

**METSÄTALouden TOIMENPITEIDEN VAIKUTUS VEDEN  
TUMMUMISEEN MAJAJÄRVellä**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, Metsätalous

Syky, 2020

Noora Hämäläinen

---

|           |                                                                      |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| Tekijä    | Noora Hämäläinen                                                     | Vuosi 2020 |
| Työn nimi | Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus veden tummumiseen Majajärvellä |            |
| Ohjaaja   | Risto Viitala                                                        |            |

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena oli luoda aineistoa Majajärven valuma-alueella tehdyistä hakkuista ja muista metsätalouden toimenpiteistä vuosilta 1993—2018. Aineisto luovutettiin aiheesta tutkimusta tekevän Clarisse Blanchetin käyttöön. Työn toinen tavoite oli tutkia, onko metsätalouden toimenpiteillä yhteyttä Majajärven veden tummumiseen. Aihetta oli tutkittu alueella aiemmin uudistushakkuiden osalta, mutta tässä työssä huomioon otettiin muutkin hakkuutyypit sekä kulotukset ja maanmuokkaukset.

Työssä perehdyttiin siihen mitä tummuminen on ja tummumisen aiheuttajiin ja vaikutuksiin. Toimenpideaineiston luomista varten kerättiin tietoa metsätalouden toimenpiteistä, kuvioitiin valuma-alue ja selvitettiin kuvioilla tehdyt toimenpiteet. Toimenpideaineistoa luokiteltiin ja taulukoitiin. Tuloksia tuotettiin tilastollisilla menetelmillä. Näitä menetelmiä olivat muuttujien ja väriarvon korrelaation tarkastelu ja askeltava regressioanalyysi. Tulosten luotettavuutta tutkittiin testaamalla korrelaatiokertoimet ja regressioanalyysissä käytettyjen muuttujien saamat regressiokertoimet.

Tulosten perusteella uudistushakkuilla tai maanmuokkauksilla ei ole ollut vaikutusta Majajärven veden väriin. Kulotukset ovat voineet tummentaa vettä viiveellä ja harvennushakkuilla on voinut olla tummumista hillitsevä vaikutus. Pienen havaintomäärän takia saaduissa tuloksissa on kuitenkin sattuman mahdollisuus.

Avainsanat Tummuminen, Metsätalous, Valunta, Hakkuut

Sivut 42 sivua ja liitteitä 6 sivua

---

|            |                                                                      |           |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| Author     | Noora Hämäläinen                                                     | Year 2020 |
| Subject    | Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus veden tummumiseen Majajärvellä |           |
| Supervisor | Risto Viitala                                                        |           |

---

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to investigate what kind of loggings and other forestry activity there had been in the Majajärvi watershed between the years 1993 and 2018. The data was given to Clarisse Blanchet who is doing a research about brownification. The same data was used in this thesis to study if there is a connection between forestry activity and the brownification of Majajärvi. The connection between clear cutting and brownification has been studied before in Majajärvi watershed. In this thesis all types of logging, controlled burning and land preparation has been taken into consideration.

At first it was necessary to learn about brownification and the causes and impacts of it. The second step was to start collecting data about the forestry activity. The watershed was divided into polygons and each polygon was given information about the forestry activity in it. When the forestry activity data was ready, it was categorized and tabulated. The results were produced by statistical methods. The correlation between watercolor and forestry activity was examined. The other used method was stepwise regression. The reliability of the results was studied by testing the correlation and the regression coefficients.

It was concluded that there was no connection between brownification and clear cutting or land preparation. Controlled burning might have had a latent increasing effect on watercolor and thinning fells might have restrained brownification in Majajärvi. The possibility of happenstance could not be ruled out due to too small amount of observations.

Keywords Brownification, Forestry, Runoff, Logging

Pages 42 pages and appendices 6 pages

## Sisällys

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto .....                                  | 1  |
| 2     | Veden väriin vaikuttavat tekijät .....          | 2  |
| 2.1   | Humus .....                                     | 2  |
| 2.2   | Liennut orgaaninen hiili .....                  | 3  |
| 2.3   | Kemiallinen hapenkulutus.....                   | 4  |
| 2.4   | Rauta .....                                     | 4  |
| 2.5   | Kiintoaine .....                                | 4  |
| 3     | Tummuminen ja sen vaikutukset vesistöihin ..... | 5  |
| 3.1   | Veden lämpötila ja kerrostuneisuus .....        | 5  |
| 3.2   | Veden happitaso .....                           | 6  |
| 3.3   | Vesistöjen ravintoketju .....                   | 6  |
| 4     | Tummumisen mahdolliset aiheuttajat .....        | 7  |
| 4.1   | Metsätalous .....                               | 7  |
| 4.1.1 | Hakkuut .....                                   | 7  |
| 4.1.2 | Kulotus.....                                    | 8  |
| 4.1.3 | Ojitukset .....                                 | 8  |
| 4.1.4 | Maanmuokkaus.....                               | 10 |
| 4.1.5 | Kantojen nosto .....                            | 10 |
| 4.2   | Ilmastonmuutos .....                            | 11 |
| 4.3   | Happamien sateiden väheneminen .....            | 12 |
| 5     | Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet .....        | 12 |
| 5.1   | Tavoitteet.....                                 | 13 |
| 5.2   | Tutkittava alue .....                           | 14 |
| 6     | Työn toteutus .....                             | 16 |
| 6.1   | Aineisto .....                                  | 17 |
| 6.2   | Kuviointi .....                                 | 17 |
| 6.3   | Toimenpiteet opetusmetsän alueella.....         | 18 |
| 6.4   | Toimenpiteet Metsähallituksen alueella .....    | 19 |
| 6.5   | Toimenpidetasot .....                           | 20 |
| 7     | Tulosten tuottaminen.....                       | 23 |
| 7.1   | Hydrologinen malli.....                         | 23 |
| 7.2   | Virtausaika ja kaltevuus .....                  | 24 |
| 7.3   | Muuttujien ja väriarvon korrelaatio .....       | 27 |

|     |                                                      |    |
|-----|------------------------------------------------------|----|
| 7.4 | Askeltava regressioanalyysi .....                    | 27 |
| 7.5 | Korrelaatio- ja regressiokertoimien testaaminen..... | 29 |
| 8   | Tulosten tarkastelu.....                             | 30 |
| 8.1 | Regressiomalli .....                                 | 30 |
| 8.2 | Uudistushakkuut .....                                | 33 |
| 8.3 | Harvennushakkuut .....                               | 33 |
| 8.4 | Kulotukset .....                                     | 34 |
| 8.5 | Maanmuokkaukset.....                                 | 35 |
| 8.6 | Tulosten luotettavuus .....                          | 35 |
| 8.7 | Johtopäätökset.....                                  | 36 |
| 9   | Pohdinta .....                                       | 37 |
|     | Lähteet.....                                         | 38 |

## **Liitteet**

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| Liite 1 | Uudistushakkuiden korrelaatiokuvaajat  |
| Liite 2 | Harvennushakkuiden korrelaatiokuvaajat |
| Liite 3 | Kulotusten korrelaatiokuvaajat         |
| Liite 4 | Maanmuokkausten korrelaatiokuvaajat    |
| Liite 5 | Muuttujien nimet ja selitykset         |
| Liite 6 | Korrelaatiokertoimet                   |

## 1 Johdanto

Vesistöjen tummuminen on yleismaailmallinen, erityisesti pohjoisella pallonpuoliskolla havaittavissa oleva ilmiö. Veden tummuminen vaikuttaa vesistöjen happitilanteeseen ja ravintoketjun toimivuuteen. Ilmiö havaittiin jo 1970-luvulla ja veden väriä on seurattu siitä lähtien. Viimeisten vuosien aikana tummuminen on kuitenkin kiihtynyt. Tummumisen syyt eivät ole vielä täysin selvillä, vaikka aihetta on tutkittu ja tutkitaan lisää. Osittain tummuminen on täysin luonnollista ja siihen liittyy ympäristön happamoitumisen väheneminen. Tummumiseen kuitenkin vaikuttavat myös muut tekijät, kuten ilmastonmuutos ja maankäyttö. Epäselväksi on jäänyt erityisesti metsätalouden osuus tummumisen kiihtymisessä.

Evon opetusmetsän alueen järvillä on tehty mittauksia veden väristä noin kolmekymmentä vuotta. Mittaustietoa on olemassa usealta eri järveltä ja tässä työssä syvennyttään yhteen niistä. Työssä käsitellään opetusmetsän koillisosassa sijaitsevaa Majajärveä ja sen valuma-alueetta.

Ajatus työn aiheesta lähti liikkeelle viime vuonna valmistuneesta, aihetta käsitelleestä tutkimuksesta. Työn tavoitteena on selvittää Majajärven valuma-alueella tehdyt metsätalouden toimenpiteet, eli hakkuut, kulotukset, maanmuokkaukset ja mahdolliset ojitukset samalta ajalta kuin veden värin mittauksia on tehty, tai niin pitkältä ajalta kuin mahdollista. Toimenpiteistä luotavaa aineistoa testataan tilastollisesti. Testien avulla pyritään selvittämään onko Majajärven veden tummumisella ja alueella harjoitetulla metsätaloudella yhteyttä.

Työssä perehdyttään veden väriin vaikuttaviin tekijöihin ja tummumisen syihin sekä siihen, mitä tummuminen aiheuttaa. Työssä sovelletaan paikkatietotuotteiden käsittelyä ja selvitetään valuma-alueella tapahtuneet hakkuut ja muut toimenpiteet. Työssä yhdistellään perinteistä maastossa kerättyä tutkimustietoa, paikkatietoaineistoa ja itse tuotettua aineistoa. Lähteinä käytetään pääasiassa verkosta löytyviä tieteellisiä julkaisuja ja tutkimuksia, avointa paikkatietoaineistoa, jota on tuotettu sekä Suomessa että ulkomailla, ja Evon metsäoppilaitoksen nykyisten ja entisten opettajien tarjoamaa tietoa.

## 2 Veden väriin vaikuttavat tekijät

Veden väriin vaikuttavat enimmäkseen siihen huuhtoutunut humus ja rauta. Suomen olosuhteet ja maastonmuodot ovat otollisia humuksen huuhtoutumiselle. Humuksen merkittäviä lähteitä ovat turvetuotanto ja maa- ja metsätalous, mutta myös luontainen valuma suo- ja metsäalueilta. (Pihlaja, 2012) Lisäksi veden väriä voivat muuttaa levät, mangaani ja muut kiinteät tai liuenneet aineet. (Palviainen & Finer, 2013, s. 11)

Veden väri kuvaa sen ruskeutta ja kertoo Suomen olosuhteissa pääasiassa veden humuspitoisuudesta. Veden väriä mitataan väriarvolla, jonka yksikkö on mg Pt/l. Väriarvo saadaan vertaamalla vesinäytettä mittavälineenä käytettävän värikiekon platina-asteikkoon, josta on johdettu mittayksikön kirjaimet Pt. Väriarvon perusteella vesi voidaan luokitella värittömäksi tai värilliseksi. (Oravainen, 1999, ss. 14–15)

Vesi on väritöntä, kun sen humuspitoisuus on enintään 15 mg Pt/l. Lievää värjäytymistä voidaan havaita asteikolla 20–40 mg Pt/l. Selkeämmin veden väri muuttuu, kun väriarvo on 50–100 mg Pt/l. Runsaasti humusta sisältävä vesi, jossa väriarvo on 100–200 mg Pt/l, on jo selkeästi ruskeaa. Veden väri vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen välillä, vesistöön tulevan valuman määrän mukaan. (Oravainen, 1999, ss. 14–15) Suomen vesistöissä väriarvo on keskimäärin 51 mg Pt/l, meidän vesistömmme ovat siis usein melko ruskeita. (Palviainen & Finer, 2013, s. 10)

### 2.1 Humus

Humus-nimitystä käytetään kasveista, eläimistä ja pieneliöistä peräisin olevista hajoamistuotteista ja noin puolet sen koostumuksesta on hiiltä. Humus sitoo itseensä metalleja ja ravinteita ja se värjää vettä ruskeaksi tai kellertäväksi. Humus koostuu humusaineista, jotka voidaan jakaa humushappoihin (HA), fulvohappoihin (FA) ja humiineihin. Nämä humusaineet voivat esiintyä veteen liuenneina, kolloideina tai kiinteässä muodossa. (Pihlaja, 2012) Humushapot liukenevat veteen sen pH-arvon ollessa yli kaksi ja fulvohapot liukenevat veteen sen pH-arvosta riippumatta. Humiinit eivät liukene veteen missään pH-arvossa. (Kurri, 2011, s. 9)

Humuksen koostumus vaihtelee kasvillisuuden ja maaperän bakteerien, lämpötilan ja muiden ominaisuuksien mukaan. Myös maankäyttö vaikuttaa humuksen koostumukseen. Samalla kun maan kerrokset sekoittuvat, eri vaiheessa hajoamisprosessia olevaa orgaanista ainesta päätyy pintakerrokseen ja päätyy valuman mukana vesistöihin. Koska humuksen lähtöaineet vaihtelevat ja humusaineet hajoavat jatkuvasti, niitä ei voida luokitella muiden luonnon aineiden tavoin. Humuksella ei ole sen takia myöskään tarkkaa kemiallista kaavaa. (Kurri, 2011, ss. 5–6)

Vesistöön kulkeutuvan humuksen määrä on riippuvainen vesistöä ympäröivän maaperän ominaisuuksista ja vesistön sijainnista. Eniten humusta on suovedessä ja soisten valuma-alueiden vedessä. Soilla kosteus ja hidas hajoaminen synnyttävät humuksen muodostumiselle otolliset olosuhteet. Suovedessä humusta saostava suola on myös hyvin vähäistä. Metsämaan läpi kulkevan veden humuspitoisuudet ovat suovettä pienempiä karikkeen vuoksi. Karikekerroksessa muodostuva humus pidättyy metsämaan kerrokseen, jolloin humuksen vesistöihin kulkeutuminen vähenee. (Kurri, 2011, s. 5) Veden humuspitoisuutta voidaan arvioida mittaamalla veden väriarvo, kemiallinen hapenkulutus ja liunneen orgaanisen hiilen määrä. Orgaaninen hiili on näistä mittareista paras. (Palviainen & Finer, 2013, s. 7)

## **2.2 Liennut orgaaninen hiili**

Vesinäytteestä voidaan määrittää orgaanisen kokonaishiilen (TOC) määrä, joka sisältää liennutun orgaanista hiiltä (DOC) ja partikkelimaista orgaanista hiiltä (POC). Suurin osa Suomen vesistöissä olevasta hiilestä on liunneessa muodossa ja sen osuus on erityisen suuri pienissä puroissa ja ojissa, joissa virtaama on pieni. Liennut orgaaninen hiili voidaan jakaa kahteen osaan, helposti hajoavaan LDOC:hen (labile DOC) ja heikosti hajoavaan RDOC:hen (refractory DOC). Vesistöjen DOC:sta noin 75 % on yleensä RDOC:tä ja loput LDOC:tä ja POC:tä. (Palviainen & Finer, 2013, ss. 7–9)

RDOC koostuu erilaisista makromolekyyleistä, joita myös humuksen muodostavat humusaineet ovat. Tyypillisesti maalta tulevan valuman mukana kulkeutuva DOC koostuu vaikeammin hajoavista humus- ja fulvohapoista kuin vesikasvien ja planktonin hajoamisesta muodostuva, vesistöissä syntyvä DOC. (Palviainen & Finer, 2013, s. 9)



### 2.3 Kemiallinen hapenkulutus

Veden kemiallinen hapenkulutus (COD) kuvaa sen sisältämää eloperäistä ainetta.

