isommalla puuhakemateriaalilla, sillä sahanpuruyksiköistä huuhtoutui voimakkaasti orgaanista typpeä. Uusissa yksiköissä oli kaikissa osterivinokas-sahanpuruymppiä tilavuutena noin 1/6. Toisena materiaalina ensimmäisessä yksikössä oli koivupuuhaketta (5/6), toisessa yksikössä mänty+kuusipuuhaketta (5/6) ja kolmannessa koivupuuhaketta (2,5/6) ja soraa (2,5/6). Soramateriaali oli 16–20 mm kiilleliusketta. Testaukset, joissa oli pelkästään puuhaketta, on aloitettu 11.6.2022 ja se pilottirakenne, jossa oli myös soraa, 27.6.2022. Kohtuullisen tuoreet puuhakkeet oli haettu juuri ennen kokeen aloitusta Oulun lähialueelta Neova-Groupilta tiedoksi saadusta paikasta. Viipymä oli tällöin noin 2 vrk ja lämpötila noin 12 °C. Lisäksi vielä

syksyllä 2022 käynnisteltiin tarkastelut materiaaleista itsestään lähtevistä huuhtoumista, ja niissä vetenä käytettiin hanavettä. Tarkemmin kokeiden toteutuksesta ja niistä saaduista typpi ja viipymätuloksista voi lukea SuVaki-hankkeen tutkimusraportista (Karhio ym. 2022).

RautaVirta hankkeen projektipäällikön vaihduttua, uusi projektipäällikkö, joka oli ollut mukana myös SuVaKi hankkeessa, huomasi, että hankkeessa on tehty samantyylisiä puumateriaalien laboratoriotestauksia kuin mitä RautaVirta hankesuunnitelmassakin on aiottu, tosin siellä ei ole puhuttu mitään sieniympistä. Näytteiden analysoinnissa ei ollut kuitenkaan keskitytty rautaan, kun typpi oli fokuksena SuVaKi hankkeessa. Vesi SuVaki hankkeen laboratoriopilottitestauksiin oli kuitenkin kerätty Jäälin Saarisenojan alueelta, kun se oli kohtuu lähellä Oulun yliopisto oleva alue. Lisäksi, kun asiaa varmistettiin laboratoriopilottitestaukset tehneeltä tutkijalta, niin kerättyjä näytteitä oli vielä pakastettuna jäljellä. Niinpä päätettiin keväällä 2023 tehdä RautaVirta hankkeen puitteissa noista laboratoriossa rauta-analyysit YSI9500 fotometrillä ja YAP292 Iron MR reagenssien avulla. Näin saataisiin tietoa myös tällaisten bioreaktorirakenteiden raudanpidätyskyvystä.

3.7. Leppisuonojan padotustutkimukset

Leppisuonoja sijaitsee Jäälin ja Laivakankaan harjun eteläpuolella (kuva 7). Alue ei kuulu varsinaiseen Jäälinjärven valuma-alueeseen, vaan vedet virtaavat näytteenottopisteestä katsoen etelään kohti Jäälinojaa. Oja oli alun perin rakennettu hulevesien johtamiseksi. Siihen tarkoitukseen, samoin kuin viereisen metsäalueen kuivatukseen se on aivan liian syvä. Lisäksi siitä huuhtoutui merkittävästi rautaa.



Kuva 7. Leppisuonojan vesinäytteenottopiste ja pohjavesiputkien sijainnit.

Leppisuonojan padotustutkimus aloitettiin vesienhoitoyhdistyksen toimesta patoamalla oja 19.6.2020. Vesinäytteenottoa kohteelta on tehty jo vuodesta 2018 alkaen. Tutkimusta jatkettiin hankkeen puitteissa lisäämällä näytteenottoa ja ylläpitämällä pohjavedenpinnan loggeriseurantaa. Alueella on neljä pohjavesiputkea, joista pohjavedenpintaa seurattiin loggereilla (Solinst levelogger) vuosina 2020–2023. Ilmanpainetta mittaava barologgeri otettiin alueella käyttöön helmikuusta 2023 alkaen. Tämän jälkeen pinnankorkeuksien loggeriseuranta sujui luotettavammin.

Lisäksi suoritettiin näytteenottoa kuivatusojasta, joka on alun perin kaivettu todella syväksi ja siihen purkautui rautapitoista vettä. Hankkeessa analysoitiin Leppisuonojalta kerätty rauta- sekä pohjavedenpinnankorkeusdata, missä tavoitteena oli tutkia vedenpinnan noston vaikutusta purkautuvan veden rautapitoisuuteen ja siten arvioida padotuksen hyötyä rautakuormituksen hallinnan menetelmänä.

3.8. Rautatietopaketti

Rautatietopaketti on koottu kirjallisuuden ja tutkimusten perusteella. Tieto löytyy Elina Raumannin diplomityöstä (Raumanni 2023), joka julkaistaan marraskuussa 2023 ja on saatavissa Oulun yliopiston Jultika arkiston kautta.

4. Yhteistyö ja sidosryhmätyöskentely

Hanke toteutettiin yhteistyössä Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistyksen kanssa. Lisäksi SUSI mallinnuksen osalta asiantuntijoina toimi Luonnonvarakeskuksen (Luke) sekä Itä-Suomen yliopiston tutkijoita. Hankkeessa toteutetuista rakennustöistä vastasi vesienhoitoyhdistys. Yhteistyö eri toimijoiden kanssa onnistui vaivatta, koska osapuolilla on ollut aikaisempaa yhteistyötä. Lisäarvoa tuottava yhteistyö oli helposti luotavissa, koska kullakin taholla oli oma asiantuntemukseen perustuva roolinsa hankkeen toteutuksessa. Yhteistyön kivutonta käynnistymistä ja ongelmatonta jatkumista auttoi se, että osapuolet tunsivat hyvin kohdealueen ja henkilöinä toisensa. Valuma-aluemittakaavaisen vesitalouden hallintajärjestelyt koskevat useita maanomistajia ja mm. vesienhoitoyhdistyksen kautta tiedotettiin alueen maanomistajia uusimmista tutkimustuloksista.

Hankkeessa toteutettu valuma-aluetason arviointi sekä tulokset ovat kiinnostaneet laajasti eri tahoja, ja hankkeen aikana on tullut erittäin paljon kutsuja tulla puhumaan ja kertomaan hankkeen toiminnasta ja tavoitteista. Erityisen paljon keskusteluja on käyty metsätalouden ja vesiensuojelun eri tahojen kanssa. Toisaalta hanke on kiinnostanut laajasti paikallisia asukkaita ja hankkeen toiminnasta on kirjoitettu paikallisissa lehdissä. Yhtä lailla aiheeseen liittyen on käyty paljon keskusteluja ministeriöiden ja ELY-keskusten eri henkilöiden kanssa, mutta lisäksi mm. yliopistojen, Luken ja Sykkeen tutkijoiden kanssa.

Hankkeen ohjausryhmä valittiin siten, että siitä saataisiin lisäarvoa myös omalle hanketyöskentelylle. Siksi ohjausryhmään pyydettiin Hannu Hökkää Luonnonvarakeskuksesta. Hänellä on laaja tietotaito turvemetsätalouden vaikutuksista. Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistyksen jäseniä Birger Ylisaukko-ojaa, Eero Lainetta ja Ismo Karhua, pyydettiin mukaan antamaan paikallista tietotaitoa. Satu Pietola Oulun kaupungin edustajana tuomaan ja viemään uusinta tietoa suoraan ympäristöasioiden käytäntöön yhdessä ELY-keskuksen edustajien kanssa, joita olivat Jukka Tuohino sekä Anna-Mari Rytkönen. Yhteistyö eri tahojen kanssa on toiminut hyvin, joten toteuttajilla ei ole ideoita sen parantamiseksi.

5. Viestintä ja tiedottaminen

Hankkeen toimintaa esiteltiin seuraavien kanavien kautta:

Esittelyt

- Jäälissä pidetty tupailta 22.6.2021 GKT:n henkilöiden kanssa, pääpaino mustaliuskeissa ja Hasu-maissa.
- Suosimulaattori (SUSI) nettiesittely 27.1.2022, 6-(8) hlöä
- "Hundred solutions for water protection in agriculture and forestry / 100 ratkaisua maa- ja metsätalouden vesiensuojelun edistämiseksi" -seminaari, Turku/Teams, 31.5-1.6.2022
- Suosimulaattori (SUSI) Huttukylä 2.6.2022, 17 hlöä
- PEFC-sertifiointitoimikunnan jäsenten vierailu 15.8.2022, 3 hlöä
- Vesienhoitotoimikunnan kokous 4.10.2022
- Maa- ja metsätalouden vesienhallinnan hankkeiden Webinaari, UUSI TIETO KÄYTTÖÖN, 5-6.10.2022
- PuuValuVesi-seminaari 10.10.2022
- Oulun seudun metsänhoitoyhdistysten toimihenkilöiden vierailu 6.10.2022, 21 hlöä
- SYKE:n Vesimylly seminaarisarjassa hankkeen esittely 14.12.2022
- Suometsäilta Oulussa 24.4.2023, yli 100 hlöä
- Oulun yliopiston tohtoriopiskelijoiden vierailu Jäälissä osana Citizen Science Master Class -kurssia, noin 15 hlöä
- Pohjois-Suomen vesienhoito- ja vesistökunnostusseminaari 30.5.-1.6.2023 Kajaanissa
- Vesistökunnostusverkoston vuosiseminaari 13-15.6.2023 Jyväskylässä
- Helsingin yliopiston metsäalan opiskelijoiden vierailu 28.8.2023 Jäälissä, 40 hlöä
- Pohjois-Pohjanmaan kunnostuspäivät 17-18.10.2023
- SUSI mallinnusten tulosten esittely 19.10.2023 Kiimingin-Jäälin Vesienhoitoyhdistyksen kokouksessa, 10 hlöä
- Tulossa: Katse vesiin metsänkäsittelyssä Pohjois-Pohjanmaalla-hankkeen Jäälinjärven valuma-alueen maanomistajille ja toimijoille järjestämä keskustelutilaisuus 21.11.2023

Julkaisut

- Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry: n nettisivuilla on julkaistu tiedote, Jäälin rautatutkimus sai rahoituksen, 31.5.2021

- Rantapohjan juttu RautaVirta –hankkeen käynnistymisestä
- Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry: n nettisivuilla on julkaistu juttu, Biopolymeeriä testataan raudan vähentämiseen 14.8.2021
- MetsäSanoma kertoi suosimulaattorista 2/2021 lehdessään (joulukuu 2021)
- Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry jäsentiedote 29.12.2021
- Rantapohjan juttu suosimulaattorista 12.5.2022
- Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry: n nettisivuilla on julkaistu juttu, Puuniput ”pyynnissä” 26.5.2022
- Vesistökunnostusverkoston uutiskirje elokuu 2022
- Pro Gradu työ: Katri Ollila, Pintavalunnan GIS-pohjainen mallintaminen – tapauksena topografialtaan tasainen metsäojitettu Jäälinjärven valuma-alue, 14.9.2022
- Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistys ry jäsentiedote 30.12.2022
- Rantapohjan juttu Suometsäillasta 17.5.2023
- Video (kuvaa, videokuvaa ja tekstiä) rautahaasteista. Pituus 3 min 41 s. Sitä esitettiin Kajaanin ja Jyväskylän seminaareissa esittelypisteellä, jossa se pyöri alkaen aina uudestaan alusta
- Posteri, esitetty ainakin Kajaanin ja Jyväskylän seminaareissa
- RautaVirta tiedote, jaettu ainakin Kajaanin ja Jyväskylän seminaareissa
- Kandidaatintyö Juha Lapinlampi: Raudan ja muiden metallien huuhtouma turvevaltaiselta Jäälinjärven valuma-alueelta (kesäkuu 2023)
- Kalevan juttu Rautavirta hankkeesta 27.6.2023
- Hankkeen nettisivut yliopistolle: https://oulu.fi/fi/projektit/raudan-haitallisten-vesistovaikutusten-vahentaminen-turvevaltaisilla-metsatalousmailla-rautavirta
- FilmButiken kanssa yhteistyössä tehty tiedotusvideo Rauta ongelman syistä, seurauksista ja mitä sen hillitsemiseksi/ratkaisemiseksi kannattaisi tehdä, Tähän liittyen tehdään myös lyhyt introvideo, jolla on tarkoitus promota tätä varsinaista videota. Videota on tarkoitus jakaa nettisivujen kautta ja sosiaalisen median kanavissa. Video on valmiina lokakuun 2023 loppuun mennessä
- Diplomityö Elina Raumanni: Eri vesienkäsittelymenetelmien toimivuus raudan pidätyksen kannalta – Kohteena Jäälinjärven valuma-alue Pohjois-Pohjanmaalla (marraskuu 2023)
- Hankkeen loppuessa, marraskuussa 2023, on tarkoitus julkaista hankkeesta mediatiedote Oulun yliopiston tiedotuksen kautta. Sen avulla pyritään saamaan myös lehdistöä kiinnostumaan jutun tekemisestä aiheesta
- Hankkeen loppuraportti julkaistaan marraskuussa 2023, ja nettiin laitetaan versio, jossa näkyy varsinaiset tutkimukset ja tulokset

Hankkeen lopputuotoksista pyritään jakamaan tietoa sekä Oulun yliopiston, että Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistyksen nettisivujen kautta, joista löytyisi linkit tuotoksiin. Tietoa pyritään jakamaan myös soveltuvien ja olemassa olevien sosiaalisen median kanavien kautta ja toivotaan, että ohjausryhmän jäsenet jakaisivat sitä omissa organisaatioissaan. Mediatiedotteen kautta toivotaan myös saatavan levitettyä tietoa hankkeen tuotoksista.

Hankkeessa on ollut hyvin monenlaisesti erilaista tiedotusta sekä Oulun yliopiston että Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistyksen kanavien kautta. Tärkeimpiä viestintäkanavia ovat olleet todennäköisesti erilaiset seminaarit ja tapahtumat, joissa asioista on kerrottu ja päästy myös keskustelemaan erilaisten osallistujien kanssa. Suometsäilta huhtikuussa 2023 oli merkittävä ja hyvä viestintäkanava paikallisten metsänomistajien

suuntaa. Videosta toivotaan myös yhtä merkittävää viestintäkanavaa erityisesti metsänomistajille, vesiensuojelun parissa toimiville ja viranomaisille. Lehtijutut jakavat todennäköisesti hyvin laajalti tietoa erilaisille ihmisille. Hankkeen toteuttajilla ei tule juuri nyt mieleen mitään erityistä, mitä tekisivät viestinnän suhteen toisin.

