

Ville Lehto

**LUONNONHOIDON  
PAIKKATIETOAINETOJEN  
HYÖDYNTÄMINEN  
VESIENSUOJELUSSA  
Case: Imatran Immalanjärvi**

Opinnäytetyö  
Metsätalousinsinööri

2019



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Ville Lehto	Metsätalousinsinööri (AMK)	Toukokuu 2019
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		69 sivua 0 liitesivua
Luonnonhoidon paikkatietoaineistojen hyödyntäminen vesiensuojelussa Case: Imatran Immalanjärvi		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Imatran seudun ympäristötoimi		
<b>Ohjaajat</b>		
Pertti Kilpeläinen, Seppo Repo		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa luonnonhoidon paikkatietoaineistoja hyödyntämällä metsätalouden vesiensuojeluohjeisto Imatran Immalanjärven valuma-alueelle. Aineistoista hyödynnettäväksi valikoituivat RUSLE 2015 -malli, TWI-kosteusindeksi ja vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto. Lisäksi työssä hyödynnettiin Suomen metsäkeskuksen laatimaa valuma-alueelaskuria pienille vesiuomille. Metsätalouden työlajien aiheuttamat vesistövaikutukset selvitettiin yleisellä tasolla ja paikkatietoaineistojen osoittama informaatio Immalanjärven valuma-alueella kuvattiin. Työssä esiteltiin, millä menetelmillä vesistövaikutusten syntyä voidaan ehkäistä tai syntyneitä päästöjä hallita. Lopuksi havainnollistettiin kahden esimerkkialueen avulla, miten luonnonhoidon paikkatietoa voi hyödyntää metsätalouden vesiensuojelussa.</p> <p>Työ toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä. Projektin tilaaja oli Imatran seudun ympäristötoimi, ja se tehtiin Suomen metsäkeskuksen ohjauksessa. Paikkatietoaineistoihin perehdyttiin ja ohjeisto luotiin hyödyntämällä ArcGIS paikkatieto-ohjelmistoa. Tieto tuotiin ohjelmistoon WMS-rajapintoina tai shape-tiedostoina, ja niitä muokattiin tarpeen mukaan. Valuma-alueelaskuria käytettiin geoprosessointipalveluna. Projektissa toimittiin yhteistyössä Immalanjärven vesiensuojelun ohjaustyöryhmän kanssa. Projektisuunnitelma ja tulokset esiteltiin ohjaustyöryhmälle, ja siltä pyydettiin palautetta molemmissa vaiheissa.</p> <p>Työn tuotoksena syntyi paikkatieto-ohjelmistolla käytettävä aineisto, joka kuvaa eroosiopotentiaalin, maaperän kantavuuden ja vesiuomien huuhtoutumisriskin tason metsätalousmaalla. Informaatio voidaan esittää metsäkuviointain tai valitun vesiuoman kohdan valuma-alueelle. Sähköisen tuotoksen tueksi tehtiin lyhyt opasdokumentti sekä perusteita laajemmin avaava versio. Palautteen perusteella työssä onnistuttiin luomaan visuaalisesti havainnollistava työkalu, jonka avulla on kohtuullisen helppo määritellä tarkasti työmaiden vesiensuojelulliset riskipaikat. Hyötyjen vieminen käytännön arkeen vaatii vielä työmaita suunnittelevien toimihenkilöiden koulutusta. Tässä työssä luotu aineisto voi kuitenkin toimia hyvin koulutuksen tukena.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
eroosio, vesiensuojelu, paikkatietoaineisto, paikkatieto-ohjelmisto		

Author (authors)	Degree	Time
Ville Lehto	Bachelor of Natural Resources	May 2019
<b>Thesis title</b> Applying the nature management geographic information in the water conservation Case: Lake Immala of Imatra		69 pages 0 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Imatra region environmental department		
<b>Supervisor</b> Pertti Kilpeläinen, Seppo Repo		
<p data-bbox="164 799 300 831"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="164 875 1458 1234">The objective of this thesis was to create instructions for the forest management's water conservation for the drainage basin of the lake Immala of Imatra by utilizing the nature management geographic information. The materials chosen for application were the RUSLE 2015 erosion model, the TWI wetness index and the water channel erosion risk material. Also, the tool for calculating the drainage basin for small water channels created by the Finnish Forest Centre was utilized. The water conservation related impact of different types of the forest management operations was described and the geographic information in the drainage basin of Lake Immala was illustrated. Methods for preventing and managing erosion and environmental load were presented. Finally, the utilization of the geographic information in water conservation was described through two examples.</p> <p data-bbox="164 1279 1469 1603">The thesis was implemented as operational. While the commissioner of the work was Imatra department of environmental services, it was supervised by the Finnish Forest Centre. The project was conducted in cooperation with the water conservation steering group of lake Immala. Both the project plan and the results were presented to the steering group and the feedback was collected in both occasions. The geographic information was scanned, and the water conservation instructions created by using the ArcGIS software. The information was brought in the system through WMS interfaces or as shape files, and they were modified to serve the goals of the project. The drainage basin calculation tool was used as a geoprocessing service.</p> <p data-bbox="164 1648 1449 1973">The output of the project was a combination of the water conservation related geographic information for the drainage basin of lake Immala describing the erosion potential, erosion sensitivity and the water channel erosion risk. The results can be monitored either on the work site or at water channel drainage basin level. In addition to the digital output, a short instruction document and more comprehensive guide were created. According to the feedback, the project was successful in creating visually illustrative tool which helps to define the water conservational risk areas of the working site relatively easily and specifically. However, putting the benefits into practice requires training the professionals responsible for worksite planning. The materials created in this thesis can be applied in this training.</p>		
<p data-bbox="164 2007 320 2038"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="164 2083 1362 2112">erosion, water conservation, geographic information, geographic information system</p>		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	METSÄTALouden VESISTÖVAIKUTUKSET JA NIIDEN HUOMIOINTI.....	9
2.1	Vaikutukset vesistöihin .....	9
2.2	Puunkorjuu ja maanmuokkaus.....	10
2.3	Täydennys- ja kunnostusojituksen vesistövaikutukset.....	12
2.4	Suojakaistat .....	12
2.5	Jatkuvapeitteiset kasvatusmenetelmät .....	13
2.6	Vesiensuojelurakenteet .....	16
2.6.1	Vesiensuojelurakenteiden suunnittelu.....	16
2.6.2	Ojakohtaiset rakenteet.....	17
2.6.3	Aluetason vesiensuojeluratkaisut.....	19
3	VESIENSUOJELUSSA HYÖDYNNETTÄVÄT PAIKKATIETOAINIESTOT.....	24
3.1	Luonnonhoidon paikkatietoaineistot ja valuma-alueyökalut .....	24
3.2	RUSLE 2015 –malli .....	25
3.2.1	RUSLE -mallin rakenne .....	25
3.2.2	Sadantatekijä .....	25
3.2.3	Maaperätekijä .....	27
3.2.4	Kasvillisuustekijä.....	28
3.2.5	Pinnanmuototekijä .....	30
3.3	TWI -kosteusindeksitiedot.....	30
3.4	Vesiuomien maa-aineksen huuhtoutumisriskiaineisto .....	31
3.5	Valuma-alueen määrittelyyökalu pienille uomille .....	32
3.6	Paikkatietoaineistojen hyödyntäminen.....	34
4	PROJEKTITYÖ OPINNÄYTTEENÄ.....	36
4.1	Projektimuotoisen opinnäytteen metodologia .....	36
4.2	Projektin tausta ja lähtökohdat.....	38
4.3	Projektin tavoitteet ja rajaukset .....	40

4.4	Projektin vaiheet ja aikataulutus .....	41
4.4.1	Projektin suunnittelu .....	41
4.4.2	Viitekehysten rakentaminen .....	44
4.4.3	Resurssit ja työskentelytavat .....	45
4.4.4	Tuotoksen luominen .....	46
4.5	Raportointi ja arviointi .....	51
5	OHJEISTO VESIENSUOJELURISKIEN HUOMIOIMISEKSI.....	51
5.1	Kuvien käyttö .....	51
5.2	Esimerkki kivennäismaalta .....	52
5.3	Esimerkki turvemaalta .....	55
5.3.1	Valuma-alueyökalun hyödyntäminen .....	59
5.3.2	Tulosten esittely ja palaute .....	61
6	POHDINTA JA PÄÄTELMÄT .....	62
6.1	Prosessin arviointi.....	62
6.2	Arviot ohjeistosta ja aineistojen hyödyntämisestä.....	64
	LÄHTEET .....	67

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään RUSLE 2015 -mallin, TWI-kosteusindeksitiedon ja metsäkeskuksen vesiuomien huuhtoutumisriskiaineiston hyödyntämismahdollisuuksia Imatran Immalanjärven metsätalouden vesiensuojelussa. Järven pinta-ala on noin 20 km<sup>2</sup>, ja sen keskisyvyys on 8 m. Sillä on yksi selkälake ja kaksi lahtea. Pohjoinen Varpaanlahti on syvä ja kirkasvetinen, ja sen pohjukka ulottuu Venäjän puolelle. Eteläinen Laitilanlahti on matalampi, sen vesi on humuspitoisempaa ja laadultaan heikompaa. Järven rajavyöhykkeelle ja osin Venäjän puolelle ulottuva valuma-alue näkyy kuvassa 1. Se on kooltaan noin 7 000 ha, josta puolet on metsää. Suota on 400 ha. Järven suurin kuormittaja on Laitilanlahden pohjukkaan laskeva Suurisuonoja valuma-alueen. Pohjukka on eristetty patotiellä, ja sen veden laatu on huomattavasti muuta järveä heikompi.



Kuva 1. Immalanjärvi ja sen valuma-alue

Aiheena metsätalouden vesiensuojelu on ajankohtainen. Uusimmat tutkimukset antavat viitteitä siitä, että turvemaiden ojituksen aiheuttama ravinne- ja kiintoainekuormitus jatkuu huomattavasti luultua pidempään. Tähän asti on ajateltu, että ojituksen vesistövaikutukset tasaantuvat muutamassa vuodessa. Nyt saatujen tulosten perusteella huuhtoumaa aiheutuu kymmenien vuosien ajan, ja vanhojen ojitusaluiden ravinnekuormitus olisi moninkertainen aiempiin arvioihin verrattuna. Kuormituksen jatkuminen perustuu turpeen edelleen

maatumiseen, jonka seurauksena ravinteita vapautuu ja liukenee veteen. Maatunut turve on myös eroosioherkempää maatumattomaan verrattuna. Toistaiseksi tulokset ovat vasta alustavia, ja tutkimusmenetelmiin liittyy vielä epävarmuuksia. Tarkentavat jatkotutkimukset ovat parhaillaan käynnissä. Mikäli tulokset varmistuvat oikean suuntaisiksi, asettaa se entistä suuremmat vaatimukset turvemaiden eroosioherkkyyden huomioimiselle ja vesiensuojelurakenteiden riittävälle mitoitukselle. (Finer 2017; Sandell 2017; Nieminen ym. 2017)

Työn tavoite olitesta ja tuottaa tietoa sekä kokemuksia RUSLE 2015 mallin, TWI kosteusindeksin ja vesiuomien huuhtoutumisriskiaineiston hyödynnettävyydestä metsätalouden vesiensuojelun suunnittelussa. Tarkoitus oli arvioida aineistojen toimivuutta käytännön työssä, niiden hyötyjä ja vahvuuksia sekä toisaalta mahdollisia puutteita tai kehittämiskohteita. Itse aineiston lisäksi kuvattiin se toimintatapa, jolla sitä sovelletaan, ja arvioidaan valitun hyödyntämistavan onnistuneisuutta. Tuotetun tiedon ensisijaisena kohderyhmänä oli Imatran seudun ympäristötoimi, joka voi käyttää tuloksia osana Immalanjärven vesiensuojelua. Toisaalta metsäkeskus voi hyödyntää tuloksia jakaessaan tietoa ja kouluttaessaan muita vesiensuojelun parissa toimivia ammattilaisia. Hyödyt päätyvät käytännön tasolle siinä vaiheessa, kun niistä tulee osa metsäsuunnittelua tekevien ja maastossa toimenpiteitä toteuttavien arkea.

Opinnäytetyössä tuotoksena syntyi kuvaus Immalanjärven valuma-alueen vesistövaikutusriskeistä sekä toimenpide-ehdotuksia näiden riskien huomioimiseksi. Tuotoksessa tavoitteena oli päästä yleiskuvauksen sijaan käytännössä kuviokohtaisesti hyödynnettävien konkreettisten toimenpide-ehdotusten tasolle. Ehdotettujen toimenpiteiden tavoite oli minimoida syntyvä kiintoaines- ja ravinnehuuhtouma, mikä keventää erilaisten vesiensuojelurakenteiden tarvetta ja vähentää Immalanjärveen päätyvää kuormitusta.

Pääkysymys, johon tässä työssä haetaan vastausta, oli:

- Miten RUSLE 2015 -mallia, TWI-kosteusindeksitietoja ja vesiuomien huuhtoutumisriskiaineistoa voidaan hyödyntää Imatran Immalanjärven metsätalouden vesiensuojelussa?

Alakysymyksiä olivat:

- Millaisia vesistövaikutuksia eri metsänkäsitteilytoimenpiteillä on?
- Mitä tietoa aineistoissa on Immalanjärven valuma-alueen metsätaloustausta?
- Mitä pitäisi ottaa huomioon toimenpiteitä toteutettaessa, ja millaisia käsitteilyvaihtoehtoja ja vesiensuojeluratkaisuja voisi suositella aineiston tietojen perusteella?
- Millaisessa muodossa, ja mitä kanavia pitkin ohjeistus ja suositukset pitäisi jakaa, jotta ne olisivat käytännön toimijoiden hyödynnettävissä?

Suomen metsäkeskus tarjosi sivuillaan työn aiheeseen sisältyvien mallien lisäksi suuren määrän muita luonnonhoidon paikkatietoaineistoja, vesiensuojelutyökaluja ja karttoja. Niitä ei alkuvaiheessa ollut tarkoitus ottaa osaksi työn aihetta. Projektin edetessä valuma-alueen rajaustyökalujen käyttö osoittautui kuitenkin kiinteäksi osaksi työprosessia, ja ne päätettiin kuvata myös viitekehityksessä.

Vesiensuojelussa ja vesiensuojelusuunnitelmia tehtäessä on otettava laajasti huomioon myös maatalouden ja yhdyskuntalähteiden aiheuttamat päästöt. Niiden sisällyttäminen tähän työhön olisi laajentanut aihetta kuitenkin niin paljon, että vaarana olisi ollut tulosten jääminen pinnalliseksi kuvailuksi. Työssä keskityttiin siis nimenomaan metsätalouden toimenpiteisiin ja metsätaloudesta aiheutuviin vesistökuormituksiin. Tästä tarkastelusta jätettiin vielä pois vaikutukset pohjavesiin, sillä niiden osuus Immalanjärven veden tilaan on hyvin vähäinen, sekä maaperän vaikutuksia arvioitaessa happamat sulfaattimaat, koska niitä ei järven valuma-alueella ole. Metsätalouden vesiensuojeluun kuuluu myös öljyvahinkojen estäminen ja torjunta. Niissä kyse on pitkälti huolellisesta ja vastuullisesta toiminnasta. Kaukokartoitusaineistot eivät tuo kehitystä tähän elementtiin, ja ne rajattiin työn aihepiiristä ulos. Metsätalouden ympäristövaikutuksia käsittelevissä lähteissä merkittävään osaan nousee metsien ja metsämaan sitoman hiilen vaikutus ilmastonmuutokseen. Hiilen sitoutumisella ei kuitenkaan ole merkitystä vesiensuojelussa, eikä sitä käsitelty tässä työssä.

Vesiensuojelun toimenpiteet ovat kokonaisuus, joka usein maantieteellisesti ulottuu useamman metsänomistajan maille. Toimenpiteistä sopiminen vaatii neuvotteluja ja yhteistyötä. Tässä työssä pitäydettiin kokonaisuuden kannalta



suositeltavissa toimintatavoissa, mutta ei otettu kantaa siihen päätöksentekoprosessiin, jolla kaikki tahot saataisiin projekteihin sitoutumaan.

Opinnäytetyön tilaaja oli Imatran seudun ympäristötoimi, ja sen toteutusta ohjasi Suomen metsäkeskus. Yhteistyötä tehtiin Imatran seudun ympäristötoimen johdolla kokoontuvan Immalanjärven vesiensuojelun ohjaustyöryhmän kanssa. Ryhmä on edistänyt Immalanjärven vesiensuojelun toimenpiteiden suunnittelua ja toteutusta jo usean vuoden ajan. Toimenpiteille on saatu rahoitusta Imatran kaupungilta ja Kaakkois-Suomen elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskukselta (ELY), ja ryhmän kokoonpano vaihtelee kulloinkin esillä olevien asioiden mukaan. Työtä tehdessä mukana olivat Imatran seudun ympäristötoimen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen lisäksi Suomen metsäkeskus, Pro Immalanjärvi ry., Immalanjärven osakaskunta, Etelä-Karjalan metsänhoitoyhdistys ja Tornator Oyj. Opinnäytetyö esiteltiin myös em. ohjausryhmälle, jolla oli mahdollisuus kommentoida työtä sen edetessä.

## **2 METSÄTALouden VESISTÖVAIKUTUKSET JA NIIDEN HUOMIOINTI**

Metsätalouden osuus Suomen vesistökuormituksen kokonaisuudesta on muutamia prosentteja. Kuormituksen laaja-alaisuus, pitkäkestoisuus ja voimakas kohdistuminen herkimpiin latvavesiin tekevät siitä kuitenkin prosenttiosuuttaan merkittävämmän. Tämä luku perustuu pitkälti Joensuun ym. (2012, 14 - 50) ja Joensuun ym. (2013, 11 - 44) teoksiin, ja siinä selvitetään ne vaikutukset, joita metsätaloudella vesistöihin on. Ensin kuvataan eri vaikutustyyppit, ja sen jälkeen tarkastellaan sitä, miten metsätalouden eri työlajit näitä vaikutuksia aiheuttavat.

### **2.1 Vaikutukset vesistöihin**

Erosio on yksi vesiensuojelun keskeisimpiä käsitteitä, sillä suurin osa metsätalouden vesistövaikutuksista on sidoksissa nimenomaan siihen. Eroosiolla tarkoitetaan maan pinnan kulumista. Erityisesti veden liike huuhtoo maa-ainesta irti, sekä kuljettaa ja kasaa sitä uuteen paikkaan. Luonnossa tätä tapahtuu saateen ja lumen sulamisen yhteydessä. Metsätalouden vaikutus voi olla suoraan toimenpiteen aiheuttamaa, luonnollista eroosiota synnyttävää tai vahvistavaa, ja useimmiten se on näiden yhdistelmä.