Kemiallinen hapenkulutus voidaan määritellä käyttämällä apuna kaliumpermanganaattia (KMnO<sub>4</sub>). Orgaanisten aineiden hapettuessa osa kaliumpermanganaatista pelkistyy. Jäljelle jäävä määrä mitataan ja CODMN- arvo lasketaan kertomalla KMnO<sub>4</sub>-luku 0,253:lla. CODMN- arvo ja DOC- ja TOC-pitoisuudet ovat vahvasti verrannollisia ja CODMN-arvon suuruus on riippuvainen veden humuspitoisuudesta. (Palviainen & Finer, 2013, s. 10)

### 2.4 Rauta

Raudan määrä vedessä ja veden väri korreloivat. Mitä enemmän vedessä on rautaa, sitä tummempaa se on. Samanaikaisesti tummumisilmiön voimistumisen kanssa pintavesien rautapitoisuuksien on todettu kasvaneen ainakin Ruotsissa, Suomessa ja Iso-Britanniassa. (Ekström, 2013, s. 22) Helposti liukeneva orgaaninen rauta sitoutuu humukseen ja partikkelimainen rauta sitoutuu kiintoaineeseen. Runsaasti humusta sisältävissä, ruskeavetisissä järvissä tavataankin myös korkeita rautapitoisuuksia ja rautapitoisuuksien huomattava kohoaminen valumavedessä on merkki runsaasta kiintoainekuormituksesta. (Heikkinen, 2012, s. 3; Klöve ym., 2011, s. 15)

Yleensä rautapitoisuus maaperässä ja turpeessa kohoaa, kun mennään syvemmälle maaperän kerroksiin. Soiden ja turvemaiden ojitus lisää herkästi huuhtoutuvan raudan määrää valumavedessä. Huuhtoutunut rauta muuntuu sakkautuvaan muotoon ja sillä on epäilty olevan yhteys vesistöjen sedimentaatioon. (Klöve ym., 2011, s. 15)

### 2.5 Kiintoaine

Kiintoaine on virtaavan veden mukana kulkeutuvaa ainesta, jonka partikkelikoko on suurempi kuin 0,45 µm ja se voi koostua sekä orgaanisesta, että mineraaliperäisestä aineksesta. Vesistöjen kiintoainekuormituksen syynä on maaperän eroosio. Vesistöön päätyvän kiintoaineen määrään vaikuttavat sen raekoko, virtauksien suunta ja voimakkuus, sekä uomien syvyys ja pinta-ala. Uomaa pitkin kiintoaine kulkeutuu eteenpäin joko veteen sekoittuneena tai pohjaa myöten. Orgaaninen osa kiintoaineesta hajoaa pikkuhiljaa ja tämän

prosessin myötä voi syntyä humusaineita. Kiintoaine myös sitoo itseensä tai kuljettaa mukanaan ravinteita. (Palviainen & Finer, 2013, s. 11)

### **3 Tummuminen ja sen vaikutukset vesistöihin**

Tummumisella tai ruskettumisella tarkoitetaan vesistöjen luontaisen, ruskean sävyn voimistumista. Ruskeus johtuu veteen liuenneesta tai sekoittuneesta, valumaveden mukana kulkeutuneesta aineksesta. Ilmiö ei kosketa vain Suomea, vaan yleisesti koko maailman pohjoisia osia. Veden värin on huomattu tummuneen niin Euroopassa, kuin Pohjois-Amerikassakin 1970-luvulta alkaen. (Ekström, 2013, s. 12) Tummuminen on luonnollinen ilmiö, johon alettiin kiinnittää huomiota jo 1990-luvulla. Viime vuosina tummuminen on kiihtynyt ja se on alkanut herättää yhä enemmän huomiota. (Blanchett, 2019, s. 1)

#### **3.1 Veden lämpötila ja kerrostuneisuus**

Suomessa järvillä on tyypillisesti kaksi täyskiertoa vuodessa, eli ne ovat dimiktiivisiä. Täyskierrat ajoittuvat kevääseen ja syksyyn ja niiden aikana vesimassa on tasalaatuista ja kerrostumatonta, eli pohjalla ja pinnassa vesi on yhtä lämmintä. Täyskierron aikaan happitilanne on yleensä järvissä hyvä. Kesällä ja talvella vesimassa on kerrostunutta, kesällä lämpimin vesi nousee pintaan ja kylmin painuu pohjalle, talvella taas kylmin vesi on pinnassa, heti jään alla ja lämpimin pohjalla. Syynä lämpötilakerrosten vaihtuvaan järjestykseen on veden ominaisuus, joka tekee +4 C-asteisesta vedestä kaikkein raskainta. Lämmitessään tai jäähtyessään vesi kevenee. (Oravainen, 1999, s. 1)

Veden tummuminen vaikuttaa sen lämpötilaan. Auringonvalo lämmittää tehokkaasti tummaa, ruskeansävyistä vettä. Veden tummuessa myös valon kulkeutuminen vesistön pohjakerrokseen heikkenee. Tämä vaikuttaa veden kerrostumiseen, pohjalla oleva vesi ei lämpene samassa tahdissa kuin aiemmin ja lämpötilakerrostumat syntyvät nopeammin ja niiden rajat jyrkkenevät. (Kurri, 2011, s. 13)

### 3.2 Veden happitaso

Veden lämpötila vaikuttaa vesistön happitasoon. Keväällä jäiden lähtemisen jälkeen pintavesi alkaa lämmetä ja kun se on yhtä lämmintä pohjalla olevan veden kanssa, tuuli alkaa sekoittaa vesimassaa ja happea pääsee lisää myös pohjakerrokseen. Kun pintavesi lämpenee pohjalla olevaa vettä lämpimämmäksi, veteen alkaa taas muodostua kerroksia ja tuulen sekoitusvoima heikkenee. Pohjalle jäävä kylmä vesi ei enää sekoitu kunnolla ja saa sen myötä uutta happea. Sekoittumisen heikkenemisen seurauksena pohjaan alkaa muodostua happivajetta. Syksyllä pintavesi jäähtyy uudelleen ja pinnan ja pohjan lämpötilojen tasoittuessa tuuli alkaa taas sekoittaa vettä ja parantaa pohjan happitilannetta. (Oravainen, 1999, s. 1)

Veden tummuminen vaikuttaa veden happipitoisuuteen kahdella tavalla.

Lämpötilakerrostumien muuttuminen ja auringonvalon lämmitystehon heikkeneminen hidastavat veden normaalia sekoittumista ja estävät näin hapen pääsyä pohjakerrokseen. Hapen puute veden pohjakerroksessa lisää ravinteiden, etenkin fosforin, vapautumista pohjan sedimenteistä ja voi näin kiihdyttää rehevöitymistä. (Kurri, 2011, s. 13)

Rehevöityminen lisää hajotustoimintaa vedessä, kun kasvien ja levien määrä lisääntyy. Hajotustoiminta kuluttaa happea ja happikato pahenee entisestään. (SYKE, 2019)

### 3.3 Vesistöjen ravintoketju

Veden värin muuttuessa tummemmaksi, auringon valo ei läpäise vettä yhtä tehokkaasti kuin aikaisemmin. Sillä on vaikutuksia ravintoketjun toimintaan. Heikosti valoa läpäisevässä vedessä planktonia syövien kalojen reaktioaika pitenee ja ravinnon saaminen vaikeutuu. Petokaloilla saaliin löytäminen ja valinta häiriintyvät, sillä pimeässä kalojen on vaikeampaa löytää saalista ja valita sopiva saalis koon perusteella. (Wissel, Boeing & Ramcharan, 2003, ss. 1965–1966)

Valon väheneminen vaikuttaa vesikasvien kykyyn yhteyttää ja muuttaa kasvien lajisuhteita. (Blanchet, 2019, s. 3) Tummuminen vaikuttaa kasvien lisäksi vedessä elävien levien lajikirjoon, sillä kirkas- ja tummavetisten järvien leväkanta on erilainen. Levälajiston muutoksella on suoria ja välillisiä vaikutuksia ihmisille. Humuspitoisuuden kasvun ja

rehevöitymisen myötä menestyvät sini- ja viherlevät muuttavat ravinnoksi syötävien kalojen rasvahappokoostumusta. Kirkasvetisissä järvissä elävät levät tuottavat omega-3-rasvahappoja, jotka kulkevat ravintoketjussa petokaloihin asti ja tekevät kalasta terveellistä ravintoa. Tummavetisten järvien levälajit tuottavat näitä rasvahappoja paljon heikommin. (SYKE, 2016)

Veden tummumisella voi olla vaikutuksia myös vedessä elävien selkärangattomien hyönteisten määrään ja lajien runsauteen. (Blanchet, 2019, s. 3) Vesien selkärangattomat ovat tärkeää ravintoa monille kaloille, sammakkoeläimille ja vesilinnuille. Vesilinnuista telkkä syö pääasiassa vesiselkärangattomia ja ne ovat tärkeä osa ravintoa myös puolisuikeltajille, kuten sinisorsalle. (Halonen, 2018, s. 11)

## **4 Tummumisen mahdolliset aiheuttajat**

Tummumiseen on monia syitä ja niiden osuudesta ilmiön voimistumiseen ei olla yksimielisiä. Tietoa syistä ja niiden vaikuttavuudesta tarvitaan lisää, ennen kuin voidaan tehdä varmoja johtopäätöksiä.

### **4.1 Metsätalous**

Metsätalous kuormittaa vesistöjä laajalla alueella syntyvänä hajakuormituksena. Merkitykselliseksi vesistöjen kuormittajaksi se voidaan luokitella siksi, että metsätaloutta harjoitetaan koko maassa melko laajoilla alueilla ja kuormitus on pitkäkestoista. Lisäksi metsätalouden aiheuttama hajakuormitus kohdistuu usein latvavesiin, jotka eivät juuri kärsi muusta vesistöjen kuormituksesta. (Joensuu ym., 2012, s. 14) Metsätalouden toimenpiteet voivat aiheuttaa muutoksia valumavesien liikkeissä ja altistaa runsaasti orgaanista ainetta sisältävää maaperää eroosiolle. (Blanchet, 2019, s. 2)

#### **4.1.1 Hakkuut**

Uudistushakkuun jälkeen lisääntyvän kiintoaineen ja ravinteiden huuhtouman määrä riippuu paljon hakatun alueen maalajista. Etenkin turvemaille uudistushakkuu voimistaa humuksen huuhtoutumista ja voi lisätä valumaveden happamuutta. Huuhtouma on yleensä

suurimmillaan muutaman vuoden ajan hakkuun jälkeen ja pienenee sitä mukaa, kun hakkuutähteet hajoavat ja pintakasvillisuus elpyy. Hakkuutähteet keräämällä voidaan vähentää ravinteiden huuhtoutumista. Merkittävimmät kuormituksen aiheuttajat uudistushakkuualalla ovat kuitenkin vesistön tuntumaan syntyvät syvät ajourat ja liian lähelle rantaa ulotettu maanmuokkaus. (Joensuu ym. 2012, s. 26)

Harvennushakkuilla ei ole suurta vaikutusta huuhtoutumiseen. Painaumat ajourilla ja maanpinnan rikkoutuminen voivat lisätä eroosiota, mutta niitä pystytään välttämään tehokkaasti hakkuun ajoituksella ja ajourien havuttamisella. (Joensuu ym. 2012, s. 26)

#### **4.1.2 Kulotus**

Kulotuksella voidaan parantaa kasvupaikan ravinnetilannetta ja lämpötilaa. Kulotuksessa poltetaan hakkuutähteet ja humuskerrosta, jolloin maahan vapautuu ravinteita ja humuskerroksen lämpöä eristävä vaikutus vähenee. Kulotus myös helpottaa metsänviljelyä ja antaa taimille etumatkaa pintakasvillisuuteen nähden. (Lemberg, 2002, s. 1)

Kulotus aiheuttaa jonkin verran vesistökuormitusta valumavesien välityksellä. Humuskerroksen palaminen altistaa kulotetun alueen eroosiolle, voi heikentää maan vedenpidätyskykyä ja lisää ravinteiden huuhtoutumista. (Lemberg, 2002, s. 30) Kulotuksen aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä jättämällä suojakaistoja ja huolehtimalla siitä, ettei palokujilla ole yhteyttä vesistöön. (Joensuu ym., 2012, s. 29)

#### **4.1.3 Ojitukset**

Turvemailla puuston kasvulle edullisesta vesitaloudesta huolehditaan ojituksilla. Ojituksen seurauksena vedenpinnan taso turpeessa laskee. Turpeeseen syntyy enemmän ilmatilaa, joka mahdollistaa puiden juuristolle elintärkeän hapen saannin. Ojituksen jälkeen aiempaa paremmin kasvava puusto edistää kuivattavaa vaikutusta itse, haihduttamalla ja pidättämällä sadevettä latvuksiin. (Vanhatalo ym., 2019, s. 9)

Ojitus lisää kiintoaineen, sekä ravinteiden huuhtoutumista. Ojien penkat ja kaivuutyössä syntyvät irtonaiset maakasat ovat alttiita pintaeroosiolle. Peratut ojat, joita kasvillisuus ei

suojaa, altistuvat uomaeroosiolle. Mahdollisten täydennysojien kaivaminen nopeuttaa veden virtausta ja voi aiheuttaa ylivalumaa. Kiintoaineen huuhtoutuminen lisää huuhtoutuvan fosforin määrää, sillä fosfori sitoutuu usein hienojakoiseen maa-ainekseen. Ravinteiden osalta huuhtouma lisääntyy etenkin ammoniumtyypellä. Myös natriumin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, raudan ja alumiinin pitoisuudet valumassa kohoavat. Natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrien muutokset ovat pysyviä, raudan ja alumiinin tyypillisesti lyhytaikaisia. Valumaveden humuspitoisuus ja happamuus yleensä vähenevät ojituksen jälkeen. Happamuuden väheneminen voi johtua siitä, että ojituksen seurauksena vesi valuu aiempaa syvemmällä maaperässä, jossa turvekerroksen koostumus voi olla erilainen tai maaperä voi olla kivennäismaata. Runsaasti rikkiä sisältävillä soilla ja rannikkoalueen happamilla sulfaattimailla valuvan veden painuminen syvemmälle voi kuitenkin johtaa valumaveden happamuuden voimakkaaseen kasvuun. (Joensuu ym., 2012, ss. 15–18) Ojituksen haittoja voidaan vähentää vesiensuojelutoimenpiteillä. Ojat pitäisi kaivaa vähäsateisena aikana. Ojitusta suunniteltaessa eroosiolle alttiit kohdat pyritään tunnistamaan etukäteen huomioimalla maalaji, virtaavan veden määrä ja ojien kaltevuus. Ojien väliin jätetään kaivu- ja perkauskatkoja ja lietekuoppien ja laskeutusaltaiden avulla voidaan hillitä kiintoaineen kulkeutumista vesistöihin. Pintavalutuskenttiin pyritään pidättämään valumaveden mukana tulevia kiintoaineita ja ravinteita. Veden virtausnopeutta voidaan säädellä erilaisilla patorakenteilla. Ravinteita voidaan pidättää myös kosteikoihin, jotka lisäävät samalla luonnon monimuotoisuutta. (Joensuu, Kauppila, Lindén & Tenhola, 2019, ss. 13–26)

Metsätieteen aikakauskirjassa 1/2000 todetaan, että uudistusojituksen jälkeen lisääntynyt valunta palautuu ojitusta edeltävällä tasolle 15–20 vuoden kuluttua ojituksesta. Kunnostusojituksen vaikutuksia valuntaan ei ole pystytty julkaisun mukaan varmasti toteamaan ja valunnan määrään vaikuttavaksi tekijäksi esitetään sitä, miten paljon puuston kasvu on ojitetulla alueella parantunut. (Ahti & Nieminen, 2000, s. 321)

Vuonna 2017 julkaistussa tutkimuksessa ojituksen vaikutusten keston arvioidaan kuitenkin olevan huomattavasti pidempi. Tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan ojitettujen alueiden valumavesien ravinnepitoisuudet eivät suinkaan laske vaan kasvavat sitä suuremmiksi, mitä pidempi aika ojituksesta on kulunut. 60 vuotta ojituksen jälkeen valumavesistä on mitattu jopa kolminkertaisia pitoisuuksia tyypeä ja fosforia, verrattuna 30

vuotta ojituksen jälkeen mitattuihin pitoisuuksiin. Syyksi tähän esitetään ojituksen käynnistämää turpeen maatumista, joka lisää eroosioriskiä ja vapauttaa ravinteita helpommin liukenevaan muotoon. (Nieminen ym., 2017, ss. 974–981)

#### **4.1.4 Maanmuokkaus**

Väärin valittu muokkausmenetelmä voi aiheuttaa eroosiota ja johtaa kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Maanmuokkaus pitäisi toteuttaa mahdollisimman kevyellä menetelmällä. Menetelmän valintaan vaikuttavat kuivatustarve, maalaji, pinnanmuodot ja vesistöjen, sekä pohjavesialueiden sijainti. Turvemaiilla menetelmän valinnassa pitää huomioida myös turpeen maatuneisuuden aste. (Joensuu ym., 2012, ss. 29–30)

Maanmuokkauksen haittoja voidaan ehkäistään ensisijaisesti valitsemalla oikea muokkausmenetelmä. Lisäksi vältetään purojen ja ojien ylittämistä koneilla ja jätetään muokkaamattomia suojakaistoja ja pientareita. Jos muokkausmenetelmällä johdetaan vettä pois muokatulta alueelta, pitää samalla toteuttaa vesiensuojelun toimenpiteitä. Ojien virtausta voidaan hidastaa ja niihin jätetään kaivukatkoja. Ojien varrelle tehdään lietekuoppia ja laskeutusaltaita, joihin kiintoaine laskeutuu ja lietetty. (Joensuu ym., 2012, ss. 29–31; SYKE, 2014)

#### **4.1.5 Kantojen nosto**

Kantojen nostaminen helpottaa uudistushakkuun jälkeen tehtävää maanmuokkausta ja metsänviljelyä. Kantojen nostolla voidaan yrittää hillitä juurikäävän leviämistä niillä paikoilla, joilla puulajin vaihtaminen ei ole mahdollista uudistamisen yhteydessä. Kantojen nosto ei kuitenkaan poista juurikäpää alueelta tai estä sen leviämistä kokonaan. Kantojen nostaminen ylös ja tehokas kuivattaminen estävät myös tukkimiehentäin aiheuttamia tuhoja hävittämällä niille sopivat munintapaikat. (Koistinen, Luiro & Vanhatalo, 2019, ss. 33–34)

Kantojen nosto poistaa ravinteiden lähteitä uudistusosalta ja voi siten vähentää niiden huuhtoumista vesistöihin. Toimenpide kuitenkin lisää uudistettavalla alueella tehtävän koneellisen käsittelyn määrää, joka kasvattaa syvien painaumien ja urien syntymisen riskiä. Mahdollisten maastovaurioiden lisäksi kantojen nostaminen paljastaa suuren osan hakatun

alueen kivennäismaasta. (Joensuu ym., 2012, s. 28) Kannon, jonka läpimitta on 12 cm, nostaminen rikkoo maanpintaa noin kahden neliömetrin kokoiselta alueelta. Kantojen läpimitan kasvaessa myös rikkoutuvan tai paljastuvan maan pinta-ala kasvaa. (Kubin ym., 2012, ss. 24–25) Nämä tekijät voivat lisätä kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumia. Hienojakoisilla mailla kantojen nosto voi aiheuttaa maaperän eroosiota, kun kunnakerros rikkoutuu ja paljas kivennäismaa altistuu sateelle ja tuulelle. (Joensuu ym., 2012, s. 28)

Kantojen noston haittoja voidaan ehkäistä jättämällä vesistöjen suojakaistat ja penkereet käsittelemättä. Suojakaistojen leveyden määrittämisessä pitää huomioida maaston kaltevuus ja alueen maalaji. 1-luokan pohjavesialueella kantojen nosto on kokonaan kielletty, eikä sitä suositella tehtäväksi myöskään 2-luokan pohjavesialueella. (Joensuu ym., 2012, s. 28)