6. Hankkeen tuotokset

Hankkeen tuotoksia ovat

- Pro Gradu työ: Katri Ollila, Pintavalunnan GIS-pohjainen mallintaminen – tapauksena topografialtaan tasainen metsäojitettu Jäälinjärven valuma-alue, 14.9.2022
- Video (kuvaa, videokuvaa ja tekstiä) rautahaasteista. Pituus 3 min 41 s. Sitä esitettiin Kajaanin ja Jyväskylän seminaareissa esittelypisteellä, jossa se pyöri alkaen aina uudestaan alusta
- Posteri, esitetty ainakin Kajaanin ja Jyväskylän seminaareissa
- RautaVirta tiedote, jaettu ainakin Kajaanin ja Jyväskylän seminaareissa
- Kandidaatintyö Juha Lapinlampi: Raudan ja muiden metallien huuhtouma turvevaltaiselta Jäälinjärven valuma-alueelta (kesäkuu 2023)
- FilmButiken kanssa yhteistyössä tehty tiedotusvideo Rauta ongelman syistä, seurauksista ja mitä sen hillitsemiseksi/ratkaisemiseksi kannattaisi tehdä, Tähän liittyen tehdään myös lyhyt introvideo, jolla on tarkoitus promota tätä varsinaista videota. Videota on tarkoitus jakaa nettisivujen kautta ja sosiaalisen median kanavissa. Video on valmiina lokakuun 2023 loppuun mennessä
- Diplomityö Elina Raumanni: Eri vesienkäsittelymenetelmien toimivuus raudan pidätyksen kannalta – Kohteena Jäälinjärven valuma-alue Pohjois-Pohjanmaalla (marraskuu 2023)
- Hankkeen loppuraportti julkaistaan marraskuussa 2023, ja nettiin laitetaan versio, jossa näkyy varsinaiset tutkimukset ja tulokset

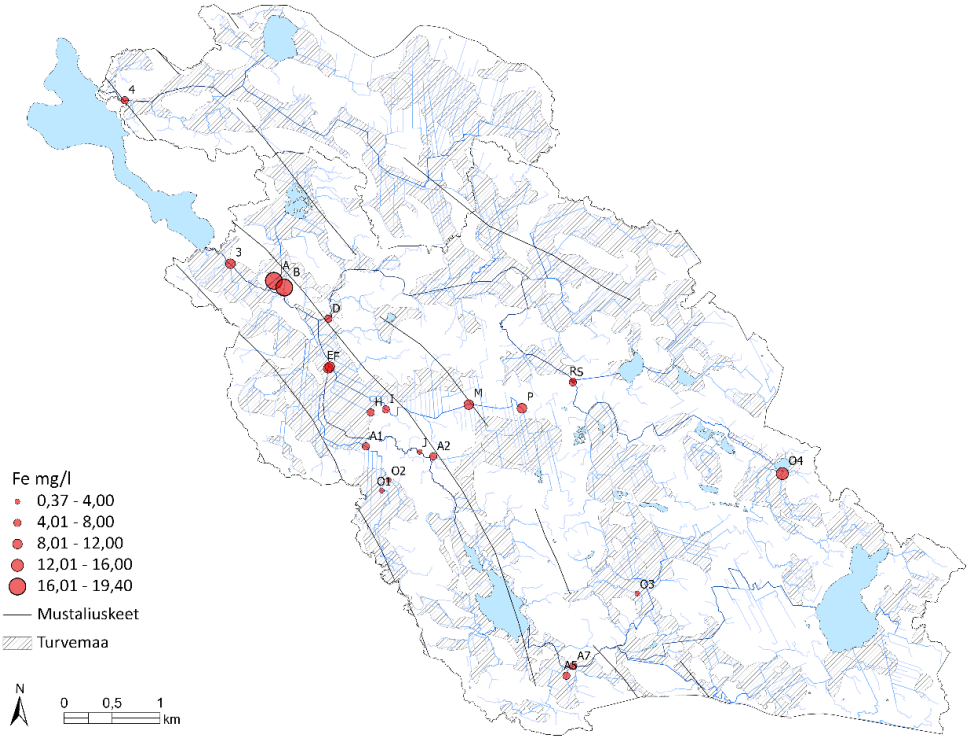
Näistä tuotoksista erityisesti Filmbutikenin kanssa tehdyn tiedotusvideo syntyi tarpeesta, saada tietoa rautahaasteista ja sen mahdollisista hillintämenetelmistä levitettyä mahdollisimman laajasti kaikille, erityisesti metsänomistajille ja muille metsäalan toimijoille ja vesienhoitoyhdistysten jäsenille, sekä viranomaisille tiedotettuna. Ensimmäinen itse tehty video, tiedote ja posteri, syntyivät tarpeesta viestiä vesistökunnostusseminaarien osallistujille rautahaasteesta ja RautaVirta tutkimuksesta esittelypöydän yhteydessä. Opinnäytetöissä on julkaistu laajemmin hankkeen tutkimustuloksia, ja ne ovat julkisesti saatavilla kaikille, jotka ovat lisätiedosta kiinnostuneita. Loppuraportti vetää yhteen RautaVirta hankkeen tutkimuksen.

7. Hankkeen tulokset

7.1. Valuma-alueen paikkatieto ja spatiaalinen vedenlaadun tarkastelu

Näytteenotto osoittaa rautapitoisuuksien vaihtelevan huomattavasti eri puolilla valuma-aluetta. Valuma-alueelta pystyttiin paikantamaan rautapitoisuudeltaan korkeita ja alhaisia valuma-alueita (kuva 8, taulukko 1). Suurimmat rautapitoisuudet havaittiin

lähes poikkeuksetta pisteissä A ja B, mikä todennäköisimmin selittyy Peukaloisenjärven valuma-alueelle 1990-luvulla sijoitetuilla Jäälinjärven ruoppausmateriaaleilla. Keskiarvoltaan alhaisimmat rautapitoisuudet havaittiin näytepisteistä O1 ja O2, joiden valuma-alue koostuu pääosin ojittamattomasta turvemaasta. Ojittamattomalle alueelle sijoittuvassa pisteessä O4 mitattiin verrattain korkeita pitoisuuksia, mutta ajoittaiset epävarmuudet näytteenotossa ohjaavat varovaisuuteen tulkinnoissa. Alueellisen tarkastelun perusteella voidaan paremmin hahmottaa, mistä rautaa merkittävimmin huuhtoutuu. Tätä tietoa voidaan jatkossa hyödyntää toimenpiteiden kohdentamisessa valuma-aluetasolla.

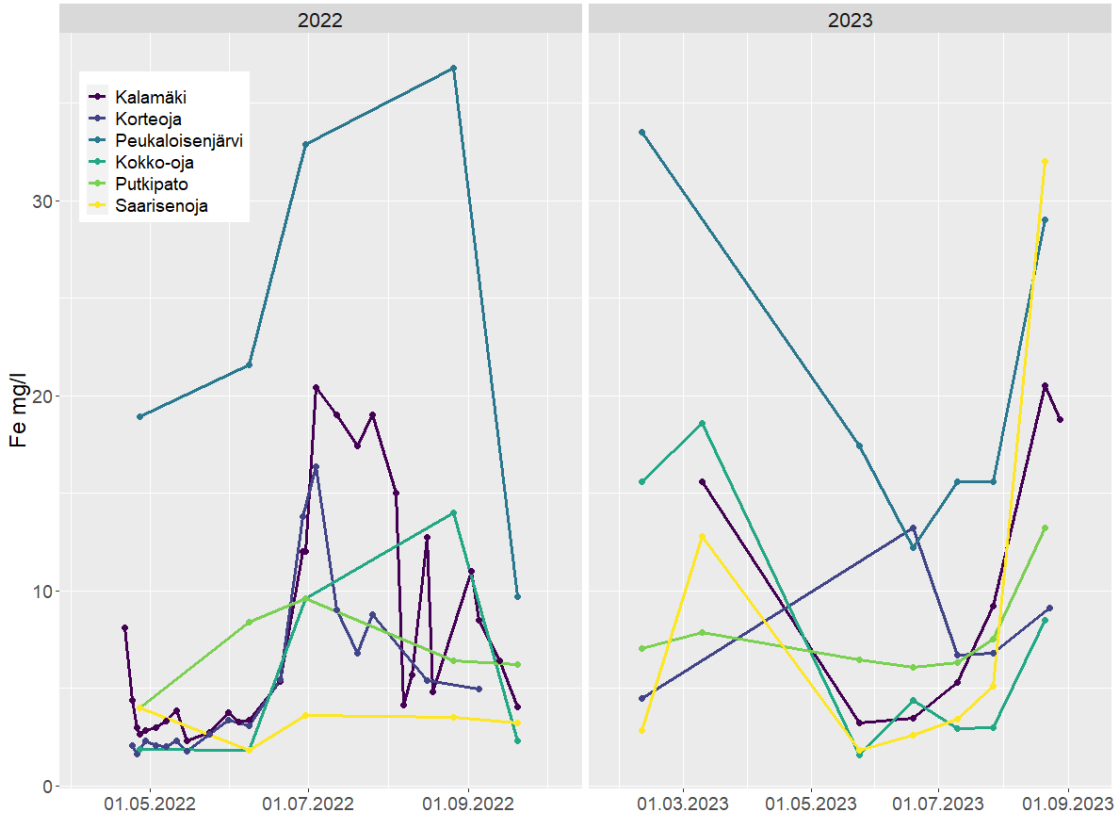


Kuva 8. Rautapitoisuuksien keskiarvot neljältä (Korteojassa, piste 4, kolmelta) näytteenottokerralta vuonna 2023.

Taulukko 1. Vuoden 2023 rautapitoisuuksien keskiarvo, minimi, maksimi ja näytemäärä. Tunnuslukujen laskemiseen käytetty vain samoilta näytteenottokerroilta saadut tulokset.

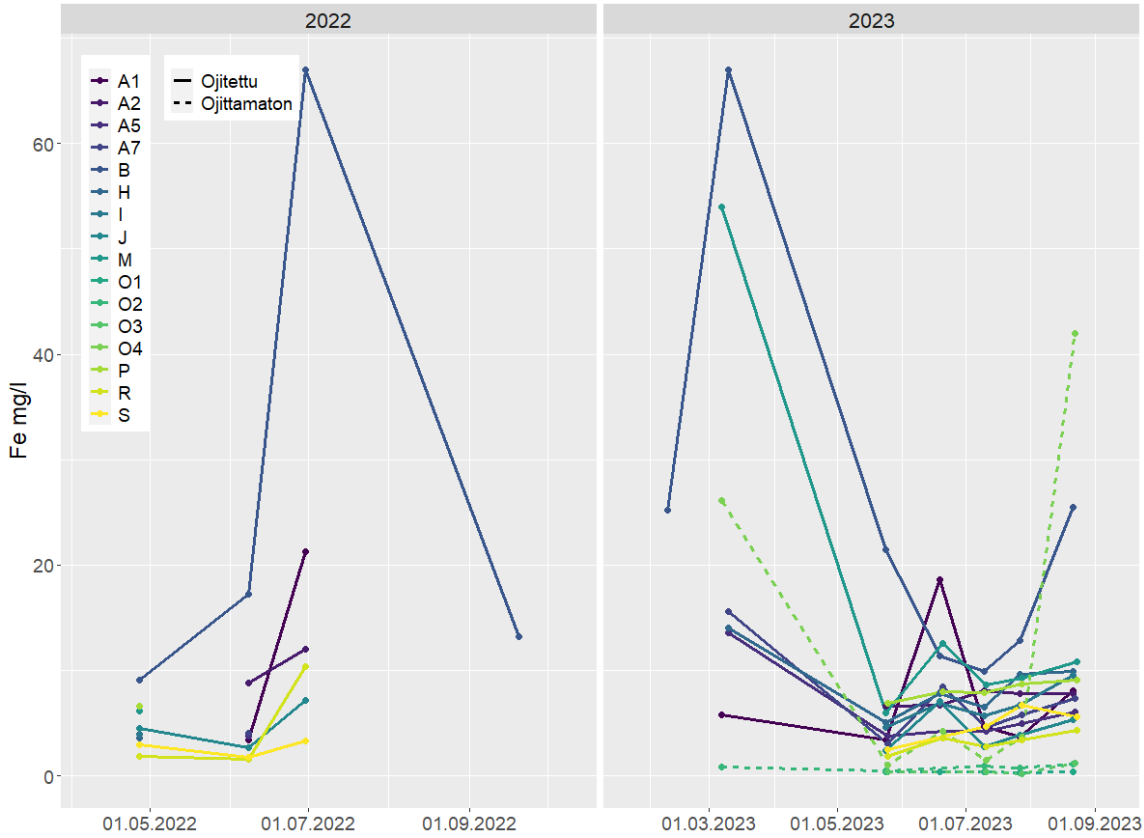
Näytepiste	Fe ka mg/l	Fe min mg/l	Fe max mg/l	n
A	19,400	15,6	29	4
B	17,425	9,9	25,5	4
O4	12,055	1	42	4
F	10,575	1,8	32	4
3	9,550	3,2	20,5	4
M	8,675	6	10,8	4
E	8,370	6,3	13,2	4
P	8,150	6,88	9,1	4
H	7,760	5,04	9,9	4
A2	7,585	6,64	8,1	4
4	7,533	6,7	9,1	3
I	6,635	4,64	9,5	4
A7	5,195	3,04	7,3	4
A1	4,975	3,4	8,1	4
S	4,880	2,52	6,7	4
A5	4,793	3,8	6,1	4
D	4,005	1,6	8,5	4
J	3,570	2,36	5,3	4
R	3,095	1,88	4,3	4
O2	0,795	0,48	1,08	4
O3	0,550	0,24	1,2	4
O1	0,370	0,32	0,4	4

Rautapitoisuuksien ajallista vaihtelua tarkasteltiin vuosilta 2022 ja 2023 (kuva 9). Viidellä päävaluma-alueella vuonna 2022 rautapitoisuudet olivat korkeimmillaan heinä- ja elokuussa. Matalimmat pitoisuudet mitattiin ensimmäisellä näytteenotto-kerralla huhtikuun lopussa sekä viimeisellä syyskuussa. Vastaavasti vuonna 2023 korkeimmat pitoisuudet mitattiin elokuun lopussa, sekä talvinäytteenotossa maaliskuun alussa. Toukokuun ja elokuun alun välillä pitoisuudet olivat pääosin matalampia.



Kuva 9. Isojen alivaluma-alueiden rautapitoisuudet 2022–2023.

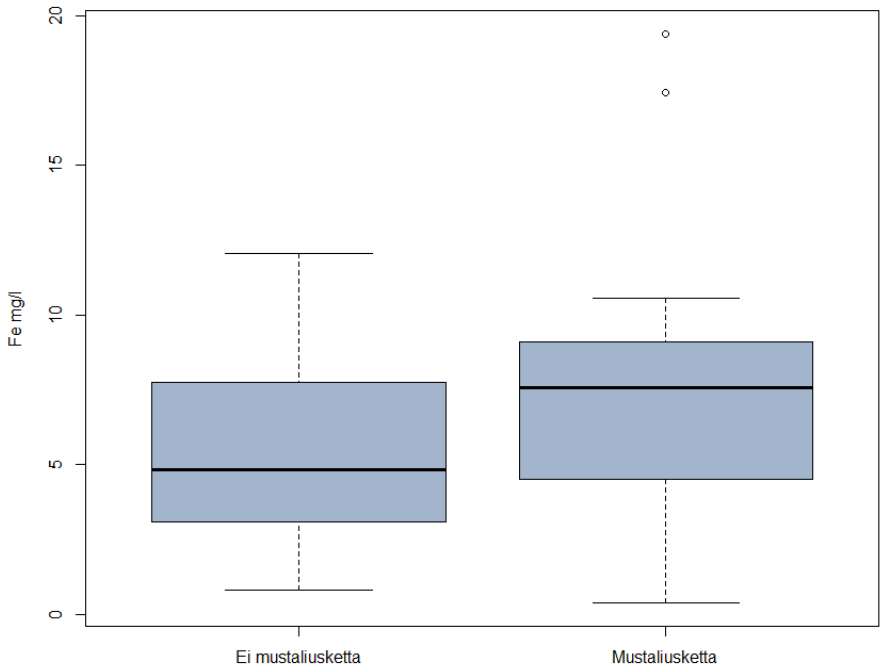
Pienemmillä alivaluma-alueilla vuodelta 2022 näytteitä kerättiin vain muutamalta ajankohdalta. Vuonna 2023 suurimmassa osassa näytepisteitä suurimmat rautapitoisuudet mitattiin maaliskuussa (kuva 10). Kesäkuun lopun näytteenottokierroksella useimmissa näytepisteissä pitoisuudet olivat selkeästi edeltävää ja seuraavaa näytteenottokertaa korkeammat. Muutamassa pisteessä mitattiin jälleen selkeästi nousseet pitoisuudet elokuun lopussa, mutta pääosin loppukesän pitoisuudet pysyivät samalla tasolla tai kohosivat vain hieman.



Kuva 10. Pienempien alivaluma-alueiden rautapitoisuudet 2022-2023.

Tuloksista voidaan havaita rautapitoisuuksien huomattava ajallinen vaihtelu, mikä todennäköisesti heijastaa vaihteluita lämpötilassa, sadannassa ja hydrologiassa. Korkeita pitoisuuksia havaittiin talvinäytteenotossa, jolloin pohjavedenpinnan ollessa alhaalla valunnan voidaan olettaa tulevan syvemmältä raudan rikastamista kerroksista (Heikkinen 1990). Myös happipitoisuudet voivat olla tällöin alhaisia. Keväällä lumien sulaminen ja kevättulvat vaikuttavat pitoisuuksiin laskevasti. Pienillä valuma-alueilla havaittua kesäkuun lopun piikkiä rautapitoisuuksissa edelsi kuiva jakso ja lämpötilojen nousu. Rautapitoisuuksien nousu voi liittyä pohjavedenpinnan laskuun ja valuntaan syvemmistä maaperän kerroksista (Heikkinen 1990). Kuivatustoimenpiteet aktivoivat hydrologisesti ja biogeokemiallisesti syvempiä turvekerroksia ja voivat mahdollistaa syvempiin kerroksiin pidättyneen raudan uudelleen liikkeellelähdön. Toisaalta rauta on myös herkkä redox-olosuhteiden vaihtelulle ja mikrobitoiminnan vaikutuksille. Lämpö ja kosteat olosuhteet edistävät pelkistäviä olosuhteita, jolloin rautaa pelkistyy liukoiseen muotoon anaerobisen mikrobitoiminnan vaikutuksesta (Ekström et al. 2016). Pelkistynyt liuennut rauta huuhtoutuu vesistöön etenkin syvemmistä turvekerroksista, mitkä on kuivatustoimenpiteistä johtuen hydrologisesti aktiivisempia ja vesistöissä rauta pääsee taas hapettumaan. Mikrobitoiminnan vaikutus on näkyvissä todennäköisesti loppukesän kohonneina pitoisuuksuna. Kuivatustoimenpiteet voivat joissain tilanteissa edesauttaa myös rautapitoisen pohjaveden suoraa purkautumista vesistöihin.