Kiintoainekuormitus on suurin yksittäinen metsätalouden vesistöihin vaikuttava tekijä. Se saa aikaan kohteensa liettymistä. Toisaalta hajoava biomassa kuluttaa happea. Lisäksi vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavat ravinteet kuten typpi ja fosfori kulkeutuvat myös kiintoainekseen sitoutuneena.

## 2.2 Puunkorjuu ja maanmuokkaus

Metsätalouden vesiensuojelussa tehtävän toimenpiteen ajoituksella, laajuudella sekä sen etäisyydellä vesistöön on suuri merkitys. Maan pinnan rikkoutuminen synnyttää useimmiten vesistökuormitusriskin. Kosteiden kohteiden päätehakkuilla pelkkä koneella liikkuminen ja ajourapainumat voivat saada kiintoaineen liikkeelle. Päätehakkuuta seuraa metsän uudistaminen, jonka yhteydessä maanpintaa rikotaan usein tarkoituksella. Muokkauksen tavoitteena on luoda mahdollisimman hyvät lämpö-, ravinne- ja vesitalousolosuhteet uudelle puusukupolvelle. (Joensuu ym. 2012, 14 – 15, 29 - 30) (Joensuu ym. 2013, 11 - 12)

Eri maanmuokkausmenetelmät vaihtelevat vesistövaikutusten suhteen paljon. Kiintoainekuormitusta, ja sen mukana ravinteiden huuhtoutumista, aiheuttavat varsinkin ne menetelmät, joilla pyritään johtamaan alueelta pois vettä. Ojitusmätästys onkin menetelmistä riskialttein, ja sitä tuleekin käyttää vain niissä kohteissa ja uudistusalan osissa, joissa muut vesitalouden säätelyn menetelmät jäävät riittämättömiksi. Monissa veden vaivaamien kohteiden kuivemmissä osissa voi käyttää laikkumätästystä, mikäli muokattaessa paljastuu kerroksellinen podsolimaannos. Toisaalta ojitustarvetta voi vähentää hyödyntämällä puuston haihdutuksen kuivatusvaikutusta. (Joensuu ym. 2012, 37 – 38) (Joensuu ym. 2013, 42 - 45)

Naveromätästystä käytetään veden ohjailuun ja paikalliseen varastointiin. Vaikka suoraa virtausyhteyttä alueelta ulos ei muodostetakaan, tulee liete-kuoppia kaivaa naveroiden päihin ja päiden välille 50 m välein. Mikäli maan pinnanmuotojen johdosta tai muuten on vaarana veden karkaaminen naverosta pintavaluntana eteenpäin, tulee ojiin, puroihin, vesistöihin ja arvokkaisiin luontokohteisiin jättää riittävästi etäisyyttä suojakaistaksi. (Joensuu ym. 2012, 36) (Joensuu ym. 2013, 44)

Äestys muodostaa maahan kanavia, joihin vesi voi keräytyä, muodostaa virtausuomia ja synnyttää näin kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumaa. Jos muokausjälkeen ei jää luonnostaan kiviä, kantoja tai hakkuutähteitä patoamaan veden liikettä, voidaan mahdollinen vesiuoman syntyminen estää muokkaukaskatkoilla. Viettämissä kohdissa muokkaus tehdään poikittain kaltevuussuuntaan nähden. Laikutus, laikku- sekä kääntömätästys sen sijaan eivät muodosta yhtenäisiä kanavia, minkä vuoksi näiden menetelmien aiheuttamat kuormitus riskit ovat verrattain vähäiset. (Joensuu ym. 2012, 34 - 35) (Joensuu ym. 2013, 43 - 44)

Yhteenvedona voi todeta, että uudistusaloilla suunnittelu ja toimintatapojen valinta on todella tärkeää. Mahdollisimman hyvät uudistamistulokset mahdollisimman pienillä ympäristövaikutuksilla vaativat oikean menetelmävaihtoehdon, joka voi vaihdella jopa uudistusalan sisällä. Valintaan vaikuttavat puulaji, maalaji, maan pinnanmuodot, vesiolosuhteet, kasvupaikka ja ravinneolosuhteet sekä etäisyys vesistöihin. Esimerkiksi hakkuutähteiden keruu tuoreen kankaan kuusivaltaisessa kohteessa, jossa ravinteiden niukkuus ei ole ongelma, voi vesistön läheisyydessä vähentää typpikuormitusta jopa 230 kg/ha. Maalajin kannalta haasteellista on, että vesitalouden järjestelyjä vaativat usein juuri herkimmin liikkeelle lähtevät lajittuneet ja hienojakoiset kohteet. Näillä paikoilla tulee jättää toimivien ojien reunaan yleistä metrin ohjetta suurempi käsittelemätön piennar ja vesistöihin normaalia 5 m ohjetta leveämmät suoja-kaistat erityisesti, jos kivennäismaata on jouduttu paljastamaan paljon. Leveämpää suoja-kaistaa tulee harkita myös kohteissa, joissa käsittelyalueeseen liittyvä valuma-alue on 10 - 20 ha tai suurempi. Suunnittelun tärkeydestä huolimatta lopulta syntyvän vesistökuormituksen ratkaisee toteutus. Tässä oikeantyyppinen kalusto ja tekijän ammattitaito yhdistellä eri muokkausmenetelmiä kohteeseen sopivalla tavalla ovat merkittävä tekijöitä. (Joensuu ym. 2013, 37 - 43)

Energiapuun korjuu on Suomessa lisääntynyt viime vuosina. Ilmastonmuutoksen torjuntatoimien tehostuessa paineet bioenergian käyttöön ovat edelleen kasvussa. Hakkuutähteiden ja erityisesti latvusmassan kerääminen ennen leh-tien tai neulasmassan varisemista pienentää vapautuvaa ravinnehuuhtoumaa. Hakkuutähteiden korjaamatta jättäminen onkin toisaalta yksi keino pitää yllä

karumpien kasvupaikkojen ravinnetasapainoa. Vapautuvat ravinteet ovat erityisesti uudistusaloilla myös vaarassa kulkeutua vesistöihin. Kantojen nosto puolestaan tuo mukanaan kaksi riskitekijää, jotka nostavat kiintoaine ja ravintehuuhtoumaa: kivennäismaata paljastuu paljon ja koneiden käyntikerrat alueella lisääntyvät. Ongelma korostuu helposti huuhtoutuvilla hienojakoisilla ja ravinteikkailla mailla. Kantojen noston hyödyt ja tarve onkin harkittava tarkkaan erityisesti vesistöjen läheisyydessä. Suojakaistoilta tai ojien penkereiltä kantoja ei saa nostaa, eikä nostettuja kantoja tule varastoida toimiviin ojiin. (Fredriksson & Rantala 2008, 427, 431.)

Harvennushakkuiden vesiensuojelulliset vaikutukset ovat verrattain vähäiset. Epäsuoria vaikutuksia voi olla niiden yhteydessä mahdollisesti toteutettavalla voimakkaalla ennakkoraivauksella ja maata sitovan kasvillisuuden poistamisella. (Joensuu ym. 2012, 26)

### **2.3 Täydennys- ja kunnostusojituksen vesistövaikutukset**

Soiden uudisojitukset lopetettiin Suomessa vuonna 1997 PEFC-sertifikaatin käyttöönoton yhteydessä, ja valtion tuki uudisojitukseen oli lopetettu jo vuonna 1993 (Ollonqvist & Aarnio 2004, 17). Ojien kaivuu on siis olemassa olevien uomien kunnostusta tai jo ojitettujen suoalueiden täydennysojitusta. Umpeen kasvaneita ojia voidaan kunnostaa myös perkaamalla. Näiden toimenpiteiden yhteydessä maa-ainesta irtoaa ja sekoittuu veteen helposti. Kasvillisuudelta paljaaksi jäänyt maanpinta kuten ojaluisikat tai kaivuumassat ovat vaarassa kulkeutua sade- ja sulamisvesien mukana ojaan. Ojaluisikien syöpyminen on suorassa suhteessa uomassa virtaavan veden määrään ja virtausnopeuteen. Kuivatusojissa vettä on vähän ja syöpymäriski pieni. Vastaavasti kokooja- ja laskuojissa virtaamat ja siten myös maa-aineksen kulkeutumisariski ovat suuremmat. (Joensuu ym. 2012, 40) (Joensuu ym. 2013, 52 – 53)

### **2.4 Suojakaistat**

Suojakaistalla tarkoitetaan määrätyn levyistä aluetta, joka jätetään vesistön ja metsänkäsittelyalueen väliin. Sopivaan leveyteen vaikuttavat luvussa 3 kuvatut paikalliset olosuhteet kuten maan pinnanmuodot, maalaji, pensaskerroksen ominaisuudet ja muu kasvillisuus sekä ylipäättään liikkeellä olevan veden määrä. Eroosioherkät maalajit vaativat leveämmän suojakaistan kuten myös

vesistöön suuntaan jyrkästi viettävät alueet tai topografian perusteella pääteltävissä olevat vesien purkautumispaikat. (Joensuu ym. 2013, 18.)

Mahdollinen tulviminen huomioidaan suojakaistan leveydessä niin, että tulva-alueetta ei lasketa osaksi kaistaa. Näin estetään ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutuminen tulvatilanteissa. Suojakaistan kokoon vaikuttaa myös vesistön tai pienveden tyyppi. Lisäksi eri sertifikaateissa on omat vaatimuksensa. PEFC vaatii jättämään 5 - 10 m, ja sallii puun poimintaluonteiset hakkuut. FSC ei puuston käsittelyä salli, vaadittu kaistan leveys on 10 m lampien sekä järvien rannoilla ja 15 m purojen ja jokien varsilla sekä meren rannoilla. (Joensuu ym. 2013, 19; Suomen metsäkeskus s.a.)

Suojakaistan teho perustuu maan pinnan rikkomattomuuteen, ja kasvillisuuden säästämiseen. Metsätalouden toimenpiteistä pidättäytymisen lisäksi niillä ei saa liikkua koneilla, sillä mahdolliset painanteet muuttavat päästöjen rajoittamiseen tähtäävän alueen herkästi päästölähteeksi. Painanteista voi myös muodostua oikovirtausuomia, mikä lisää eroosioriskiä ja vähentää oleellisesti puhdistustehoa. Hyvä suojakaista toimiikin eräänlaisena kiintoainesta ja ravinteita pidättävänä pintavalutuskenttänä, jonka toimintaperiaate kuvataan tarkemmin vesiensuojelurakenteita käsittelevässä alaluvussa 5.4. Kasvillisuuden säästäminen puolestaan sitoo maa-ainesta ja ottaa käyttöönsä mahdollisia metsätalousmaalta huuhtoutuvia ravinteita luvussa 3.3. kuvatulla tavalla. (Joensuu ym. 2013, 19.)

## **2.5 Jatkovapeitteiset kasvatusmenetelmät**

Tämä alaluku perustuu Niemisen (2018) Imatralla 30.10.2018 pidettyyn koulutukseen jatkovapeitteisten kasvatusmenetelmien hyödyntämisestä turvemailla. Niihin lasketaan eri-ikäisrakenteisen kasvatuksen lisäksi myös ne tasaikäisrakenteisen kasvatuksen muodot, jotka eivät sisällä kokonaan tai lähes kokonaan puutonta vaihetta. Ne hyödyntävät metsän luontaista uudistumista, kuten eri-ikäisrakenteinen kasvatusta. Menetelmille on yhteistä se, että niiden tavoitteena on tukea taimettumisen edellytyksiä. Puuston tulee olla tarpeeksi iäkäästä siementämään, ja itämiselle ja kasvulle tulee tarjota riittävä harvuuden myötä tilaa ja valoa.

Eri-ikäisrakenteisen kasvatuksen käsittelymenetelmiä ovat pienaukko- ja poimintahakkuut. Usein näitä käytetään yhdistellen, ja tavoitteena on myös moni-  
muotoisuuden lisääminen. Pääideana on kuitenkin kasvatuskelpoisen alikasvok-  
sen vapauttaminen ja hyvän taimiaineksen synnyttäminen. Tämän vuoksi on  
tärkeää säilyttää kookkaita päävaltapuita laadukkaana paikallisen siementuo-  
tannon turvaamiseksi, vaikka osa järeimmistä rungoista hakataankin. Samalla  
harvennetaan tiheimpiä kohtia, ja poistetaan vioittuneet tai tuhoista kärsivät  
puut. Eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatushakkuut ovatkin aina myös laatu-  
harvennuksia. Turvemaiden poimintahakkuissa kannattaa suosia koivua,  
mutta puhtaaksi koivikoksi käsittelyaluetta ei välttämättä kannata jättää. Tai-  
mettämisen edellytykset paranevat, koska pienempi neulasmassa vähentää  
kunttaantumista ja valon määrä lisääntyy. Uutena eri-ikäisrakenteisuuteen joh-  
tavana menetelmänä on ojitetuilla turvemaidella kokeiltu ylispuukasvatusta. Se  
muistuttaa siemenpuuhakkuuta, mutta siinä hehtaarille jätetään runkoja 50 si-  
jasta 150. Ylispuut poistetaan myöhemmin vaiheittain.

Tasaikäiskasvatuksessa peitteisyyden jatkuvuuteen voidaan päästä kiertoai-  
kaa jatkamalla. Tällöin luontaiseen taimettumiseen pyritään tekemällä ensin  
yläharvennus, ja seuraavana toimenpiteenä väljennyshakkuu. Tavallisemmin  
käytössä olevia jaksollisia menetelmiä ovat siemenpuuhakkuu männyn ja suo-  
juspuuhakkuu kuusen uudistamisessa. Molemmissa hyödynnetään luontai-  
sesti syntyvä alikasvos, ja ylispuut poistetaan myöhemmin kerralla.

Poiminta- ja pienaukkohakkuut vahvistavat hyvin puuston ryhmittäisyyttä ja  
monijaksoisuutta männyn karuilla kasvupaikoilla. Puolukkaturvekankailla voi  
alikasvoksena olla mukana myös kuusta, jota kannattaakin sekapuuksi jättää.  
Mikäli kyseessä on mänty-hieskoivu sekametsä, kuusialikasvosta voi olla pal-  
jonkin. Tällaisissa kohteissa hieskoivun taimikko voi runsastua pienaukoissa  
niin merkittävästi, että se vaatii perkausta. Toisaalta ravinteisuus ei välttä-  
mättä riitä kuuselle tukkimittojen saavuttamiseksi. Mäntyvaltaisille mustikkatur-  
vekankailla syntyy usein hyvin kehityskelpoinen alikasvoskuusikko. Se voi-  
daan poimintahakkuilla vapauttamalla saada hyvään kasvuun, mikäli latvukset  
ovat kunnossa. Kuusi tapaa myös taimettua erinomaisesti ravinteikkaampien  
maiden pienaukkoihin. Aukkojen koko kannattaa pitää pienenä, jolloin välte-  
tään ylitieheen hieskoivutaimikon synty. Ravinnetalous ja mahdollinen tuhkalan-  
noituksen tarve riippuu aina kohteen ravinteisuustasosta ja kasvatettavasta

puustosta, mutta sitä kannattaa harkita varsinkin paksaturpeisilla ja runsastyyppisillä alueilla.

Mikäli mäntyvaltaisessa metsässä paikalle on taimettunut luontaisesti pääosin mäntyä, voi ylispuukasvatus olla hyvä vaihtoehto kuivahkoilla ja sitä karummilla kankailla, rämeillä sekä varpu- ja puolukkaturvekankailla. Paksukunttaisissa paikoissa voidaan luontaista uudistumista edistää maanmuokkauksella. Jatkuvapeitteiset menetelmät sopivat erityisesti kasvultaan heikompiin kohteisiin, kuten karuille kankailla, heikkotuottoisille soille tai harju- ja kalliometsiin. Tämän tyyppisissä kohteissa puusto on yleensä valmiiksi ikärakenteeltaan ja tiheydeltään vaihtelevaa, ja uudistamis- ja hoitokustannukset nousevat suureksi tuottoihin nähden.

Kuusivaltaisissa suometsissä poiminta- ja pienaukkohakkuut sopivat mustikka- ja ruohoturvekankailla sekä ojittamattomiin korpiin. Kivennäismailla kuusen eri-ikäisrakenteinen kasvatus onnistuu tuoreilla ja sitä rehevämmillä kankailla varsinkin kosteissa ja hieman soistuneissa paikoissa. Korpikuusikoissa voidaan käyttää myös kaistalehakkuita, jos jäävän puuston haihdutus riittää pitämään välialueiden vesitalouden kunnossa. Eri hakkuutapojen painotus voi vaihdella, ja se riippuu lähtötilanteesta. Valmiiksi eri-ikäisrakenteisissa metsissä pärjätään pääosin poimintahakkuilla. Jos taas lähtötilanne on tasaikäisrakenteinen ja luontaista taimiainesta on vähän, käytetään pääosin pienaukkoja, ja välialueet harvennetaan. Turvemailla ja kosteissa kohteissa pieniinkin aukkoihin syntyy helposti tiheä taimikko. Aukkojen koon kasvaessa hieskoivun määrä lisääntyy. Rehevillä kasvupaikoilla myös pintakasvillisuudella on taipumus vallata aukot. Taimikkoa voikin jossain tapauksissa olla syytä perata ja harventaa.

Jatkuvapeitteisten kasvatusmenetelmien vesiensuojelulliset vaikutukset perustuvat maanmuokkauksen ja kunnostusojitustarpeen vähentämiseen. Avohakkuuttomat menetelmät säästävät pensas- ja kenttäkerroksen kasvillisuutta. Maan pinnan rikkoutumista voidaan välttää usein, kun metsä uudistetaan luontaisesti. Kasvupaikan puuston määrällä voidaan säädellä alueen vesitasetta. Osa vedestä pidättyy latvustoon, minkä lisäksi puusto haihduttaa ja pitää pohjaveden pinnan sen verran alhaalla, että se ei haittaa puuston kasvua.

Avohakkuussa tämä vaikutus menetetään, veden pinta nousee, ja tarve kunnostusojitukselle syntyy. Jatkuvapeitteisissä menetelmissä taas oja tarvitaan ainakin lukumääräisesti vähemmän, ja niiden kaivussyvyyden ei tarvitse olla niin suuri. Samalla minimoidaan tästä aiheutuvaa kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumaa.