## 4.2 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän sadantaa ja aiheuttavan aiempaa voimakkaampia rankkasateita. Sademäärän muutokset tulevat luultavasti näkymään selvemmin talviaikaan ja ne ovat huomattavampia pohjoisessa kuin etelässä. Lumisateen muuttuessa vedeksi ja lumi- ja jääpeitteisen ajan lyhentyessä sulamisvesien aiheuttamat tulvat siirtyvät kokonaan tai osittain keväältä keskelle talvea. Tämän myötä kevättulvien määrä vähenee nykyisestä. Kesällä kuivuus voi lisääntyä kasvaneesta sademäärästä huolimatta. Yhä aikaisemmin tuleva kevät ja lämpötilojen nousun myötä lisääntyvä haihdunta voivat aiheuttaa entistä pahempia kuivia jaksoja. (Ilmasto-opas, 2016)

Nämä ilmiöt vaikuttavat valunnan määrään ja voimakkuuteen, sekä vesien virtaamiin, vedenkorkeuteen ja pohjaveteen. (Ilmasto-opas, 2016) Lisääntynyt valunta ja sula, roudaton maa voivat lisätä huuhtoutuvan humuksen määrää ja näin voimistaa vesistöjen tummumista. (Räike, 2015, s. 9) Mahdollinen ilmastonmuutoksen vaikutus on myös se, että orgaanisen aineen hajoaminen kiihtyy, kun lämpötilat nousevat ja kesäajan kuivat jaksot yleistyvät. Kuivien jaksosten on esitetty aiheuttavan veteen liuenneen orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuuksien asteittaista nousua. Vedenpinnan korkeus ja hapen puute hillitsevät orgaanista ainetta hajottavan entsyymin toimintaa. Kuivan jakson aikaan entsyymin toiminnan oletetaan aktivoituvan ja kiihdyttävän hajoamista. Kun vedenpinta kuivan jakson jälkeen



nousee uudestaan, hajottavan entsyymien toiminta voi jäädä aiempaa aktiivisemmaksi. Tätä ns. entsyymiteoriaa ei ole kuitenkaan pystytty täysin todistamaan. (Nieminen & Sarkkola, 2014, s. 7)

### **4.3 Happamien sateiden väheneminen**

Sadevesi on aina hieman hapanta. Ilmakehästä sadevetteen liukenee hiilidioksidia ja sen vaikutuksesta sadeveden normaali pH-arvo on noin 5,6. Varsinaisten happamien sateiden pH on tätä alhaisempi ja niiden esiintymiseen vaikuttavat ilmansaasteet. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen vapauttaa rikki- ja typpiyhdisteitä, joista osa hapettuu sulfaateiksi ja nitraateiksi, osa pysyy muuttumattomana. Päästölähteeltä nämä yhdisteet kulkeutuvat ilmakehässä ilmavirtojen mukana ja putoavat märkälasseksumana, eli vesipisaroihin pidättyneinä alas maahan. (Savonen & Lepistö, 1993, ss. 3–5) Haposateita aiheuttavat päästöt ovat vähentyneet länsimaissa huomattavasti 1980-luvulta alkaen. Nykyisin haposateita ei näillä alueilla enää juurikaan esiinny. (YLE, 2008)

Happamuus sitoo orgaanista hiiltä maaperään ja happamissa vesissä orgaaninen hiili vajoaa pohjaan, jolloin vesi on kirkkaampaa. Haposateiden harvinaistuminen tai loppuminen on vähentänyt maaperän ja vesistöjen happamoitumista ja ne ovat alkaneet palautua. Samalla maaperään ja vesistöjen pohjakerroksiin sitoutunut orgaaninen hiili on muuttunut taas helpommin liukenevaksi. Happamuuden vähentymisestä johtuva vesistöjen tummuminen onkin oikeastaan luonnollinen ja normaali ilmiö, jonka seurauksena vesistöt palautuvat haposadeongelmaa edeltävään tilaan. (Polte, 2014)

## **5 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet**

Evon opetusmetsän alueella sijaitsevista järvistä on tehty mittauksia noin kolmenkymmenen vuoden ajan. 1980-luvun lopulta alkaen veden väriä on mitattu 35 järvellä. (Arvola ym., 2010, s. 270) Vuosina 1989–2008 on selvitetty myös vesiselkärangattomien määrää ja lajikirjoa. Veden värin mittaukset on tehty Lauri Arvolan johdolla ja vesiselkärangattomien määrää on tutkinut Helsingin yliopiston lehtori Petri Nummi.

Ranskalaisen Clarisse Blanchetin tutkimuksessa, jota hän teki professori Céline Arzelin ohjauksessa, selvitettiin veden tummumisen vaikutuksia opetusmetsän järvissä elävien selkärangattomien runsauteen ja lajikirjoon, ja sitä kautta ruokaketjun toimintaan. Tutkittuja järviä olivat Valkea-Kotinen, Iso-Ruuhijärvi, Keskinen Mustajärvi, Vähä- ja Iso Vehkajärvi, Vähä-Valkjärvi, Saarisjärvi, Ylinen Rautjärvi, Tekumi, Pitkänniemenjärvi, Rahtijärvi ja Majajärvi. Blanchet jatkoi vesiselkärangattomien määrän mittausta Nummen käyttämällä menetelmällä ja hyödynsi Arvolan keräämää tietoa väriarvoista. Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää avohakkuiden ja veden tummumisen yhteyttä Majajärvellä. Blanchet valitsi Majajärven tarkemman tutkimuksen kohteeksi, koska sen ympäristössä metsätalous on ollut melko aktiivista ja sen veden värissä on ollut huomattavia muutoksia. Hakkuiden vaikutuksen tutkimista varten oli luotu kaltevuuteen perustuva laskentamalli, jolla pyrittiin mallintamaan avohakkuilta syntyvää valumaa Majajärveen. Avohakkuiden ja veden tummumisen välillä ei huomattu selvää yhteyttä. Tosin tuloksiin liittyi epävarmuutta muun muassa melko pienen aineiston takia. Avohakkuista oli tehty vuosina 2003, 2006, 2010, 2012 ja 2018 ja hakattujen kuvioiden määrä oli suhteellisen pieni.

Edellisen tutkimuksen tekijä Blanchet suunnitteli jatkavansa aiheen tutkimista muillakin opetusmetsän järvillä ja pidentävänsä huomioon otettavaa aikaa. Hän tarvitsi tutkimusta varten aineistoa Majajärven alueen hakkuista ja muista toimenpiteistä suunnilleen samalta ajalta, kuin veden värin mittauksia on tältä Majajärveltä olemassa.

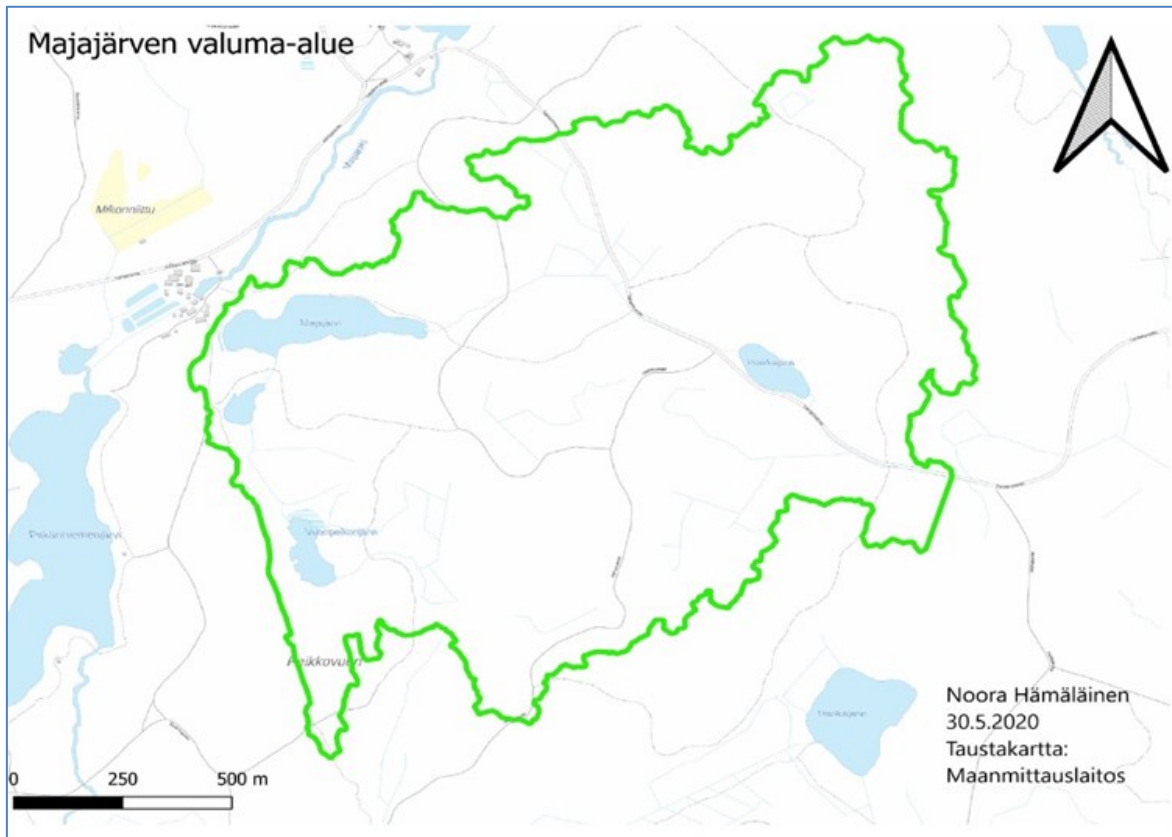
Toista tutkimusta varten tuotetusta aineistosta tuli hyvä lähtökohta varsinaisen opinnäytetyön tekemiseen. Aineiston tilaajan ja ohjaajan kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen päädyttiin siihen, että tässä opinnäytetyössä tutkitaan uudistushakkuiden lisäksi muidenkin toimenpiteiden vaikutuksia. Uudistushakkuiden lisäksi huomioon otettiin harvennushakkuut, maanmuokkaukset, kulotukset ja ojitukset.

## **5.1 Tavoitteet**

Työn tavoitteena oli tuottaa materiaalia Majajärven valuma-alueen (Kuva 1, s. 14) metsätalouden toimenpiteistä ja etsiä yhteyttä Majajärven veden tummumisen ja metsätalouden toiminnan välillä tai osoittaa, että sellaista ei ole. Tavoitteena oli myös parantaa alueella aiemmin tehdyssä tutkimuksessa luodun mallinnuksen selitysasetta

käymällä läpi aiempaa tutkimusta pidempi ajanjakso ja ottamalla huomioon avohakkuiden lisäksi myös harvennushakkuut, mahdolliset ojitukset ja muu metsätalouden toiminta alueella.

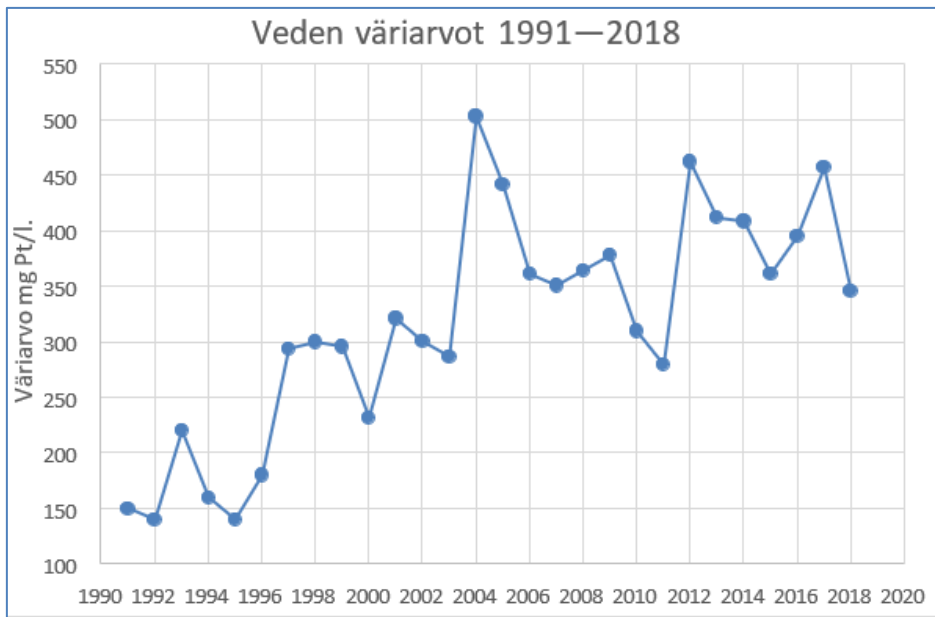
Kuva 1. Majajärven valuma-alueen rajat



## 5.2 Tutkittava alue

Metsätalouden toimenpiteiden vaikutusta veden väriin tarkasteltiin Evon opetusmetsässä sijaitsevalla Majajärvellä. Majajärvi on saareton, pintaaltaan noin 3,4 hehtaarin kokoinen järvi, joka kuuluu Kokemäenjoen päävesistöalueeseen. (Järviwiki, 2011) Majajärven veden värin muutos on ollut merkittävää. Veden väriä on mitattu järvellä 26 vuoden ajan ja sinä aikana vesi on muuttunut jopa kolme kertaa tummemmaksi. Vuonna 1991 väriarvo oli 150 mgPt/l ja vuonna 2017 se oli 457 mgPt/l. (Blachet, 2019, s. 5) Mittausjaksolla mitatuista väriarvoista (Kuva 2, s. 15) voi todeta, että veden värin muutos ei ole ollut lineaarista. Välissä on vuosia, jolloin väriarvo on ollut edellistä vuotta pienempi, mutta suunta on silti nousujohteinen.

Kuva 2. Majajärven veden väriarvojen kehitys

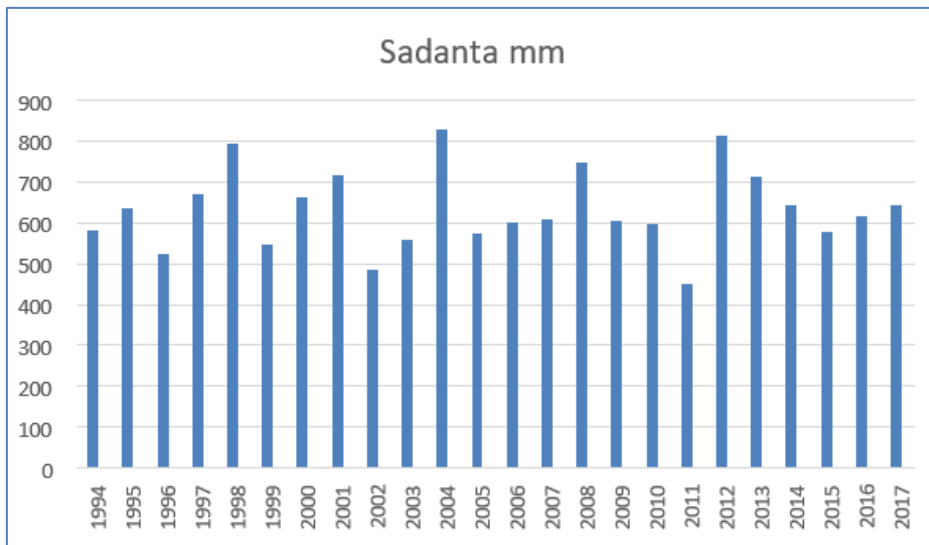


Hakkuut ja muut metsätalouden toimenpiteet kartoitettiin Majajärven valuma-alueen rajojen sisään jäävältä alueelta. Valuma-alueen koko on noin 180 hehtaaria. Suurin osa valuma-alueen metsäkuvioista, noin 132 hehtaaria, sijaitsee Evon opetusmetsän alueella. Valuma-alueen pohjoisosa on Metsähallituksen omistuksessa.

Opetusmetsän vanhoihin hakkuukarttoihin on merkitty kuvioiden maalajit ja niistä voi todeta, että suurin osa valuma-alueen kuvioista on kangasmaata, mutta joukossa on myös turvemaita. Maaperän pintakerros koostuu valuma-alueella enimmäkseen podsolimaista. (BGR, 2011) Podsolimaannos muodostuu, kun happaman humuskerroksen läpi tiheä vesi liuottaa mukaansa rautaa ja alumiinia, jotka saostuvat syvemmillä kivennäismaassa omaksi kerrokseksi. (Tamminen, 2009, s. 74) Podsolimaannoksen happamuuden takia orgaaninen aines hajoaa siinä hitaasti.

Alueen kallioperä koostuu kiillegneisistä ja porfyirisestä granodioriitistä (GTK, 2019). Majajärveen tulee uutta vettä lähinnä sateena ja valumavetenä. (Blanchet, 2019, s. 6) Lammin sääasemalta saatujen tietojen mukaan vuotuinen sadanta alueella vuosina 1994–2017 on ollut keskimäärin 630 mm. Sadantatiedot on esitetty seuraavalla sivulla pylväinä (Kuva 3, s. 16).

Kuva 3. Sadanta Lammin sääaseman tietojen perusteella



## 6 Työn toteutus

Työ tekeminen alkoi marraskuussa 2019. Työn sivutuotteena oli tarkoitus tuottaa toimenpidetietoja toiselle tutkimuksen tekijälle. Työ aloitettiin keräämällä paikkatietopalveluista toimenpiteiden kartoittamiseen tarvittavaa materiaalia ja etsimällä lähteitä teoriaosuutta varten. Seuraavaksi suunniteltiin työvaiheiden järjestys ja pohdittiin työn sisältöä tekemällä alustava sisällysluettelo.

Kun lähdemateriaalia oli tarpeeksi, aloitettiin valuma-alueen kuviointi ja tutustuminen teoreettiseen tietoon tummumisesta ja sen syistä ja vaikutuksista. Kuvioinnin valmistuttua alettiin selvittää toimenpiteitä. Se oli pitkä prosessi, jonka aikana vertailtiin ja tulkittiin eri lähteitä. Toimenpiteiden kartoittaminen vei aikaa noin kolme kuukautta. Kun toimenpiteet oli saatu kartoitettua, tiedot annettiin toiselle tutkijalle ja tämän opinnäytetyön loppuunsaattamista varten alettiin etsiä ratkaisua tulosten tuottamiseen aineistosta. Tulosten tuottamista kokeiltiin eri tavoilla, mutta lopulta päädyttiin käyttämään tilastollisia menetelmiä. Tuloksia tuotettiin tarkastelemalla muuttujien riippuvuutta ja muodostamalla askeltava regressiomalli. Menetelmien valitsemisen jälkeen kaikki tuotettu aineisto käytiin läpi ja se taulukoitiin tarvittavaan muotoon ja aineistosta tuotettiin tulokset.