Valuma-aluetekijöistä tarkasteltiin mm. mustaliuskeiden, maaperän ja ojituksen yhteyksiä rautapitoisuuksiin. Mustaliuskeisilla alueilla mitattiin keskimäärin korkeimpia rautapitoisuuksia, mutta vaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää (Mann-Whitney U p = 0,3668) (Kuva 11). Mustaliuskeiden vaikutuksessa on huomioitava, että jääkauden aiheuttama kulutus ja kuljetus on levittänyt mustaliuskekiviaineista laajemmalle valuma-alueen maaperään. Tästä syystä lähes koko valuma-alueen maaperä on mustaliuskevaikutteinen. Mustaliuskealueiden turpeeseen etenkin syvempiin kerroksiin on rikastunut rautarikkiyhdisteitä (Virtanen & Lerssi 2006), ja pohjavedenpinnan lasku voi päästä huuhtomaan rautaa näistä kerroksista. Mustaliuskeiden hapettuminen myös happamoittaa maaperää, jolloin metallien liukeneminen tehostuu entisestään (Parviainen & Loukola-Ruskeeniemi 2019).



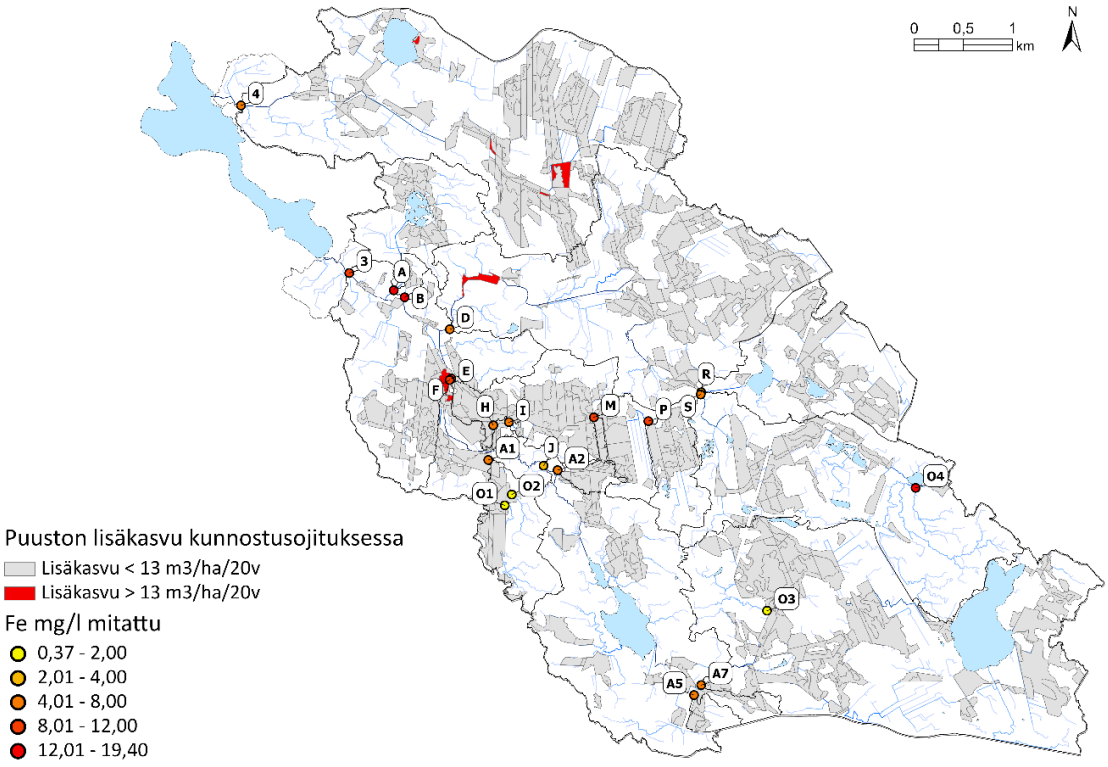
Kuva 11. Mustaliuskeisten ja mustaliuskeettomien valuma-alueiden rautapitoisuudet laatikkojanakuviona.

Valuma-aluetekijöiden tarkastelulla ei löydetty suoraan rautapitoisuutta merkitsevästi selittäviä tekijöitä, mutta tulokset kuitenkin osoittavat ojituksen olevan yhteydessä korkeampiin rautapitoisuuksiin. Ojitus vaikuttaa raudan huuhtoutumiseen mm. pohjavedenpinnan laskemisen, mustaliuskeiden hapettumisen ja virtausreittien muuttumisen kautta (Heikkinen et al. 2022).

Hankkeessa kertyneiden aineistojen perusteella Jäälinjärven valuma-alueen hydrologiaa ja vedenlaatua tarkasteltiin yhdistetysti SUSI-paikkatietoaineistojen kanssa. Vedenlaatu, eli rautapitoisuudet, kertovat raudan pitoisuuksista eri puolilla valuma-aluetta. Mallinnettu virtausverkko mahdollistaa pienempien alivaluma-alueiden rajauksen ja hydrologian tarkastelemisen. SUSI-aineistot puolestaan tuottavat

tietoa puuston kasvusta, pohjavedenpinnasta ja valunnasta tietyllä ojasyvyydellä metsäkuviokohtaisesti. Näiden avulla voitiin selvittää, mistä rautaa huuhtoutuu eniten alivaluma-aluetasolla, ja linkittää se ojasyvyyden muuttamisen aiheuttamiin muutoksiin. Liitteessä 2 on esitetty hankkeessa luotuja karttoja.

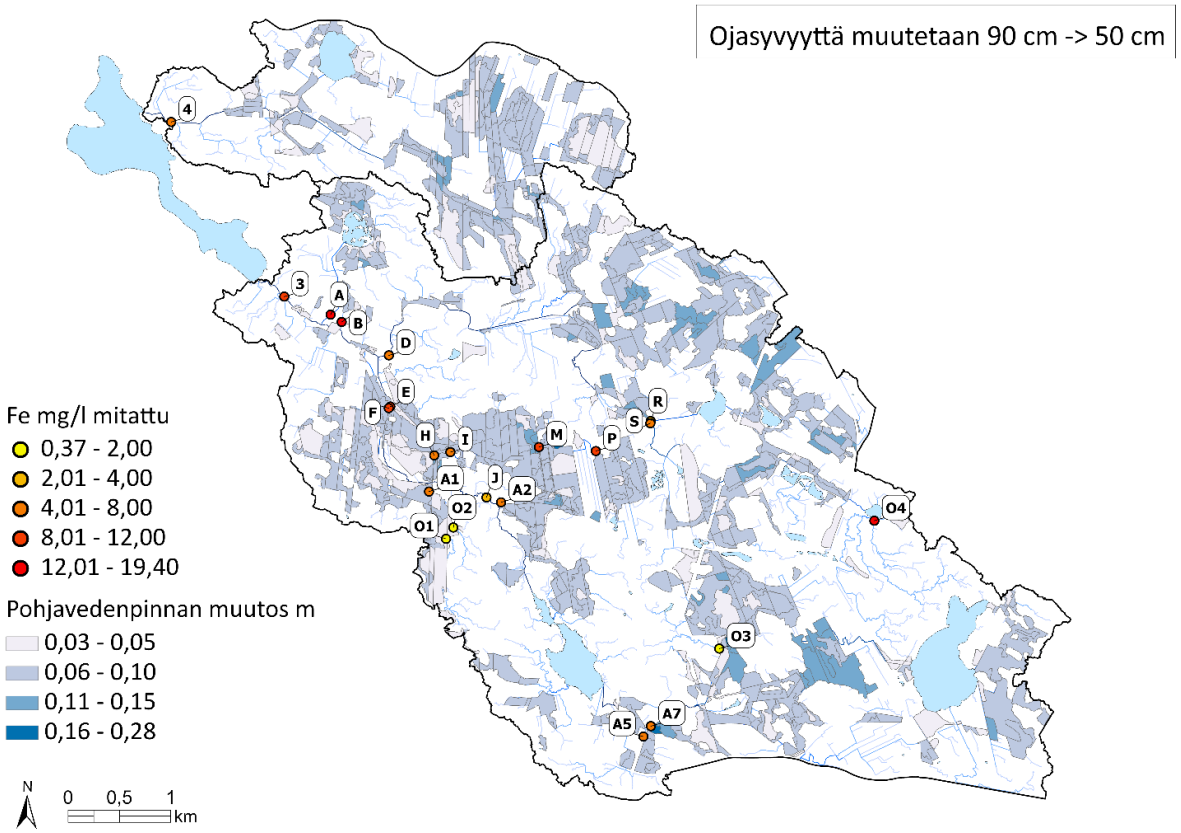
SUSI mallinnuksen aineistot mahdollistavat kunnostusojituksen kannattavuuden tarkastelun puuston lisäkasvuun perustuen. Mallinnuksen tulokset puuston lisäkasvusta on muodostettu 20 vuoden simulointiajanjaksolle, joten myös kannattavuutta arvioidaan tähän ajanjaksoon perustuen. Jos käytetään ojituskustannuksena 272 €/ha (tilastoitu keskiarvo), mäntykuitupuun kantohintana 26 €/m^3 (keskiarvo) ja korkokantana 1 %, yli 13 m^3/ha/20 v lisäkasvu tuottaa positiivisen taloustuloksen (sähköposti Hannu Hökkä). Tähän arvoon perustuen suurimmalla osalla Jäälinjärven valuma-alueesta kunnostusojitus ei ole puuston kasvun kannalta kannattavaa (kuva 12).



Kuva 12. Puuston lisäkasvu kunnostusojituksessa, jos 30 cm:n syvyinen oja syvennetään 90 cm:iin, luokiteltuna kannattavuuden perusteella sekä rautapitoisuuksien keskiarvot 2023.

SUSI-mallinnuksen tuottamia aineistoja pohjavedenpinnasta ja valunnasta tarkasteltiin yhdistetysti vedenlaadun kanssa alivaluma-aluetasolla. Valunnan muutokset linkitettynä mitattuihin rautapitoisuuksiin voivat paljastaa riskialueita, joilla kunnostusojitus voi lisätä rautakuormitusta. Tarkastelun perusteella valunnan kannalta riskialttiiksi alivaluma-alueiksi arvioitiin näytepisteiden B, A1, E ja 4 valuma-alueet (ks. näytepisteiden sijainnit kuva 8), joista etenkin näytepiste B erottuu myös korkeilla rautapitoisuuksilla.

Valunnan ohella myös pohjavedenpinnan muutokset kertovat riskialueista, koska pohjavedenpinnan lasku voi lisätä raudan huuhtoutumista raudan rikastamista kerroksista (Heikkinen et al. 2022). SUSI-aineistoilla voidaan paikantaa alueita, joilla pohjavedenpinta laskisi kunnostusojituksessa huomattavasti. Tällaisilla kuvioilla kunnostusojitus voi johtaa raudan liikkeelle lähtöön maaperästä ja sitä tulisi siksi välttää. Pohjavedenpinnassa tapahtuvia muutoksia voidaan tarkastella toisaalta myös siltä kannalta, mitä vedenpinnankorkeudelle tapahtuu ojasyvyyttä madallettaessa (kuva 13). Aineiston pohjalta voidaan paikantaa kohteita, joissa pohjavedenpintaa olisi mahdollista nostaa ojasyvyyttä madaltamalla. Näistä kannattaa edelleen valikoida vedenlaatumittausten perusteella alueet, joilta huuhtoutuu rautaa. Huomioimalla samanaikaisesti muutos puuston kasvussa voidaan tarkastella kohteita, joilla pohjaveden pintaa voitaisiin nostaa ilman liiallista vettymistä ja siten haittaa puuston kasvulle. Näin SUSI-aineistoilla voidaan arvioida potentiaalia vedenpidätykselle ja siten raudan huuhtoutumisen vähentämiselle, ottamalla huomioon myös metsätalous.



Kuva 13. Ojasyvyyden madaltamisen, jos 90 cm:n syvyinen oja madalletaan 50 cm:iin, aiheuttama pohjavedenpinnan muutos ja rautapitoisuuksien keskiarvot 2023.

Tuloksia on hyödynnetty jo erityisesti siinä, että on mietitty mahdollisia alueita seuranta-alueiksi, joissa toteutettaisiin padotusta ja tuhkalannoitusta, ja seurattaisiin sen

vaikutuksia mm. puuston kasvuun ja vedenlaatuun. Muutoin tuloksia voivat tulevaisuudessa hyödyntää alueen noin 300 metsänomistajaa, jotka voivat miettiä, kannattaako tehdä kunnostusojituksia vai ei. Toisaalta voidaan miettiä koko valuma-alue tasolla myös, kannattaisiko joitakin alueita ennallistaa kokonaan, jolloin voitaisiin saada alueita vedenpidätykseen ja voitaisiin todennäköisesti vähentää rautahuuhtoutumista. Kehitettyä työkalua ja tarkastelumenetelmäkonseptia voidaan hyödyntää Jäälinjärven valuma-alueen lisäksi myös muilla valuma-aluella kansallisesti, valuma-alueen vedenpidätyskyvyn ja vedenlaadun tarkastelun osalta.

7.2. Ehdotuksia seuranta-alueen jatkotarkkailuksi

Seuranta-alueen tutkimus sisältäisi kuivatusojien padotuksen niin, että metsäpalstan kuivavara vastaisi nykykäsitystä. Puuston mahdollinen kasvutappio kompensoitaisiin maanomistajalle tuhkalannoituksella. Seurantaohjelmaan kuuluisi puuston kasvun ja vedenlaadun seuranta.

Seuranta-alueelta lähtevän veden uomaan olisi hyvä jatkotarkkailun pohjaksi perustaa V-mittapato ja asettaa sinne jatkuvatoimiminen vedenpinnankorkeuden mittari. Kun tehdään aina välillä myös manuaalisia vedenpinnankorkeusmittauksia, niin voidaan kalibroida jatkuvatoimisen pinnankorkeusmittarin tuottama data. V-mittapadon vedenpinnankorkeusmittauksen avulla voidaan sitten laskea alueelta tuleva virtaama. V-mittapadolta voidaan myös ottaa vesinäytteet esimerkiksi rauta-analyyseihin. Jos halutaan tarkastella toimenpiteiden vaikutusta myös muihin vedenlaadun parametreihin, niin silloin toki vesinäytteistä teetetään myös nämä analyysit. Lisäksi seuranta-alueen eri puolille olisi hyvä asentaa pohjavesiputkia esimerkiksi 4–5 kpl, ja tehdä näistä joko manuaalisia vedenpinnankorkeusmittauksia ympäri vuoden tai asentaa niihin lisäksi jatkuvatoiminen vedenpinnankorkeuden loggeri. Mahdollisuuksien mukaan seuranta-alueelle virtaaman mittaus ja vesinäytteenottopiste sekä pohjavesiputket kannattaa perustaa jo kaksi-kolme vuotta ennen kuin alueella tehdään kuivatusojan padotus ja tuhkalannoitus, jotta saadaan tietoa asioista ennen muutoksen tekoa. Näytteenotto ja manuaalimittaukset voisivat olla esim. kerran kahdessa kuukaudessa talvikaudella ja kesä-syyskuu välillä kerran kuukaudessa. Näitä toimenpiteitä myös jatkettaisiin vastaavasti ojien padotuksen ja tuhkalannoituksen jälkeen. Mahdollisuuksien mukaan voisi seurata myös maankosteutta. Puuston kasvun seurannan osalta kannattaa olla hyvissä ajoin yhteydessä tahoihin, jotka sen seurannan osaavat. Jatkotarkkailuehdotukset hyödyttävät tulevaisuudessa erityisesti eri valuma-alueiden paikallisia henkilöitä, jotka miettivät seuranta-alueiden perustamista.

7.3. Vesienkäsittelymenetelmät rautapitoisten vesien käsittelyyn

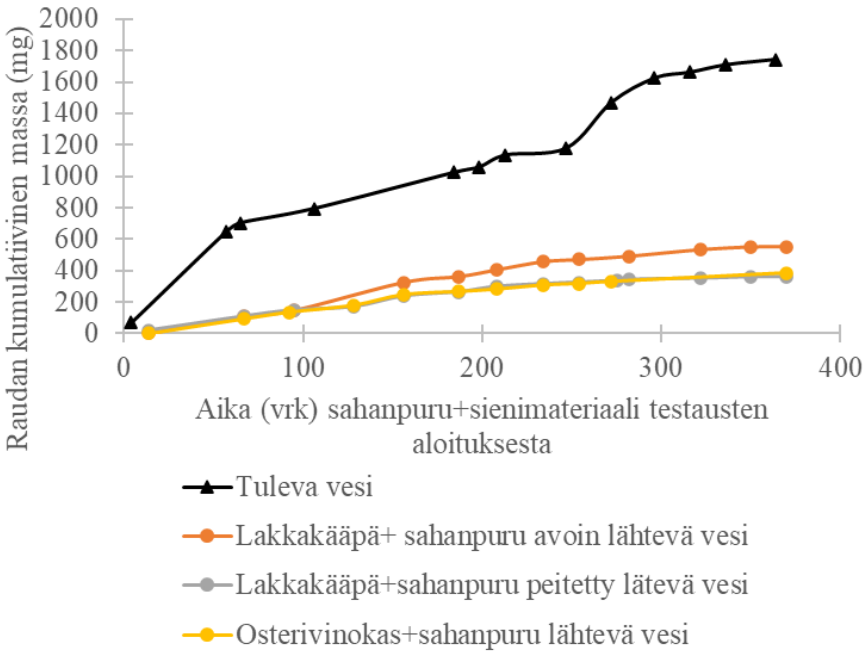
Rautaa Saarisenojaa pitkin Kalamäen kosteikolle on kesän 2022 virtaama- ja raudanpitoisuusmittausten perusteella saapunut keskimäärin 204 kg/vrk (kesä-syyskuu) ja kesällä 2023 touko-syyskuu välillä keskimäärin 357 kg/vrk (Raumanni 2023).