Luonnonvarakeskuksen tutkimusten mukaan Etelä-Suomessa 100 - 120 m<sup>3</sup>/ha on riittävä runkotilavuus vesitalouden pitämiseksi männyn kasvulle suotuisana. Kuusi- ja koivuvaltaisilla turvemaidella pärjätään hieman pienemmilläkin tilavuuksilla. Riittävä puustoisuus riippuu kuitenkin aina kasvupaikan olosuhteiden lisäksi sen yläpuolisilta valuma-alueilta tulevan veden määrästä. Käsitelyalueelle tulee joka tapauksessa jättää kasvatuskelpoista puustoa lakirajan ylittävän pohjapinta-alan verran. Rajan alitus johtaa uudistusvelvoitteen synty-miseen.

Vesiensuojelullisten hyötyjen lisäksi jatkuvapeitteisten menetelmien käyttöön liittyy myös joitakin riskejä. Niiden yhteydessä metsänhoidollisia toimenpiteitä joudutaan yleensä tekemään useammin kuin tasaikäiskasvatuksessa. Samassa kohteessa koneella liikkumista tulee siis enemmän, mikä osaltaan lisää urapainumien synnyn mahdollisuutta. Myös korjuuvaurioiden ja niistä johtuvien lahovikojen määrä voi kasvaa. Puustoa kasvatetaan luontaisen taimettumisen edistämiseksi yleensä harvempana kuin tasaikäisissä metsiköissä, mikä saattaa altistaa tuulituhoille, ja pienentää sekä puuntuotantoa että taloudellisia tuloja.

## **2.6 Vesiensuojelurakenteet**

### **2.6.1 Vesiensuojelurakenteiden suunnittelu**

Vesiensuojelurakenteilla pyritään estämään metsätalouden toimenpiteiden aiheuttamaa kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumaa päätyvästä vesistöön. Sopiva rakenne tai rakenteiden yhdistelmä sekä mitoitus riippuvat pitkälti käsiteltäväksi tulevan veden määrästä. Onkin huomioitava, että useimmiten työkohteen rajaus poikkeaa siitä valuma-alueesta, jonka kuormitus yksittäisiin suoje-lurakenteisiin kohdistuu. Tietyn uoman tai sen kohdan valuma-alueen määrit-



tely käy kätevästi luvussa 3.5 esitellyn SMK:n verkkosivuillaan tarjoaman työkalun avulla. Joensuu ym. (2013, 19 - 36) tiivistävät hyvin yleisimmät vesien-suojelurakenteet, ja tässä alaluvussa hyödynnetään pitkälti heidän työtään.

### **2.6.2 Ojakohtaiset rakenteet**

Suuri osa metsätalouden vesistökuormituksesta liittyy turvemaiden täydennys- ja kunnostusojituksiin. Itse ojaa kaivettaessa tai perattaessa voidaan jättää sopiviin kohtiin kaivu- tai perkauskatkoja. Kaivukatko on kohta, jossa ojaa jätetään kaivamatta, ja vesi valutetaan jonkin matkaa maan pintaa pitkin ojan jatkokohtaan. Näin veden virtausnopeutta saadaan hidastettua ja se leviää hetkellisesti isommalle alueelle. Kulkiessaan maaperän ja kasvillisuuden läpi vesi suodattuu, ja kiintoainesta ja ravinteita pidättyy matkalle. (Joensuu ym. 2013, 19)

Kohdan sopivuus kaivukatkolle tai katkon oikea pituus riippuu pinnanmuodoista ja maalajista, ja se voi vaihdella muutamista metreistä muutamiin kymmeniin metreihin. Kaltevuus lisää virtausnopeutta ja siten eroosioriskiä. Lyhyet katkot taas ovat alttiita huuhtoutumaan pois varsinkin tulvatilanteissa. Sopiva kohta kaivukatkolle on siis tarpeeksi tasainen, ja pituus tulee mitoittaa maalajin eroosioherkkyyden ja tulvariskin mukaan. Pinnanmuodoiltaan sopivissa kohdissa voidaan pintavalutusta lisätä johtamalla vesi sivuun ojalinjalta ja keräämällä se alapuolella tarvittaessa haarukkojaa käyttäen. Vastaavasti perkauskatkoilla tarkoitetaan vanhoihin ojiin jätettäviä perkaamattomia kohtia. Ojan kasvillisuus hidastaa läpi virtaavan veden kulkua ja toimii suodattimena epäpuhtauksille. Sopiva pituus perkauskatkolle on muutama metri. (Joensuu ym. 2013, 19)

Kunnostus- ja täydennysojituksen yhteydessä tulee kaivaa vähintään 100 m välein lietekuoppia, joiden tarkoitus on kerätä itse kaivamisprojektin liikkeelle saama karkea kiintoaines. Sopiva koko kuopalle on 1 - 2 m<sup>3</sup>, eikä sitä ole tarkoitus tyhjentää myöhemmin. Lietekuoppa kannattaa yhdistää sen alapuolelle jätettävään kaivukatkoon. Pintavalutus Kentän yhteydessä lietekuopat jätetään kentän yläpuolelle. Lietekuopat ovat myös hyvä ratkaisu niillä navero- ja ojitusmätästyskohteilla, joilla mätäiden tekoon tarvittavaa maa-ainesta on niukalti. (Joensuu ym. 2013, 20)

Uutena vesiensuojeluteknologiana käyttöön on tulossa vettä puhdistavia biosuodattimia ja -reaktoreita. Ne hyödyntävät toiminnassaan puuhaketta, biohiiltä tai niiden yhdistelmää. Niiden toiminta perustuu veden epäpuhtauksien hajottamiseen mikrobiologisten prosessien avulla. Hake ja biohiili toimivat kasvualustana mikrobistolle, joka kuluttaa ravinnokseen reaktorin läpi virtaavaa typpeä, fosforia ja muita yhdisteitä. Lisäksi maan alle sijoitetut ratkaisut pitävät kosteutta ja ravinteita maan pinnalla kasvavan kasvillisuuden käyttöön. (Christianson ym. 2012; Christianson ym. 2016; Lepine ym. 2015.)

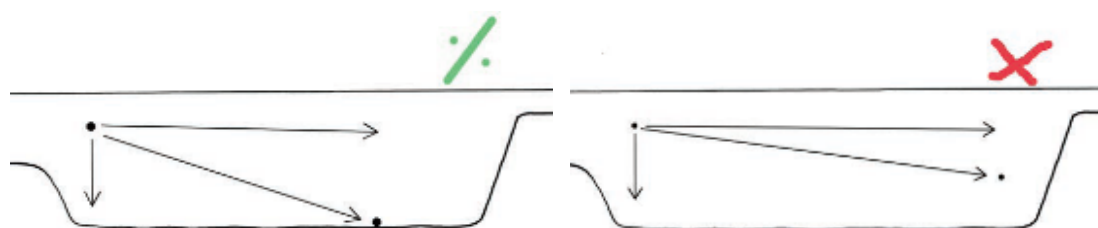
Erityisen tehokkaiksi biosuodattimet ja -reaktorit ovat osoittautuneet typen poistossa, mutta muidenkin ravinteiden suhteen tutkimustulokset ovat olleet hyviä. Pieni määrä kiintoainestakin pidättyy erinomaisesti, mutta yleensä suodattimet kannattaa sijoittaa muiden sitä poistavien ratkaisuiden alapuolelle. Yleisin liiallisen kiintoaineen aiheuttama ongelma on suodattimen tukkeutuminen. Myös näiden ratkaisuiden toiminnassa tärkeää on kapasiteetin oikea mitoitus kuormitukseen nähden. Jos ravinnekonsentraatio on liian pieni, mikrobisto ei voi hyvin, ja puhdistusteho laskee. Kapasiteettiin nähden liian suuri ravinnemäärä taas voi kasvattaa suodattimen tukkoon. Virtausnopeudenkin tulisi olla sopivan hidas, jotta viipymä suodattimessa on riittävä, ja vesi ehtii puhdistua. (Christianson ym. 2012; Christianson ym. 2016; Lepine ym. 2015.)

Biosuodattimien ja -reaktorien parhaita puolia ovat niiden suhteellisen edullinen hinta, kevyt asennettavuus ja hyvä puhdistusteho varsinkin typen ja hienon kiintoaineen osalta. Epävarmuuksia liittyy edelleen niiden olosuhdevaihteluiden sietoon. Lämpötilan muutokset vaikuttavat voimakkaasti mikrobitoiminnan aktiivisuuteen. Esimerkiksi keväisin tulva-aikaan vedet ovat viileitä, mikä hidastaa mikrobien toimintaa ja puhdistuminen vaatisi pidemmän viipymän. Samalla virtaukset ovat voimakkaimmillaan, mikä hidastaa viipymää. Rakenteen mitoitus vastaamaan kevään tarpeita voisi toimia, jos ravinnemäärät muuten riittävät pitämään koko reaktorin aktiivisena. Tutkimusten mukaan suodatuksen käynnistyminen täydellä teholla voi kestää kuukausia asennuksesta, jolloin tulva-aika puolestaan olisi jo ohi. Rakenteen mitoituksen sijaan parempi ratkaisu voisi olla virtaaman säätö sopivalle tasolle. Tämä voisi kuitenkin vaatia virtaaman aktiivista kontrollointia. (Christianson ym. 2012; Christianson ym. 2016; Lepine ym. 2015.)

Tutkijoiden arviot reaktorien käyttöiälle vaihtelevat 5 - 20 vuoden välillä, ja siihen vaikuttavat merkittävimmin kiintoaineen riittävä ennakkopoisto ja olosuhteiden tasaisuus. Toistaiseksi tulokset näiden uusien teknologioiden toimivuudesta ovat rohkaisevia. Lisää käytännön kokemuksia kuitenkin tarvitaan epävarmuustekijöiden poistamiseksi ja kohdattujen haasteiden ratkaisemiseksi. (Christianson ym. 2012; Christianson ym. 2016; Lepine ym. 2015.)

### 2.6.3 Aluetason vesiensuojeluratkaisut

Laskeutusaltaat kattavat yhden ojan sijaan jo kymmenien hehtaarien kokoisia valuma-alueita. Niillä voidaan kerätä tehokkaasti kiintoainetta ja ravinteita, mutta yksistään ne eivät alueen kuormitusongelmaa ratkaise. Niitä yhdistelläänkin aina muihin tekniikoihin, ja ensisijaisesti vesien virtausnopeuksia tulisi pyrkiä hidastamaan muilla keinoilla. Parhaiten altaan toimivuutta voidaan parantaa sellaisilla rakenteilla, joilla virtaamaa voidaan tarpeen mukaan säätää. Laskeutusaltaan toiminta perustuu veden virtausnopeuden hidastamiseen niin, että mukana kulkeva kiintoaines putoaa altaan pohjalle. Altaassa siis virtaus kuljettaa kiintoaineshiukkasia eteenpäin, ja painovoima vie alaspäin. Toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 3. Hiukkanen pidättyy altaaseen, mikäli se ehtii pudota pohjalle ennen altaan päätyä. (Joensuu ym. 2013, 22 - 23)



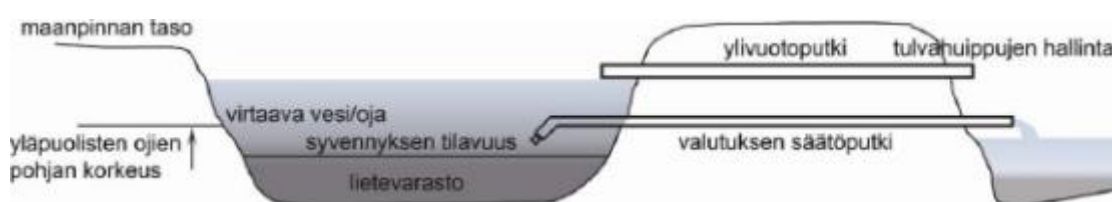
Kuva 3. Laskeutusaltaan toimintaperiaate (Joensuu ym. 2012, 75)

Sopiva mitoitus tai laskeutusaltaan toimivuus ylipäätään riippuu siis kohteen maalajista, sillä erot niiden laskeutumisnopeudessa ovat suuret. Savea ja hiesua ei laskeutusaltaalla oikein saada kerättyä, mutta parhaiten ne toimivat keskikarkeassa tai karkeassa kivennäismaassa. Jos altaan yläpuolisia maalajeja ei tunneta, mitoitetaan se hienon hiedan pidättymistä vastaavalle tasolle.

Laskeutusaltaan alapuolella olisikin hyvä olla jokin hienoa ainesta hyvin pidätävä ratkaisu, kuten pintavalutuskenttä, suojakaista tai perkaamaton oja, jossa on paljon kasvillisuutta. Hienojakoisten ja routivien maalajien kohteet ovat ongelmallisia laskeutusaltaille myös siitä syystä, että luiskien sortuminen voi täyttää altaan, ja pahimmassa tapauksessa muuttaa sen päästölähteeksi. Tällaisilla paikoilla luiskien suurin sallittu kaltevuus on 45°. Laskeutusaltaat on tarkoitus tyhjentää niiden täytyttyä, joten niiden tilaa tulee seurata aika ajoin. Tulvariskialueille altaita ei pidä rakentaa, sillä tällöin vaarana on sen tyhjentymisen itsestään, ja kerätyn kuorman leviäminen ympäristöön. (Joensuu 2013, 23 - 24)

Veden kulkunopeuteen ja alueellisiin vesimääriin voidaan vaikuttaa tehokkaasti pato- ja virtaamanhallintarakenteilla. Niiden rakentaminen kannattaa useimmiten suunnitella ojitushankkeen yhteydessä. Suunnitelmassa tulee ottaa huomioon valuma-alue, sen vesimäärät, kaltevuudet ja maaperä. Suomen metsäkeskus tarjoaa verkkosivuillaan useita paikkatietoaineistoja, joita kannattaa tässä yhteydessä hyödyntää. (Joensuu 2013, 24 - 25)

Putkipadoissa vesi kerätään ensin syvennykseen, jonka on tarkoitus toimia samalla lietevarastona. Tämän jälkeen selkiytynyt vesi ohjataan patorakenteen läpi valutuksen säätöputkella. Tulvahuippuja varten patorakenteen yläosaan asennetaan ylivuotoputki. Kuva 4 havainnollistaa putkipadon toimintaperiaatteen. (Joensuu 2013, 25 - 26)



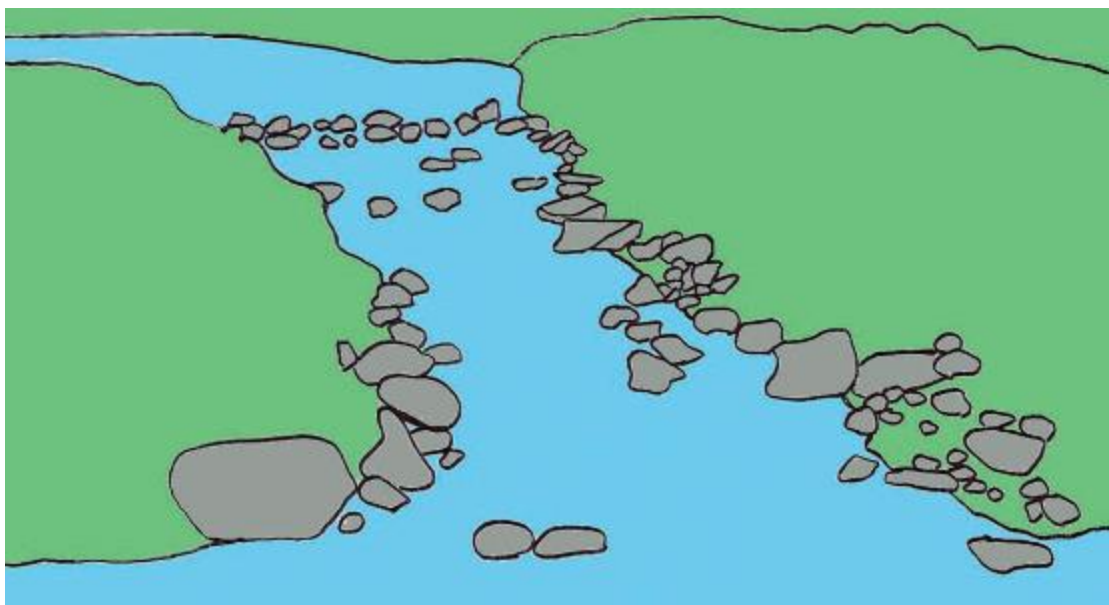
Kuva 4. Putkipadon toimintaperiaate (Joensuu ym. 2013, 26)

Putkipadoilla tasataan tulvahuippujen ja muiden hetkellisten vesimäärien kohtamisen vaikutusta virtaaman voimakkuuteen. Ne patoavat vettä hetkellisesti yläpuoliselle alueelle, ja estävät virtaaman voimistumisen sekä ylä- että alapuolellaan. Tämä ehkäisee kiintoaineen liikkeellelähtöä, ja saa mahdollisesti jo lähteneen aineksen laskeutumaan padon yläpuolelle. Putkipato sopii kohteisiin, joissa on suuria virtaaman vaihteluita. Toisaalta se ei sovi paikkoihin,

joissa puuston kasvu on vaarassa heikentyä yläpuolelle kerääntyvän vesimas-  
san johdosta, tai alueille, jossa maaperä on eroosioherkkää. Laskeutusaltaan  
kynnykselle rakennetulla putkipadolla voidaan parantaa altaan toimintaa. Ihan-  
netapauksessa vesi voitaisiin tämän jälkeen johtaa vielä pintavalutuskentälle  
tai suojakaistalle. (Joensuu 2013, 25 - 26)

Alueilla, joilla eroosioriski on korkea maalajista johtuen, voidaan virtaamaa hi-  
dastaa kuvan 5 esittelemällä pohjapadolla. Myös pohjakulkeumana liikkuva  
karkea kiintoaines pysähtyy näihin rakennelmiin. Peräkkäisillä padoilla voi-  
daan luoda putousportaiksi kutsuttava sarja, jossa veden juoksunopeus portai-  
den välillä voidaan rajata maaperän vaatimusten mukaiseksi. Nopeus määräy-  
tyy ojan pituuskaltevuuden perusteella, joka puolestaan riippuu patojen kor-  
keudesta. Rakennettaessa korkeudet tarkistetaan vaaituksella, jotta päästään  
oikeaan nopeuteen. Pohjapadot eivät estä kalojen kulkua, ja ne ovat parhaim-  
millaan maisemallisesti kauniita. (Joensuu 2013, 30 - 31)