## 6.1 Aineisto

Työssä yhdisteltiin erityyppistä aineistoa, jota saatiin useista eri lähteistä. Aineistoa saatiin aiemman, aihetta sivunneen tutkimuksen tekijöiltä, Evon oppilaitokselta, sen opettajilta ja avoimista, sekä maksullisista paikkatietopalveluista. Tummumisen tarkastelua varten saatiin aiemman tutkimuksen tekijältä käyttöön veden värin mittaustulokset.

Maanmittauslaitokselta oli saatavilla ortoilmakuvat Majajärven ympäristöstä vuosilta 1995, 1998, 1999, 2003, 2006, 2010, 2012 ja 2018. Ensimmäisten vuosien kuvat ovat hieman epätarkkoja, mutta niitä pystyi kuitenkin hyödyntämään työssä. Ilmakuvia ei ollut jokaiselta vuodelta, ja muutaman vuoden mittaisia aukkoja niiden antamassa tiedossa täydennettiin tutkimalla Luonnonvarakeskuksen laserkeilauksella tuottamaa tietoa puuston pohjapinta-alasta. Näitä tietoja oli saatavilla vuosilta 2009, 2011, 2013, 2015 ja 2017.

Evon opetusmetsän alueelta oli käytössä oppilaitoksen arkistoihin tallennettua ja opettajilla olevaa tietoa toteutuneista hakkuista ja maanmuokkauksista, sekä metsäsuunnitelmien kuviokarttoja ja paperisia hakkuukarttoja eri vuosilta. Metsähallituksen omistamalta maalta valmiita tietoja ei ollut saatavilla, joten tällä alueella jouduttiin turvautumaan Maanmittauslaitoksen alueelta tuottamiin ortoilmakuviin. Samoja ortoilmakuvia käytettiin opetusmetsän toimenpidetietojen todenmukaisuuden varmistamiseen.

Ojituksia etsittiin Metsäkeskuksen vesiensuojeluun tarjoamasta aineistosta.

Rajapintapalvelun kautta oli mahdollista selata jo toteutuneita tai suunnitteilla olevia ojitushankkeita.

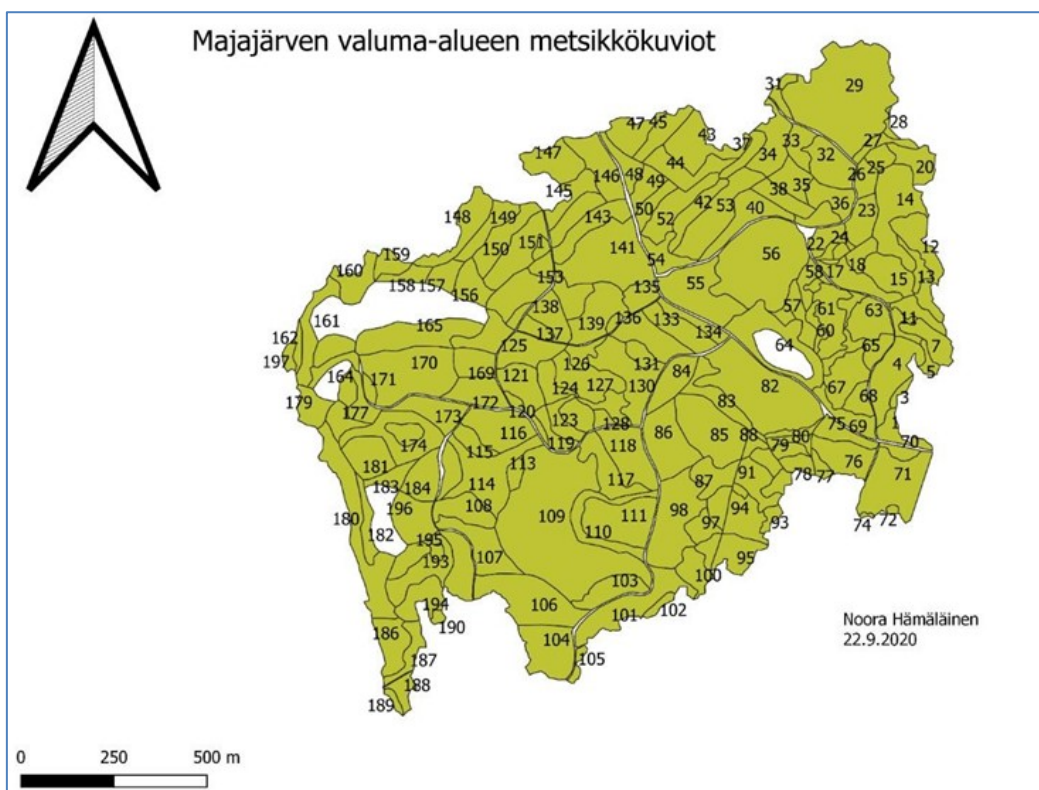
## 6.2 Kuviointi

Kun toimenpidekuvioiden tekemistä aloitettiin, käytössä oli Evon opetusmetsän vanha kuviointi ja hieman uudempi, osittainen kuviointi Metsähallituksen puolelta. Kun kuviointeja ja parin vuoden takaisia ortoilmakuvia verrattiin, huomattiin, että vanhat kuvioinnit eivät enää vastanneet todellisuutta.

Valuma-alueelle tehtiin käsin digitoimalla uusi kuviointi (Kuva 4, s. 18). Kuviointi aloitettiin järjestämällä kaikki ortoilmakuvat aikajärjestykseen ja vertaamalla eri vuosien kuvia toisiinsa.

Kuvioille luotiin uusi karttataso paikkatieto-ohjelmaan ja tasolle tehtiin tietokentät, jotka sisälsivät kuvionumeron, toimenpidetiedon, vuoden ja pinta-alan. Kuvien päälle lisättiin valuma-alueen rajat ja kuvioden luominen aloitettiin selkeiltä ja helposti erottuvilta alueilta. Kuvioinnissa edettiin pikkuhiljaa ja vaikeasti erotettavat alueet jätettiin viimeiseksi. Kun koko valuma-alue oli käyty läpi, tarkasteltiin valmista kuviointia ja sitä verrattiin vielä ortoilmakuviin. Lopuksi kuvioille annettiin järjestyksessä etenevä numerointi ja niiden pinta-alat laskettiin.

Kuva 4. Majajärven valuma-alueen kuviointi



### 6.3 Toimenpiteet opetusmetsän alueella

Opetusmetsän puolella tapahtuneen metsätalouden toiminnan selvittäminen alkoi tutkimalla alueen vanhaa metsikkökuviointia ja näiden kuvioden tietoja. Opetusmetsän kuvioista oli olemassa valmis vektoritaso, joten tietoja pystyi käsittelemään helposti paikkatieto-ohjelmalla.

Hakkuiden tutkimiseen oli käytettävissä runsaasti aineistoa, joka helpotti työtä. Evon oppilaitokselta saatua, taulukkomuotoon koottua aineistoa suodatettiin kuvionumeron perusteella ja siitä etsittiin tiedon kuviolla tehdyistä hakkuista ja niiden ajankohdista. Oppilaitoksen aineisto ei kuitenkaan ollut aukotonta ja osa kuvioista jäi ilman toimenpidetietoja. Näillä kuvioilla ei ehkä ole tehty mitään tai sitten tietoja ei ole tallennettu mihinkään. Aineistossa oli myös päällekkäisyyksiä ja suodatukseen käytetyllä kuvionumerolla löytyi taulukosta välillä useamman kuvion tietoja.

Virheitä ja vääriä tulkintoja pyrittiin sulkemaan pois vertaamalla aineiston ja vanhojen hakkuukarttojen tietoja ja aineistosta löytyviä ja vektoritasolta laskettuja kuvioiden pinta-aloja, sekä tarkistamalla ovatko hakkuut havaittavissa myös ilmakuville. Paperiset hakkuukartat antoivat tarkkaa tietoa hakkuiden vuosiluvuista vuoteen 2010 asti. Sen jälkeen tehdyt hakkuut oli merkitty kartoille vain selitevärillä, eikä hakkuiden tapahtumahetkeä ollut eritelty. Vuosien 2012 ja 2018 väliltä käytössä ei myöskään ollut ortoilmakuvia ja hakkuiden ajoituksessa tällä välillä oli melkoista epävarmuutta. Luonnonvarakeskuksen puuston pohjapinta-alasta koostamaa aineistoa tutkimalla pystyttiin kuitenkin tarkentamaan ajoitusta. Varsinkin tuoreet uudistushakkuut erottuivat aineistosta hyvin. Vertaamalla näitä eri aineistoja pystyttiin ajoittamaan hakkuita tarkemmin oikealle vuodelle ja saatiin aikaan melko varmaa tietoa vuosilta 1993–2018.

Opetusmetsässä tehdyistä kulotuksista oli olemassa tietoja valmiina vektoritasona ja tasoa käytettiin hyödyksi sellaisenaan. Alueella tapahtuneiden maanmuokkausten tutkiminen sen sijaan oli haastavaa, sillä niistä ei ollut olemassa mitään valmista, tallennettua tietoa. Tässä kohtaa turvauduttiin Evon oppilaitoksen nykyiseen ja entiseen opettajaan. Heille lähetettiin kartta uudistushakatuista kuvioista ja he etsivät omista arkistoistaan tiedot kuvioilla tehdyistä maanmuokkauksista.

#### **6.4 Toimenpiteet Metsähallituksen alueella**

Metsähallituksen puolelta käytössä ei ollut mitään valmista aineistoa tehdyistä toimenpiteistä. Kaikki tapahtuneet hakkuut piti etsiä ortoilmakuville, eikä ajankohtaa tai muitakaan tietoja pystynyt tarkistamaan mistään. Koska kuvia ei ollut kaikilta vuosilta, hakkuut ovat voineet tapahtua aiemmin, kuin ne kuvilla näkyvät ja usean kuvion hakkuut on



ajoitettu samalle vuodelle, vaikka todellisuudessa ne ovat voineet jakautua kolmen tai neljän vuoden ajalle. Sen vuoksi hakkuutiedot Metsähallituksen puolelta ovat epävarmoja.

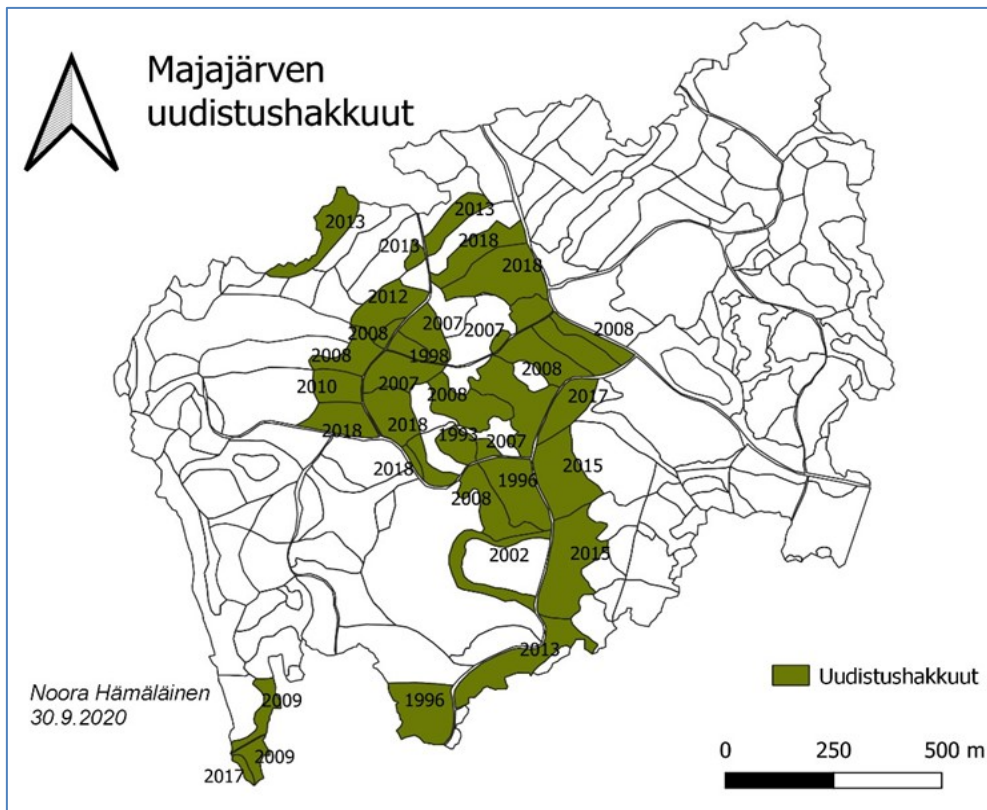
Mahdollisia kunnostusojituksia etsittiin ilmakuvilta ja Metsäkeskuksen tarjoamasta suometsänhoidon paikkatietoaineistosta, josta löytyi tietoja toteutuneista ja suunnitelluista ojitushankkeista ja niiden toteutusvuodesta. Alueelta ei kuitenkaan löytynyt kunnostusojituksia tarkastellulla ajanjaksolla. Kulotuksien osalta käytössä oli hieman valmista aineistoa, sillä Evon opetusmetsän kulotuksista muodostettu vektoritaso ulottui osittain myös Metsähallituksen alueelle. Nämä kulotukset olivat kuitenkin niin vanhoja, ettei niillä ollut merkitystä tässä työssä.

Maanmuokkauksia ei aluksi pyritty selvittämään Metsähallituksen puolelta. Pelkkien ilmakuvien pohjalta uudistushakatuille kuvioille ei pystynyt mitenkään antamaan luotettavaa tietoa maanmuokkauksesta. Samalla kun tietoja Evon opetusmetsän maanmuokkauksista pyydettiin opettajilta, puheeksi tulivat myös Metsähallituksen puolella olevat kuviot. Lähteiden muistitiedon mukaan nämä kuviot olisivat olleet osa ennallistamishanketta ja osa kuvioista olisi poltettu, mutta muuten niitä ei ole muokattu. Koska muutakaan tietoa ei asiasta ollut, oli luotettava tähän näkemykseen.

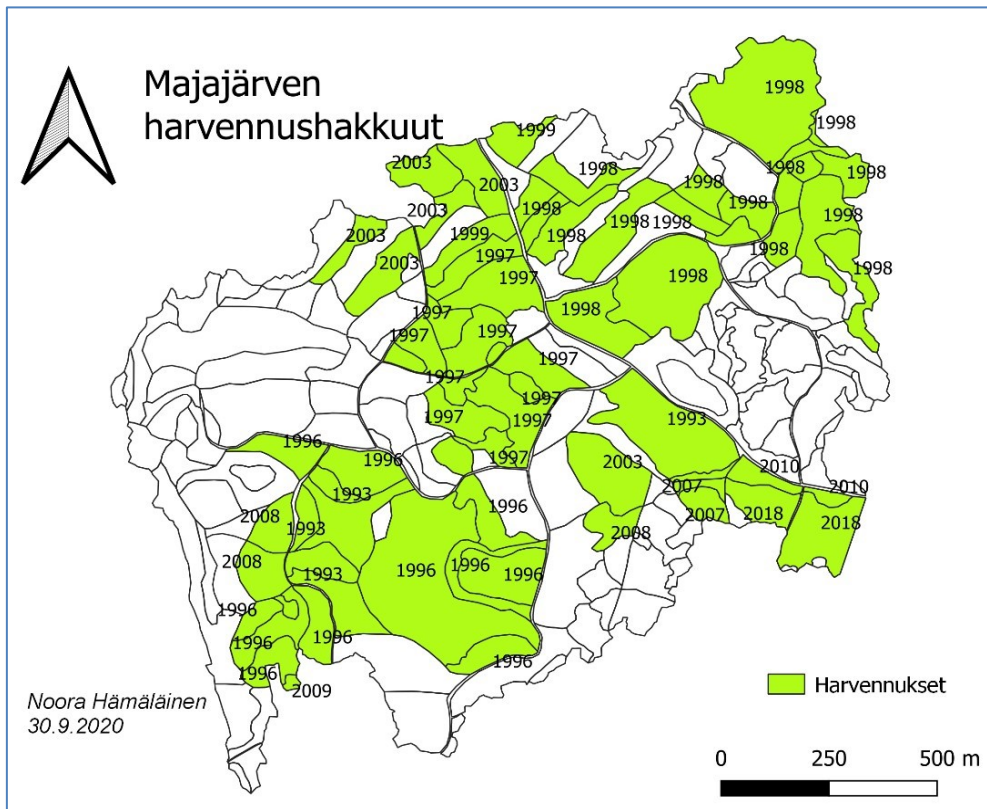
## **6.5 Toimenpidetasot**

Työssä läpikäyty ajanjakso, 1993–2018, käsittää melkein 30 vuotta ja sinä aikana osalla kuvioista oli tehty useampia toimenpiteitä. Pällekkäiset ja peräkkäiset tapahtumat olisivat aiheuttaneet ongelmia toimenpiteiden vaikutusta tutkittaessa, joten eri toimenpiteet jaettiin omiksi vektoritasoikseen. Muodostetut tasot sisälsivät tiedot uudistushakkuista (Kuva 5, s. 21), ylispuuhakkuista ja harvennuksista (Kuva 6, s. 21), kulotuksista (Kuva 7, s. 22) ja ennen metsänviljelyä tehdyistä maanmuokkauksista ja kantojen nostosta (Kuva 8, s. 22). Ennen aineiston käsittelyä ylispuuhakkuut yhdistettiin samaan tasoon harvennusten kanssa ja kannonnostot maanmuokkausten kanssa, koska näistä toimenpiteistä oli niin vähän havaintoja.