Tällöin kesän 2022 neljän kuukauden tarkasteluaikana tämä tarkoittaa noin 24,6 t rautaa ja kesän 2023 viiden kuukauden tarkasteluaikana noin 53,3 t rautaa. Saarisenojan valuma-alue on noin ¾ 36 km^2 Jäälinjärven valuma-alueesta eli 27 km^2. Tällöin valuma-alueelta on lähtenyt kuormitusta neliökilometriä kohden 2022 vuoden kesä-syyskuun välisenä aikana noin 1,1 t/km^2 eli 8 kg/(km^2 *vrk) ja 2023 vuonna touko-syyskuu välisenä aikana noin 2,0 t/km^2 eli 13 kg/(km^2 *vrk).

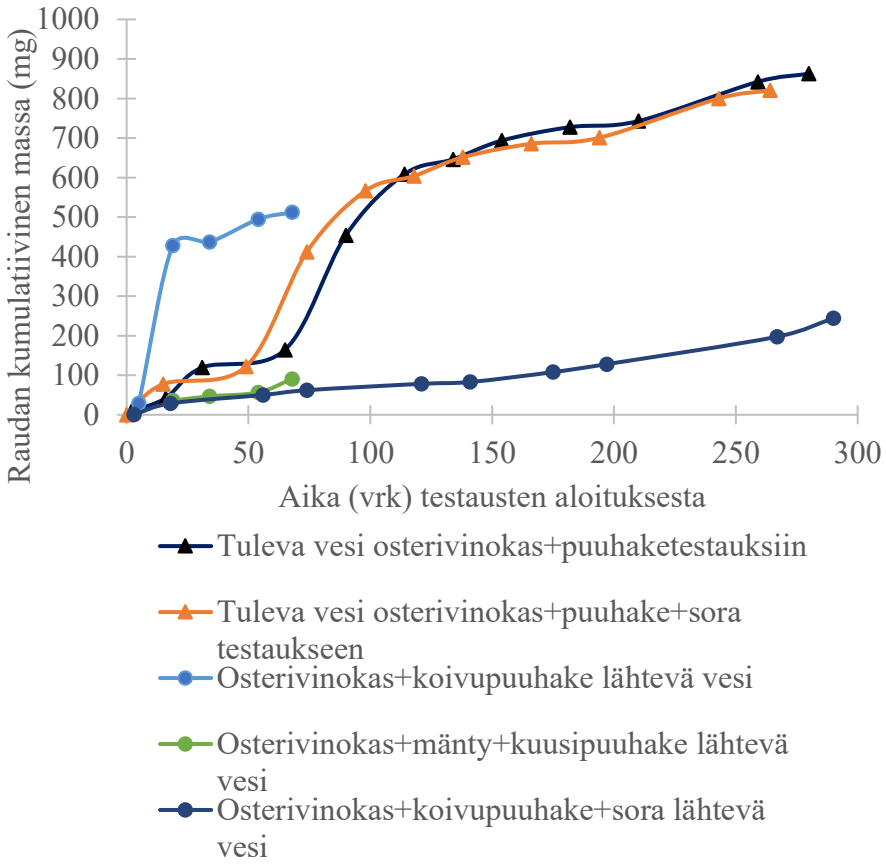
Mikään tutkituista vesienkäsittelymenetelmistä ei poistanut merkittävästi rautaa. Tehokkain oli 3,5 ha laajuinen Jäälinjärven Järviallas, jossa saatu keskimääräinen pitoisuusreduktio kesällä 2023 oli 7,8 % (n=7), mikäli kaikkien näytteenottokertojen tulokset otetaan huomioon. Mikäli 6.6.2023 otettujen pienen pitoisuuksien näytteiden huuhtoutumista kuvaavat näytteet jätetään huomioimatta, pitoisuusreduktio oli 16 %. Kalamäen kosteikon puhdistustehokkuus pitoisuusreduktioina tarkasteltuna oli 2022 kesällä -4,6 % (n=10) ja 2023 kesällä 8,6 % (n=13). Korteojan kosteikolta huuhtoutui kesällä rautaa (-47 %, n=5). Pyörrealtaassa ensimmäisen tarkastelukesänä 2023 saavutettu pitoisuusreduktio oli noin 6,2 % (n=7), mikä on pyörrealtaan kokoon, verrattuna esimerkiksi Jäälinjärven Järvialtaaseen, suhteutettuna ihan hyvä reduktio ja Kalamäen kosteikon yläpuolelle asennetuilla puunipuilla saatiin kesällä 2022 keskimäärin 2,9 % (n=15) pitoisuusreduktio. Elokuussa 2021 toteutetuissa biopolymeerikokeissa ei havaittu vaikutusta raudan pidättymisen Kalamäen kosteikolla, ja purkkitestissä ei havaittu sameuden pienenemistä. Tarkemmin vesienkäsittelymenetelmien tuloksista voi lukea Elina Raumannin diplomityöstä (Raumanni, 2023). Tuloksia ei ole erityisesti vielä hyödynnetty missään, mutta niitä voivat hyödyntää kaikki tahot, jotka miettivät rautapitoisten vesien käsittelymahdollisuuksia.

7.4. Puuhake-, sahanpuru -/+ sieni bioreaktorin laboratoriotestaukset

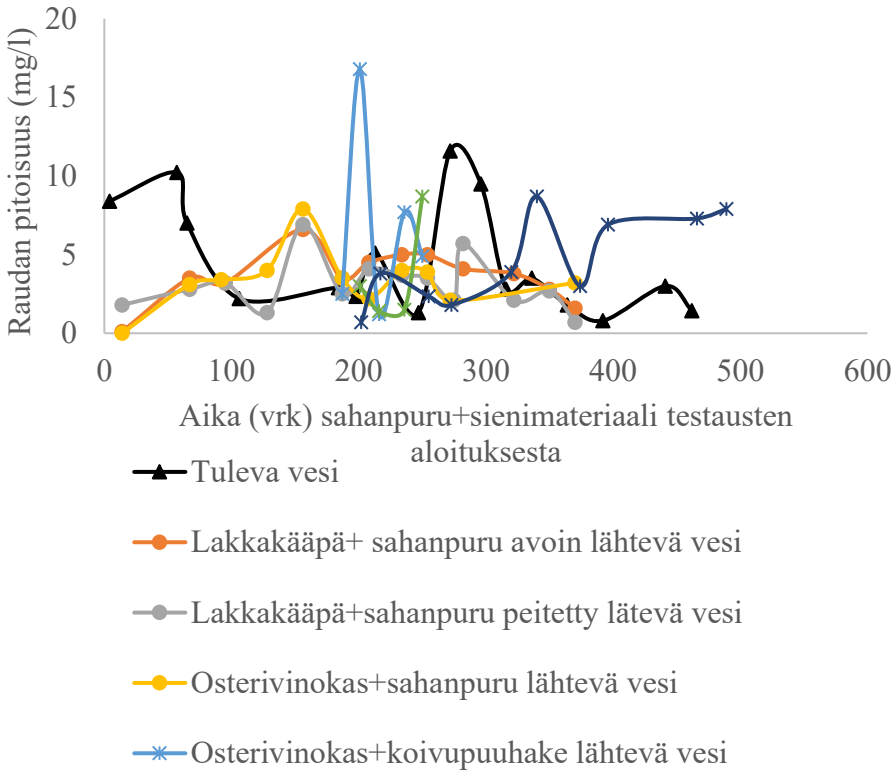
Laboratoriotestausten tulosten perusteella sahanpuru+sieni, osterivinokas+mänty+ sienipuuhake ja koivupuuhake+sora bioreaktorirakenteet ovat pystyneet pidättämään niihin johdetusta valumavedestä rautaa (kuvat 14 ja 15). Keskimäärin noin 370 vrk aikana on saatu poistumaan sahanpuru+ avoin lakkakääpä yksikössä 68 % kokonaisraudan kuormituksesta, ja sahanpuru+peitetty lakkakääpä yksikössä noin 79 % ja sahapuru+osterivinokas yksikössä noin 78 %. Tulevan veden keskimääräinen rautapitoisuus on ollut 4,6 mg/l (vaihteluväli 0,8–11,6 mg/l), ja sen kuormitus on ollut noin 1750 mg 370 vrk aikana. Koivupuuhake+sora on ainoa puuhaketestaus, jota on jatkettu pidempään, ja siinä noin 820 mg raudan kuormituksesta on saatu noin 265 vrk aikana poistumaan 76 %. Kun tarkastellaan pitoisuuksia, niissä on voimakasta vaihtelua eri ajanhetkinä (kuva 16).



Kuva 14. Raudan kumulatiivinen massa (mg) sahanpuru+sienimateriaalien testauksessa.



Kuva 15. Raudan kumulatiivinen massa (mg) puuhaketestauksissa.



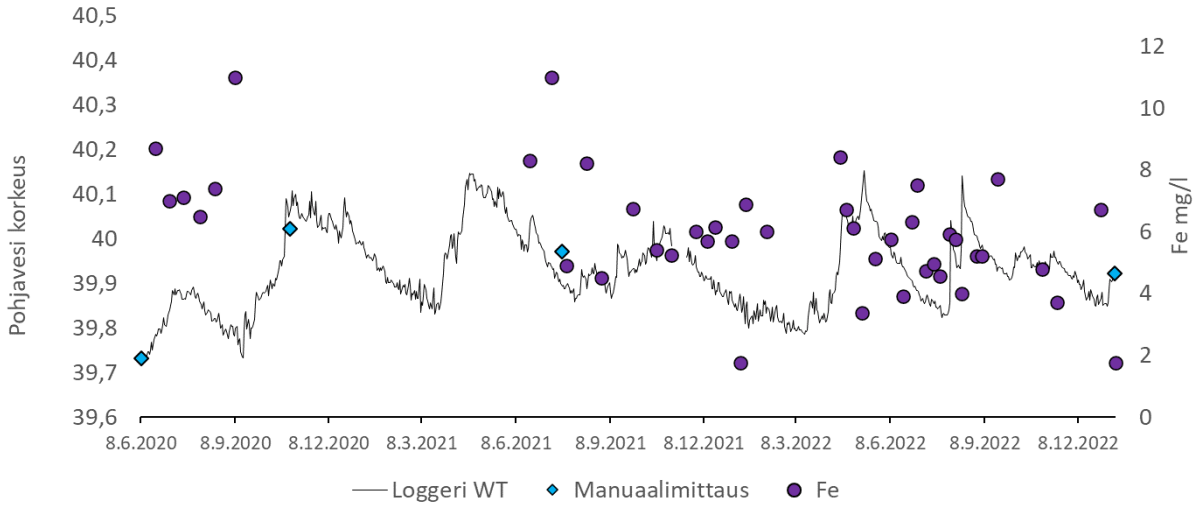
Kuva 16. Raudan pitoisuudet puu+sienimateriaalibioreaktorien laboratoriotestauksissa.

Huuhtoutumistesteissä, joita materiaaleille tehtiin laboratoriossa hanavedellä, mänty+kuusipuuhakkeesta vaikutti irtoavan eniten rautaa ja lähtevän veden kumulatiivinen kuormitus oli noin 104 mg 112 vuorokauden tarkasteluaikana. Sahanpurumateriaalista ilman sientä lähtevän veden kumulatiivinen kuormitus oli 148 vrk:ssa noin 80 mg, koivupuuhakkeesta 112 vrk:ssa noin 10 mg, sahanpurusta 119 vrk:ssa noin 16 mg, ja sahanpuru+lakkakääpämateriaalista 115 vrk:ssa aikana noin 23 mg. Oulun veden sivujen mukaan viranomaistarkkailun perusteella Linnanmaan alueen, jossa Oulun yliopisto sijaitsee, hanaveden rautapitoisuus on ollut 2023 syyskuussa 0,069 mg/l (Oulun vesi 2023). Tulevan veden mukanaan tuoma rautakuormitus rakenteisiin on ollut siis 2–4 mg tarkasteluaikana. Käytännössä materiaaleilla on kuitenkin selvä raudanpitoisuuskyky, kun tulevan veden rautapitoisuus on korkeampi kuin hanaveden. Nämä ovat tällaisenaan vasta pienen mittakaavan raudanpoistotuloksia ja hyödynnettävissä lähinnä seuraavien tutkimusten ja mahdollisten isompien pilottirakenteiden suunnittelun pohjaksi.

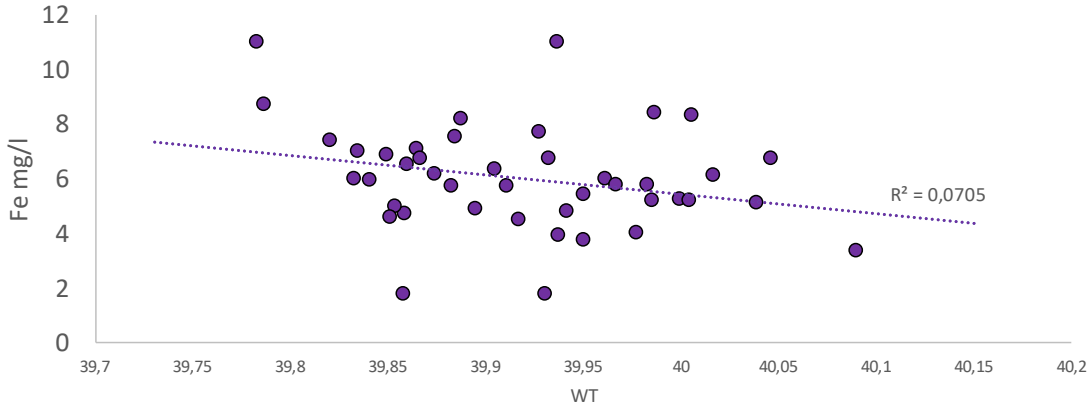
7.5. Leppisuonojan padotustutkimukset

Kaikissa Leppisuonojan pohjavesiputkissa pohjavedenpinta on noussut padotuksen seurauksena, eli padotuksen voidaan siis todeta onnistuneen. Verrattaessa rauta-analyysien tuloksia pohjavedenpintaan putkissa 1 (kuvat 17 ja 18) ja 2, jotka ovat ojan

koillispuolella, voitiin havaita heikko negatiivinen yhteys. Ojan lounaispuolella putkissa 3 ja 4 rautapitoisuuden ja pohjavedenpinnan korkeuden välillä ei havaittu yhteyttä.



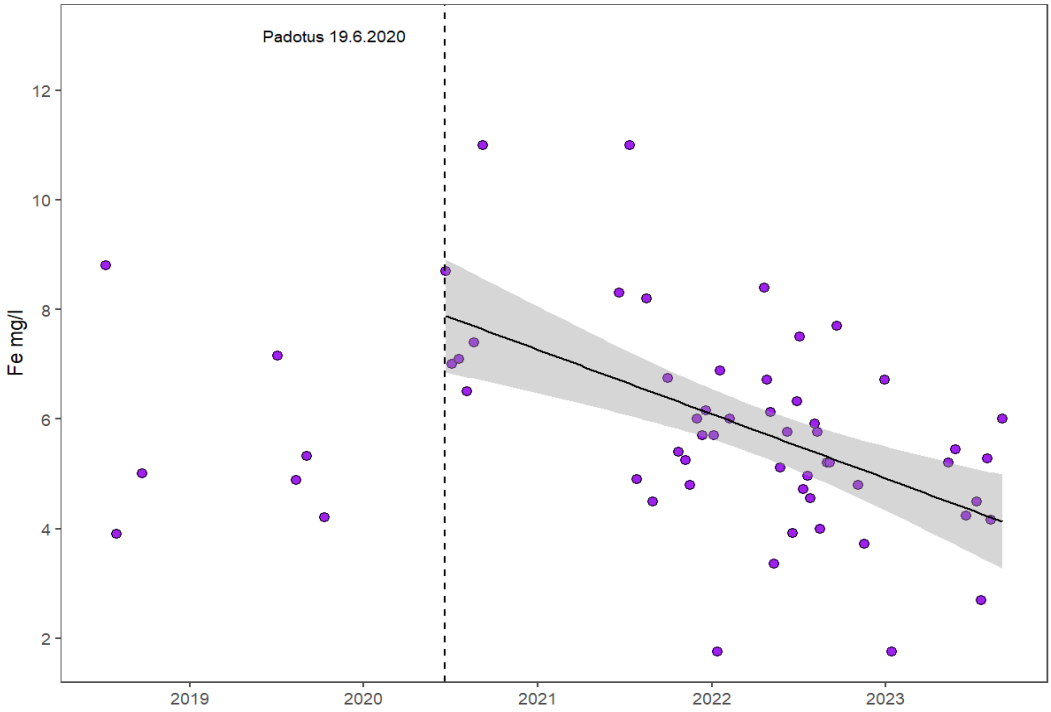
Kuva 17. Leppisuonojan putki 1 pohjavedenpinnan vaihtelu (Loggeri WT), manuaalimittaukset ja rautapitoisuudet 8.6.2020-13.1.2023



Kuva 18. Pohjaveden pinnankorkeuden (putki 1) ja rautapitoisuuksien hajontakuvio.