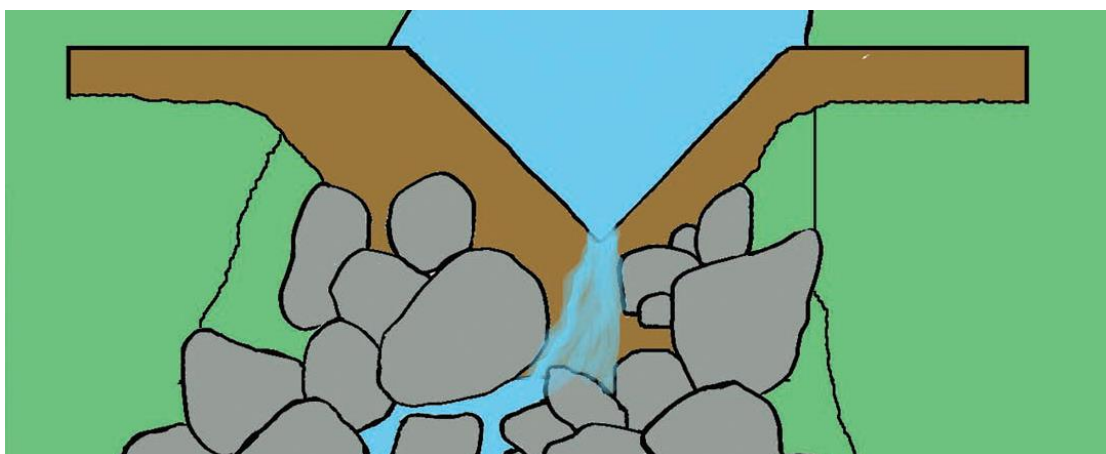
Pohjapatoja voi tehdä kunnostusojituksen yhteydessä tai erillisinä hankkeina.  
Rakennusmateriaalina voi käyttää kiviä, puuta tai muuta saatavilla olevaa ma-  
teriaalia. Parhaiten aikaa kestää kivi, ja siitä voi parhaimmillaan tehdä myös  
maisemallisesti kauniita rakennelmia. Suuren syöpymisriskin kohteissa pohja-  
patoja kannattaa käyttää yhdessä kaivu- ja perkauskatkojen kanssa. (Joensuu  
2013, 30 - 31)



Kuva 5. Pohjapato (Joensuu ym. 2012, 62)

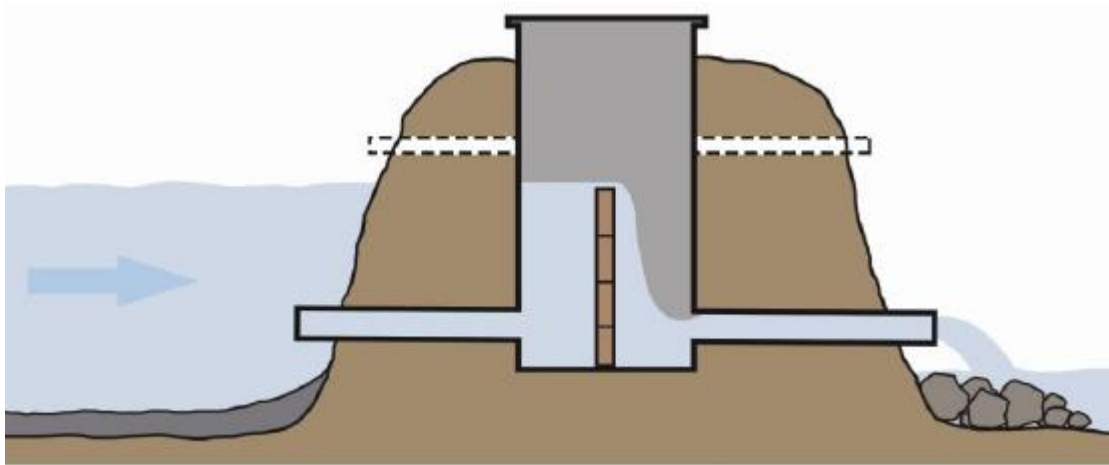
Pohjapato laskeutusaltaan purkukynnyksellä parantaa sen toimintaa hidastamalla veden poistumista. Kosteikoissa pohjapatoja käytetään veden kulun ohjailuun ja vesien tasaiseen jakamiseen alueelle. (Joensuu 2013, 30 - 31)

Muita virtaamanhallintaan käytettyjä rakenteita ovat V-pato, settipato ja munkki. V-pato on pieniin kohteisiin sopiva ratkaisu, jossa V-aukkoinen esimerkiksi vesivanerista tehty levy upotetaan ojauomaan, ja tuetaan kivillä kuvan 6 esittämällä tavalla. (Joensuu 2013, 29)



Kuva 6. V-pato (Joensuu ym. 2012, 62)

Levy hidastaa veden juoksunopeutta, tasaa jonkin verran virtaamien vaihte-  
luita ja patoaa osan vedestä yläpuolelle aiheuttamatta kuitenkaan puuston  
kasvua vaarantavaa vesimäärän lisääntymistä. V-padon tai rummun yhteyteen  
voidaan rakentaa settipato. Se on metallikehikko, johon asetetuilla lankuilla  
voidaan säädellä veden pinnan korkeutta. Se sopii esimerkiksi laskeutus-  
altaan purkupäähän, jolloin se samalla tehostaa kiintoaineen pidättymistä. Myös  
munkki mahdollistaa vesimäärien kontrolloinnin. Se on säätökaivo, joka upote-  
taan patopenkereeseen. Vesi ohjataan kaivoon putkea pitkin, ja lasketaan  
ulos toisen putken kautta kuten kuvassa 7. (Joensuu 2013, 28 - 29)



Kuva 7. Munkki (Joensuu ym. 2013, 29)

Putkien välissä on säätölevy, jonka korkeutta muuttamalla voidaan asettaa veden juoksunopeus halutulle tasolle. (Joensuu 2013, 28 - 29)

Pintavalutuskenttä on vesistön ja metsätaloudellisten toimenpiteiden kohteen väliin jäävä maa-alue, jolle vedet metsänkäsittelyalueelta johdetaan. Pintavalutuskentät hidastavat veden kulkua ja levittävät sen tasaisesti laajalle alueelle. Kasvillisuus ja maaperä suodattavat epäpuhtaudet ja pidättävät veteen liuenneita ravinteita hyvin tehokkaasti. Varsinkin turve puhdistaa vettä hyvin. Toiminnan kannalta onkin tärkeää, että maanpintaa ei rikota tai kasvillisuutta vaurioiteta kenttää rakennettaessa. (Joensuu 2013, 20)

Kenttiä kannattaa käyttää aina, kun maasto sen mahdollistaa. Sopiva alue on tasainen, sillä pinnanmuodoltaan vaihteleviin kohtiin syntyy helposti oiko- tai pintavirtauspaikkoja. Luonnontilaiset suot ovat ihanteellisia pintavalutuskenttiä, mutta ojitettu suokin toimii hyvin, mikäli se ei ole puuntuotannollisessa käytössä. Veden tasaista jakautumista voidaan tarvittaessa edesauttaa yläpuolelle rakennettavalla kammanmuotoisella jako-ojalla. Myös laskeutusallas kannattaa sijoittaa ennen pintavalutuskenttää, jotta karkeimmat jakeet saadaan pois tukkimasta luonnon luomaa suodatinta. Sopiva koko on 1 % yläpuolisen valuma-alueen koosta, mutta 50 hehtaaria suurempaa aluetta ei kannata kohdistaa yhdelle kentälle. Mikäli pintavalutuskentän yläpuolella on mahdollista käyttää virtaamansäätörakenteita, voidaan onnistuneella vesimäärän säätelyllä saada kohtalaisen hyviä puhdistustuloksia jo 0,15 % valuma-alueesta ko-koisella kentällä. (Joensuu 2013, 20 - 22)

Kosteikot ovat patoamalla, pengertämällä tai kaivamalla tehtyjä osittain avovesipintaisia alueita, joille metsänkäsittelyalueilta valuvia vesiä ohjataan. Hyvällä kohdevalinnalla voidaan välttää ja vähentää kaivamista, joka voi varsinkin hienojakoisilla mailla synnyttää vesistökuormituksia. Suuren laskeutusaltaan ja pintavalutuskentän yhdistelmänä voi syntyä kosteikko, ja rajanveto näiden välillä ei ole selkeää. (Joensuu 2013, 31)

Kosteikon matalat kohdat hidastavat veden liikettä ja syvänteet saavat karkean kiintoaineen laskeutumaan pohjaan. Mataliin kohtiin syntyy myös nopeasti kosteikkokasvillisuutta, joka suodattaa hienojakoisempaa kiintoainetta ja pidättää ravinteita. Olennainen tekijä kosteikon toimivuuden kannalta on veden viipymä alueella. Veden liikkumisnopeuden, virtaussuuntien ja kosteikon koon yhdistelmän tulisi olla sellainen, että vesi viipyisi alueella 1 - 2 vuorokautta myös kevään tulva-aikoina, jolloin ympäristöllinen kuormitus on muihin vuodenaikoihin verrattuna huomattavan suuri. Kosteikko vaatii tuekseen usein yhdistelmän erilaisia pato- ja virtaamanhallintarakenteita, jotka tulee suunnitella erikseen paikallisten tarpeiden mukaan. (Joensuu 2013, 31 - 34)

### **3 VESIENSUOJELUSSA HYÖDYNNETTÄVÄT PAIKKATIETOAINIESTOT**

#### **3.1 Luonnonhoidon paikkatietoaineistot ja valuma-aluetyökalut**

Edellisessä luvussa käsiteltiin eri toimenpiteiden aiheuttamia vesistövaikutuksia. Itse toimenpiteen lisäksi kuormitusriskiin vaikuttavat etäisyys vesistöön sekä paikalliset tekijät kuten maaperä, topografia, kasvillisuus tai sademäärät. Nämä osatekijät käsitellään tässä luvussa RUSLE 2015 -mallin yhteydessä, sillä se huomioi kaikki edellä mainitut komponentit. Suomen metsäkeskus tarjoaa verkkosivuillaan useita luonnonhoidon paikkatietoaineistoja ja työkaluja. Tässä opinnäytetyössä niistä esitellään siis RUSLE 2015 maa-ainesten huuhtoutumiskartta, TWI-kosteusindeksitiedot ja vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto. Ne ovat saatavilla osoitteessa:

<https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=9fff2da9d8ed48deb2f28e4ae629bba0>

Ne voi löytää myös seuraamalla polkua [www.metsakeskus.fi](http://www.metsakeskus.fi) → palvelut → luonnonhoidon paikkatietoaineistot → esittely



Samasta paikasta pääsee käyttämään myös työssä hyödynnettyjä Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja SMK:n laatimia valuma-alueen määrittäystyökaluja. Suora linkki SYKE:n VALUE työkaluun on <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>.

### 3.2 RUSLE 2015 –malli

#### 3.2.1 RUSLE -mallin rakenne

RUSLE-lyhenne tulee sanoista Revised Universal Soil Loss Equation, ja se kuvaa eroosipotentialiaalia. Käytännössä se ilmoittaa mahdollisen liikkeelle lähtevän kiintoaineen määrän maan muokkausta seuraavan vuoden aikana, ja sen mittayksikkö on tn/ha/v. Eroosipotentialiaali lasketaan viiden tekijän tulona kaavalla

$$E = R \cdot K \cdot C \cdot LS \cdot P \quad (1)$$

jossa	<i>E</i>	eroosipotentialiaali	[tn/ha/v]
	<i>R</i>	sadantatekijä	[MJmm/ha/v]
	<i>K</i>	maaperätekijä	[tn/MJmm/ha/v]
	<i>C</i>	kasvillisuustekijä	[-]
	<i>LS</i>	pinnanmuototekijä	[-]
	<i>P</i>	toimenpidetekijä	[-]

Suomessa käytössä olevasta mallista on jätetty P-tekijä pois. Vaikka potentialiseen eroosioon vaikuttavia toimenpiteitä onkin tehty, niistä ei ole tarpeeksi kattavaa tietoa mallissa hyödynnettäväksi. (Panagos ym. 2015a.)

#### 3.2.2 Sadantatekijä

Sademäärät vaikuttavat paikallisesti liikkeellä olevan veden määrään, ja sitä kautta eroosioon. Talvisin vesi varastoituu lumeksi. Kevään valumahuipun voimakkuus riippuu lumen määrästä, sen vesipitoisuudesta ja sulamisnopeudesta. Viileänä keväällä lumi sulaa hitaammin ja vesi vapautuu tasaisemmin. Virtaaman määrä jää pienemmäksi, ja eroosiota tapahtuu vähemmän. (Joensuu ym. 2013, 13.)

Sateen eroosiovaikutus perustuu putoavan veden liike-energiaan. Maahan iskeytyvät pisarat irrottavat siitä hiukkasia, ja saavat näin aikaan pintaeroosiota. Paljas kivennäismaa, kuten vastakaivettu ojaluiska, maanmuokkausjälki tai ajourapainuma, on aina altis tälle vaikutukselle. Pois valuva sadevesi ottaa mukaansa irronnutta maata. Useimmiten se alkaa keräytyä painovoiman ja maan epätasaisuuden johdosta, ja muodostaa virtausuomia. Virtausvoima puolestaan irrottaa lisää maa-ainesta, ja syntyy uomaerosio. Vesi siis rikkoo maaperää sekä sataessaan että virratessaan, ja lisäksi se toimii kiintoaineen ja ravinteiden kuljettajana. Sademäärä onkin yksi tärkeimmistä eroosioon vaikuttavista tekijöistä. (Joensuu ym. 2012,15; Panagos ym. 2014a.)

Sateiden ajoituksella ja intensiteetillä on myös suuri merkitys. Isokin vesimäärä voi tasaisesti pitkälle ajanjaksolle jakautuneena olla aiheuttamatta vahinkoa. Toisaalta kevään sulamisvesien valumahuippuun ajoittuva rankkasade voi lisätä merkittävästi paikallista virtaamaa ja huuhtoutuvan kiintoaineksen määrää. Aiemmin kuviteltiin, että merkittävin osa sateiden eroosiovaikutuksesta liittyy rankkasateisiin ja myrskyihin, minkä vuoksi niiden merkitys korostui voimakkaasti myös tutkimus- ja mittaustoiminnassa. Myöhemmin on todistettu, että oikean eroosiovaikutuksen määrittämiseksi tulee selvittää sademäärien ja niiden intensiteetin kumulatiivinen keskiarvo, joka huomioi huippujen lisäksi myös tasaisemmat ja keskisuuret sateet. (Joensuu ym. 2013, 13; Renard ym. 1997, 22.)

RUSLE 2015 -mallin R-tekijä mittaa sateen vaikutusta pinta- ja uomaerosioon, ja sen tarkka määrittely on pitkä prosessi. Sademääriä seurataan lyhyin, vähintään minuutin ja enintään tunnin, väliajoin vähintään seitsemän vuotta. Jokaiselta seurantajakson sateen puolelta tunnilta määritellään sateen korkein intensiteetti ja kerrotaan se putoavan veden liike-energialla. Vuosittaiset tulokset lasketaan yhteen, ja eri vuosien tuloksista muodostetaan keskiarvo. R-tekijän mittayksikkö on MJmm/ha/v. Suomessa sateiden intensiteetti ja kesto ovat melko vähäisiä, ja R-arvot eivät nouse kovin korkeiksi. (Leinonen 2018; Panagos ym. 2015a)

### 3.2.3 Maaperätekijä

Kivennäismaalajit jaetaan karkeisiin, keskikarkeisiin ja hienojakoisiin. Turve- mailla luokitteluperusteena käytetään maatuneisuusastetta: maatumattomat, kohtalaisesti maatuneet ja pitkälle maatuneet. Maatumaton rahkaturve on hyvin ravinneköyhää, ja siinä kasvinosat ovat vielä selvästi tunnistettavissa. Kohtalaisesti maatuneissa turvemaissa on vielä tunnistettavissa joitain kasvirakenteita, ja niissä tyypeä on yleensä tarpeeksi metsätalouden tarpeisiin. Pitkälle maatuneessa turpeessa kasvirakenteet eivät enää ole tunnistettavissa. Tyypeä on runsaasti, mutta metsätalouden näkökulmasta ravinne-epätasapaino on yleinen ongelma varsinkin paksuturpeisilla mailla. (Joensuu ym. 2013, 13 - 14.)

Maalajilla ja maanpinnan laadulla on suuri vaikutus maan vedenjohtavuuteen, ravinteiden pidätyskykyyn ja eroosioherkkyyteen. Hienojakoiset ja savea sisältävät kivennäismaat ovat huomattavasti herkempiä eroosiolle kuin karkeat kivennäismaat tai maatumaton turve. Tämä huomataan esimerkiksi tarkasteltaessa ojaluiskien syöpmistä erilaisissa kohteissa. Tätä jaottelua ja sitä vastavia ominaisuuksien eroavaisuuksia hyödynnetäänkin suunniteltaessa vesien- suojelurakenteita tai valittaessa metsänuudistamisen yhteydessä maanmuok- kausmenetelmää. (Joensuu ym. 2013, 14.)

Maaperän eroosioherkkyyttä kuvataan RUSLE 2015 -mallissa tekijällä K. Sen arvo rakentuu maan koostumuksen, rakenteen, vedenläpäisevyyden sekä orgaanisen aineen osuuden yhdistelmänä. Se kuvaa kohteen alttiutta pinta- ja uomaeroosiolle. Toisin sanoen siinä, missä R-tekijä kuvaa sadannan voimakkuutta, K-arvo kuvaa paikallisen maa-aineksen menetystä siihen kohdistuvan ulkoisen voiman yksikköä kohden. Mittayksikkönä käytetään tn/sadantayk- sikkö. (Panagos ym. 2014a; Renard ym. 1997, 68.)

Tarkimmin K-tekijän arvoja voitaisiin määrittää kenttäkokein. Tämä olisi kuitenkin hyvin kallis ja työläs tapa. Lisäksi saatujen arvojen yleistettävyyys koealojen ulkopuolelle olisi heikko. Tästä syystä onkin keskitytty tutkimaan, millaisia arvoja K-tekijälle saadaan eri maalajeilla ja maannoksilla. Näissä tutkimuksissa

haasteeksi on osoittautunut sademäärien ja muiden vaikuttavien tekijöiden kuten topografian ja kasvillisuuden vakiointi tai yhteisvaikutuksen määrittäminen. (Panagos ym. 2014a)

RUSLE 2015 -malli kuvaa keskiarvoja, mikä osaltaan vaikeuttaa arvojen määrittämistä Suomen kaltaisille alueille, joilla vuodenaikojen sisäiset olosuhdevaihtelut voivat olla suuria. Esimerkiksi maan kausittaisen jäätymisen ja sulamisen tiedetään lisäävän eroosiota, mutta sen huomioiminen mallissa ei ole yksinkertaista. Tutkimuksissa on kuitenkin määritelty useita yhtälöitä, jotka kuvaavat K-tekijän arvon muodostumista eri parametrien lähtöarvojen seurauksena. Uusimpana tarkennuksena mukaan on otettu kivisyyden eroosiota pidättävä vaikutus. Aiemmissä tuloksissa tämä on aiheuttanut hajontaa, sillä kivisyys saattaa vaihdella paljonkin muuten identtisessä maaperässä. Toiseksi yhtä kaikkiin olosuhteisiin sopivaa kaavaa ei ole löydetty, mutta eri yhtälöiden sopivuudesta tiettyihin olosuhteisiin tietoa alkaa olla. Suomessa malli perustuu Geologian tutkimuskeskuksen maannostietokantaan ja eri maannoksille määriteltyyn K-arvoon. (Leinonen 2018; Panagos ym. 2014a; Renard ym. 1997, 74, 78.)