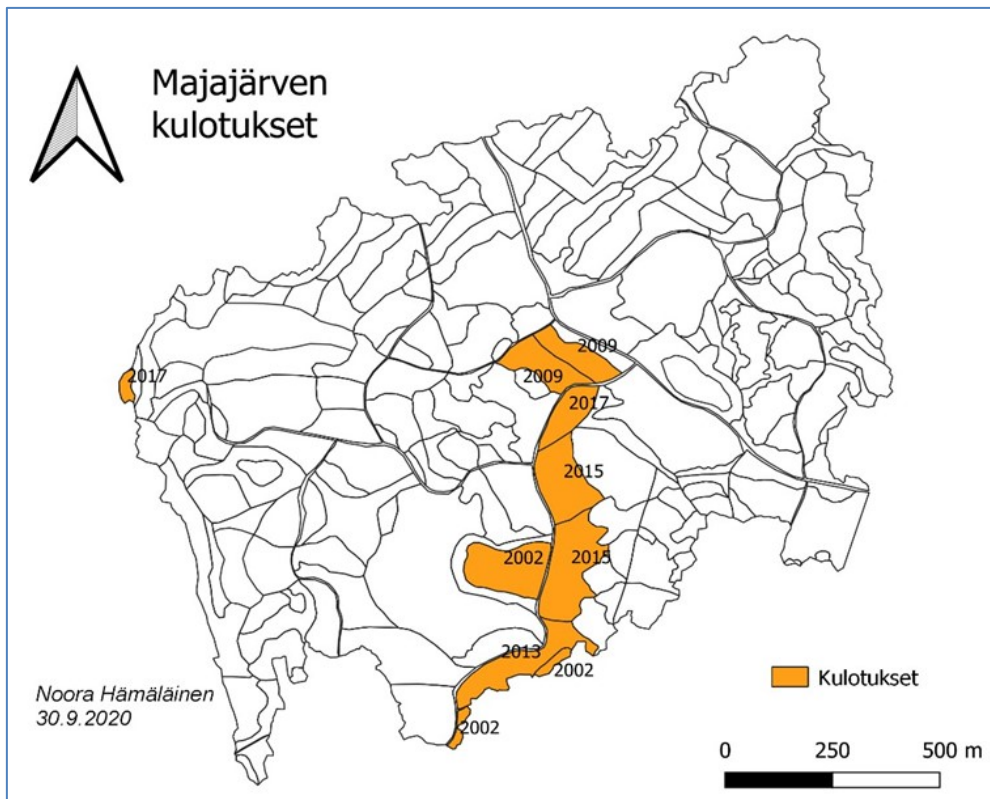
Kuva 5. Majajärven valuma-alueen uudistushakkuut



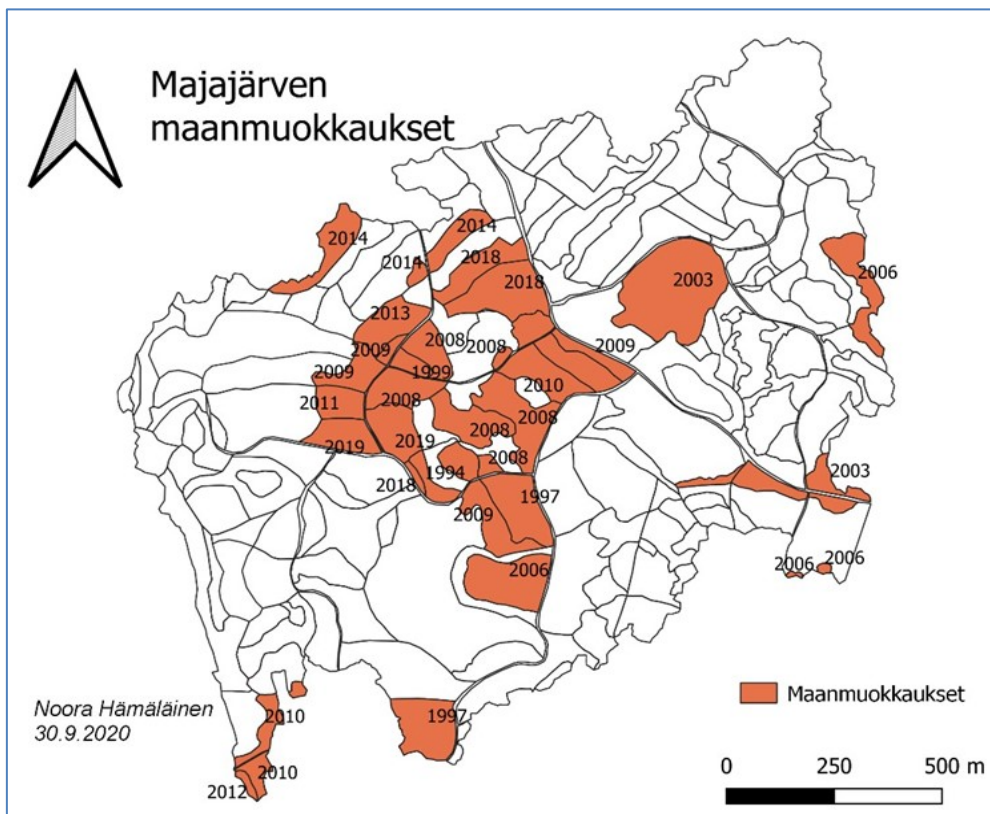
Kuva 6. Harvennushakkuut



Kuva 7. Majajärven valuma-alueella tehdyt kulotukset



Kuva 8. Majajärven valuma-alueella tehdyt maanmuokkaukset



## 7 Tulosten tuottaminen

Tulosten tuottamiseen kokeiltiin muutamaa vaihtoehtoa. Eteen tulleet ongelmat rajasivat alkuperäiset ideat pois ja tuloksia päädyttiin tuottamaan tilastollisen testaamisen avulla. Jotta aineistoa voitiin testata, tiedot vuodesta, hakkuiden, kulotusten tai maanmuokkausten pinta-alasta ja veden väriarvosta ja sadannasta jokaisena vuotena ja virtausajasta, sekä kaltevuuksista kerättiin taulukkomuotoon.

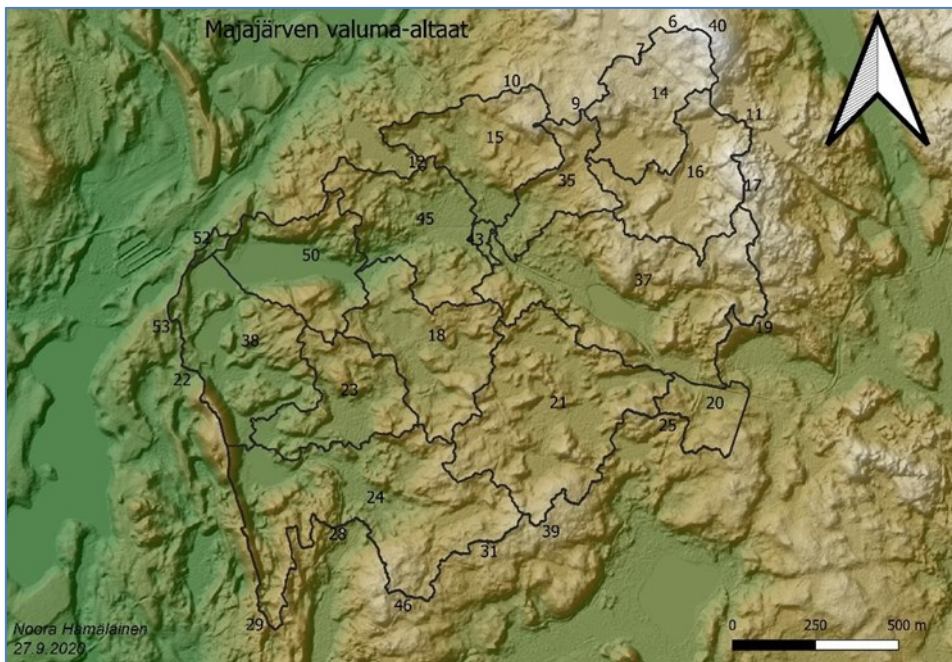
Tavoitteena oli tutkia sekä toimenpiteiden välitöntä vaikutusta, että sitä näkyvätkö toimenpiteet viiveellä. Tiedot taulukoitiin ensin niin, että saman vuoden väriarvo, sadantatiedot ja toimenpiteet yhdistyivät. Viiveen tutkimiseksi muodostettiin uusia sarakkeita, joihin lisättiin toimenpidetiedot yhdellä vuodella eteenpäin siirrettynä, aina kolmanteen vuoteen asti. Viiveen tutkimiseksi haluttiin nähdä myös sadannan yhteismäärän vaikutus. Uusiin sarakkeisiin laskettiin sadannan summa kahdelta ja kolmelta alkuperäistä tapahtumahetkeä seuraavalta vuodelta. Lisäksi toimenpidemuuttujista tehtiin dikotomisii muuttujia. Dikotomiset muuttujat kertoivat onko jokin toimenpide tehty sinä vuonna vai ei.

### 7.1 Hydrologinen malli

Ensin kokeiltiin hydrologisen mallin luomista. Hydrologisia malleja käytetään pinta- ja pohjaveden laadun ja määrän simuloimiseen. Sillä voidaan tutkia myös maankäytön vaikutuksia, eroosioherkkyyttä ja ilmastonmuutoksen vaikutusta. Malleja voi hyödyntää myös valuma-alueiden maankäytön suunnittelussa ja alueellisessa hallinnassa. (Bernard-Jannin, n.d.)

Hydrologinen malli koostuu useasta osasta. Pintamallin (DEM) avulla voidaan muodostaa valumaveden reiteistä virtausverkko ja luoda pieniä valuma-altaita. Seuraavaksi näihin tietoihin yhdistetään pintamallista saatava kaltevuus ja esimerkiksi tietoja maankäytöstä, maaperästä tai kasvillisuudesta. Näitä tietoja käyttämällä voidaan luoda HRU- yksikkö (Hydrological Response Unit), joka voi olla lähes minkäläinen yhdistelmä tietoja tahansa. Seuraavassa vaiheessa luotuihin valuma-altaisiin (Kuva 9, s. 24) ja HRU- yksiköihin lisätään ilmastotiedot. Lopuksi luodaan valmis malli. (BernardJannin, n.d.)

Kuva 9. Majajärven alueen valuma-altaat



Mallin käytössä ongelmaksi muodostui valmiin mallin hyödyntäminen toimenpidekuvioiden vaikutuksen toteamisessa ja mallin luomiseen tarvittavien muuttujien valinnassa. Mallin ja toimenpidekuvioita yhdistämiseen ei löydetty keinoa ja oikeiden muuttujien valinta HRU-yksiköiden luomiseksi osoittautui vaikeaksi, koska vaihtoehtoja oli melkein rajattomasti, eikä ohjeita mallin soveltamiseen tähän käyttötarkoitukseen ollut olemassa.

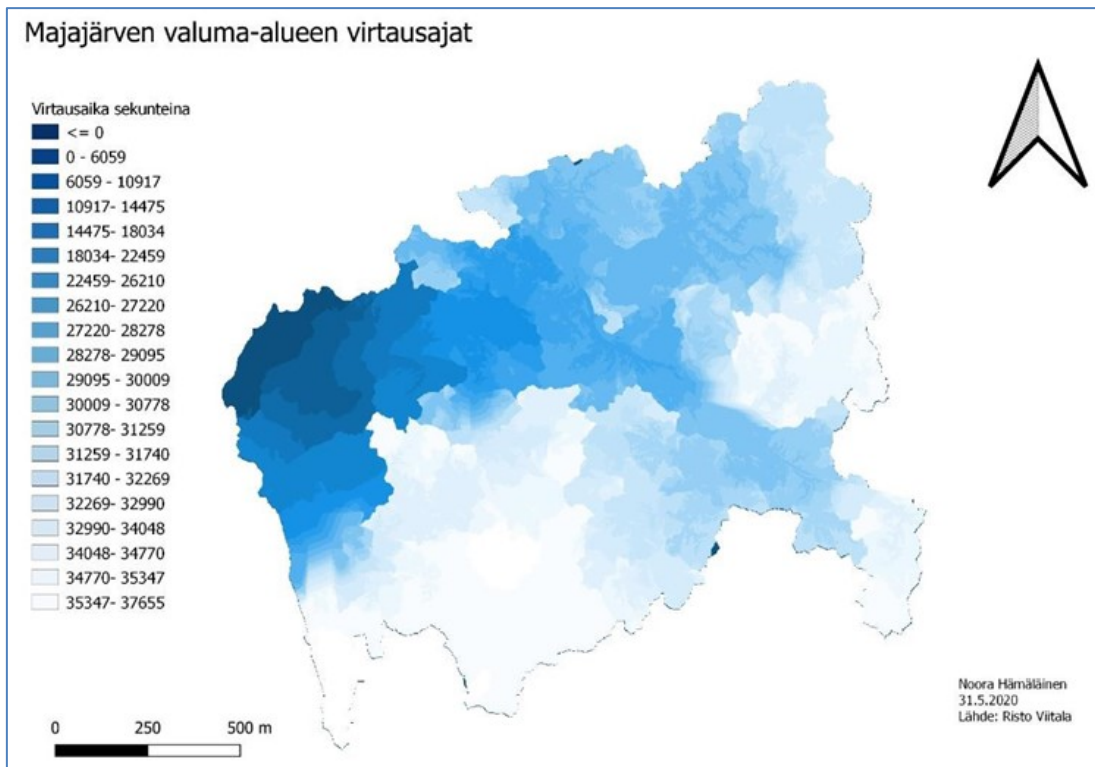
## 7.2 Virtausaika ja kaltevuus

Majajärven valuma-alueen virtausaikojen hyödyntämistä kokeiltiin aineiston vertailussa. Virtausaikamalli kertoo laskennallisesti, miten nopeasti vesi poistuu esimerkiksi sateen jälkeen valuma-alueelta sen purkupisteen kautta. Malli ei kuitenkaan vastaa täysin todellisuutta, koska se ei ota huomioon maalajeja tai muita veden pidättymiseen vaikuttavia tekijöitä.

Laskennan perustiedoksi tarvitaan alueen pintamalli (DEM), jota muokataan täyttämällä sen pienimmät arvot. Ensin lasketaan veden virtausten suunnat ja kertymä ja lisätään veden purkupiste. Piste yhdistetään sitä lähimpänä kulkevaan veden virtaan ja muodostetaan valuma-alue. Seuraavaksi lasketaan kaltevuudet ja sen avulla virtausten nopeudet, joiden perusteella arvioidaan virtaukseen kuluva aika (Kuva 10, s. 25). Majajärven valuma-alueella

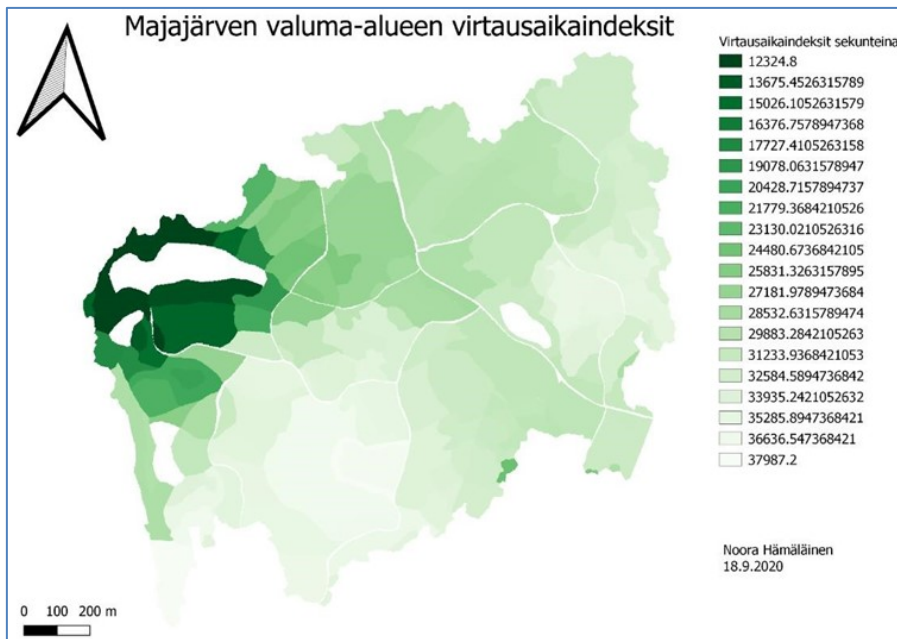
virtausaika oli yllättävän lyhyt. Laskennallisesti kaikki valuma-alueen sisälle tullut vesi poistuu sieltä noin 10 tunnin kuluessa.

Kuva 10. Virtausajat

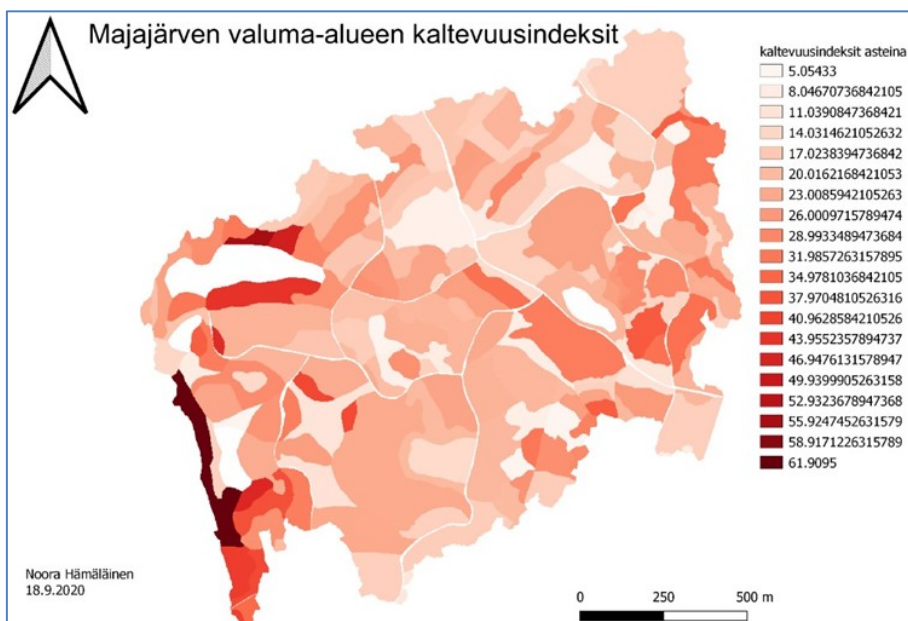


Virtausajan hyödyntämisessä ongelmana oli sen yhdistäminen toimenpidetietoihin. Veden virtausnopeus vaikutti myös liian nopealta hakkuukuvioilta tapahtuvan valuman kuvaamiseen. Tuloksia hyödynnettiin laskemalla jokaiselle kuviolle virtausaikaindeksit (Kuva 11, s. 26) ja kaltevuusindeksit (Kuva 12, s. 26), joita käytettiin aineiston tilastollisessa testaamisessa muuttujina.