Padotuksen jälkeisissä rautapitoisuuksissa voidaan havaita selkeä negatiivinen trendi (kuva 19). Heti padotuksen jälkeen pitoisuudet ovat kuitenkin kohonneet ja viimeisimmät analyysit osoittavat niiden palautuneen vasta padotusta edeltävälle tasolle. Tulosten perusteella voidaan sanoa padotuksen vaikuttavan rautapitoisuuksiin, mutta todellinen vaikutus nähdään vasta pidemmän seurannan tuloksena. Lisäksi seurantakohteeseen purkautuu läheisen mineraalimaa-alueen rautapitoista pohjavettä ja siten padotuksella ei välttämättä ole suoraan vaikutusta seurantakohteen rautapitoisuuteen. Padotuksella on kuitenkin suurempi alueellinen hyöty, ja se osaltaan mahdollistaa rautapitoisen veden leviämisen viereiselle suoalueelle. Tämä osaltaan auttaa alueellisen rautapitoisuuden vähentämiseen ja palauttaa luonnollisia harju-suo hydrologisia yhteyksiä.

On myös huomattava, että analyysimenetelmä vaihtui vuonna 2021 YSI fotometrin hankinnan myötä. Fotometrillä mitatut rautatulokset olivat keskimäärin 2,1 mg/l pienempiä, kuin laboratoriossa analysoidut. Leppisuonojan rautapitoisuudet ovat kuitenkin pääosin alhaisia, joten virheen voidaan olettaa olevan pienempi (alle 10 mg/l pitoisuuksissa -0,77 mg/l). Padotustutkimuksen tulokset ovat kaikkien niiden hyödynnettävissä, jotka miettivät tällaisen menetelmän toimivuutta raudan huuhtoutumisen vähentämisessä.



Kuva 19. Leppisuonojan rautapitoisuudet 2018–2023. Padotuksen jälkeiselle ajalle esitettynä regressiosuora ja 95 % luottamusväli. Padotuksen ajankohta merkittynä katkoviivalla.

8. Hankkeen innovatiivisuus, monistettavuus, uutuusarvo, hankkeen hyöty

Hankkeessa kartoitettiin Jäälinjärven valuma-alueen rautakuormitusongelmaa kattavasti, tuottaen samalla käyttökelpoista aineistoa vesienhallinnan tueksi. Uutta tietoa ja menetelmiä luotiin toteuttamalla kattava valuma-alueen paikkatietokartoitus virtausverkon mallinnuksen ja suosimulaattorimallin aineistojen pohjalta. Yhdistämällä paikkatieto näytteenotolla kerättyyn vedenlaatuaineistoon luotiin valuma-aluelähtöistä suunnittelua tukeva toimintamalli, jossa mallinnukseen ja kerättyyn aineistoon perustuen voidaan arvioida valuma-alueen sisäisesti rautahuuhtouman kannalta riskialttiita alueita ja vedenpidätyksen potentiaalia. Ottamalla huomioon myös puuston kasvu voidaan edesauttaa metsätalouden ja vesiensuojelun yhteensovittamista. Tämä tukee valuma-aluesuunnittelua paikallisesti, mutta luo toistokelpoisen mallin Jäälin

ulkopuolisten valuma-alueiden kartoitukseen myös muiden vedenlaatuongelmien hallintaan raudan lisäksi.

Hankkeessa tuotettiin uutta tietoa vesienhoitoon pilotoimalla uusina menetelminä raudan hallinnassa puuniput, pyörreallas ja biopolymeeri. Lisäksi jatkettiin aiempien menetelmien, kosteikon ja laskeutusaltaan, toimivuuden tutkimista raudan (ja ravinteiden) pidätyksessä. Näistä menetelmistä ja niiden toimivuudesta kertynyttä tietoa voidaan hyödyntää laajemmin myös muilla valuma-alueilla vesiensuojelussa ja rautakuormituksen hallinnassa.

Tuotettua tietoa ja toimintatapoja tiedotettiin aktiivisesti esimerkiksi erilaisten viestintätuotteiden, kuten posterin ja videoiden, muodossa. Tiedonvälityksellä saavutettiin niin asiantuntijoita kuin maanomistajiakin erilaisissa seminaareissa ja tapahtumissa. Hankkeen lopputuotteena muodostuu tietopaketti rautakuormituksesta ja ongelmien hallitsemisesta, minkä avulla kertynyttä tietoa voidaan edelleen jakaa eri tahoille.

9. Toiminnan jatkuvuus

Tiivis yhteistyö vesienhoitoyhdistyksen kanssa takaa, että toiminta, seuranta jatkuvatoimisilla antureilla ja vesinäytteillä sekä vesiensuojelumenetelmien ylläpito jatkuu Kiimingin-Jäälin Vesienhoitoyhdistyksen toimesta. Tietoa rautahaasteesta paikallisesti, alueellisesti ja kansallisesti on jalkautettu sekä tietoa jaetaan jatkossakin osana vesienhoitoyhdistyksen toimintaa sekä Oulun yliopiston toimintaa, esimerkiksi opetusta. Mahdollisuuksien mukaan myös esimerkiksi Vesitalouslehteen juttu tulossa. Tutkimuksen jatkuvuus toteutuu myös meneillään olevan väitöskirjatutkimusten myötä.

Raudan liikkeellelähdön hillitseminen olisi kaikista tärkein keino rautakuormituksen hallinnassa, koska vesienkäsittelyrakenteiden raudanpoistokyky on hyvin rajallinen ja ne vaativat huoltoa. Raudan liikkeellelähdön estäviä toimenpiteitä tulisi tehdä kaikissa maankäyttömuodoissa mukaan lukien kuivatustoimenpiteet metsätalouteen, asutukseen sekä tieverkostoon. Tämän lisäksi rautapitoisten valumavesien ja etenkin rautapitoisten pohjavesien suorayhteys vesistöihin (norot, purot, jne.) tulisi estää. Alueilla, joissa on havaittu korkeita rautapitoisuuksia tai on viitteitä siitä, tulisi raudan kulkeuman hallinta ottaa huomioon maankäytön ja vesienhallinnan alueellisessa suunnittelussa kaikilla tasoilla.

Jatkotutkimuksissa kannattaisi kuitenkin edelleen myös kehittää hajautettuja vesiensuojelumenetelmiä, mm. mahdollisesti voisi testata lamellien vaikutusta raudan pidättämiseen laskeutusaltaissa, sillä on paikkoja, joissa raudan kuormituksen syntyä ei voida riittävästi hillitä. Lisäksi tulisi selvittää kevyemmän ojituksen, turvemetsätalouden jatkuvan kasvatuksen sekä ojatason hajautettujen vesiensuojelumenetelmien potentiaalisia vaikutuksia rautakulkeuman vähentämiseen.

Jatkotutkimuksissa kannattaisi myös edelleen parantaa paikkatietoaineistojen hyödyntämistä vesienpidättämisen sekä raudan kulkeutumisen osalta. Erittäin tärkeää olisi myös selvittää tarkemmin eri prosesseja, esim. mikrobiologisia, ja ympäristöolosuhteita (lämpötila, pH, Redox yms.), jotka vaikuttavat raudan liikkeellelähtöön maaperästä ja toisaalta voivat vaikuttaa sen pidättymiseen jo maaperässä. Näiden avulla saataisiin syvempi ymmärrys ongelman taustasta, ja sen pohjalta voitaisiin miettiä lisää mahdollisia hallintakeinoja. Seurantakoeala vedenpadotuksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksista veden määrään, rautapitoisuuteen ja puuston kasvuun on myös yksi jatkotutkimustoimenpide. Myös tiettyjen alueiden ennallistaminen ja niiden seuranta ja vaikutusten arviointi rautapitoisuuteen olisi tärkeää selvittää.

Hankkeen tuotokset löytyvät mm. hankkeen nettisivujen https://www.oulu.fi/fi/projektit/raudan-haitallisten-vesistovaikutusten-vahentaminen-turvevaltaisilla-metsatalousmailla-rautavirta, ja osittain myös Kiimingin-Jäälin vesienhoitoyhdistyksen nettisivujen https://kiiminginjaalinvedet.net/ kautta sekä opinnäytetöiden osalta myös Jultika -tietokannasta (http://jultika.oulu.fi/).

10. Projektin rahoitus

Hankkeen budjettiin piti tehdä muutoksia kustannuslajien välille. Nämä johtuivat suunnitelmien muuttumisesta ja toisaalta myös henkilöstömuutoksista. Esimerkiksi päädyttiin hankkimaan YSI:n EXO3 sondit, jotta saadaan jatkuvatoimista vedenlaatudataa, sekä fotometri, jotta voidaan tehdä halvemmalla raudan vedenlaatuanalyysejä, jolloin niitä voidaan tehdä enemmän. Lisäksi päädyttiin tekemään hankkeen tiedotusta varten video. Toisaalta esim. bioreaktorirakenteita ei toteutettu ja biopolymeeritutkimuksia ei nähty järkeväksi jatkaa, joten niihin ei kulunut niin paljon rahaa kuin oli suunniteltu. Hankkeelle tehtiin muutoshakemus keväällä 2023, ja siinä alkuperäiseen nähden mm. lisättiin vähän vajaa 30 000 e henkilöstökuluihin, vähennettiin koetoiminnan kuluista laboratoriokustannukset ja pienennettiin Kalamäen kosteikon optimoinnin osuutta. Toisaalta vesienkäsittelyrakenteiden ojakohtaiset menetelmät kohtaan lisättiin budjettia (YSI:n EXO3 sondien hankinta nyt laskettiin sinne). Materiaalikulut, matkakulut ja muut kustannukset kohtien osuutta pienennettiin. Hankkeen loppupuolella todettiin, että tiedotuksen tukemiseksi on järkevä tehdä video. Siihen varoja siirrettiin palkkakuluista, materiaalikustannuksista ja muista kuluista.

Budjetin laatisin niin, että siinä kustannuslajit vastaavat käytössä olevia yliopiston kustannuslajiluokitteluja. Nyt oli välillä haastava hahmottaa, mihin kustannuslajiin joku kustannus kuuluisi alkuperäisen ajattelun mukaan, kun ne eivät olleet yliopiston kustannuslajiajattelun mukaisia. Projektipäällikön vaihtuminen kesken hankkeen hankaloitti hahmottamista.

11. Hankkeen toteutus numeroina

KYSYMYS	lkm
Kuinka monta maanomistajaa on ollut mukana hankkeessa? Myös maanvuokraajat lasketaan.	14
Kuinka monta uutta menetelmää hankkeessa pilotoitiin?	4
Kuinka monta valuma-aluekohtaista / osa-valuma-aluekohtaista suunnitelmaa hankkeessa on laadittu?	2
Mikä on valuma-aluekohtaisten suunnitelmien laajuus (pinta-ala, ha)?	3538
Kuinka monta tilaisuutta hanke on järjestänyt? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	8
Kuinka monta osallistujaa on yhteensä ollut hankkeen järjestämissä tilaisuuksissa? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	yli 200 hlöä
Kuinka moneen muiden järjestämään tilaisuuteen hanke / hankkeen edustajat ovat osallistuneet. Tässä huomioidaan vesienhallinnan teemaan liittyvät tilaisuudet. Esim. webinaariesittelyt/ Webinaarien arvioitu kuulijamäärät.	8/500
Kuinka monta viestintätuotetta hankkeessa on valmistunut? Viestintätuotteita ovat esimerkiksi tiedotteet/uutiset, blogit, videot, esitteet, podcastit, some, verkkosivut, lehtijutut yms.	19
Kuinka monta asiantuntija-artikkelia hankkeessa on valmistunut?	0

Maanomistajia ovat olleet sekä mahdollisen seurantakoealan maanomistaja, puunippututkimuksen maanomistaja ja maanomistaja, joka lahjoitti puut, puunippututkimukseen. Lisäksi mukaan lukuun on laskettu SUSI infossa Huttukylässä mukana olleet metsänomistajat.

Hankkeessa pilotoidut menetelmät olivat biopolymeeri, puuniput ja pyörreallas, sekä lisäksi pilotoiduksi menetelmäksi on tässä laskettu SUSI-mallinnuksen, virtausverkkomallinnuksen ja rautavesinäytteenottojen käyttö yhdessä potentiaalisten ennallistettavien alueiden tai kohteiden, jossa kunnostusojituksia ei kannattaisi tehdä, löytämiseksi.

Valuma-aluekohtaisiksi suunnitelmiksi tässä on laskettu virtausverkkomallinnuksen käyttö sekä SUSI-mallinnuksen, virtausverkkomallinnuksen ja rautavesinäytteen-ottojen käyttö yhdessä potentiaalisten ennallistettavien alueiden tai kohteiden, jossa kunnostusojituksia ei kannattaisi tehdä, löytämiseksi valuma-aluetasolla.

Tilaisuuksista Suometsäillassa oli yli 100 hlöä, mutta tarkkaa lukumäärää ei tiedetä, joten tilaisuuksiin osallistujamäärä on ilmoitettu yli 200 tarkkuudella. Muiden järjestämistä tilaisuuksista ei ole osallistujamäärätietoja ylhäällä, joten laskenta on tehty oletuksella, että keskimäärin tilaisuudessa olisi ollut 60 hlö. Tarkemmat kuvaukset tilaisuuksista ja julkaisuista on kerrottu kohdassa 5. Viestintä ja tiedottaminen. Julkaisuista on laskettu pois tämä loppuraportti ja viimeinen mediatiedote, joka on tarkoitus julkaista vasta kun loppuraportti on julkaistu, ja tilaisuuksista marraskuussa 2023 hankkeen päätymisen jälkeen tuleva tilaisuus.

12. Yhteenveto ja loppupäätelmät

Rauta on yksi maankuoren yleisimmistä metalleista, ja sitä esiintyy luonnollisesti vesistöissä. Vesistöjen rautapitoisuuksien on havaittu kasvaneen viime vuosikymmenenä pohjoisella havumetsävyöhykkeellä. Tähän vaikuttavat todennäköisesti useat tekijät, kuten muuttuneet ympäristöolosuhteet, esim. sadanta ja maankäyttö, esim. ojitus. Rauta on osallisena myös laaja-alaiseen vesistöjen tummumiseen yhdessä orgaanisen hiilen kanssa. Vesistöihin rauta päätyy huuhtoutumalla valuma-alueen kallio- ja maaperästä. Rauta voi olla luonnonvesistöissä liukoisena ferrorautana ja hapettuneena vaikealiukoisena ferrirautana, joka näkyy vesistöissä sakkana. Olomuotoon vaikuttavat mm. happi, pH ja humus. Hapellisissa pintavesissä rauta on pääosin partikkelimaisessa muodossa. Jäälinjärven valuma-alueen vesissä korkeimmat rautapitoisuudet havaitaan tyypillisesti heinä-elokuussa lämpötilojen kohottua ja kuormitus on satoja kiloja vuorokaudessa.

Korkeat rautapitoisuudet voivat aiheuttaa useita haittoja vesiekosysteemeissä. Uomissa kulkeutuva rauta samentaa vettä ja muuttaa valaistus- ja pohjaolosuhteita. Rautasakka myös takertuu kasveihin ja partikkelit voivat kertyä kalojen kiduksiin. Lisäksi tietyt raudan muodot voivat olla myrkyllisiä eliöstölle. Jos vedessä on paljon rautasakkaa, tämä tukkii vesienkäsittelyrakenteita, ja vaikeuttaa vesienkäsittelyä. Vesistöjen korkeilla rautapitoisuuksilla on myös negatiivisia vaikutuksia vesistöjen tarjoamiin ekosysteemipalveluihin, kuten vesihuoltoon ja virkistyskäyttöön.