### **3.2.4 Kasvillisuustekijä**

Pintakasvillisuudella on eroosiota ja vesistökuormitusta vähentävä vaikutus. Tämä näkyy hyvin esimerkiksi ojastoissa, joissa paljas maa on ensin altis huuhtoutumiselle, mutta ajan mittaan syntyvä kasvillisuus alkaa sitoa maa-ainesta juuristollaan, pidättää kiintoainetta ja sitoa ravinteita. Se myös imee vettä juuristollaan ja haihduttaa sitä lehtiensä avulla. (Joensuu ym. 2013, 13.)

RUSLE-mallin C-tekijä kuvaa tätä kasvipeitteisyyden maa-ainesta pidättävää vaikutusta eroosioherkkyyteen. Kokonaisuutena peitteisyydellä on suuri vaikutus, sillä se suojaa myös pintaeroosiolta estämällä pisaroiden iskeytymisen suoraan maahan. Varsinkin matalilta lehdtä maahan putoavat pisarat tulevat pienemmällä nopeudella, joten niiden eroosiota aiheuttava liike-energia on vähäisempi. Uomaerosio puolestaan pienenee, koska veden määrä ja sitä myöten valuma vähenee juuriston imun ja lehtien haihdutuksen seurauksena. (Panagos ym. 2014b.)

Maanmuokkaus ja maan käyttötapa ylipäänsä vaikuttavat voimakkaasti kasvillisuuden määrään ja laatuun, ja ne lasketaan mukaan määriteltäessä C-tekijän arvoa. Kasvillisuustekijä on merkityksellinen myös siinä mielessä, että siihen voidaan suhteellisen helposti vaikuttaa eri toimenpiteillä verrattuna sadantaan, maalajiin tai pinnanmuotoihin. Metsätalouden vesistövaikutusten mallintaminen perustuu C-arvon muunteluun. Sen avulla voidaan laskea eroosioherkkyys kasvipeitteen kanssa ennen toimenpidettä, ja sitä voidaan verrata arvoon ilman maata sitovaa kasvillisuutta mahdollisen maanmuokkauksen jälkeen. Eri maanmuokkaustavoille on määritelty vaikutustaan vastaavat arvot. Esimerkiksi mätästys nostaa riskiä vähemmän kuin laikutus tai äestys. Näin voidaan löytää ne kuviot ja kuvion osat, joilla riskit kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumalle ovat suurimmat. Toisaalta voidaan vertailla eri käsittelytapojen vaikutusta eroosioherkkyyteen. (Leinonen 2016; Leinonen 2018; Panagos ym. 2014b.)

C-tekijä määritellään vertaamalla paikallisen kasvillisuuden eroosiota ehkäisevää vaikutusta viljelemättömään ja kasvipeitteettömään muokattuun peltomaahan. Tätä verrokkimaata pidetään maksimaalisen eroosioherkkänä, ja se saa mallissa arvon 1. Eri kasvillisuustyypeille määritellään se suhde, jonka verran ne maata pidättävät, verrattuna paljaaseen ja muokkaamattomaan peltoon, ja annetaan niille arvo väliltä 0 - 1. Tämän jälkeen C-tekijä lasketaan paikalla esiintyvien kasvillisuustyyppien painotettuna keskiarvona. Kaukokartoitusaineistoissa kasvipeitteisyyden ja sen tiheyden mittaustarkkuus vaihtelee paljon. Yksinkertaisimmillaan pikselitason informaatio kertoo ainoastaan, onko kasvillisuutta tietyssä kohdassa vai ei. Edistyneemmillä signaalianalyyseillä voidaan kuitenkin yhdelle pikselille määrittää useampia tasoja. (Panagos ym. 2014b.)

Suurin vaikutus C-tekijään on maankäyttömuodolla. Metsät sitovat maata erittäin hyvin esimerkiksi peltoihin verrattuna. Eroosioherkkyyden näkökulmasta peltojen metsityksellä on siis iso positiivinen vaikutus. Jos tarkastellaan eri tekijöitä maankäyttömuotojen sisällä, suurin vaikutus on maanmuokkauksen voimakkuudella. Maan pintaa rikkomattomilla ja kasvipeitteisyyden säilyttävillä toimintatavoilla voidaan C-arvoa nostaa huomattavasti. (Panagos ym. 2014b)

### 3.2.5 Pinnanmuototekijä

Maan pinnanmuotojen vaihtelun vaikutusta eroosioherkkyyteen kuvataan LS-arvolla. Se ottaa huomioon sekä kaltevuuden pituuden ( $L=length$ ) että jyrkkyyden ( $S=steepness$ ). Tekijän vaikutus eroosioherkkyyden kokonaisarvoon on hyvin vahva. Tasaisilta alueilta maa-aines ei huuhtoudu kovin helposti, vaikka muut tekijät olisivatkin epäsuotuisia. Jyrkillä rinteillä taas pienetkin kohoamat muissa arvoissa nostavat kokonaisherkkyyttä merkittävästi. (Panagos ym. 2015b)

LS-yhdistelmätekijän määrittäminen perustuu topografian digitaaliseen mallintamiseen. Korkeusmalleissa kuvattavan alueen eri sijaintipisteille määritetään korkeus, ja korkeuserojen perusteella voidaan kuvata maan kaltevuus. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi määrittäessä virtaussuunta-algoritmeja, joiden perusteella pystytään mallintamaan veden valumisen suunta, juoksunopeus ja kerääntyminen maastossa. Maan pinnanmuodot vaikuttavat eroosioherkkyyteen, koska ne ohjaavat veden kulkua, joka taas saa aikaan virtauseroosiota. (Panagos ym. 2015b.)

RUSLE 2015 -mallin kehitystyö jatkuu edelleen. Toistaiseksi yksi sen heikkouksista on, ettei se huomioi kiintoaineiden ja ravinteiden pidättymistä lähtöpaikan ja vesistön väliselle virtausreitille. Yhdistämällä pidättymistieto nykyisellä kaavalla laskettuun arvoon voidaan mallintaa vesistöön päätyvä kuormitus. Näin tunnistetaan jokaisen uudistuskohteen ja kuvion vesiensuojelullinen riskitaso. RUSLE 2015 -malli ei myöskään ole kovin käyttökelpoinen tasaisilla turvemilla, joissa lähelle nolaa jäävä pinnanmuototekijä madaltaa arvot ole-mattoman pieniksi. Metsäkeskuksen tarjoama RUSLE 2015 -mallin lähtötiedot eivät myöskään huomioi uomaeroosiota. Näihin haasteisiin voidaan vastata seuraavissa luvuissa esiteltävien TWI -kosteusindeksin ja vesiuomien huuhtoutumisriskiaineiston avulla. (Leinonen 2016.)

### 3.3 TWI -kosteusindeksitiedot

Lyhenne TWI tulee sanoista Topographic Wetness Index ja se kuvaa paikallisia maaperän kosteusolosuhteita ja siten maaperän kantavuutta. Käsitteenä kantavuudella viitataan siihen paineeseen, jota maan pinta rikkoutumatta kes-

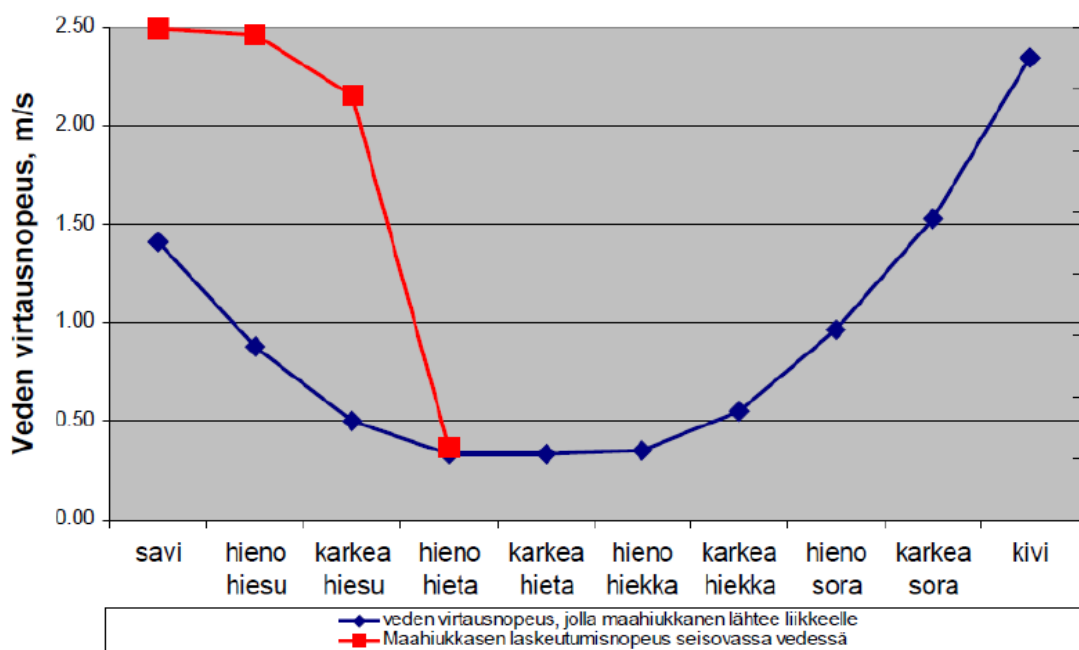
tää. Vesiensuojelun näkökulmasta tällä on merkitystä ajourapainumien syntyyn. Indeksien määrittely perustuu veden kulun ja kerääntymisen riippuvuuteen maan kaltevuuksista. Laserkeilauksen avulla on maan pinnanmuodoista voitu luoda hyvin tarkka malli, jonka ruutukoko on 2 m x 2 m. Itse indeksien laskennassa otetaan rinnekaltevuuksien lisäksi huomioon kohteen yläpuolisen valuma-alueen koko. Sen määrittämiseen on käytetty erilaisia virtaussuunta-algoritmeja. Niissä tarkasteltava alue jaetaan ruudukoihin, jolloin jokaista solua ympäröi yksi solu kaikissa ilmansuunnissa ja väli-ilmansuunnissa. Yhteensä ympäröiviä soluja on siis kahdeksan. Yksinkertaisimmissa algoritmeissa veden oletetaan virtaavan siihen naapuriruutuun, joka on jyrkimmän alamäen suunnassa. Kehittyneemmissä versioissa ruutuun tuleva virtaus jaetaan eteenpäin kaikkiin alempana oleviin soluihin alamäen jyrkkyyden suhteessa. (Salmi ym. 2013, 6.)

TWI-kosteusindeksiä määriteltäessä tehdään muutamia yksinkertaistuksia, jotka voivat heikentää sen tarkkuutta ja paikkansapitävyyttä varsinkin tasaisilla ja loivapiirteisillä alueilla. Mallissa jokaisen pisteen oletetaan olevan jatkuvasti yhteydessä ylempään valuma-alueeseen, vaikka käytännössä valuma-alueen koko voi vaihdella esimerkiksi tulvatilanteen mukaan. Toisaalta allasvaikutusta, eli veden kertymistä alapuolisille valuma-alueille, ei huomioida ollenkaan. Luonnossa veden virtaukseen ja mahdolliseen pidättymiseen matkalle vaikuttaa myös maaperän koostumuksen vaihtelu. Toisin kuin edellä esitellyssä RUSLE 2015 -mallissa TWI-kosteusindeksissä maaperä oletetaan tasalaatuiseksi. Rajoitteista huolimatta indeksin tasolla on todettu olevan yhteys maaperän kosteutta osoittavien rahkasammalten esiintymiseen sekä maastovaurioihin hakkuukohteiden korjuu- ja ajourilla. Luotettavaa rajaa vaurioiden varmalta syntymiselle tai maapohjan kestävyydelle ei kuitenkaan ole voitu määrittellä. TWI-kosteusindeksien arvoja kannattaakin täydentää muilla tiedoilla paikallisista olosuhteista. (Salmi ym. 2013, 7, 30.)

### **3.4 Vesiuomien maa-aineksen huuhtoutumisriskiaineisto**

Vesiuomien maa-aineksen huuhtoutumisriskin määrittäminen perustuu tietoon paikallisesta maalajista ja veden virtausnopeudesta. Mallin maaperätiedot on otettu Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) tuottamista aineistoista, ja veden

virtausnopeus on saatu SMK:n tekemästä veden virtausmalliaineistosta. Virtausmalliaineistossa nopeus on saatu laserkeilauksella luodun maan pinnanmuotomallin avulla lasketuista kaltevuuksista. Eri maalajeille on määritelty rajanopeudet, jotka kertovat suurimman veden virtausnopeuden, jolla maa-aines ei vielä ala huuhtoutua. Rajanopeudet riippuvat maalajin raekoosta, ja ne on esitelty kuvassa 2.



Kuva 2. Veden virtausnopeuden vaikutus kivennäismaahiukkasen liikkeellelähttöön (Joensuu ym. 2012, 16)

Yhdistämällä maalaji- ja sen rajanopeustieto veden virtausnopeustietoon on saatu määriteltyä ne alueet, joilla rajanopeus ylittyy ja eroosiota syntyy. Vesiuomien huuhtoutumisriksiaineistossa näillä alueilla sijaitsevat ojat, purot ja notot on merkitty punaisella. (Keisala 2016.)

### 3.5 Valuma-alueen määrittäytökalu pienille uomille

Käsitteenä valuma-alue tarkoittaa sitä aluetta, jolta vedet kerääntyvät tarkasteltavaan pisteeseen tai tarkasteltavalle alueelle. Valuma-alueen määrittämiseen on tarjolla kaksi erilaista työkalua. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) suunnittelemalla VALUE-työkalulla on helppo määrittää uomien, niiden osien, järvien tai kokonaisten vesistöjen valuma-alueita. Työkalun toiminta perustuu Maanmittauslaitoksen (MML) korkeusmallin avulla laskettuun virtaussuuntamalliin. Valuma-alueiden Suomen rajojen ulkopuolelle jäävien osien määrittä-



lyssä on hyödynnetty NASAn yhteistyössä Japanin kauppa ja teollisuusministeriön (METI) kanssa tuottamaa maailmanlaajuista korkeusmallia. MML:n korkeusmalli on laskettu 10 metrin ja NASAn 30 metrin hiloina. Virtaussuunta on määritelty algoritmeilla, jotka osoittavat veden liikkeen kustakin hilaruudusta alimpaan ympärillä olevaan ruutuun. Aineistossa huomioidaan myös uomaverkoston pääreitistö ja painanteet, jotka estävät ulosvirtauksen. Työkalu on selainpohjainen, ja se on käytettävissä osoitteessa <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>. Sovellus laskee tuloksen kartalle tiettyä vesistön kohtaa klikkaamalla. Tuloksen päälle voi selaimen tuoda omia shape-tiedostoja tai karttata-voja WMS-rajapinnan kautta. Toisaalta selaimessa määritellyn alueen voi tuoda shape-tiedostona omalle koneelle ja sitä kautta paikkatieto-ohjelmistossa hyödynnettäväksi. (Suomen ympäristökeskus 2017)

Suomen metsäkeskus on laatinut oman työkalun valuma-alueen laskentaan. Se perustuu ArcMap -ohjelmalla laskettuihin Flow Direction ja Flow accumulation rasteritiedostoihin, jotka kuvaavat pintavalunnan suuntaa ja veden kertymistä. SMK:n tarjoama vaihtoehto on tarkoitettu erityisesti yksittäisten kohteiden kuten pienten uomien tai niiden kohtien valuma-alueen määrittämiseen. Kartalta valitaan purkupiste ja määritetään siitä haluttu tartuntaetäisyys. Tartuntaetäisyydellä tarkoitetaan sitä matkaa purkupisteestä, jonka säteeltä ohjelma etsii vesiuoman alimman pisteen. Tälle pisteelle lasketaan ja piirretään yläpuolinen valuma-alue. Mikäli tulos ulottuu useammalle SYKE:n hierarkkisen valuma-aluejaon 3-jakoalueelle, se näytetään vain valitun purkupisteen alueelta. Tämän tyypisiin ja sitä suurempiin kohteisiin kannattaakin käyttää VALUE-työkalua. SMK:n työkalu on käyttökelpoinen apu yksittäisten vesiensuojeluhankkeiden toteutuksessa, vaikka ei kokonaan maastosuunnittelua korvaa. Yksi merkittävä etu on mahdollisuus käyttää sitä geoproessointipalveluna palvelinyhteyden kautta suoraan omassa paikkatietojärjestelmässä. Tällöin tulokset kirjautuvat SMK:n palvelimelle väliaikaisina tiedostoina, joista ne voidaan kirjoittaa tallennushakemistoon käyttäjän koneelle tai muuhun hänen valitsemaansa sijaintiin. (Keisala & Jämsén 2018.)

### 3.6 Paikkatietoaineistojen hyödyntäminen

Tämä alaluku keskittyy kuvaamaan niitä analyysejä ja johtopäätöksiä, joita edellä kuvattujen aineistojen antamien tietojen perusteella voi tehdä. Teksti tukeutuu Leinosen (2018) ja Niemisen (2018) koulutusmateriaaleihin.

Hyödyntämällä paikkatietoaineistoja voidaan päästä kaavamaisesta yleisohjeiden noudattamisesta kohti täsmämetsänhoitoa. Esimerkiksi pintavalutuskenttien suositeltu koko perustuu puhtaasti valuma-alueen hehtaareihin. Siinä ei oteta huomioon sitä, miten herkästi alueella huuhtoumaa syntyy tai kuinka suuria potentiaalisia kuormituksia toimenpiteet aiheuttavat. Kohdekohtaiset olosuhteet tuntemalla voidaan välttää haitallisia ympäristövaikutuksia. Toisaalta tehokkuus ja taloudellisuus paranevat, kun toimenpiteiden suunnittelussa ja toteutuksessa ei tarvitse varoa turhaan siellä, missä riskit ovat vähäiset. Käytännössä tähän päästään yhdistelemällä tietoa luvussa 2 kuvatuista metsätalouden toimenpiteiden vesistövaikutuksista aiemmin tässä luvussa kuvattujen paikkatietoaineistojen kanssa. Toimenpiteitä voidaan rajoittaa tai jättää tekemättä kohdissa, joissa niiden tiedetään aiheuttavan vahinkoa. Toisaalta vaihtoehtoisista kuormitusta välttävästä, keräävästä ja puhdistavista toimenpiteistä voidaan valita aina riskitason ja tarpeen mukaan tehokkaimmat ja taloudellisimmat. Lisäksi vertailun tuloksena voidaan hahmottaa tarkemmin, millainen luvussa 4 kuvattujen vesiensuojelumenetelmien yhdistelmä vastaa parhaiten kohteen tarpeita.