Kuva 11. Virtausaikaindeksit



Kuva 12. Kaltevuusindeksit



### 7.3 Muuttujien ja väriarvon korrelaatio

Kerättyä aineistoa vertailtiin Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiokertoimien (Liite 6) avulla. Pearsonin korrelaatiokertoimen laskeminen edellyttää muuttujien normaalia jakautumista, joka testattiin. Spearmanin järjestyskorrelaatio ei edellytä normaalijakautuneisuutta. Kertoimien laskemisen lisäksi muuttujista tehtiin korrelaatiota havainnollistavat kuvaajat, joihin laskettiin korrelaation selitysaste ( $R^2$ ) ja lisättiin regressiosuorat. Uudistushakkuiden kuvaajat löytyvät liitteestä 1, harvennushakkuiden kuvaajat liitteestä 2, kulotusten kuvaajat liitteestä 3 ja maanmuokkausten kuvaajat liitteestä 4.

Korrelaatio kuvaa muuttujien välistä riippuvuutta ja korrelaatiokerroin on numeroina ilmaistu mitta kahden muuttujan väliselle riippuvuudelle. Kun kerroin on suuri, toisen muuttujan arvot voidaan päätellä toisen muuttujan arvojen perusteella. Kertoimen arvot asettuvat -1 ja +1 väliin ja mitä lähempänä arvo on näitä lukuja, sitä voimakkaampaa muuttujien välinen korrelaatio on. Lähellä nollaa ja kaukana ääripäistä olevat arvot kertovat siitä, että korrelaatiota ei ole. (KvantiMOTV, 2004) Korrelaatiokertoimen tulkinta ei ole aina yksinkertaista. Kertoimen arvot pitää suhteuttaa aineistosta aiemmin laskettuihin kertoimiin ja olemassa olevaan tietoon. Kerrointa tulkitessa pitää miettiä myös sitä, voiko korrelaatioon vaikuttaa kolmas muuttuja, voiko kyseessä olla sattuma ja onko kerroin tilastollisesti merkitsevä. (Taanila, 2016b)

### 7.4 Askeltava regressioanalyysi

Regressioanalyysin avulla voidaan mallintaa usean eri muuttujan välistä riippuvuutta samalla kertaa. Regressioanalyysillä luodaan regressioyhtälö, joka kuvaa yhden riippuvan muuttujan ja riippumattomien muuttujien välistä yhteyttä. (Tilastokeskus, n.d.) Regressioyhtälö (Kuva 13) koostuu vakiosta, regressioparametreista ja riippumattomista muuttujista. Alla on esitetty regressioyhtälön kaava, jossa  $\beta_0$  on vakio,  $\beta_n$  on regressioparametri ja  $x_n$  riippumaton muuttuja.

Kuva 13. Regressioyhtälö

$$Y = \beta_0 + (\beta_1)x_1 + (\beta_2)x_2 \dots (\beta_n)x_n$$



Regressiomallissa selitettävän muuttujan pitää olla normaalisti jakautunut, mutta selittävien muuttujien ei tarvitse olla. Askeltavassa regressioanalyysissä pyritään löytämään usean eri muuttujan joukosta ne, jotka eniten nostavat regressiomallin selitystasetta. Muuttujien saamat kertoimet osoittavat kunkin muuttujan vaikutuksen voimakkuuden. Jotta kertoimet ovat vertailtavissa, muuttujien arvot pitää ensin standardoida. Standardointi tehdään vähentämällä yksittäisen havainnon arvosta muuttujan kaikkien havaintojen keskiarvo ja jakamalla erotus muuttujan kaikkien havaintojen keskihajonnalla. Selitystasteen lisäksi mallin muuttujien valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota muuttujien saamiin p-arvoihin ja sulkea liian suuren p-arvon saavat muuttujat pois. Myös multikollineaarisuus on otettava huomioon. Jos muuttujat korreloivat toisiinsa ne ovat multikollineaarisia, eli malliin lisätyn muuttujan arvot voidaan selittää toisen muuttujan arvoilla.

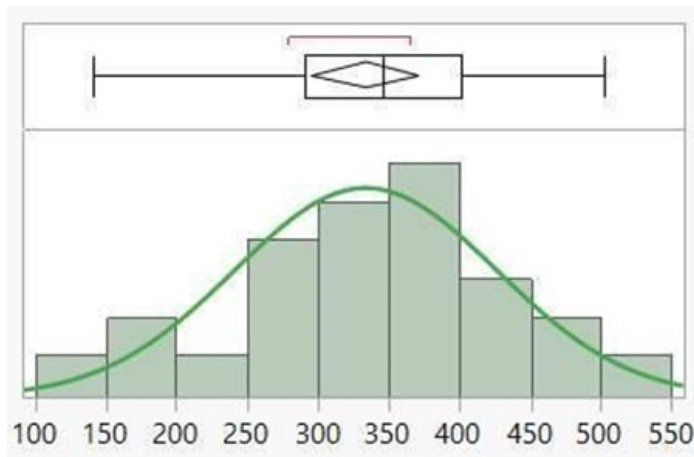
Multikollineaarisuutta voidaan havainnollistaa VIF-arvolla (Variance Inflation Factor). Pienin mahdollinen VIF-arvo on 1,0 ja se tarkoittaa, että muuttujien välillä ei ole kollineaarisuutta ja ne ovat keskenään ortogonaalisia. Yleensä muuttujien välillä kuitenkin on jonkin verran kollineaarisuutta. VIF-arvo ei saisi ylittää 10,0, jos mallin halutaan olevan luotettava ja joissain tapauksissa jo yli 5,0 menevät arvot aiheuttavat ongelmia. (SAS Institute Inc, n.d.)

Jos aineistoa on tarpeeksi, regressioanalyysia tehdessä kannattaa suorittaa ristiin validointi. Siinä sama analyysi tehdään kahdella eri aineistolla tai saman aineiston kahdella osiolla. Ristiin validoinnin avulla voidaan ehkäistä askeltavien menetelmien käytössä helposti tapahtuvaa ylisovittamista (Nokelainen, n.d.).

Regressiomallin luominen aloitettiin valitsemalla selitettäväksi muuttujaksi väriarvo ja testaamalla sen normaalijakautuneisuus (Kuva 14). Seuraavaksi tarkasteltiin muuttujien keskinäistä korrelaatiota multikollineaarisuuden välttämiseksi. Korrelaatioiden tarkastelun jälkeen mallin luominen aloitettiin valitsemalla selittäviksi muuttujiksi kaikki toimenpidetyypit kaikilta vuosilta, sekä tiedot kuvioista, joilla ei ollut tapahtumia ja kuvioiden kaltevuus- ja virtausnopeusindeksit. Selittäviksi muuttujiksi valittiin myös sadantatiedot väriarvon mittausvuodelta ja kolmelta seuraavalta vuodelta, sekä sadannan summa näiltä vuosilta. Sellaisenaan mallissa oli liikaa selittäviä muuttujia ja sen selitystasote oli hyvin alhainen. Mallista suljettiin selittäviä muuttujia pois liian suuren p-arvon ja muuttujien välisen korrelaation perusteella. Muuttujien poistamista jatkettiin asteittain. Poistamalla

tarpeeksi selittäviä muuttujia ja yhdistelemällä pienen p-arvon saaneita ja keskenään vain vähän korreloivia muuttujia eri tavoin, löydettiin parhaan selityssasteen antavat muuttujat. Regressiomallista pois suljetuilla muuttujilla ei ole vaikutusta veden väriarvoihin ja malliin mukaan otetuilla on, joillain hyvin vähän ja joillain enemmän.

Kuva 14. Väriarvon normaalijakautuneisuus



## 7.5 Korrelaatio- ja regressiokertoimien testaaminen

Pearsonin korrelaatiokertoimien ja Spearmanin järjestyskorrelaatioiden merkitsevyyden testaamiseen käytettiin laskentapohjaa. Testaamista vaikeuttivat muuttujien pienet havaintomäärät. Jotta testin tulos olisi varmasti luotettava, havaintoja pitäisi olla vähintään 30. Testattujen muuttujien havaintojen määrät vaihtelivat. Suurin havaintojen määrä oli 18 ja pienin neljä. Kertoimet kuitenkin testattiin, vaikka havaintojen määrä jäi vähäiseksi. Regressiomallin muuttujien kertoimet testattiin samalla tilasto-ohjelmistolla, jolla regressiomalli luotiin.

Kertoimien merkitsevyys testattiin t-testillä ja F-testillä. T-testi on yleinen tilastollinen testi, jonka avulla voidaan tutkia onko kahden riippumattoman otoksen välinen ero todellinen. (Taanila, 2016a) F-testi on tilastollinen testi, jota käytetään usean muuttujan regressioanalyysissä. F-testin tulos kertoo voidaanko analyysin muuttujilla selittää selitettävän muuttujan vaihtelua. Testin tuloksilla on myös merkitsevyytaso. (KvantiMOTV, 2008) Testien tuloksena syntyvä p-arvo kertoo, kuinka todennäköisesti otosten ero on merkitsevä tai sattumaa. (Taanila, 2016a) Tyypillisesti merkitsevän p-arvon rajaksi asetetaan

0,05, eli 5 %. Rajaa voidaan kuitenkin nostaa tai laskea tarpeen mukaan. Asetetusta rajasta riippumatta p-arvo on sitä merkitsevempi, mitä pienempi se on. (Taanila, 2013) Merkitsevät p-arvot voidaan luokitella vielä tarkemmin tilastollisesti melkein merkitseviin, merkitseviin ja erittäin merkitseviin. Jos p-arvo on alle 0,05, se on melkein merkitsevä ja jos arvo on alle 0,01, se on merkitsevä. Erittäin merkitsevät p-arvot ovat alle 0,001. (KvantiMOTV, 2003)

## 8 Tulosten tarkastelu

Toimenpiteiden ja väriarvon riippuvuutta tarkasteltiin ensin korrelaatiokertoimien avulla. Askeltavaa regressiomallinnusta käytettiin metsätalouden toimenpiteiden ja Majajärven veden tummumisen välisen yhteyden löytämiseen tai sen puuttumisen osoittamiseen. Toimenpidekuvioiden kokonaispinta-ala oli 177 hehtaaria. Niistä hakkuukuvioita oli 124 hehtaaria, kulotettuja kuvioita 13 hehtaaria ja uudistushakkuun jälkeen muokattuja kuvioita 32 hehtaaria. Lopuilla kuvioista ei ollut tapahtunut mitään.

### 8.1 Regressiomalli

Selitysasteeltaan hyvän mallin luomiseksi kokeiltiin useita eri muuttujien yhdistelmiä. Mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa selittäviksi muuttujiksi kaikki valittiin kaikki toimenpidekuviot ja niiden kaltevuus- ja virtausaikaindeksit. Muuttujiksi valittiin myös tiedot sadannasta ja kuvioista, joilla ei ollut tehty metsätalouden toimenpiteitä.

Tässä vaiheessa mallin selitysaste ja korjattu selitysaste olivat korkeita, mutta muuttujia oli mukana liikaa ja osa niistä korreloi hyvin voimakkaasti keskenään. Koska uudistushakkuuta seuraa useimmiten jonkinlainen maanmuokkaus, nämä muuttujat olivat lähes suoraan verrannollisia. Harvennusten korrelaatio muihin muuttujiin oli heikompaa. Vaikka harvennusta seuraa tyypillisesti uudistushakkuu ja sen jälkeen maanmuokkaus, toimenpiteiden ajankohdat hajautuvat esimerkiksi harvennuskuvioiden kasvuolosuhteista johtuen. Kulotusmuuttujien korrelaatio muihin muuttujiin oli myös melko vähäistä. Kuvioiden kaltevuus- ja virtausaikaindeksien korrelaatio muihin muuttujiin oli hyvin voimakasta. Muuttujia alettiin sulkea mallista pois asteittain niiden keskinäisen korrelaation ja p-arvojen perusteella.

Lopulta selittävistä muuttujista oli jäljellä enää kuusi (Liite 5). Malliin valittiin edellisen vuoden sadanta, kaksi ja kolme vuotta sitten tehdyt kulotukset ja kahden ja kolmen edellisen vuoden sadannan summat, sekä kaksi vuotta sitten tehdyt harvennukset. Näistä muuttujista suljettiin pois vielä edellisen vuoden sadanta ja kahden vuoden sadannan summa.

Sadantamuuttujat korreloivat voimakkaasti keskenään, joten multikollineaarisuus heikensi mallin luotettavuutta. Koska mallin selitysstetta (Taulukko 1) näytti nostavan eniten tieto kolmen vuoden sadannan summasta, se jätettiin malliin.

Taulukko 1. Sadantamuuttujien selityskertoimet

| Muuttuja       | Selityskerroin |
|----------------|----------------|
| sadanta_edellv | -0,24          |
| 2_ed_sad_sum   | 0,34           |
| 3_ed_sad_sum   | 0,37           |
| harv_2v        | -5,22          |
| kulo_2v        | 35,96          |
| kulo_3v        | 42,51          |

Lopulliseen regressiomalliin valittiin siis neljä selittävää muuttujaa, jotka olivat kaksi ja kolme vuotta sitten tehdyt kulotukset, kaksi vuotta sitten tehdyt harvennukset ja kolmen vuoden sadannan summa. Regressiomallin vakion ja muuttujien selityskertoimet ja muuttujien kertoimien merkitsevyydestä kertovat p-arvot on esitetty seuraavalla sivulla taulukoissa 2 ja 3. Regressiomallin selityssteeksi muodostui 0,708 ja korjatuksi selityssteeksi 0,647. Tämän tasoinen selitysstee on melko hyvä. Lopullisessa mallissa multikollineaarisuuden vaikutus on vähäistä, sillä muuttujien saamat VIF-arvot vaihtelevat välillä 1,15—1,29 (Taulukko 4, s. 32).

Taulukko 2. Regressiomallin selityskertoimet

| Muuttuja     | Selityskerroin |
|--------------|----------------|
| vakio        | 340,16         |
| 3_ed_sad_sum | 63,04          |
| harv_2v      | -36,11         |
| kulo_2v      | 44,92          |
| kulo_3v      | 46,37          |

Taulukko 3. Regressiomallin muuttujien p-arvot

| Muuttuja     | P-arvo |
|--------------|--------|
| 3_ed_sad_sum | <0,001 |
| harv_2v      | 0,0051 |
| kulo_2v      | 0,0008 |
| kulo_3v      | 0,0007 |

Taulukko 4. Regressiomallin muuttujien VIF-arvot

| Muuttuja     | VIF  |
|--------------|------|
| 3_ed_sad_sum | 1,29 |
| harv_2v      | 1,16 |
| kulo_2v      | 1,15 |
| kulo_3v      | 1,16 |

Lopullinen regressioyhtälö (Kuva 15) muodostui selityskertoimien perusteella.

Kuva 15. Regressioyhtälö

$$Y = 340,16 + (63,04)X_1 + (44,92)X_2 + (46,32)X_3 + (-36,11)X_4$$

Missä:

$Y$  = Veden väriarvo

$X_1$  = Kolmen edellisen vuoden sadannan summa

$X_2$  = Kaksi vuotta aikaisemmin kulotetut alueet

$X_3$  = Kolme vuotta aikaisemmin kulotetut alueet

$X_4$  = Kaksi vuotta aikaisemmin harvennetut alueet

## 8.2 Uudistushakkuut

Uudistushakkuiden kokonaispinta-ala oli 33,7 hehtaaria ja uudistushakkuiden osuus kaikista tarkastellulla ajanjaksolla tapahtuneista hakkuista oli noin 27 %. Uudistushakkuiden ja väriarvon välinen korrelaatio oli melko vähäistä, eikä hakkuilla havaittu olevan vaikutusta väriarvon kasvamiseen yhtenäkkään vuonna. Korrelaatiokertoimen saamat p-arvot osoittivat, että kertoimet eivät ole merkitseviä ja tuloksissa on sattuman mahdollisuus.

Uudistushakkuista oli muodostettu regressiomallia varten useita muuttujia. Hakkuiden pinta-alat oli laskettu yhteen jokaiselta vuodelta ja taulukoitu niin, että pinta-alat vastasivat hakkuuvuoden ja seuraavien kolmen vuoden väriarvoja. Uudistushakkuut eivät nousseet selittäviksi muuttujiksi regressiomallissa. Mallit, joissa uudistushakkuut oli otettu selittäviksi muuttujiksi, olivat selitysteeltään heikkoja. Muuttujien saamat p-arvot olivat liian suuria ollakseen merkittäviä, eli suurempia kuin 0,05. Uudistushakkuiden ja muiden muuttujien välinen korrelaatio oli myös liian suurta.