Rautaa on maa- ja kallioperässä vaihtelevia pitoisuuksia. Ratkaisevaa on, miten ja miksi rauta lähtee liikkeelle. Raudan huuhtoutuminen on luonnollista, mutta ojitus lisää sitä huomattavasti. Jäälissä raudan huuhtoutuminen on runsasta muun muassa siksi, että alueella esiintyy mustaliuskevyöhykkeitä. Mustaliuskeet ovat helposti rapautuvia kivilajeja, joissa on rautarikki yhdisteitä. Jäälinjärven valuma-alue on myös turvevaltainen ja tiiviisti ojitettu ja korkeita rautapitoisuuksia havaitaankin usein turvemaavaltaisilla valuma-alueilla. Ojituksella tavoiteltavalla kuivatuksella lasketaan pohjavedenpintaa, jolloin mustaliuskealueilla tai potentiaalisten happamien sulfaattimaiden alueella rikki hapettuu ja syntyy rikkihappoa. Tämä puolestaan liuottaa rautaa ja muita metalleja. Ojitus myös nopeuttaa veden virtausta valuma-alueelta vesistöihin, jolloin rauta ei ehdi laskeutua vaan päätyy suoraan järveen.

RautaVirta hankkeessa testatut uudet vesienkäsittelyrakenteet rautapitoisten vesien käsittelyyn olivat biopolymeeritestaukset sekä laboratoriossa että Kalamäen kosteikolla, puunippujen rakentaminen ja niiden seuraaminen sekä pyörreallas. Näiden uusien rakenteiden lisäksi vedenlaatua ja puhdistustehokkuudellista toimivuutta seurattiin myös muista alueella jo olevista rakenteista, joita olivat Kalamäen ja Korteojan kosteikot ja Jäälinjärven Järviallas.

Mikään tutkituista vesienkäsittelymenetelmistä ei poistanut merkittävästi rautaa. Tehokkain oli 3,5 ha laajuinen Jäälinjärven Järviallas, jossa saatu keskimääräinen pitoisuusreduktio kesällä 2023 oli 7,8 % (n=7), mikäli kaikkien näytteenottokertojen tulokset otetaan huomioon. Mikäli 6.6.2023 otettujen pienen pitoisuuksien näytteiden huuhtoutumista kuvaavat näytteet jätetään huomioimatta, pitoisuusreduktio oli 16 %. Kalamäen kosteikon puhdistustehokkuus pitoisuusreduktioina tarkasteltuna oli 2022 kesällä -4,6 % (n=10) ja 2023 kesällä 8,6 % (n=13). Korteojan kosteikolta huuhtoutui kesällä rautaa (-47 %, n=5). Pyörrealtaassa kesällä 2023 saavutettu pitoisuusreduktio oli noin 6,2 % (n=7), mikä on pyörrealtaan kokoon, verrattuna esimerkiksi Jäälinjärven Järvialtaaseen, suhteutettuna ihan hyvä reduktio ja Kalamäen kosteikon yläpuolelle asennetuilla puunipuilla saatiin kesällä 2022 keskimäärin 2,9 % (n=15) pitoisuusreduktio. Elokuussa 2021 toteutetuissa biopolymeerikokeissa ei havaittu vaikutusta raudan pidättymisen Kalamäen kosteikolla, ja purkkitestissä ei havaittu sameuden pienenemistä. Raudan kiinni saaminen vesistöistä onkin haastavaa, sillä kevyt rautahöttö laskeutuu huonosti ja siten laskeutumiseen perustuvien vesiensuojelurakenteiden toimivuus on haasteellista raudan osalta. Lisäksi aktiivista huoltoa vaativat rakenteet aiheuttavat työtä ja kustannuksia.

Tehokkain keino raudan haitallisten vaikutusten hillintään on vähentää sen liikkeelle lähtöä maaperästä. Esimerkiksi Jäälinjärven valuma-alueella veden rautapitoisuuksissa on merkittäviä eroja valuma-alueen eri osissa. Rautahuuhtouman kannalta riskialttiiden ja toimenpiteille potentiaalisen kohteiden paikantamisessa kannattaa hyödyntää paikkatietoaineistoja ja vedenlaatumittauksia. Lisäksi suosimulaattorimallinnuksella voidaan tutkia kunnostusojitusten tarvetta ja taloudellista kannattavuutta. Tällä voidaan arvioida ojasyvyyden muutoksen vaikutusta pohjavedenpintaan, valuntaan ja puuston kasvuun ja näin välttää tarpeettomia ojituksia. Näitä tietoja yhdistelemällä voitaisiin esimerkiksi valikoida sopivat kohteet, joissa pohjavedenpintaa voitaisiin nostaa ilman, että puuston kasvu kärsii.

Käytännön ratkaisu, jolla raudan huuhtoutumista voitaisiin hillitä, olisi esimerkiksi metsätaloudellisesti kannattamattomien suometsäalueiden ennallistaminen. Ennallistamista voidaan tehdä esimerkiksi johtamalla vesiä tai padottamalla ojia, jolloin voidaan nostaa alueen pohjavedenpintaa ja palauttaa hapettomia olosuhteita. Joillakin metsätalousalueilla hyöty voitaisiin saada myös pienemmällä kuivatussyvyydellä, jolloin uomia voitaisiin padottaa ja kuivatusta keventää. Raudan huuhtouman ennaltaehkäisy on aina ensisijainen keino, mutta jos huuhtoumaa ei voida riittävästi hillitä, voidaan tehdä vesienkäsittelyrakenteita ja sijoittaa niitä merkittävästi rautaa huuhtoviin uomiin. Tämän RautaVirta tutkimuksen ja myös muiden tutkimusten perusteella vesienkäsittelyrakenteiden teho on kuitenkin vaihteleva.

Raudan huuhtoutumista ei voida täysin estää rautapitoisilla alueilla. On kuitenkin tärkeää vähentää raudan huuhtoutumista, hidastaa sen kulkeutumista vesistöissä ja pienentää kuormitushuippuja. Raudan huuhtoutumiseen vaikuttavia prosesseja ei kunnolla vielä tunneta. Esimerkiksi mikrobitoiminnan vaikutuksissa on vielä paljon selvitettävää.

13. Lähdeluettelo

Ekström, S. M., Regnell, O., Reader, H. E., Nilsson, P. A., Löfgren, S. & Kritzberg, E. S. 2016. Increasing concentrations of iron in surface waters as a consequence of reducing conditions in the catchment area, Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 121, 479–493, https://doi.org/10.1002/2015JG003141.

Heikkinen, K. 1990. Seasonal changes in iron transport and nature of dissolved organic matter in a humic river in northern Finland. Earth Surface Processes and Landforms, 15(7), 583–596. https://doi.org/10.1002/esp.3290150702

Heikkinen, K., Saari, M., Heino, J., Ronkanen, A-K., Kortelainen, P., Joensuu, S., Vilmi, A., Karjalainen, S-M., Hellsten, S., Visuri, M. & Marttila, H. 2022. Iron in boreal river catchments: Biogeochemical, ecological and management implications. Science of The Total Environment 805, 150256 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150256

Karhio, K., Postila, H., Saarelainen, J.-P., Hopkins, M. 2022. Suometsien valumavesien käsittely ja ravinteiden kierrätys puuhakebioreaktorilla-SuVaKi. Tutkimusraportti. Saatavissa: https://prohoytiainen.fi/images/hankkeet/luonnonhoitotyot/suvaki/Suvaki_tutkimusraportti_201222.pdf

Ollila, K. 2022. Pintavalunnan GIS-pohjainen mallintaminen – tapauksena topografialtaan tasainen metsäojitettu Jäälinjärven valuma-alue. Pro gradu tutkielma, Oulun yliopisto. Saatavissa: http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202209203429

Oulun vesi, 2023. Kanta-Oulun verkostoveden viranomaistarkkailun tulokset, syyskuu 2023. Viitattu 26.10.2023. Saatavissa: https://www.oulunvesi.fi/talousveden-laatu-kuukausittain

Raumanni, E. 2023 Eri vesienkäsittelymenetelmien toimivuus raudan pidätyksen kannalta – Kohteena Jäälinjärven valuma-alue Pohjois-Pohjanmaalla. Diplomityö, Oulun yliopisto.

Tapio Oy, Suomen metsäkeskus ja Iin Micropolis Oy 2022. Ojasta allikkoon-tarinakartta. Tähän tarinakarttaan on koottu tietoa veden palauttamisesta kitu- ja joutomaille. https://storymaps.arcgis.com/stories/93678ef84776462aaee523cf9737f9b8

Virtanen, J. & Lerssi, K. 2006. Mustaliuskekivilajin vaikutus turpeen alkuainepitoisuuksiin. Geologian tutkimuskeskuksen arkistoraportti S42/0000/2006/1

OSA II ITSEARVIO

Toteutusvaiheen arviointi

- *Mitkä asiat saavutettiin hyvin? Mitkä huonommin?*

Hanke saatiin toteutettua suunnitellusti ja yhteistyö eri tahojen välillä toimi hyvin. Alkuperäisestä puuhakebioreaktoreiden rakentamisesta ja niiden mitoitusohjeistuksesta rauta-humuspitoisille vesille jouduttiin luopumaan, mutta hankkeessa panostettiin uusia varoja jatkuvatoimisten antureiden hankintaan sekä niiden tuottaman aineiston tulkintaan. Paikkatietoanalyysi, valuma-aluekartoitus ja vesienkäsittelyrakenteiden seuranta on saatu hyvin tehtyä. Puunippujen seurantaa olisi kuitenkin voinut jälkikäteen ajateltuna tehdä jonkun verran tehdä myös vuonna 2023, vaikka tulokset todennäköisesti olisivat aika samansuuntaisia kuin vuonna 2022. Myös viestintä on ollut monipuolista ja onnistunut hyvin, ja se, että hankkeen lopputuotoksena päätettiin tehdä video, todennäköisesti levittää tietoa entistä laajemmalle.

- *Mitkä olivat suurimpia yllätyksiä/odottamattomia asioita hankeaikana?*

Rauta haasteen suuruus valuma-aluetasolla ja siten haasteet eri vesiensuojelumenetelmien kyvyssä poistaa rautakulkeumaa aiheuttivat yllätyksiä ja haasteita hankkeenkin aikana. Myös se, että biopolymeeri ei käytännössä toiminut yhtään, oli yllätys, vaikka etukäteen tiedettiinkin, että sitä voi olla haastava saada toimimaan täydellisesti.

- *Toteutuiko ennakoituja riskejä ja miten niitä hallittiin? Entä ennakoimattomia riskejä?*

Biopolymeeri tiedettiin haastavaksi sovellettavaksi käytännön vesiensuojeluun luonnonympäristössä mutta sitä haluttiin kuitenkin testata vaativissa olosuhteissa. Polymeerin toimimattomuus oli ennakoitu riski.

- *Millaista osaamista syntyi hankkeen myötä? Millaista osaamista olisi tarvittu?*

Hankkeessa syntyi osaamista toteuttaa alueellinen kartoitus vesienpidätysmahdollisuuksista yhdistettynä metsätalouden kannattavuusarvioon sekä alueelliseen vedenlaatu tietoon. Toimintamalli on helposti sovellettavissa muihinkin kansallisiin vesiensuojeluhaasteisiin. Hankkeessa mukana olleet ja hankkeen puitteissa eri tahojen kanssa tehdyn yhteistyön kautta saatiin toteutettua se mitä suunniteltiinkin, ja mikään osa-alue hankkeessa ei tässä mielessä kärsinyt osaamisen puutteesta.

- *Valvonnan ja ohjauksen onnistuminen (ml. verkostoituminen?)*

Hankkeen rahoittajan eli Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen kanssa on oltu yhteydessä läpi koko hankkeen ajan, myös hankkeen suunnitteluvaiheen aikana, kun alkuperäistä suunnitelmaa jouduttiin muuttamaan. Hankkeelle perustettiin ohjausryhmä, missä oli myös rahoittajan edustaja, mutta lisäksi hankkeen teeman

kannalta keskeisiä sidosryhmiä. Samasta rahoituserästä myönteisen rahoituspäätöksen saaneita muita hankkeita oli mahdollisuus tavata ELY-keskuksen järjestämissä tilaisuuksissa, jotka olivat hyödyllisiä esim. verkostoitumisen kannalta ja mistä tämäkin hanke sai useamman yhteistyökumppanin.

- *Onko hankkeen tulosten ja saavutettujen hyötyjen jalkauttaminen, ylläpito ja jatkuvuus onnistunut?*

Hankkeessa on tehty laajasti ja monipuolisesti tiedottamista sekä tietoa on jalkautettu erilaisissa tapahtumissa ja tilaisuuksissa hyvin onnistuneesti (kts kappale tiedottaminen). Tiedottamista tulee tapahtumaan hankkeen päättymisen jälkeen mm. videomuodossa.

LIITTEET

LIITE 1:

Arvio Saarisenojanniityn koillislaidan mahdollisesta vesienpalautuskohteesta

Kiimingin – Jäälin VHY

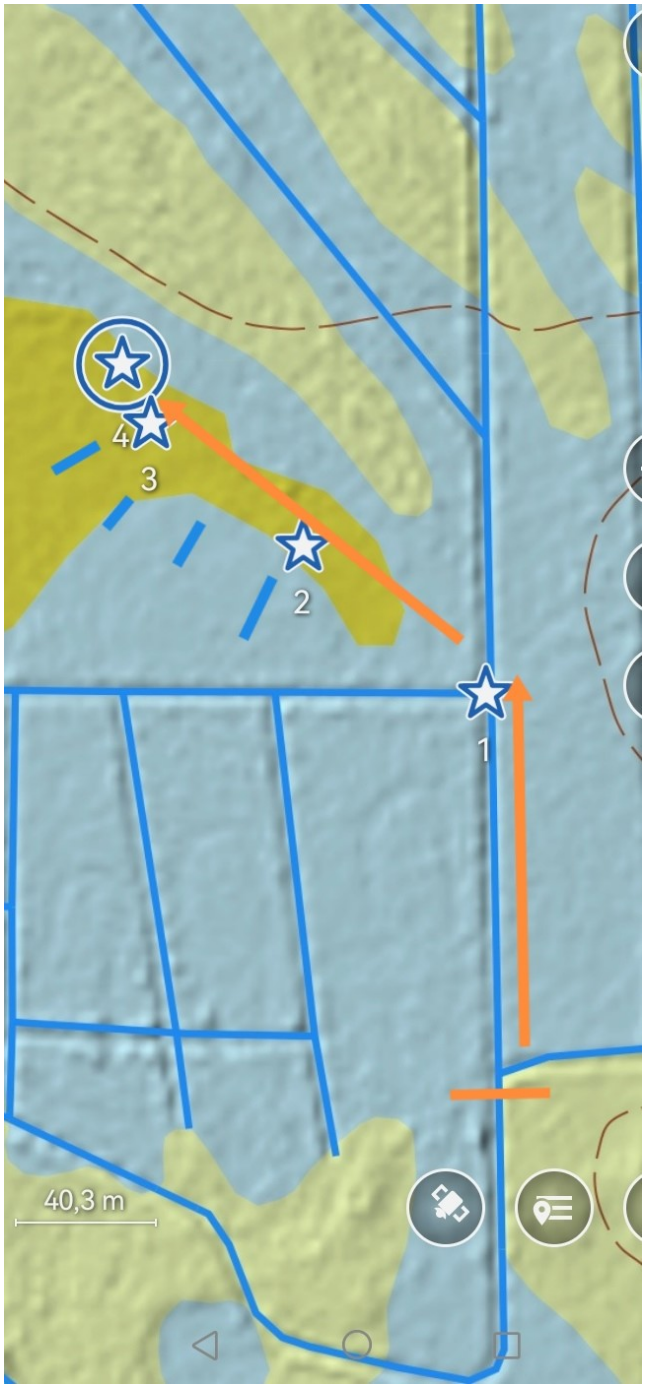
Maastokäynti 17.7. 2023, B. Ylisaukko-oja ja I. Karhu

Haisunsuon suunnasta saapuvat vedet kääntyivät yleiskarttaan merkityssä kohdassa etelään. Vesien kääntymiskohdasta pohjoiseen suuntautuvan ojan vesipinta on samassa tasossa kääntymiskohdan kanssa. Siten vedet on helppo ohjata tähän suuntaan patoamalla nykyinen etelään suuntautuva haara (kuva 1).

Liitekarttoihin merkittyjen pisteiden korkeusasemat vaaittiin. Vaaituksen lähtökohtana oli vesipinta ojassa pisteessä 1. Sitä ja suolla olevien pisteiden vesipintoja verrattiin toisiinsa. Erot olivat seuraavat: piste 2 +8 cm, piste 3 -20 cm, piste 4 10 cm.