Työmaakohtaisten toimenpiteiden suunnittelu kannattaa aloittaa tutkimalla, mitä tietoa kohteesta paikkatietoaineistojen avulla saadaan, ja pohtimalla sen jälkeen sopivia tapoja riskien huomioimiseksi. Yksi vesiensuojelun kannalta haasteellinen kohdetyyppi on rantametsä, jossa RUSLE-malli osoittaa potentiaalisen kuormituksen vaihtelevan voimakkaasti tai se on kauttaaltaan korkea. Maan pinnan rikkoutuminen näillä kuvioilla voisi synnyttää suuren huuhtouman, jota ei vesistön välittömän läheisyyden vuoksi saataisi kerättyä tai pysäytettyä millään suojelurakenteilla. Pahimmillaan suojelurakenteeksi jätetystä suojakaistasta voi tulla paha päästölähde. Yksi ratkaisu niihin kohteisiin, joilla riskitaso on epätasainen, on suojakaistan leveyden vastaava vaihtelu. Taloudelliset menetykset eivät tässä ratkaisussa välttämättä ole kovin mittavat, jos

säästöpuiksi valitaan kaistan levennyskohtiin jäävät puut. Tällöin niissä kohdissa, jossa riski on pieni, käytetään sertifikaatin minimileveyttä.

Mikäli RUSLE-mallin osoittama potentiaalinen kuormitus on kohteessa tasaisesti korkea, ei säästöpuiden vaadittu minimimäärä useinkaan riitä kattamaan suojakaistan levennystä koko matkalta. Tällöin kannattaa tarkastella, sopiiko kohde muilta olosuhteiltaan uudistettavaksi sellaisilla menetelmillä, joissa maan pintaa ei rikota. Toinen vaihtoehto on hyväksyä joko taloudellinen tappio leveämmän suojakaistan muodossa tai suuri potentiaalinen vesistökuormitus maan muokkauksen yhteydessä. Jos muokkaukseen kuitenkin päädytään, voidaan senkin haittoja minimoida välttämällä yhtenäisen muokkausuran ja siten valmiin vesiuoman syntymistä. Tämä toteutuisi valitsemalla menetelmäksi mätästys tai laikutus. Muokkausjäljen suunta tulisi joka tapauksessa olla veden juoksusuuntaan poikittain, jotta jäljet toimisivat enemmän veden mahdollisina kerääntymiskohteina kuin mahdollisina juoksureitteinä. Samoja valintoja kannattaa tehdä myös muissa kuin rantametsissä, mikäli paikan potentiaalinen huuhtouma on suuri.

Maan muokkauksen lisäksi maan pinta rikkoutuu usein tahattomasti metsäkoneiden alla. Kaukokartoitusaineistoista kosteusindeksi ennustaa hyvin urapainumien riskikohdat ja RUSLE potentiaalisen huuhtouman määrän, jos painumia syntyy. Lisäksi kosteusindeksin avulla voidaan tunnistaa ja rajata sellaiset purot ja norot, joita on ihmissilmällä vaikea maastossa havaita. Tahatonta ja tarpeetonta maan pinnan rikkoutumista ja huuhtoumien syntyä voitaisiin välttää pienillä reittivalintojen muutoksilla ja sopivammilla purojen ja norojen ylityskohtien käytöllä. Toisaalta pienipiirteiset pehmeiköt sopisivat hyvin säästöpuukohteiksi, jolloin maan pinnan rikkoutumisen riski voitaisiin välttää ilman taloudellisia tappioita.

Vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto tuo merkittävää lisätietoa, kun tehdään päätöksiä turvemaiden hakkuista ja niiden yhteydessä tarvittavasta kunnostusojituksesta. Kohteissa, joissa uomaerosion riski on merkittävä, voidaan kunnostusojituksen tarve välttää tai se voidaan toteuttaa kevyemmin, mikäli kohteeseen on mahdollista soveltaa jotain jatkuvapeitteistä kasvatusmenetelmää. Tällöin puuston haihdutusvoima säilyy ja pohjaveden pinta pysyy alem-

pana. Tarvittavien ojien määrä on vähäisempi ja syvyys matalampi. Riskitasojen hahmottamisesta on hyötyä niissäkin kohteissa, joissa kunnostusojitus päätetään toteuttaa. Korkean riskin kohtiin voidaan mahdollisuuksien mukaan jättää kaivukatkoja. Toisaalta eroosioriskin ja niiden kohtien tiedostaminen auttaa muiden vesiensuojelurakenteiden sijoittelussa ja mitoituksessa.

Paikkatietoaineistot ja sähköiset työkalut eivät kuitenkaan kokonaan korvaa paikallistuntemusta, maastotyötä ja kohdekohtaista suunnittelua. Esimerkiksi RUSLE-malli perustuu useisiin pitkän ajan keskiarvoihin ja alueellisen tason tietoihin. Tietyn työmaan tarkat ominaisuudet ja ajankohtaiset olosuhteet voivat poiketa mallin ennustamista, ja ne tulee aina tarkistaa tapauskohtaisesti. Toisaalta SMK:n valuma-alueelaskuri ei osaa yhdistää esim. tierummun välityksellä toisiinsa yhteydessä olevia valuma-alueita. Tällaisten rumpujen mahdollinen olemassaolo tulee selvittää itse, ja laskea sen jälkeen valuma-alueet todellisuutta vastaavasti.

## 4 PROJEKTITYÖ OPINNÄYTTEENÄ

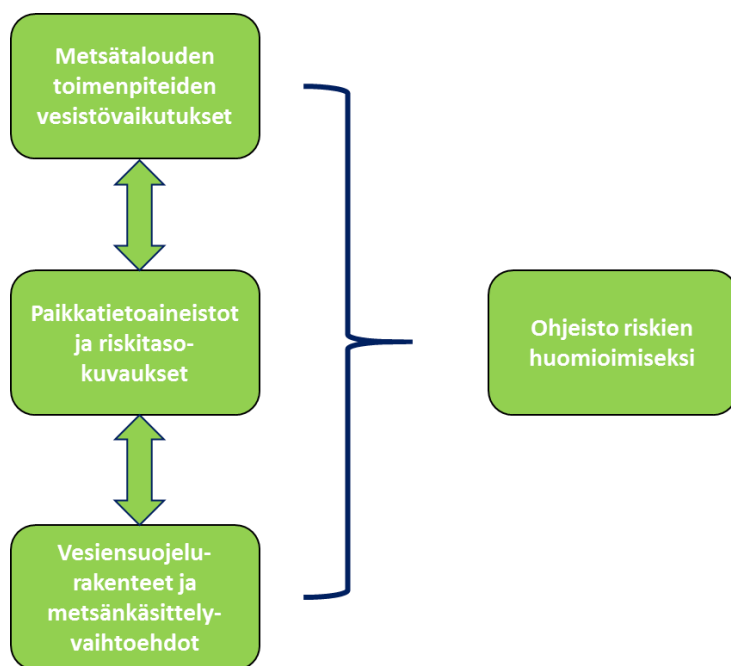
### 4.1 Projektimuotoisen opinnäytteen metodologia

Opinnäytetyössä luotiin tuotos, jonka tarkoituksena oli kehittää metsätalouden ammattilaisten toimintaa, ja minimoida tämän toiminnan vesiensuojelullisia vaikutuksia. Tällaiseen työhön menetelmäksi sopii hyvin toiminnallinen opinnäytetyö, joka usein ”...*tavoittelee ammatillisessa kentässä käytännön toiminnan ohjeistamista, opastamista, toiminnan järjestämistä tai järjeistämistä*” (Vilkka & Airaksinen 2003, 9).

Toiminnallisissa opinnäytetöissä tuotosten tueksi tarvitaan monesti teoreettisia näkökulmia eri aihepiireistä. Tällöin on tärkeää, että käsitteiden väliset yhteydet on selkeästi ymmärretty ja kuvattu (Vilkka & Airaksinen 2004, 75). Hyvä tapa sitoa eri teemoista hyödynnetty teoria yhtenäiseksi ja työtä ohjaavaksi tietoperustaksi, on kuvata ne tuotoksen ja tavoitteiden kautta.

Tässä työssä tuotoksena syntyi ohjeistus vesiensuojelullisten riskien huomiointiseksi Immalanjärven valuma-alueen metsätalousmaalle. Laadukas tuotos perustui ymmärrykseen siitä, miten eri toimenpiteet ja metsänkäsittelyvaihto-

ehdot vaikuttavat vesistökuormitukseen. Toisaalta tarvittiin RUSLE 2015 -mallin, TWI-kosteusindeksi tiedon ja vesiuomien huuhtoutumisriksiaineiston informaatiota, jotta voitiin määrittellä ohjeistoon riskitaso eri alueille. Lisäksi kuvattiin metsänkäsittelytapoja, joilla huuhtouman syntyä voidaan estää sekä vesiensuojelurakenteita, joilla liikkeelle lähtenyt kiintoaines ja ravinteet voidaan kerätä ja puhdistaa. Viitekehyksessä yhdistyivät siis metsätaloudellisten toimenpiteiden vesistökuormitusvaikutukset, kuormitusriskin kuvaaminen määriteltujen paikkatietoaineistojen avulla sekä toimenpiteet, joilla riskit voidaan huomioida. Työ aloitettiin toimenpiteiden vaikutusten määrittelyllä, minkä jälkeen kuvattiin alueen riskitasot. Tämän vertailun pohjalta tuotettiin ohjeistus siten, että herkillä alueilla ehdotettiin riskitason mukaista toimintatapaa. Kuva 8 havainnollistaa viitekehysten teemojen ja tuotoksen suhdetta toisiinsa.



Kuva 8. Viitekehys ohjaa tuotoksen luomista.

Toiminnallisessa opinnäytetyössä menetelmien tavoitteena on kuvata tekemisen prosessi, ja se, miten viitekehys ja tietoperusta ohjasivat tuotoksen tekemistä. Työssä pitää tehdä viestinnällisin ja visuaalisin keinoin näkyväksi tuotoksen tavoitteet. Tuotoksen laatu ja tavoitteiden saavuttaminen on oltava kuvauksen perusteella arvioitavissa. Tässä työssä tuotoksen tekemisen prosessi kuvataan viitekehysten kautta ja tehdyt valinnat perustellaan tietoperustan avulla. Tukena käytettiin opinnäytetyöpäiväkirjaa, johon dokumentoitiin tehdyt toimenpiteet ja valinnat sekä prosessin aikana koetut haasteet ja niiden ratkai-

sut. Itse tuotoksesta on liitetty kuvia tähän opinnäytetyöraporttiin, johon on dokumentoitu myös toimeksiantajalta pyydetty palaute. (Vilkkä & Airaksinen 2003, 51.)

Projekti sopii toiminnallisen opinnäytetyön menetelmäksi esimerkiksi silloin, kun työn tuloksena syntyy jokin työelämän ammatilliseen kehittämiseen liittyvä tuotos. Projekti sisältää tällöin tuotoksen toteutuksen lisäksi sen suunnittelun. Jotta työ täyttäisi opinnäytteen menetelmälliset vaatimukset, tulee siihen sisältyä ja opinnäytetyöraportissa kuvata projektin suunnittelu, organisointi, toteutus, seuranta ja arviointi. Tässä luvussa kuvataan projektisuunnitelma, johon sisällytetään edellä mainitut elementit. Toteutuksen varsinainen kulku, lopullinen tuotos ja sen arviointi kuvataan luvussa 6. (Vilkkä & Airaksinen 2003, 48.)

#### **4.2 Projektin tausta ja lähtökohdat**

Projektin tilaajana toimi Imatran seudun ympäristötoimi. Sen vuonna 2010 perustama Immalanjärven vesiensuojelun ohjaustyöryhmä suunnittelee ja seuraa käytännön suojelutoimenpiteiden toteutuksia. Yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa on tehty arvioita päästölähteistä, ja seurattu järven tilaa. Imatran Vesi tutkituttaa vuosittain järven veden laatua eri tutkimuspisteistä. Vuosien varrella Immalanjärvellä on tehty useita erityyppisiä vesiensuojelusuunnitelmia ja -kokeiluja. Suurin hanke oli 1993 - 1999 tehty suunnitelma suurimman kuormituksen aiheuttavan Suurisuonojan virtaussuunnan kääntämisestä siten, että se olisikin laskenut Unterniskanjokeen ja edelleen rajan yli Venäjän puolelle. Venäjän kuitenkin vetäytyi projektista, ns. rajavesikomissiossa juuri, kun toteutuksen piti alkaa.

Järvestä lounaaseen sijaitsevaan Mustalampeen laskeviin Hattukorvenojaan sekä siihen lounaasta laskevaan pelto-ojaan on molempiin rakennettu kuvan 9 osoittamiin kohtiin pohjapato ja laskeutusallas.

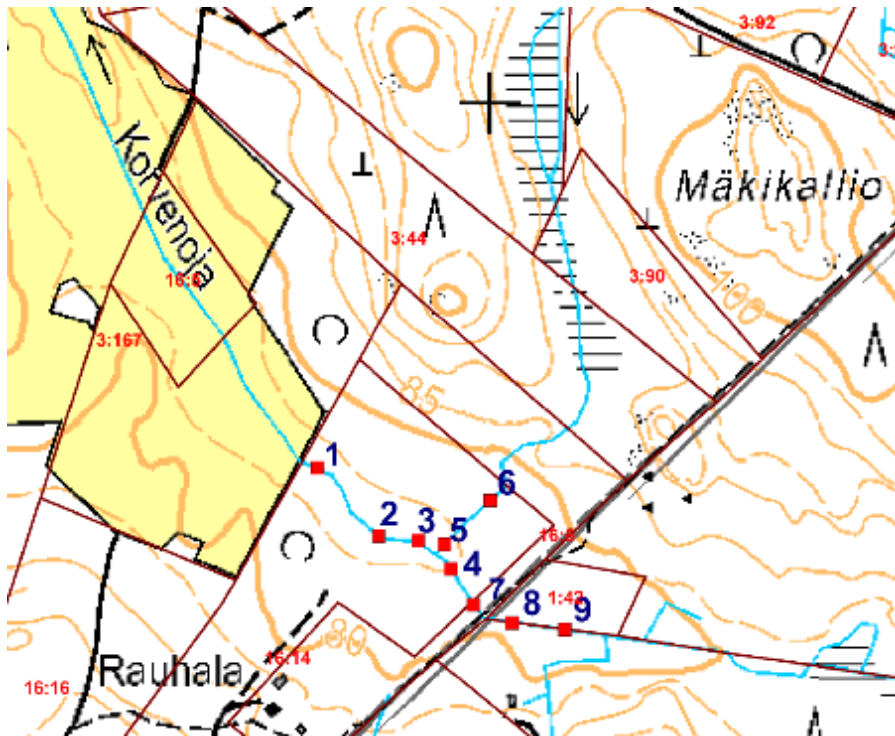


Kuva 9. Mustalampeen laskevien ojien pohjapadot ja laskeutusaltaat. (Riipinen s.a.)

Suurisuonojaan laskevaan Mallisillanojaan on tehty laskeutusallas ja kosteikko, joiden sijainti näkyy kuvassa 10. Näiden lisäksi Jäppilänniemen puolelta Laitilanlahteen laskevaan Korvenojaan on rakennettu kuvan 11 mukainen pohjapatosarja. Tällä hetkellä suunnitteilla on mm. kaksi uutta kosteikkoaluetta.



Kuva 10. Mallisillanojan laskeutusallas ja kosteikko (Heiskanen 2012)



Kuva 11. Korvenojan pohjapatasarja (Kähö 2015)

Syksyllä 2018 ohjaustyöryhmä pohti uusia ideoita vesiensuojelun edistämiseksi. Samoihin aikoihin Suomen metsäkeskus julkisti uusia vesiensuojelun ja luonnonhoidon paikkatietoaineistoja. Syntyi ajatus selvittää, miten näitä aineistoja voisi hyödyntää Immalanjärven vesiensuojelussa. Tämän opinnäytetyön ohjauksesta vastasi ohjaustyöryhmässä mukana toimiva Suomen metsäkeskus, ja se voi jatkossa käyttää projektin tuloksia kouluttaessaan metsänomistajia, toimihenkilöitä ja muita mahdollisia sidosryhmiä.

### 4.3 Projektin tavoitteet ja rajaukset

Projektissa luotiin ohjeistus RUSLE 2015 -mallin ja TWI-kosteusindeksin hyödyntämiseen Imatran Immalanjärven valuma-alueen metsätalouden vesiensuojelussa. Se sisältää kuvauksen eri metsätalouden työläjien -vesiensuojelullisista vaikutuksista, paikkatietoaineistoihin perustuvan riskialuekuvauksen sekä ehdotukset riskien huomioimiseksi. Tuotos tehtiin sähköiseen muotoon. Tavoitteena oli informatiivinen, selkeä ja helppokäyttöinen opas, jonka avulla vesistöön päätyvien päästöjen tasoa voidaan vähentää tehokkaasti.



Suomen metsäkeskus tarjoaa verkkosivuillaan lukuisia vesiensuojeluun ja luonnonhoitoon liittyviä paikkatietoaineistoja ja karttoja. Tässä projektissa keskityttiin hyödyntämään RUSLE 2015 -mallia, TWI-kosteusindeksitietoja sekä vesiuomien huuhtoutumisriskiaineistoa.

Projektissa tehtiin ohjeistus metsätalousmaalle, ja yhdyskunta- sekä maatalouden päästölähteet rajattiin ulos. Vesiensuojelurakenteita suunnitellessa tulee kuitenkin huomioida koko kuormitus. Yksityiskohtaista vesiensuojelurakenteet ja niiden sijainnit sisältävää suunnitelmaa ei tämän projektin tuloksena tavoiteltu. Tuotoksessa kuvataan kuitenkin esimerkinomaisesti, millaisia rakenteita ja ratkaisuja on olemassa, ja millaisiin kohteisiin ne soveltuvat. Tavoitteena oli näin helpottaa ja selkeyttää käytännön toimijoiden päätöksentekoa ja suunnittelutyötä. Vesiensuojelutoimet ulottuvat useimmiten myös useamman metsänomistajan maalle. Projektissa syntynyt ohjeistus tarjoaa kokonaisuuden näkökulmasta sopivia yleisen tason ehdotuksia, mutta se ei ota kantaa käytännön päätöksentekoprosessiin.