## 8.3 Harvennushakkuut

Harvennushakkuihin oli yhdistetty ylispuuhakkuut niiden vähäisen havaintomäärän takia. Harvennushakkuiden ja ylispuuhakkuiden kokonaispinta-ala oli 90,5 hehtaaria ja niiden osuus kaikista hakkuista oli noin 73 %. Hakkuiden ja väriarvon korrelaatiokertoimilla oli

merkitystä vain samana vuonna. Sen perusteella hakkuut olisivat vaikuttaneet väriarvoon sitä laskevasti. Muina vuosina korrelaatio ei ollut merkitsevää, eikä harvennushakkuilla ollut vaikutusta väriarvoon, mutta tulokset voivat olla sattumaa.

Regressioanalyysia varten harvennushakkuista luotiin muuttujia samalla periaatteella kuin uudistushakkuista. Muuttujat taulukoitiin vastaamaan hakkuuvuoden ja kolmen seuraavan vuoden väriarvoja. Harvennushakkuista ei yhdistetty muiden toimenpiteiden kanssa.

Regressiomallinnuksessa harvennushakkuista tuli esiin mielenkiintoinen ominaisuus.

Valmiissa regressiomallissa yhtenä selittävänä muuttujana ovat harvennukset, mutta niiden vaikutus väriarvoon vaikuttaa olevan negatiivinen, eli vesi kirkastuisi harvennushakkuun jälkeen vähäksi aikaa. Tälle ilmiölle ei keksitty selvää syytä, mutta siihen voisivat teoriassa vaikuttaa Majajärven alueella elävät majavat ja niiden padot, joita ei tässä työssä otettu huomioon muuttujana.

#### **8.4 Kulotukset**

Kulotusten kokonaispinta-ala oli 12,57 hehtaaria. Kulotuskohteiden osuus kaikista kuvioista oli noin 7 %. Kulotushavaintoja oli määrällisesti vähän ja se heikensi tulosten luotettavuutta. Korrelaatio kulotusalojen ja saman vuoden väriarvojen välillä oli melko voimakasta, mutta testaaminen osoitti, että kertoimet eivät olleet merkitseviä. Seuraavan vuoden väriarvon ja kulotusten korrelaatio oli pientä ja havainnot olivat hajanaisia. Korrelaatiokertoimetkaan eivät olleet merkitseviä. Kahden vuoden päästä kulotuksesta väriarvon ja kulotusten korrelaatio vaikutti olevan melko voimakasta. Havaintojen vähyyden takia kertoimet eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Kolmen vuoden päästä kulotuksesta korrelaatio väriarvoon oli voimakasta, mutta kertoimet eivät taaskaan olleet merkitseviä.

Regressioanalyysia varten myös kulotukset taulukoitiin vastaamaan hakkuuvuoden ja seuraavan kolmen vuoden väriarvoja. Samana ja seuraavana vuonna kulotukset eivät nousseet regressiomallissa selittäviksi muuttujiksi. Kahden ja kolmen vuoden päästä kulotuksesta niillä kuitenkin oli selitysastetta nostava vaikutus. Regressiomalli, jossa kulotukset olivat selittävinä muuttujina oli selitysteeltaan melko hyvä ja muuttujien saamat p-arvot olivat merkitseviä tai erittäin merkitseviä. Muuttujien välinen korrelaatiokaan ei noussut ongelmaksi.

## 8.5 Maanmuokkaukset

Eri maanmuokkaustoimenpiteet yhdistettiin yhdeksi tasoksi. Eri toimenpiteitä olivat kantojen nosto, laikkumätästys, äestys ja laikutus. Kantojen nostoa oli tehty viidellä kuviolla, joiden pinta-ala oli yhteensä 5,26 hehtaaria. Kaikista muokatuista kuvioista kantojen nosto oli valittu menetelmäksi noin 17 %:lla. Laikkumätästystä oli tehty 19,35 hehtaarilla, ja sen osuus kaikista muokausmenetelmistä valuma-alueella oli noin 61 %. Äestystä oli tehty 5,79 hehtaarilla. Kaikista muokatuista kuvioista sen osuus oli noin 18 %. Laikutusta oli tehty vain yhdellä kuviolla, jonka pinta-ala oli 1,25 hehtaaria. Laikutuksen osuus kaikista muokatuista kuvioista oli hyvin pieni, noin 4 %. Korrelaation perusteella maanmuokkauksilla ei havaittu vaikutusta väriarvoon yhtenäkkään vuonna. Koska korrelaatiokertoimet eivät olleet merkitseviä, tulokset voivat kuitenkin olla sattumaa.

Muuttujat taulukoitiin regressiomallin luomista varten samalla tavalla kuin kulotukset. Lisäksi maanmuokkaukset taulukoitiin uudistushakkuisiin yhdistettynä, sillä yleensä uudistushakkuuta seuraa todellisuudessakin jonkinlainen maanmuokkaus. Muokatusta maasta irtoaa koskematonta metsämaata helpommin humusta ja kiintoainetta sateiden ja sulamisvesien mukaan. Regressiomallissa maanmuokkaukset eivät kuitenkaan nousseet selittäviksi muuttujiksi. Niiden selitysvaikutus oli pieni ja ne jäivät mallin ulkopuolelle. Maanmuokkausmuuttujien pois sulkemiseen vaikutti myös voimakas korrelaatio uudistushakkuumuuttujiin.

## 8.6 Tulosten luotettavuus

Tuloksia voi pitää melko luotettavina, jos niiden perusteella arvioidaan vain Majajärven valuma-alueella. Niitä ei voi yleistää muualle Suomeen tai maailmaan. Jokaisen alueen erityispiirteet vaikuttavat valunnan määrään ja suuntaan, eikä yhden valuma-alueen tuloksista voi vetää suoria johtopäätöksiä muualle.

Yksi epävarmuutta aiheuttava tekijä ovat toimenpiteet ja niiden ajoitus. Veden väriarvot ovat tarkasti mitattua, luotettavaa tietoa. Toimenpiteiden selvittämisessä sen sijaan on käytetty useita eri lähteitä ja virhetulkintojen mahdollisuus on olemassa. Lähteet eivät olleet täysin aukottomia ja jotkin toimenpidetiedoista perustuvat päättelyyn ja oletuksiin.



Luotettavuuteen voi vaikuttaa myös aineiston vertailuun käytetty menetelmä ja aineiston koko. Korrelaatiokertoimet ovat aina tulkinnanvaraisia. Askeltavan regression tuloksia on mahdollista ylisovittaa ja käytössä ollut aineisto on liian pieni ristiin validoitavaksi. Myös multikollineaarisuus voi vaikuttaa regressioanalyysin tuloksiin. Aineiston pieni koko vaikeutti testaamista, eikä sattuman mahdollisuutta voitu sulkea tuloksista kokonaan pois.

## 8.7 Johtopäätökset

Tilastollisten testien tulosten perusteella pääteltiin, että uudistus-, ylispuu- tai harvennushakkuut eivät ole lisänneet Majajärven veden tummumista. Hakkuualueet eivät ole siis merkittävä kiintoaine- tai humuskuormituksen lähde Majajärvellä. Harvennushakkuut ovat voineet jopa hillitä tummumisilmiötä, vaikka syy siihen ei olekaan selvillä.

Metsänviljelyä edeltävät maanmuokkaustoimenpiteet eivät näytä vaikuttaneen Majajärven veden väriin. Muokatun maan pinnalta huuhtoutuu aina irtonaista ainesta sateen ja sulamisvesien mukana, mutta huuhtoutuneen aineksen määrän kasvun ja veden väriarvojen väliltä ei löytynyt yhteyttä.

Kulotuksilla sen sijaan voi olla vaikutusta Majajärven tummumiseen saatujen tulosten perusteella. Vaikutus ilmenee viiveellä, sillä vuoden päästä kulotushetkestä väriarvon ja kulotettujen alueiden välillä ei voi havaita yhteyttä. Kun kulotushetkestä on kulunut kaksi vuotta, yhteys voidaan havaita ja voimakkain yhteys on kulotuksen ja kolmen vuoden päästä mitatun väriarvon välillä. Palanut humuskerros altistaa kivennäismaata tuulelle ja sateelle, jolloin kulotetuilta alueilta voi huuhtoutua vesistöihin kiintoaineita ja humusta, joka värjää vettä. Kulotuksen vaikutuksia vahvistavat tai heikentävät todennäköisesti talven lumitilanne ja sen myötä valuvan sulamisveden runsaus ja vuotuisen sateen määrä.

## 9 Pohdinta

Koin aiheen valinnan onnistuneeksi ja se oli aidosti kiinnostava. Työn tekeminen syvensi paikkatietojen käsittelyn osaamistani ja perehdytti ajankohtaiseen ympäristön tilaa ja metsäalaa koskettavaan ilmiöön. Työn tärkeimmät tavoitteet täyttyivät ja sen tekeminen lisäsi omaa ammattitaitoani.

Toimenpiteiden kartoittaminen lähes koko valuma-alueelta oli iso työ ja onnistuin siinä paremmin kuin työn tekemistä aloittaessani odotin. Ilman toimenpidetietoja jäi vain osa kuvioista. On hyvin todennäköistä, että näillä kuvioilla ei todellisuudessa ole tehty mitään ajanjaksolla, jota työssä tarkastelin. Työn suurimmat haasteet olivat luotettavan tiedon löytäminen toimenpideaineiston keräämiseen ja teoriaosuuden järkevä rajaaminen. Tummumisesta ja siihen vaikuttavista ilmiöistä löytyi yllättävän paljon lähdemateriaalia. Osa lähteistä käsitteli omaa aihealuettaan niin syvällisesti, että oli haastavaa löytää oman työni kannalta olennaiset taustatiedot.

Työni aihetta on tarpeen tutkia lisää, jotta siitä saataisiin paremmin yleistettäviä ja varmempia tuloksia. Evon opetusmetsän alueella on useampia järviä, joilta on olemassa samanlaiset tiedot veden väriarvoista ja myös näiden järvien valuma-alueilla tehdyt toimenpiteet ovat selvitettävissä. Jos aineistoa olisi olemassa useammalta alueelta ja sitä käsiteltäisiin samalla tavalla, tulokset voisivat olla erilaisia.

Tulevaisuutta ajatellen tietoja hakkuista ja muista toimenpiteistä voisi kerätä aiempaa tarkemmin ja mitata veden väriä samoina ajankohtina. Samoja tietoja voisi analysoida uudelleen esimerkiksi kymmenen tai kahdenkymmenen vuoden päästä. Olisi mielenkiintoista nähdä vaikuttavatko esimerkiksi ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvä sadanta tai leudommat talvet tuloksiin. Olisi myös mielenkiintoista tietää voiko harvennuksilla todella olla tummumista hillitsevä vaikutus ja mihin se perustuu. Jos vaikutuksia todella on, se voisi muuttaa tapaamme käsitellä metsiä, ainakin valumalle herkillä alueilla.

## Lähteet

- Ahti, E. & Nieminen, M., (2000). Soiden metsätalouskäytön vesistövaikutukset. *Metsätieteen aikakauskirja* .1/2000. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6020.pdf>
- Arvola, L., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Tulonen, T., Vuorenmaa, J., Ruoho-Airola, T., Tulonen, J. (2010). Long-term patterns in pH and colour in small acidic boreal lakes of varying hydrological and landscape settings. *Biogeochemistry*, 101, 269–279.
- Blanchet, C. (2019). *Impact of brownification on boreal lake ecosystems*. [Internship report. Biodiversity, Ecology, Evolution (BEE). Speciality Wetlands Ecology and Eco-engineering. University of Angers].
- Bernard-Jannin, L. (n.d.). *Introduction to SWAT*. PESFOR-W. Training School. [https://www.forestresearch.gov.uk/documents/7289/SWAT\\_Intro.pdf](https://www.forestresearch.gov.uk/documents/7289/SWAT_Intro.pdf)
- Ekström, S. (2013). *Brownification of freshwaters - the role of dissolved organic matter and iron*. [Doctoral dissertation. Department of Biology, Lund University]. <https://portal.research.lu.se/portal/files/5931226/4076359.pdf>
- Halonen, A. (2018). *Eliöstön monimuotoisuus rakennetuilla hulevesikosteikoilla Vihdin Nummelassa*. [Maisterintutkielma. Metsäekologia. Helsingin yliopisto]. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/236039/Gradu\\_AnnaHalonen0605.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/236039/Gradu_AnnaHalonen0605.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Heikkinen, K. (2012). *Raudan ja humuksen esiintymisestä ja vesistövaikutuksista Jäälinjärven valuma-alueella*. Jäälinjärvi- seminaari. SYKE. [https://vesienhoitoyhdistys.files.wordpress.com/2012/11/jc3a4c3a4linjc3a4rven\\_fe\\_humus\\_heikkinen.pdf](https://vesienhoitoyhdistys.files.wordpress.com/2012/11/jc3a4c3a4linjc3a4rven_fe_humus_heikkinen.pdf)
- Joensuu, S., Hynninen, P., Heikkinen, K., Tenhola, T., Saari, P., Kauppila, M., Leinonen, A., Ripatti, H., Jämsén, J., Nilsson, S. & Vuollekoski, M. (2012). *Metsätalouden vesiensuojelu - kouluttajan aineisto*. Kopijyvä
- Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. (2019). *Metsänhoidon suositukset vesiensuojeluun- työopas*. Tapion julkaisuja. <https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2020/02/Metsanhoidon-suositukset-vesiensuojeluunTAPIO-2019.pdf>

Järviwiki. (2011). Majajärvi. [https://www.jarviwiki.fi/wiki/Majajärvi\\_\(35.787.1.047\)](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Majajärvi_(35.787.1.047))

Klöve, B., Tuukkanen, T., Marttila, H., Postila, H., & Heikkinen, K. (2011). *Turvetuotannon kuormitus - Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä*. Kopijyvä.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94168/Erillisjulkaisu%20turvetuotannon%20kuormitus%202012.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Koistinen, A., Luiro, J-P. & Vanhatalo, K. (2019). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen- työopas. Tapion julkaisuja. [https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2016/06/Metsanhoidon\\_suosituksset\\_energiapuun\\_korjuuseen\\_Tapio-20191230.pdf](https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2016/06/Metsanhoidon_suosituksset_energiapuun_korjuuseen_Tapio-20191230.pdf)

Kubin, E., Hartman, M., Ilvesniemi, H., Lindgren, M., Kokko, A., Murto, T., Pasanen, J., Piispanen, J., Pohjola, S., Seppänen, R., Tarvainen, O., Tillman-Sutela, E. & Tolvanen, A. (2012). *Kantojen noston ja hakkuutähteiden keruun ekologiset ja metsänhoidolliset vaikutukset*. Metlan työraportteja 252. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp252.pdf>

Kurri, A-K. (2011). *Humuksen karakterisointi ja analytiikka*. [ Pro gradu- tutkielma. Soveltavan kemian osasto. Kemian laitos. Jyväskylän yliopisto].

<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAD95B56C-56C7-479C-9BCA-AA3119DEA7AF%7D/91725>

KvantiMOTV. (2003). *Hypoteesien testaus*. Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Menetelmäopetuksen tietovaranto.

<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/hypoteesi/testaus.html>

KvantiMOTV. (2004). *Korrelaatio ja riippuvuusluvut*. Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Menetelmäopetuksen tietovaranto.

<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>

KvantiMOTV. (2008). *Regressioanalyysi*. Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Menetelmäopetuksen tietovaranto.

<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html#usea>

- Lemberg, T. (2002). *Kulutusopas*. Metsäteho Oy: Helsinki. <http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Kulutusopas.pdf>
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T. & Sarkkola, S. (2017). *Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing*. Luonnonvarakeskus & Suomen Ympäristökeskus. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717319149?via%3Dihub>
- Nokelainen, P. (n.d.). *Luento 4. Regressioanalyysi*. Kasvatustieteiden yksikkö. Tampereen Yliopisto. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:dOpCSz2GRIMJ:https://people.uta.fi/~petri.nokelainen/s33/luennot/luento4.ppt+&cd=1&hl=fi&ct=clnk&gl=fi>
- Oravainen, R. (1999). *Vesistötulosten tulkinta- opasvihkonen*. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>
- Palviainen, M. & Finer, L. (2013). *Kunnostusojituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen*. Kopijyvä.
- Pihlaja, A. (2012). *Perustietoa humuksesta*. Huomiota humusvesiin- hanke. Ylä-satakunnan ympäristöyhdistys. <https://www.ysy.fi/@Bin/140239/Perustietoa+humuksesta.pdf>
- Polte. (2014). Tummuvienvesien maa. *Polte*. 4/2014. <http://poltelehti.fi/2014/12/trendi-tummuvienvesien-maa/>
- Ruokatieto. (n.d.). *Maannoksen syntyminen*. <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/luonto/maapera/maannoksen-syntyminen>
- Räike, A. (2015). *Suomen vesistöjen tummuminen*. Suomen Ympäristökeskus & Merikeskus. [https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/tapahtumat/seminaarit/sopeutuminen/Documents/Esitykset\\_2015/Raike.pdf](https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/tapahtumat/seminaarit/sopeutuminen/Documents/Esitykset_2015/Raike.pdf)
- SAS Institute Inc. (n.d.). *Multicollinearity*. Statistics Knowledge Portal. [https://www.jmp.com/en\\_in/statistics-knowledge-portal/what-is-multiple-regression/multicollinearity.html](https://www.jmp.com/en_in/statistics-knowledge-portal/what-is-multiple-regression/multicollinearity.html)

Savonen, K. & Lepistö, J. (1993). *Happamoittava laskeuma ja kriittinen kuormitus Hämeessä*. Hämeen lääninhallitus.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/175699/Happamoittava%20laskeuma%20ja%20kriittinen%20kuormitus%20Hämeessä.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SYKE. (2013). *Vesi. Vesistöjen kunnostus. Järvien kunnostus. Kunnostusmenetelmät. Järven hapetus*. Suomen Ympäristökeskus.

[https://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Vesistojen\\_kunnostus/Jarvien\\_kunnostus/Kunnostusmenetelmat/Hapetus](https://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Vesistojen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostusmenetelmat/Hapetus)

SYKE. (2014). *Vesi. Vesien käyttö. Maankuivatus ja ojitus. Luonnonmukainen peruskuivatus. Laskeutusaltaat*. Suomen Ympäristökeskus.