Vaaituksen perusteella vedet on helppo johtaa itälaidan ojasta suolle vaakatasossa. Suon pinta viettää lounaaseen, joten vedet jatkaisivat purkuojasta pintavaluntana. Pintavalutus suuntautuu kohti suon etelälaidan ojaa, jossa ei nykyisellään liiku vettä. Ojan kuivatusvaikutus on heikko myös puustosta päätellen. Pintavalutuksen tuomat lisävedet todennäköisesti saisivat aikaan veden virtauksen tässä ojassa suon länsilaidalla olevan ojan suuntaan, jossa jo nykyisellään vesi virtaa etelään. Suon etelälaidan ojaa ei välttämättä tarvitsisi perata, koska sillä ei näytä nykyisellääänkään olevan kuivatusvaikutusta vieripuuston kannalta.

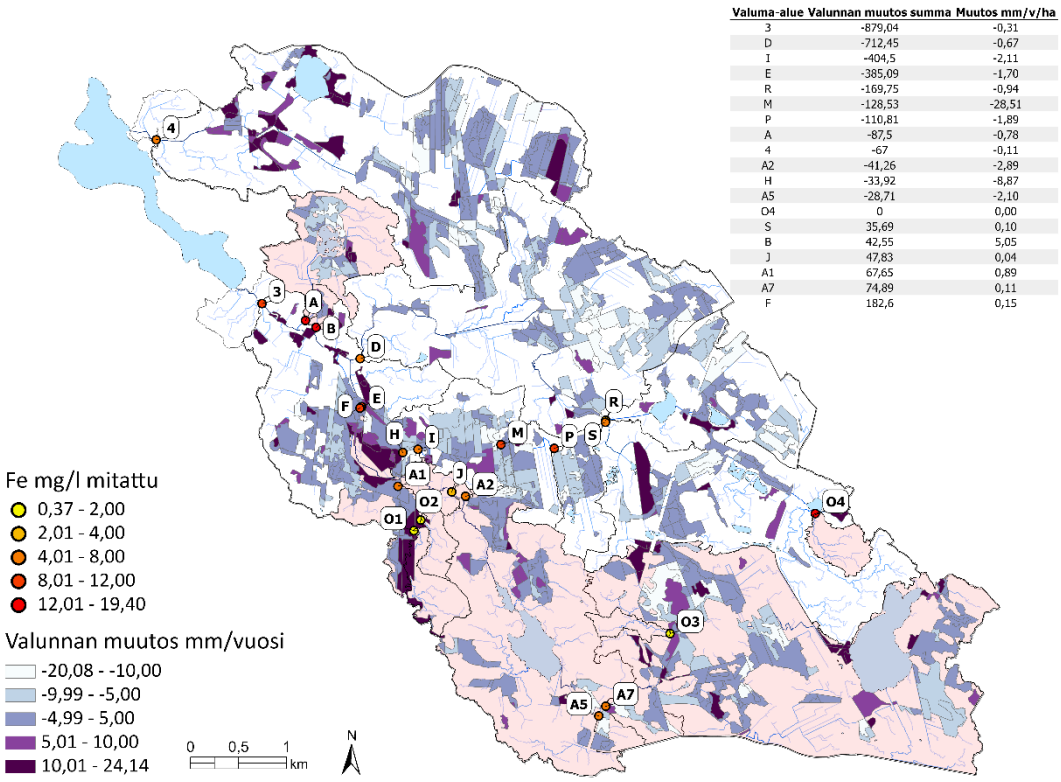
Maastokäynnillä hahmottunut vesien johtamisajatus on merkitty liitekarttaan 2. Toteutus olisi teknisesti helppo. Haisunsuon suunnasta tulevasta päävirtauksesta otettiin vesinäyte (120 metriä etelään pisteestä 1). Näyte merkittiin tunnuksella ”Uusi pintavalutus”.



Kuva 1. Vesien ohjaaminen pohjoiseen kohti suota.

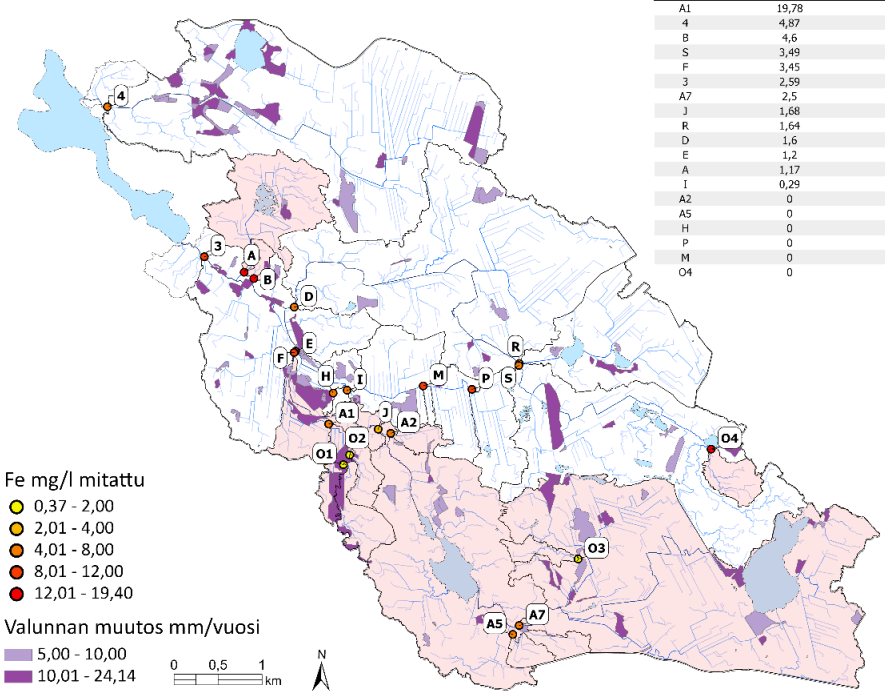
LIITE 2

Paikkatietoaineistojen, SUSI mallin ja rautapitoisuustietojen pohjalta luotuja karttoja tutkimusalueesta



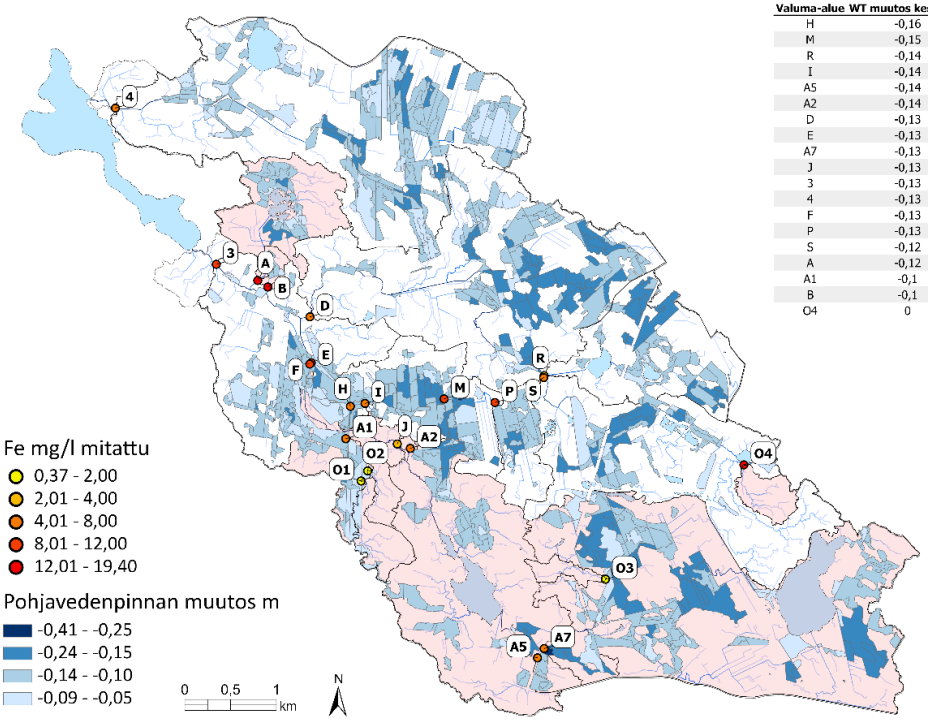
Valuma-alue	Valunnan muutos summa	Muutos mm/v/ha
3	-879,04	-0,31
D	-712,45	-0,67
I	-404,5	-2,11
E	-385,09	-1,70
R	-169,75	-0,94
M	-128,53	-28,51
P	-110,81	-1,89
A	-87,5	-0,78
4	-67	-0,11
A2	-41,26	-2,89
H	-33,92	-8,87
A5	-28,71	-2,10
O4	0	0,00
S	35,69	0,10
B	42,55	5,05
J	47,83	0,04
A1	67,65	0,89
A7	74,89	0,11
F	182,6	0,15

Kuva 1. Valunnan muutos kunnostusojituksessa (ojasyvyys 30 → 90 cm) ja rautapitoisuuksien keskiarvot. Taulukossa kunkin valuma-alueen palstojen valunnan muutoksesta laskettu summa ja muutos suhteutettuna valuma-alueen kokoon. Korostettuna rautapitoisuudeltaan korkeimpien näytepisteiden valuma-alueet.



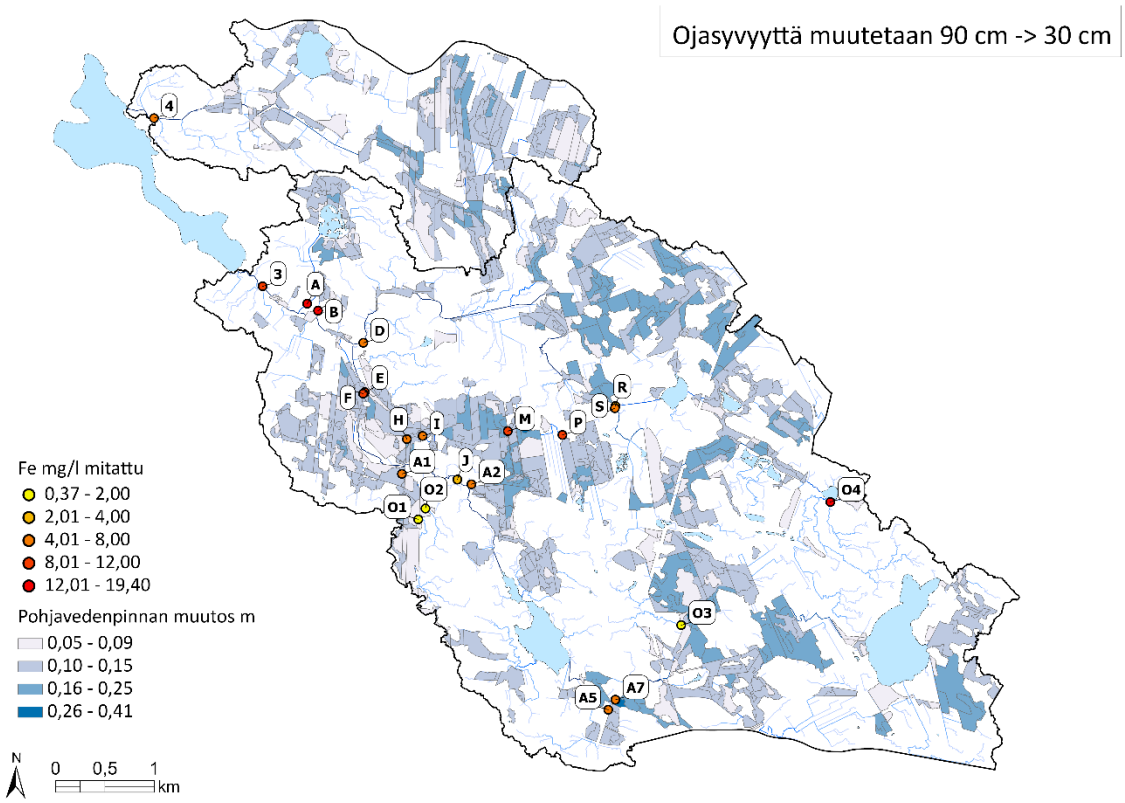
Valuma-alue	% valuma-alueesta (> 10 mm)	% valuma-alueesta (> 5mm)
A1	19,78	19,78
4	4,87	8,66
B	4,6	14,43
S	3,49	4,65
F	3,45	5,7
3	2,59	4,66
A7	2,5	5,08
J	1,68	4,11
R	1,64	2,47
D	1,6	2,98
E	1,2	6,39
A	1,17	2,12
I	0,29	3,27
A2	0	2,84
A5	0	0
H	0	0
P	0	0
M	0	0
O4	0	0

Kuva 2. ”Riskipalstat”, joilla valunta lisääntyy kunnostusojituksessa (ojasyvyys 30 → 50 cm) yli 5 mm vuodessa ja rautapitoisuuksien keskiarvot. Taulukossa riskipalstojen suhteellinen osuus valuma-alueesta. Korostettuna rautapitoisuudeltaan korkeimpien näytepisteiden valuma-alueet.

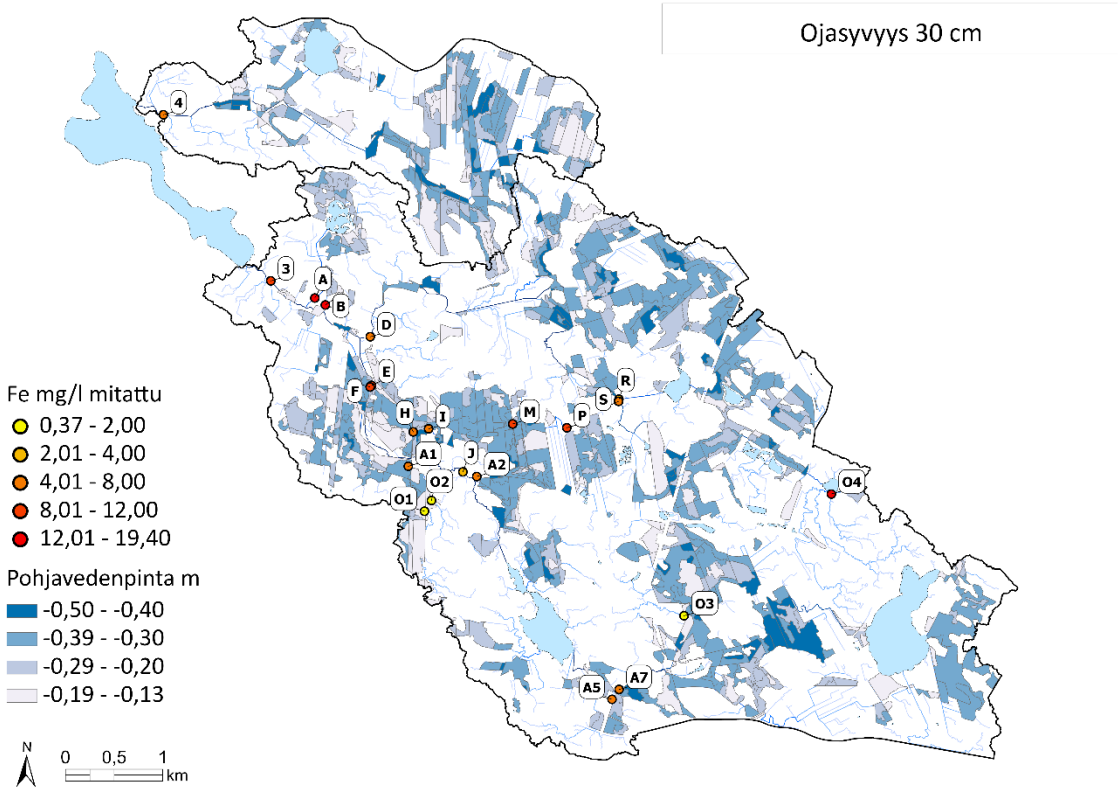


Valuma-alue	WT muutos keskiarvo
H	-0,16
M	-0,15
R	-0,14
I	-0,14
A5	-0,14
A2	-0,14
D	-0,13
E	-0,13
A7	-0,13
J	-0,13
3	-0,13
4	-0,13
F	-0,13
P	-0,13
S	-0,12
A	-0,12
A1	-0,1
B	-0,1
O4	0

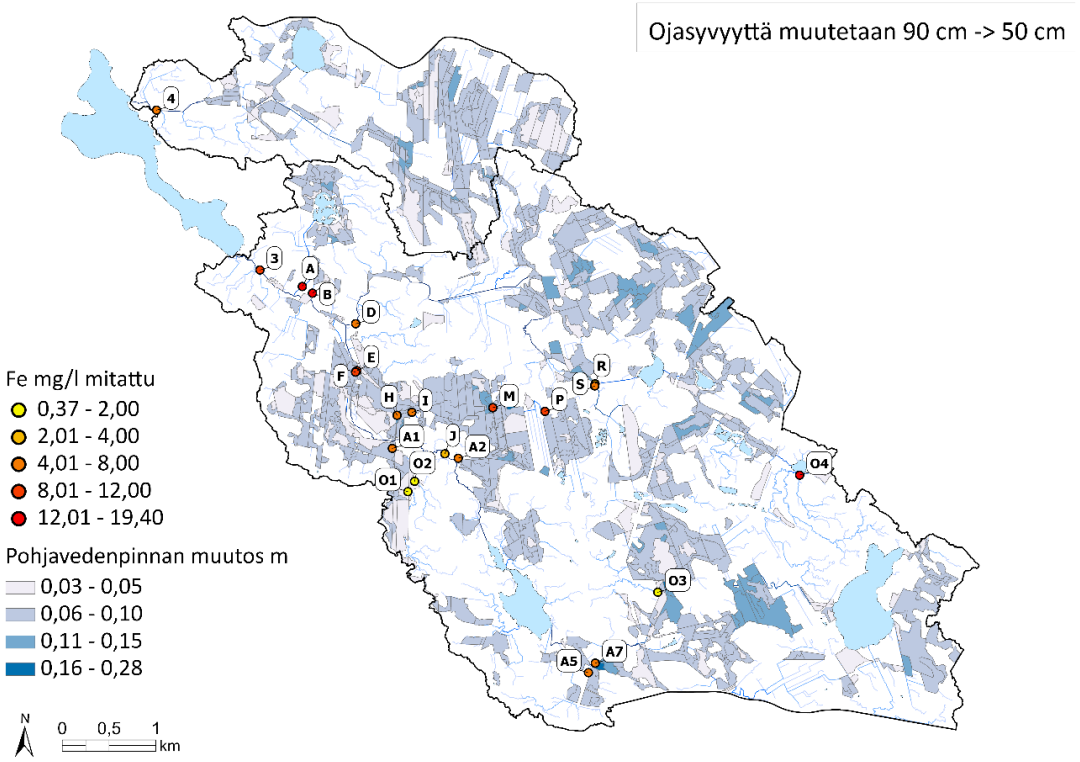
Kuva 3. Pohjavedenpinnan muutos kunnostusojituksessa (ojasyvyys 30 → 90 cm) ja rautapitoisuuksien keskiarvot. Taulukossa kunkin valuma-alueen palstojen pohjavedenpinnan muutoksen keskiarvo. Korostettuna rautapitoisuudeltaan korkeimpien näytepisteiden valuma-alueet.