#### **4.4 Projektin vaiheet ja aikataulutus**

##### **4.4.1 Projektin suunnittelu**

Opinnäytetyöidea RUSLE 2015 -mallin hyödyntämisestä Immalanjärven vesiensuojelussa syntyi syyskuussa 2018 Suomen metsäkeskuksen kanssa pidetyn tapaamisen sivutuotteena. Aihe esiteltiin Imatran seudun ympäristötoimelle, joka piti sitä hyvänä. Imatran seudun ympäristötoimesta tuli työn toimeksiantaja ja SMK otti työelämäohjaajan roolin. Lokakuun alkupuolella 2018 järjestettiin kokous, jossa sovittiin projektin suuntaviivoista. Järven vesiensuojelun tausta ja historia esiteltiin, ja tekijälle tarjottiin suuri määrä karttoja, vesiensuojelusuunnitelmia ja muita järven vesiensuojelun suunnitteluun ja toteutukseen liittyviä dokumentteja. Samalla tutustuttiin muihinkin metsäkeskuksen tarjoamiin luonnonhoidon paikkatietoaineistoihin. Tässä vaiheessa työssä päätettiin hyödyntää myös muita kuin RUSLE 2015 -aineistoa, mutta niitä ei vielä yksilöity. Tavoitteeksi asetettiin tiedon tuottaminen paikkatietoaineistojen hyödynnettävyydestä vesiensuojelutyössä, ja projektin tuotokseksi määriteltiin alueen kartta, johon olisi merkitty riskialueet, ehdotetut vesiensuojelurakenteet ja ratkaisut sekä muut metsänkäsittelyssä huomioon otettavat asiat. Yksityis-

kohtaisuuden tasossa toiveena oli päästä kuviokohtaisten käytännön toimenpide-ehdotusten tasolle, mutta toteutuksen vaatima työmäärä koko valuma-alueelle vaikutti suurelta.

Lokakuun puolivälissä työlle esitettiin keskustelun pohjalta rakennetta, joka koostuisi tietopohjasta, tuotoksesta ja analyysistä. Tietopohjan rakenteessa päädyttiin karkealla tasolla siihen, että kuvataan ensin ongelma, sitten siihen liittyvä tiedon tuottaminen ja viimeiseksi tiedon perusteella valittavat ratkaisut. Ensin siis päätettiin kuvata, millaisia haitallisia vaikutuksia metsätalouden eri työlajeilla on. Seuraavaksi tulisi esitellä paikkatietoaineistot, mihin ne perustuvat ja miten ne on rakennettu sekä niiden esittämä tieto ja sen hyödyntämismahdollisuudet. Viitekehyksen kolmas osio käsittelisi vesiensuojeluratkaisuja ja vesiensuojeluun liittyviä metsänkäsittelyvaihtoehtoja. Tuotoksessa tulisi kuvata, mitä valitut paikkatietoaineistot osoittavat Immalanjärven valuma-alueella, ja esimerkkikohteiden avulla miten se tulisi huomioida metsän käsittelyssä ja vesiensuojelurakenteiden rakentamisessa. Analyysiosiossa tulisi arvioida aineistojen vahvuuksia ja heikkouksia käytännön hyödyntämisen kannalta ja tarjota mahdollisia kehitysehdotuksia.

Lokakuun loppu käytettiin lähdeaineistojen keruuseen ja niiden silmäilyyn. Aiheesta löytyi yllättävän paljon kirjoja, oppaita, tiedeartikkeleita, markkinointimateriaaleja, verkkosivuja ja uutisia. Selkeä rajaus helpotti sopivien lähteiden tunnistamista. Vaikka välillä prosessissa harhauduttiin tutustumaan mm. metsäsuunnitelmien tuottamisen historiaan, niin suurin osa ajankäytöstä keskittyi aiheen kannalta olennaisiin materiaaleihin. Eri yhteistyötahot osasivat myös suositella mahdollisia haastateltavia, mikäli tiettyyn aihepiiriin olisi tarvetta asiantuntijalähteelle tai konsultaatiolle. Jo tässä vaiheessa kävi selväksi, että ongelmaksi ei muodostuisi tiedon löytyminen, vaan olennaisten lähteiden valinta. Lopulliseen lähdeluetteloon päätyi läpi käydystä aineistosta vain murto-osa. Valintaperusteena käytettiin työlajien ympäristövaikutusten ja vesiensuojeluratkaisuiden osalta käytännönläheisyyttä ja selkeyttä. Näistä osa-alueista tietoa on paljon ja toisaalta niiden syvempi kuvaaminen ei olisi tuonut merkittävää lisää tuotokseen. Poikkeuksena tähän oli biosuodattimia käsittelevä osuus, johon haettiin tietoa tiedeartikkelien tasolta asti. Tähän päädyttiin, koska ne olivat suhteellisen uusi ratkaisu, ja niitä ei yleisemmissä lähteissä käsitelty. Paikkatietoaineistot ja niiden hyödyntäminen oli osa-alueista yleisesti

vähiten tunnettu. Niiden kuvaamisessa pyrittiin pureutumaan syvemmälle tasolle, ja löytämään tätä varten tarkempia ja yksityiskohtaisempia lähteitä.

Taustavalmistelut etenivät myös erilaisten tapahtumien ja kokousten kautta. Lokakuun lopulla Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio piti Immalanjärven maastossa koulutuksen suometsien käsittelytapojen monipuolistamisesta. Se valaisi hienosti jatkuvapeitteisten menetelmien toimintaperiaatetta ja toteutusta. Koulutuksessa esitelty ylispuukasvatus oli käsittelytapana uusi. Marraskuussa järjestettiin tapaaminen SMK:n paikkatietoasiantuntijan kanssa, jolta saatiin tarkempi esittely tarjolla olevista aineistoista. Keskustelujen seurauksena TWI-kosteusindeksitieto sekä vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto päädyttiin sisällyttämään työhön RUSLE 2015 -mallin lisäksi. Nämä aineistot valittiin, koska ne täydensivät toisiaan erinomaisesti. Yhdessä niiden avulla kyettiin kattamaan sekä kivennäis- että turvemaat, ja tietoa saataisiin sekä eroosioriskistä että potentiaalisten huuhtoumämäärien tasosta. Tietoaineistojen lisäksi otettiin pohdittavaksi pienten vesiuomien valuma-alueen määrittämisalun mahdollinen hyödyntäminen. Projektissa luotavan tuotoksen osalta tarkennettiin alueen riskitasojen kuvaamiseen ja metsänkäsittelyvaihtoehtoihin liittyviä toiveita. Tässä vaiheessa harkittiin vesiensuojelurakenteiden rajaamista ulos, koska niiden määrittelyssä olisi huomioitava myös muu kuin metsätalousmaalta tuleva huuhtouma.

Aihe ja taustat tuntuivat selkeiltä ja opinnäytetyösuunnitelma oli tarkoitus kirjoittaa suurin piirtein yhdeltä istumalta. Työ osoittautui kuitenkin vaativammaksi ja aikaa meni lopulta pari viikkoa. Toisaalta suunnitelman huolellinen työstäminen oli hyödyllistä, ja moni epäselvä asia kirkastui. Suunnitelman perusteella työlle nimettiin ohjaaja myös ammattikorkeakoululta. Hänen kanssaan käydyn keskustelun pohjalta suunnitelmaan tehtiin vielä pieniä tarkennuksia, ja se esiteltiin Immalanjärven vesiensuojelutyöryhmän kokouksessa joulukuun alussa. Tulevan opinnäytetyöprojektin todettiin täydentävän hyvin työryhmän toimintaa. Siihen toivottiin kuitenkin lisättäväksi vesiensuojelurakenteiden toiminta ja esimerkinomaisesti joitakin niille soveltuvia kohteita, vaikka yksityiskohtaista vesiensuojelusuunnitelmaa koko valuma-alueelle ei tehtäisikään. Työryhmä toivoi kokouksessa uutena teknologiana esiteltyjen biohiilisuodattimien sisällyttämistä työhön. Jäseniltä tuli lisäksi lukuisia hyviä

vinkkejä työn aihepiiriin sopivista lähteistä. Tämän jälkeen työsuunnitelma viimeisteltiin palautteiden perusteella. Aikataulutettu suunnitelma kuvataan taulukossa 1.

Taulukko 1. Projektisuunnitelman vaiheet ja aikataulutus

Projektin vaihe	Ajoitus
Suunnittelu	Syys- joulukuu 2018
Tiedon keruu ja analysointi	Helmikuu 2019
Paikkatietoaineistoihin ja ArcGIS ohjelmistoon tutustuminen. Ehdotus tuotoksen muodosta ja väliraportti.	Maaliskuu 2019: viikot 10 ja 11
Tuotoksen luominen	Maalis- huhtikuu 2019: viikot 12-15
Tulosten esittely, arviointi ja loppuraportti	Huhtikuu 2019: viikot 16-17

#### 4.4.2 Viitekehyksen rakentaminen

Opinnäytetyön teko keskeytyi tammikuun ajaksi työharjoittelun vuoksi. Projektisuunnitelmassa teoriaosuuden kirjoittaminen merkittiin helmikuulle. Käytännössä materiaalia viitekehyksen rakentamiseen alkoi kertyä edellä kuvatulla tavalla toimeksiantajan ensimmäisestä tapaamisesta lähtien. Yhteistyökumppaneilta saadun aineiston perusteella oli helppo määrittellä ne hakusanat, joilla verkosta ja tietokannoista löysi lisää sopivia lähteitä. Lisäksi aiheen tarkka määrittely ja rajaukset auttoivat valitsemaan materiaalmassasta olennaisimmat, ja määrittelemään laajoista teoksista ne osiot, joita kannatti viitekehyksen rakentamisessa hyödyntää.

Eri aihepiireihin tutustuessa esiin alkoi nousta tiettyjä lähteitä tai kirjoittajia, joihin suurin osa viittasi, ja joiden tuloksiin he perustivat omat työnsä. Metsätalouden vesiensuojelussa tällainen asiantuntija on Samuli Joensuu. Hän on myös ollut mukana laatimassa Tapion hyvän metsänhoidon suositusten työopasta vesiensuojeluun, joka tiivistää erinomaisesti kaikki olennaiset asiat työlajien kuormituksesta ja vesiensuojelurakenteiden toiminnasta. Tästä syystä tämä lähde sai hyvin hallitsevan osan itse opinnäytetyössä, vaikka kirjallisuuskatsauksen yhteydessä tutustuttiin useisiin muihinkin vesiensuojelun materiaaleihin.

Ensimmäinen versio maaperän eroosioherkkyttä kuvaavasta Universal Soil Loss Equation (USLE) -mallista on kehitetty jo vuonna 1965 (Renard ym.1997, 5). K. G. Renard ryhmineen esitteli tästä parannellun RUSLE-version vuonna 1997 julkaistussa eroosiolta suojelun käsikirjassaan, josta on myöhemmin muodostunut lähde, johon lähes kaikki mallin jatkokehittäjät viittaavat. Vuoden 1997 julkaisu tarjosi toimivan ajattelullisen kehikon, joka kestää hyvin aikaa. Vaikka teknologian kehitys on lisännyt eri tekijöiden mittausta ja mallinnustarkkuutta, se on vain vahvistanut mallin käyttökelpoisuutta. Viime vuosina EU-komission alainen Joint Research Center (JRC), ja erityisesti P. Panagos on vienyt mallin eri osa-alueiden kehitystyötä voimakkaasti eteenpäin ja soveltanut mallia EU:n alueen eroosioherkkyksien kuvaamiseen. Myös useimmat EU:n ulkopuolella mallia soveltaneet tutkijat perustavat työnsä ja viittaavat JRC:n artikkeleihin. RUSLE 2015 -mallin kuvaamisessa päädyttiin näistä syistä nojaamaan vahvasti Renardin ja Panagosin tutkimusryhmien julkaisuihin.

Suomen metsäkeskuksen FRESHABIT-hankkeen projektipäällikkö Antti Leinonen on julkaissut viime vuosina paljon koulutusmateriaaleja kaukokartoitusaineistojen hyödyntämistä metsätalouden vesiensuojelussa. Näihin liittyvää tutkimusta on tehty Suomen oloissa, se on tuoretta, ja sen aihe osuu yksin loistavasti tämän opinnäytetyön tavoitteiden kanssa.

#### **4.4.3 Resurssit ja työskentelytavat**

Paikkatietoaineistoihin ja -ohjelmistoon tutustuminen suunniteltiin aloitettavaksi maaliskuun alussa. Tavoitteena oli luoda kahdessa viikossa ohjaustyöryhmälle ensimmäinen konkreettinen ehdotus tuotoksen muodosta sekä väliraportti projektin etenemisestä. Tavoitteena olevan tuotoksen eli vesiensuojeluohjeiston valmistusvaihe oli aikataulutettu alkamaan maaliskuun puolivälissä väliraportoinnin yhteydessä kerätyn palautteen ja kommenttien pohjalta. Se oli määrä saada päätökseen kuukaudessa, jolloin tulosten esittely, arviointi ja loppuraportointi voitaisiin suorittaa vappuun mennessä.

Hankkeen toteutuksessa päästiin pitkälle tietokoneen, verkkoyhteyden ja tekstinkäsittelyohjelman avulla. Kone ja verkkoyhteys projektin toteuttajalla oli jo ennestään, ja lisenssin tekstinkäsittelyohjelmaan tarjosi Kaakkois-Suomen

ammattikorkeakoulu. Aikaresurssien näkökulmasta positiivista oli mahdollisuus tehdä projekti opintovapaalla. Syksy tosin täyttyi osin vielä meneillään olevista kursseista, tenteistä ja työharjoittelusta. Tammikuu meni toisen työharjoittelun merkeissä, mutta helmikuun alusta lähtien aikaa projektille oli hyvin. Muu resurssien tarve oli hyvin vähäistä. Kokouksiin ja mahdollisille maastokäynneille tuli kulkea autolla, mutta se ei muodostunut ongelmaksi.

Työ oli lähes kokonaan kirjoituspöytätyöskentelyä. Ensin luotiin lähteiden avulla tietopohja eri metsätalouden toimenpiteiden vesistövaikutuksista ja riskeistä. Sen jälkeen tutustuttiin paikkatietojärjestelmien tarjoamaan informaatioon, ja rakennettiin lopuksi tuotos yhdistelemällä työlajien riskikuvaus tietoon maaston riskikohteista.

#### **4.4.4 Tuotoksen luominen**

Paikkatiedolla tarkoitetaan informaatiota, jossa yhdistyvät sijainti ja tietosisältö. Se esitetään useimmiten kartalla, ja paikkaan tai koordinaatteihin liitetty tietosisältö kuvataan tietyin symbolein. Metsätalouden tarpeisiin on luotu omia, ja se hyödyntää useita laajempia tarpeita varten tehtyjä paikkatietoaineistoja. Aineistojen analysointiin ja niihin perustuvien työkalujen hyödyntämiseen tarvitaan paikkatieto-ohjelmisto. Ohjelmistoon voi tuoda aineistoja rajapintoina palvelinyhteyksien kautta tai omalle koneelle ladattuina tiedostoina. Rajapintoina tulevia tasoja voi tarkastella, ja niiden läpinäkyvyyttä muuttaa, mutta muuten niiden muokkaaminen ei onnistu. Omalle koneelle ladatut aineistot vaihtelevat yksinkertaisesta kuvamuotoisesta hahmosta monimutkaista laadullista ja määrällistä tietoa sisältävään tasoon. Ohjelmointia osaava käyttäjä voi rakentaa paikkatieto-ohjelmistolla itse erilaisia aineistoja hyödyntäviä työkaluja. Toisten osapuolten luomia työkaluja on mahdollista käyttää geoprosessointipalveluna palvelinyhteyden kautta.

Projektin suunnitelmavaiheessa yhtenä vaihtoehtona harkittiin avoimen QGIS-ohjelmiston hyödyntämistä. Rajapinnat ja tiedostot ovat standardimuotoisia, ja tuotokset olisivat olleet siirrettävissä toimeksiantajalle, vaikka Suomen metsäkeskuksella olikin käytössä maksullisen lisenssin vaativa ArcGIS-ohjelmisto. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu tarjosi kuitenkin opinnäytetyökäyttöön

ArcGIS-ohjelman lainalisenssin. Työssä päätettiin hyödyntää tätä mahdollisuutta, sillä saman ohjelmiston käyttö selkeytti viestintää, ja helpotti ohjelmiston käyttöön liittyvän tuen antamista tuotosta valmisteltaessa.

ArcGIS-ohjelmisto asennettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksella IT-tuen avustuksella. Samalla ladattiin lainalisenssi ja saatiin alustava perehdytys ohjelmiston käyttöön sekä käytännön vinkkejä, kuten avaa ohjelma ennen internetyhteyden muodostamista, jotta se aukeaa nopeammin. Toisaalta oletusasetukset muutettiin valmiiksi niin, että kaikkia työhön valittuja tasoja ei automaattisesti ladata, mikä osaltaan keventää ohjelman avaamista.

Asennuksen yhteydessä saatiin opinnäytetyön ohjaajalta perehdytys aineistojen lataamiseen, yhteydenmuodostukseen rajapintojen kautta sekä näiden aineistojen ominaisuuksien tarkasteluun ja mahdolliseen säätämiseen. Suomen Metsäkeskuksen tarjoamiin luonnonhoidon paikkatietoaineistoihin muodostettiin WMS-rajapinta, ja sieltä haettiin näkyviin RUSLE 2015 -maa-ainesten huuhtoutumiskarttatase sekä esimerkiksi kitu- ja joutomaa-alueet.

Kun rajapinta luonnonhoidon paikkatietoaineistoihin oli luotu, TWI -kosteusindeksitiedot saatiin helposti näkyviin vastaavalla tavalla. Ongelmana oli, että RUSLE 2015 ja TWI -kosteusindeksiaineistoissa oli niin paljon tietoa, että ne jo kahdestaan täyttivät koko näkymän. Olennaista tietoa jäi peittoon riippuen siitä, kumpi taso asetettiin päällimmäiseksi. Ongelma ratkesi läpinäkyvyytensä säätämällä.