[https://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Vesien\\_kaytto/Maankuivatus\\_ja\\_ojitus/Luonnonmukainen\\_perus\\_kuivatus/Laskeutusaltaat](https://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Vesien_kaytto/Maankuivatus_ja_ojitus/Luonnonmukainen_perus_kuivatus/Laskeutusaltaat)

SYKE. (2016). *Vesi. Järvien rehevöityminen ja tummuminen vähentävät terveydelle välttämättömien rasvahappojen määrää kaloissa*. Suomen Ympäristökeskus.

([https://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Jarvien\\_rehevoityminen\\_ja\\_tummuminen\\_vah\(40487\)](https://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Jarvien_rehevoityminen_ja_tummuminen_vah(40487)))

Taanila, A. (27.4.2016a.). Kahden riippumattoman otoksen vertailu. *Akin menetelmäblogi*.

<https://tilastoapu.wordpress.com/tag/kahden-riippumattoman-otoksen-t-testi/>

Taanila, A. (29.12.2016b). Korrelaatiokertoimen tulkinta. *Akin menetelmäblogi*.

<https://tilastoapu.wordpress.com/korrelaatiokertoimen-tulkinta/>

Taanila, A. (25.10.2013). P-arvo. *Akin menetelmäblogi*.

<https://tilastoapu.wordpress.com/2012/02/14/p-arvo/>

Tamminen, P. (2009). Suomen metsämaiden maannokset. *Metsätieteen aikauskirja*. 1/2009.

<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff091074.pdf>

The Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. (2011). *Topics. Soil*.

[https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen\\_abgeschlossen/EUSR5000/EUSR5000\\_en.html](https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen_abgeschlossen/EUSR5000/EUSR5000_en.html)

Tiede. (2019). Suomen järvet tummuvat. *Tiede*. 16.8.2019.

<https://www.tiede.fi/artikkeli/uutiset/suomen-jarvet-tummuvat>

Tilastokeskus. (n.d.). *Käsitteet. Regressioanalyysi*.

<https://www.stat.fi/meta/kas/regressioanalyysi.html>

Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (2019).

*Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas*. Tapion julkaisuja.

Wissel, B., Boeing, W.J., & Ramcharan, C.W. (2003). *Effects of watercolor on predation*

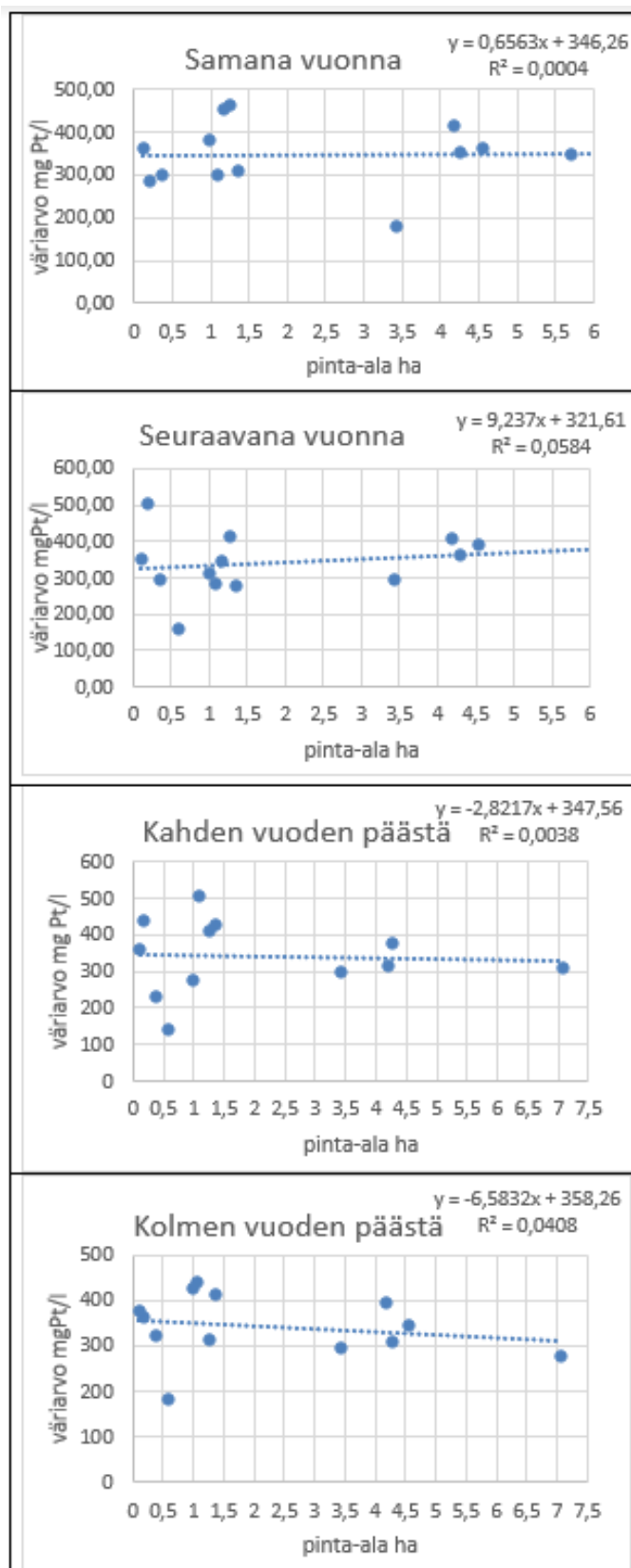
*regimes and zooplankton assemblages in freshwater lakes*. American Society of Limnology and Oceanography. 1965-1966.

<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.4319/lo.2003.48.5.1965>

YLE. (29.10.2008). *Britannian vesistöt elpymässä happosateista*. Yleisradio.

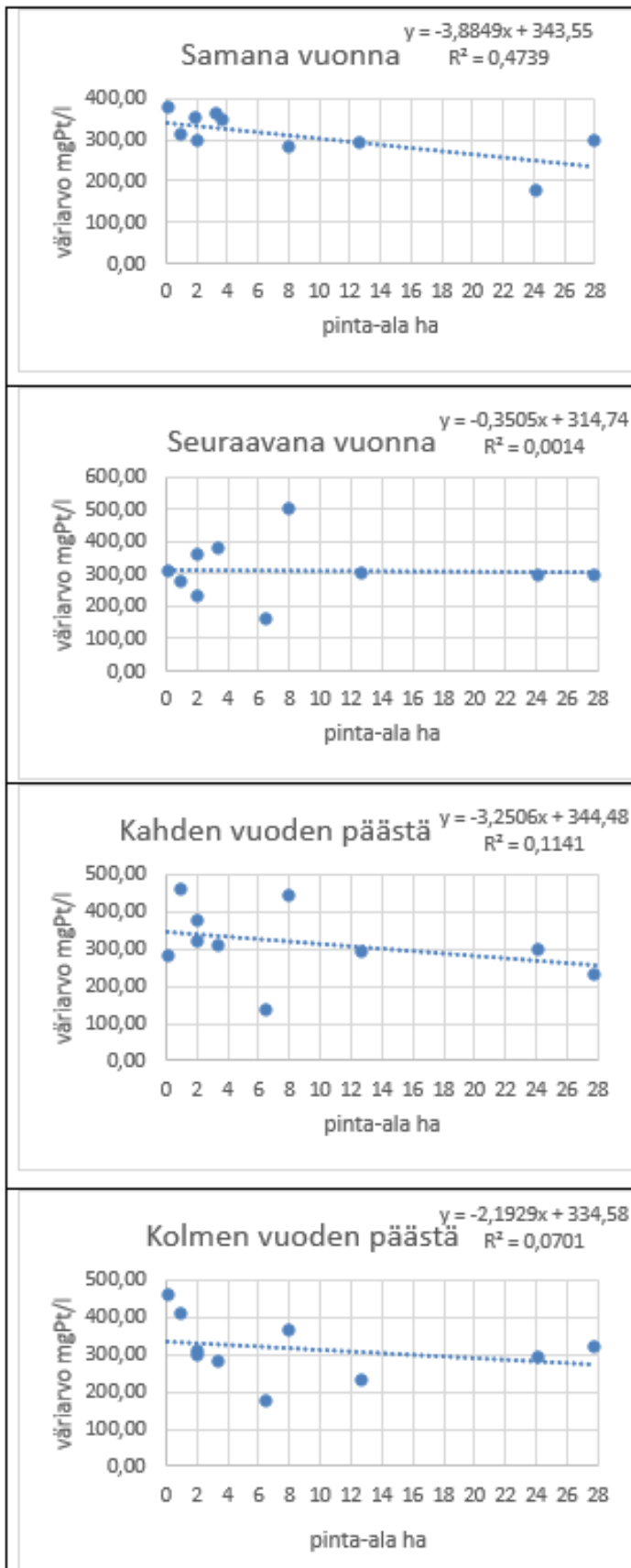
<https://yle.fi/uutiset/35747171>

## Liite 1: Uudistushakkuiden korrelaatiokuvaajat

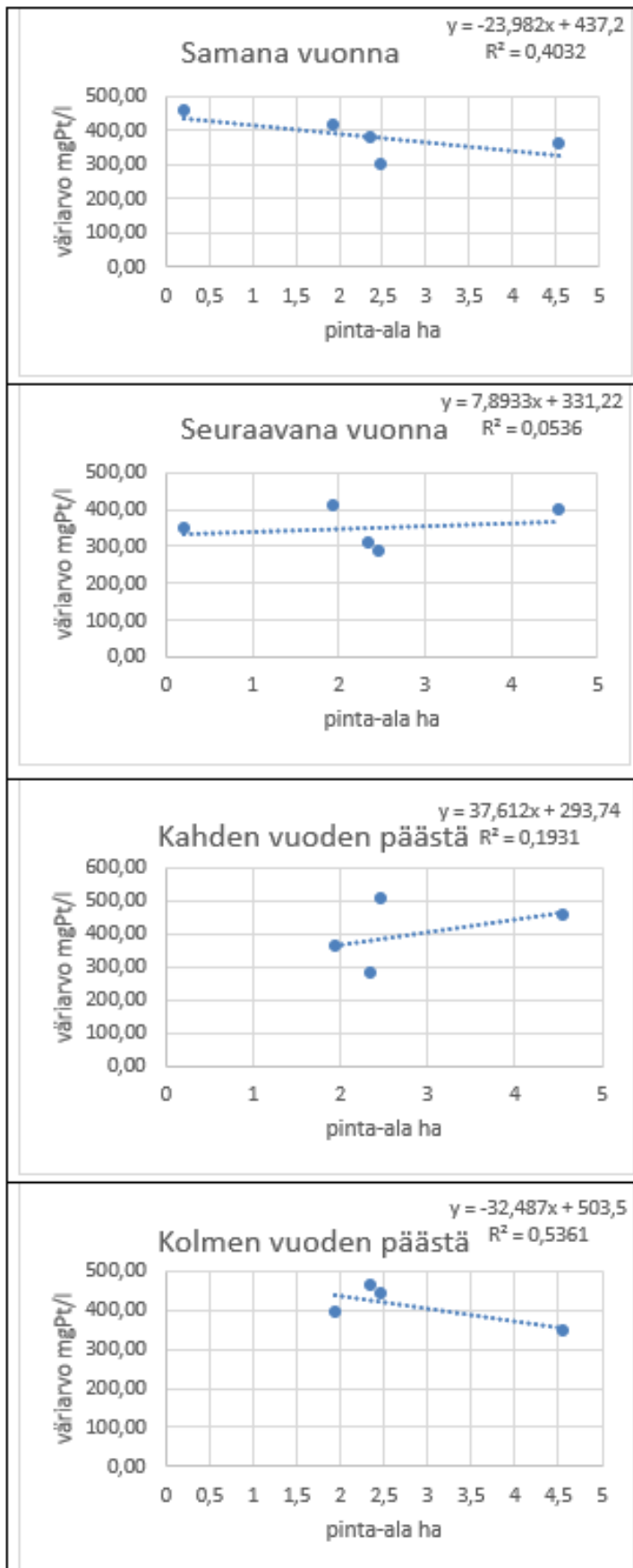




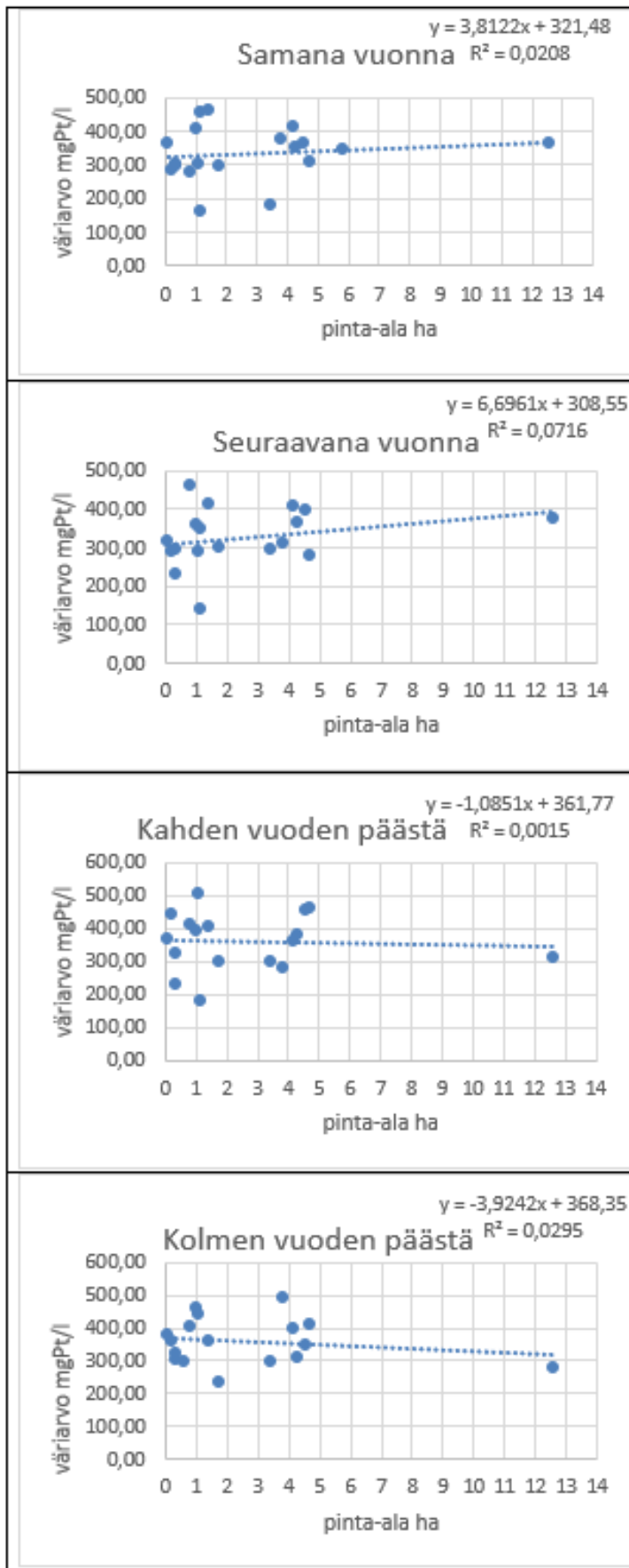
## Liite 2: Harvennushakkuiden korrelaatiokuvaajat



## Liite 3: Kulotusten korrelaatiokuvaajat



## Liite 4: Maanmuokkausten korrelaatiokuvaajat



**Liite 5: Muuttujien nimet ja selitykset**

|                |                                              |
|----------------|----------------------------------------------|
| sadanta_edellv | Edellisen vuoden sadanta                     |
| 2_ed_sad_sum   | Kahden edellisen vuoden sadannan summa       |
| 3_ed_sad_sum   | Kolmen edellisen vuoden sadannan summa       |
| harv_2v        | Harvennushakkuut kaksi vuotta hakkuuhetkestä |
| kulo_2v        | Kulotukset kaksi vuotta kulotushetkestä      |
| kulo_3v        | Kulotukset kolme vuotta kulotushetkestä      |

## Liite 6: Korrelaatiokertoimet

| Muuttuja                             | Pearsonin Korrelaatiokerroin | Spearmanin järjestyskorrelaatio | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Uudistushakkuu samana vuonna         | 0,0204                       | -0,1023                         | 0,0004         |
| Uudistushakkuu seuraavana vuonna     | 0,2416                       | 0,2176                          | 0,0584         |
| Uudistushakkuu kahden vuoden päästä  | 0,0446                       | 0,1703                          | 0,0038         |
| Uudistushakkuu kolmen vuoden päästä  | -0,2021                      | -0,2637                         | 0,0408         |
| Harvennushakkuu samana vuonna        | 0,6848                       | -0,6970                         | 0,4739         |
| Harvennushakkuu seuraavana vuonna    | -0,0379                      | 0,0303                          | 0,0014         |
| Harvennushakkuu kahden vuoden päästä | -0,3378                      | -0,3818                         | 0,1141         |
| Harvennushakkuu kolmen vuoden päästä | -0,2647                      | -0,4545                         | 0,0701         |
| Kulotus samana vuonna                | -0,6530                      | 0,9000                          | 0,4032         |
| Kulotus seuraavana vuonna            | 0,2315                       | -0,2000                         | 0,0536         |
| Kulotus kahden vuoden päästä         | 0,4395                       | 0,6000                          | 0,1931         |
| Kulotus kolmen vuoden päästä         | -0,7322                      | -0,4000                         | 0,5361         |
| Maanmuokkaus samana vuonna           | 0,1441                       | 0,2669                          | 0,0208         |
| Maanmuokkaus seuraavana vuonna       | 0,2676                       | 0,2643                          | 0,0716         |
| Maanmuokkaus kahden vuoden päästä    | -0,0382                      | 0,0380                          | 0,0015         |
| Maanmuokkaus kolmen vuoden päästä    | -0,1718                      | -0,0454                         | 0,0295         |