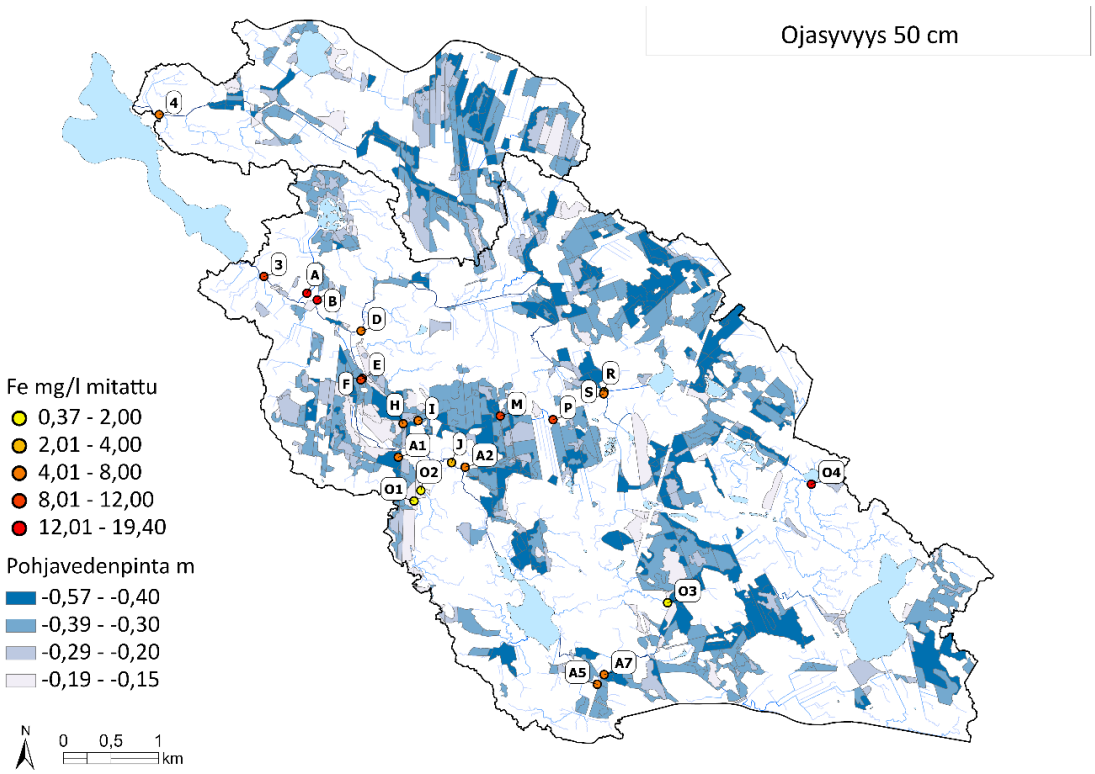
Kuva 4. Pohjavedenpinnan muutos ojasyvyyttä madallettaessa 90 cm → 30 cm ja rautapitoisuuksien keskiarvot.



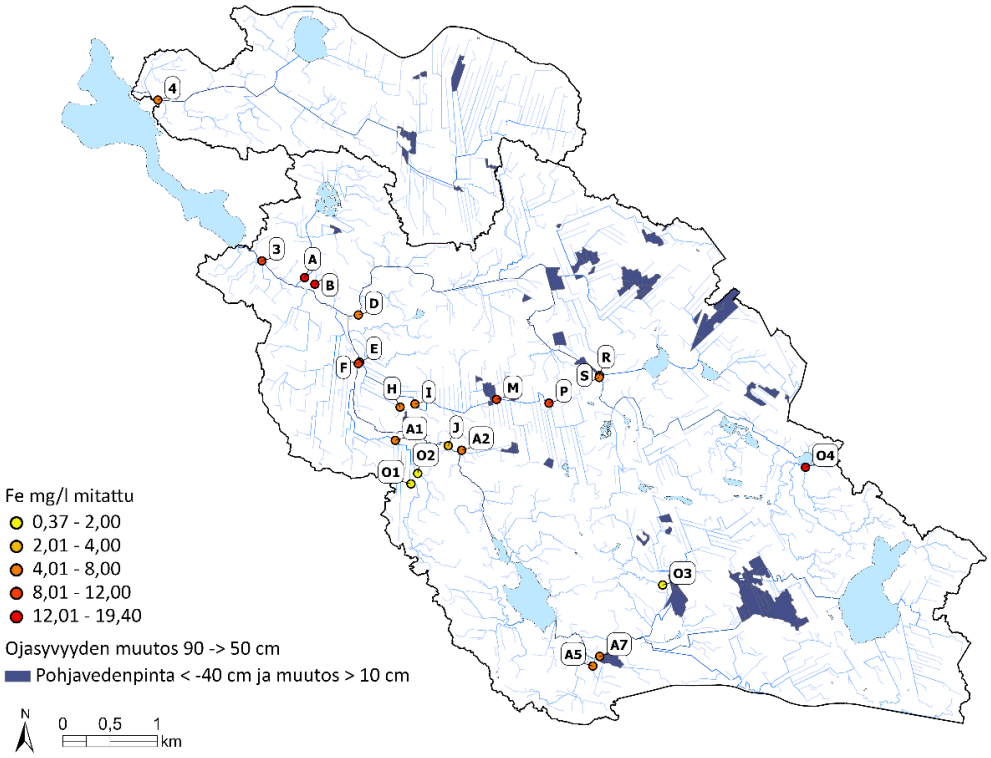
Kuva 5. Pohjavedenpinnan korkeus ojasyvyyden ollessa 30 cm ja rautapitoisuuksien keskiarvot.



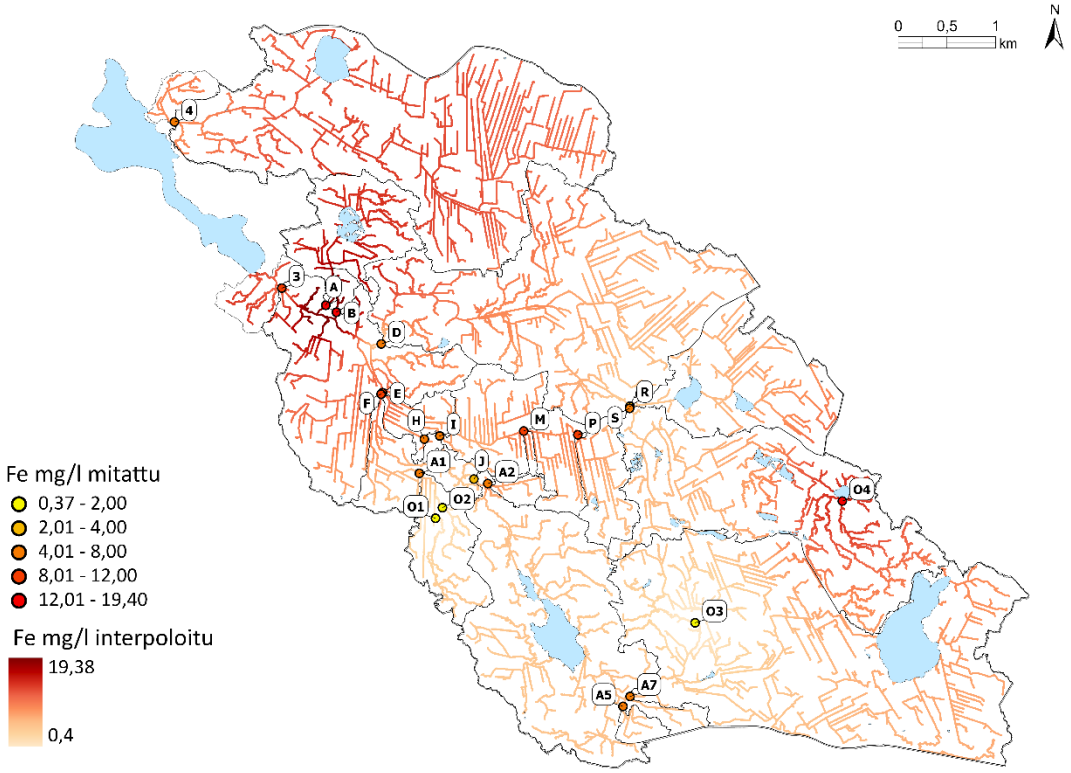
Kuva 6. Pohjavedenpinnan muutos ojasyvyyttä madallettaessa 90 cm → 50 cm ja rautapitoisuuksien keskiarvot.



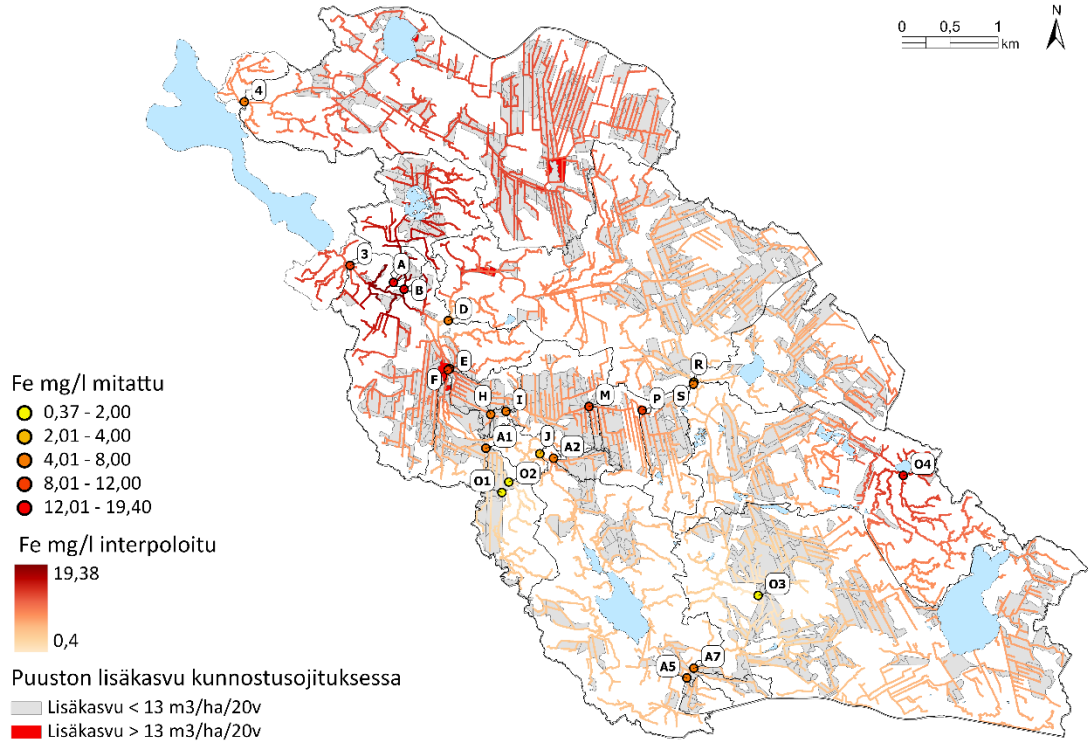
Kuva 7. Pohjavedenpinnan korkeus ojasyvyyden ollessa 50 cm ja rautapitoisuuksien keskiarvot.



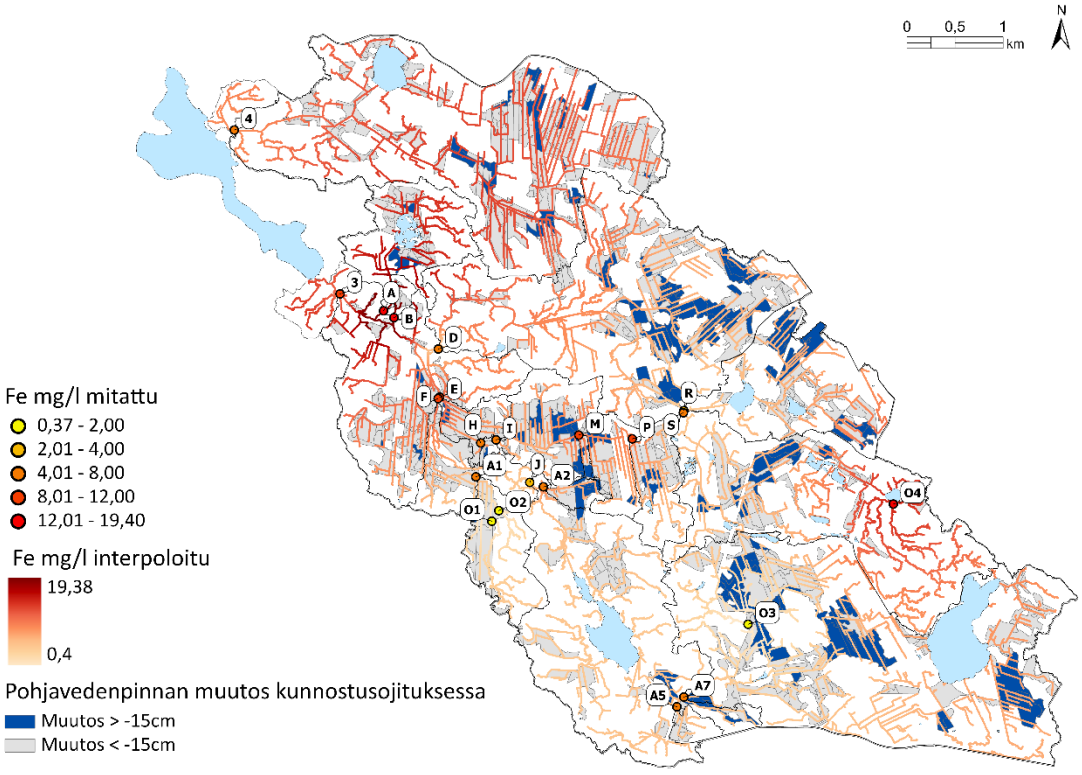
Kuva 8. Palstat, joilla ojasyvyyttä madallettaessa 90 → 50 cm pohjavedenpinnassa tapahtuu yli 10 cm muutos, mutta pinta pysyy alle -40 cm syvyydessä. Tällaiset palstat voisivat olla potentiaalisia pohjavedenpinnan nostolle, ilman että puuston kasvu kärsii.



Kuva 9. Rautapitoisuuksien keskiarvojen interpolointi (Inverse Distance Weighted Interpolation) virtausverkkoon. Interpolointi perustuu etäisyyksiin ja keskiarvoihin, eikä se ota huomioon virtausta tai valuma-aluetekijöitä. Virhe kasvaa etäännyttäessä mitatuista pisteistä.



Kuva 10. Mitatut ja interpoloidut rautapitoisuuksien keskiarvot ja kunnostusojituksen kannattavuus (ojasyvyys 30 → 90 cm) puuston kasvun perusteella.



Kuva 11. Mitatut ja interpoloidut rautapitoisuuksien keskiarvot ja pohjavedenpinnan muutos kunnostusojituksessa (ojasyvyys 30 → 90 cm).