Vesiuomien huuhtoutumisriskiaineistoa ei ollutkaan saatavilla Immalanjärven alueelle SMK:n julkisessa verkkosivujen ja WMS-rajapinnan kautta saatavilla olevassa aineistossa. Ajatuksesta hyödyntää sitä ehdittiin jo luopua yhteisellä päätöksellä. Helmikuun lopulla pidettiin SMK:n kanssa tapaaminen, jossa esiteltiin luotu viitekehys ja suunniteltiin sen pohjalta tuotoksen luomista. Tässä yhteydessä kävi ilmi, että vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto on olemassa myös Immalanjärven alueelle, mutta se on jätetty julkaisematta pienten sijaintietä tarkkuuksien vuoksi. Käytännön punainen viiva saattaisi jossain kohteissa piirtyä ojauoman sijasta vähän sen viereen, mistä ei käytännössä olisi

merkittävää haittaa. Aineisto saatiin ladattua tiedostona koneelle, jolla tuotosta tehtiin, ja se saatiin osaksi työtä.

Kartalle ei kuitenkaan saatu vielä merkittyä Immalanjärven valuma-aluetta, joka oli tuotoksen käytettävyyden kannalta kriittinen tieto. Valuma-alueen määrittäminen onnistui Suomen Ympäristökeskuksen verkkosivuillaan tarjoaman VALUE-työkalun avulla Immalanjärveä klikkaamalla. Sivujen ylälaidassa tarjotaan mahdollisuutta lisätä näkymään omia shape-tiedostoja tai valitsemiin WMS-tasojä. Toimeksiantajan näkökulmasta olisi kuitenkin ollut hankalaa ladata tarvittavat tasot verkkosivulle erikseen aina työskentelyn aluksi. Käyttöohjeista löytyi kuitenkin mahdollisuus tuoda VALUE-työkalun avulla määritetty valuma-alue shape-tiedostona omalle koneelle ja paikkatieto-ohjelmistossa avattavaksi. Tämä onnistuikin ohjeita noudattamalla vaivattomasti. Alue näkyi kuitenkin kartalla vihreänä länttinä, joka peitti kaiken muun alleen. Läpinäkyvyyttä säätämällä muuta informaatiota saatiin esiin jonkin verran. Tuloksena oli huono kompromissi valuma-alueen hahmottamisvaikeuksien ja halutun informaation hukkumisen välillä. Shape-tiedosto oli ladattu omalle koneelle, joten se oli käsiteltävissä muutenkin kuin läpinäkyvyyden suhteen. Ominaisuuksien ja niiden muokkausvalikosta löytyikin mahdollisuus piirtää muodolle ääri- viivat. Viivan paksuudeksi valittiin 4, väriksi musta ja muodon läpinäkyvydeksi säädettiin 100 %, jolloin kartalle piirtyi selkeä valuma-alueen raja, mutta kaikki muu tieto sen sisällä näkyi täydellisesti.

Yksi opinnäytetyön rajauksista oli, että se kohdistuu metsätalouden aiheuttamiin päästöihin. Toisaalta toiveena oli saada metsikkökuviotason suunnittelua tukeva tuotos. Metsätalousmaa ja kuviorajat saatiin kartalle tuomalla metsävarakuviot WMS-rajapinnan kautta Metsään.fi-palvelusta. Aineistossa kuviorajat ja taustaväri ovat molemmat vihreitä, eivätkä ne rajapinnan kautta tulevana tietona ole säädettävissä. Kontrasti on heikko, ja muihin tasoihin yhdistettäessä rajat hukkuvat helposti. Näin käy varsinkin lähelle tarkennettaessa, jos läpinäkyvyys säädetään korkeaksi. Matalalla läpinäkyvyydellä taas taustaväri nousee niin vahvaksi, että se peittää herkästi muut tiedot alleen. Kuviotarkastelu onnistui parhaiten, kun läpinäkyvydeksi säädettiin 50 % ja mittakaavaksi 1:12 500.



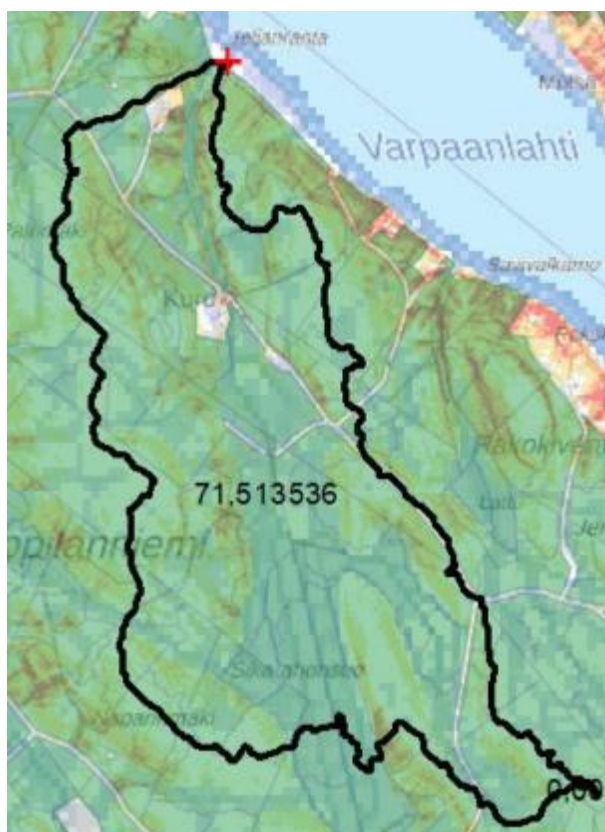
Kun tarvittavat aineistot oli tuotu paikkatieto-ohjelmaan, ja niiden läpinäkyvyys ja muut ominaisuudet oli saatu muokattua sopivalle tasolle, piti aineistotasolle vielä määrittää käyttökelpoisuuden kannalta paras järjestys. Tavoitteena oli siis mallintaa vesiensuojelulliset riskit kuviotasolla. Karttatasoista Maanmittauslaitoksen peruskartta jätettiin alimmaiseksi. Metsikkökuviot kannatti jättää päällimmäiseksi, jotta kuviorajat eivät hukkuneet. RUSLE 2015 -aineistossa huuhtoutumistasot on merkitty siten, että matalan potentiaalin 100 - 200 kg/ha/v alueet kuvataan vaalean vihreällä, 200 - 400 kg/ha/v keltaisella, 400 - 800 kg/ha/v oranssilla ja yli 800 kg/ha/v punaisella. TWI-kosteusindeksitieto kuvataan sinisen eri sävyinä niin, että värisävy tummenee indeksiluvun noustessa eli kosteuden lisääntyessä. Vaaleimman sävyn alueilla indeksiluku vaihtelee välillä 6,8 - 8,7, ja tummimmat kohdat vastaavat arvoa 14,6 - 34,8.

RUSLE- ja TWI-aineistot laitettiin peruskartan ja metsävarakuviotason väliin ja niille haettiin vielä kokeilemalla erottuvuuden kannalta parhaat läpinäkyvyystasot. Kuva 12 näyttää, miten potentiaaliselta kuormitukseltaan ja kosteusarvoiltaan suurimmat alueet nousivat kuviotason alta esiin tummempina punaisen ja sinisen sävyinä. Tämä havainnollisti hyvin eri kuvioiden ja niiden sisäisten alueiden riskitasot.



Kuva 12. RUSLE ja TWI-aineistojen korkeat arvot nousevat kartalla esiin tummempina punaisen ja sinisen sävyinä.

Tuotosta oli tarkoitus hyödyntää vesiensuojelurakenteiden suunnittelussa. Tätä tarkoitusta varten työhön lisättiin vielä SMK:n pienten vesiuomien valuma-alueiden määrittäjätyökalu. Ensin paikkatieto-ohjelmistossa otettiin käyttöön valuma-alueen määrittäjätyökalun tausta-aineisto WMS-rajapintana, ja sen jälkeen luotiin palvelinyhteys geoprozessointipalveluun. Tuloksena piirretty alue oli oletuksena ääriviivoiltaan sininen ja täytetty viistolla sinisellä viivalla. Käytökelpoisuuden parantamiseksi ominaisuuksista säädettiin läpinäkyvyydeksi 100 %. Ääriviivaa vahvistettiin paksummaksi, ja selkeytettiin sen erottuvuutta muuttamalla se väriltään mustaksi. Purkupiste saatiin paremmin näkyväksi, kun sen väri muutettiin tumman sinisestä kirkkaan punaiseksi. Lisäksi alueen hehtaarimäärä lisättiin näkymään tekstinä muodon sisällä. Kuva 13 osoittaa, miten näillä karttatasoilla ja tällä työkalulla oli mahdollisuus hahmottaa tietyn vesiuoman tai suunnitteilla olevan vesiensuojelurakenteen yläpuolisen valuma-alueen rajat.



Kuva 13. Valuma-alueen rajaaminen Suomen metsäkeskuksen valuma-alue työkalun avulla.

Samalla saatiin sen laajuus hehtaareina ja voitiin tarkastella eroosioriskiä ja potentiaalisia huuhtoumamääriä sen eri osissa ja metsäkuviolla. Tässä vai-

heessa todettiin, että valuma-alueelaskurit ovat selkeästi yksi työssä hyödynnettävä paikkatietoaineistoihin perustuva osa. Niistä haettiin tietoa ja lisättiin valuma-alueyökaluja käsittelevä kappale viitekehykseen.

#### **4.5 Raportointi ja arviointi**

Yhteydenpito Suomen metsäkeskuksen kanssa oli projektin aktiivisten vaiheiden aikana jatkuvaa. Kysymyksiä ja tarkennuksia esitettiin aina, kun niille oli tarvetta. Pienimuotoinen tilannekatsaus pidettiin vähintään kahden viikon välein, ja tarvittaessa se voitiin toteuttaa puhelinkeskusteluna.

Työsuunnitelma esiteltiin, ja siitä keskusteltiin Immalanjärven vesiensuojelun ohjausryhmän kanssa joulukuussa. Väliraportointi tilaajalle annettiin ennen varsinaisen tuotoksen teon aloittamista helmi-maaliskuulla. Tässä vaiheessa voitiin keskustelun kautta vielä varmistaa yhteinen ymmärrys tavoitteista. Lopulliset tulokset tuli suunnitellun aikataulun mukaan raportoida huhtikuun loppussa. Samalla ohjaustyöryhmältä pyydettäisiin palaute sekä arvio tuotoksen hyödyllisyydestä ja tavoitteiden täyttymisestä.

### **5 OHJEISTO VESIENSUOJELURISKIEN HUOMIOIMISEKSI**

#### **5.1 Kuvien käyttö**

Metsäkeskuksen paikkatieto-ohjelmistoihin saatavilla olevissa avoimissa aineistoissa ei ole ilmakuvia. Maanmittauslaitos tarjoaa ilmakuvia WMS-rajapinnan kautta, mutta niiden käyttö edellyttää sopimusta ja teknistä ylläpitomaksua, vaikka itse aineistot olisivatkin sen jälkeen ilmaisia. Verkkosivuilta on kuitenkin käyttäjäehtojen mukaan lupa kopioida, tallentaa ja tulostaa materiaalia opinnäytetyötarkoitukseen. Käytännössä ohjeistoa luotaessa työskenneltiin kahdella tietokoneella ja näytöllä, ja vertailtiin maanmittauslaitoksen ilmakuvaa ArcGIS-ohjelmiston näkymään. Tähän raporttiin kuvat otettiin kuvakaappauksina.

Esimerkkialueiksi valittiin ilmakuvien perusteella sellaisia kuvioita, joilla on runsaasti puustoa. Taimikoita haluttiin välttää, koska niissä kohteissa ei todennäköisesti vähään aikaan tulla tekemään mitään tämän työn kannalta olennaisia toimenpiteitä.

## 5.2 Esimerkki kivennäismaalta

Toimeksiantajan toiveena oli saada kivennäismaalta esimerkki, joka havainnollistaisi RUSLE 2015 -aineiston hyödyntämistä vaihtelevanlevyisen suoja-kaistan määrittelyssä. Sopiva kohtuullisen puustoinen paikka löytyi Jäppiläniemen länsirannalta, ja se on esitelty kuvissa 14 ja 15.

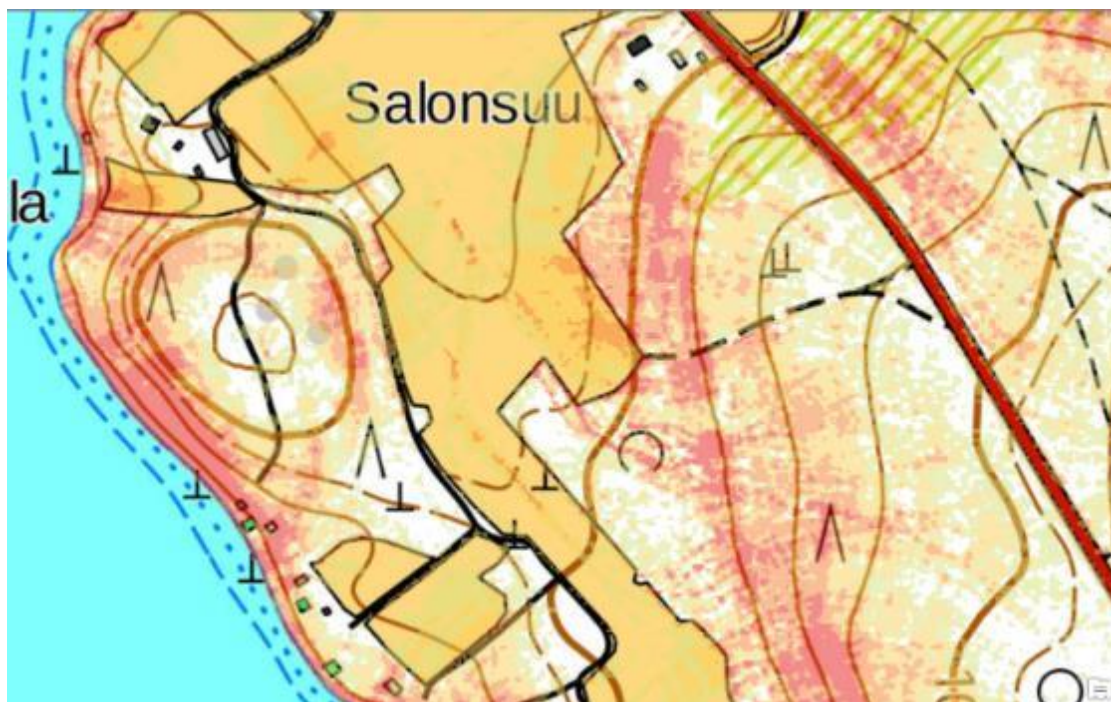


Kuva 14. Palstakartta ja metsäkuviot kivennäismaan esimerkkialueelta Jäppiläniemen länsirannalta.

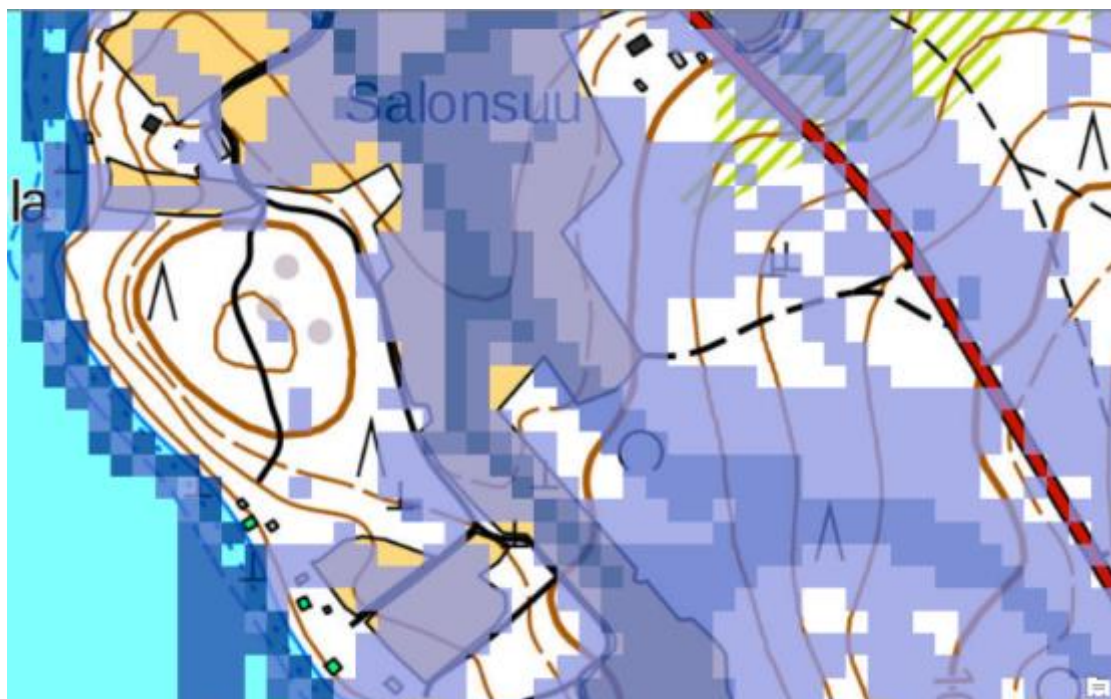


Kuva 15. Jäppiläniemen kivennäismaan esimerkkialueen ilmakekuva

Kuva 16 osoittaa, miten RUSLE 2015 -mallin eroosipotentiaali vaihtelee esimerkkialueella. Kuva 17 taas kertoo TWI-kosteusindeksin avulla, missä maan kantavuus on normaalia heikompi. Vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto ei näyttänyt tälle alueelle mitään, joten siitä ei ole esimerkkikuvaa.



Kuva 16. RUSLE 2015 -mallin kuvaama eroosipotentiaalinvaihtelu.



Kuva 17. TWI-kosteusindeksi näyttää sitä tummempia sinisen sävyjä, mitä kosteampi ja heikommin kantava maa on.

Asettamalla nämä aineistot päällekkäin kuvan 18 tapaan päästiin tekemään analyysyjä alueesta kokonaisuutena.



Kuva 18. Aineistotasojen yhdistely mahdollistaa analysoinnin.

Lännessä olevan tilan kuvioiden 1 ja 2 rantaviivat ovat RUSLE 2015 -mallin mukaisen eroosiopotentiaalin osalta hyvin erilaisia. Tämä tieto mahdollistaa vakiolevyisen suojakaistan sijaan tarpeen mukaisten täsmätoimenpiteiden toteuttamisen. Kuviolla 1 eroosiopotentiaali on vähäisempi ja osaan rantaviivaa riittää hyvin käytössä olevan sertifikaatin minimileveys. Tässä säästöpuut kannattaisi jättää rantaan kuvion pohjois- ja eteläosaan niihin kohtiin, joissa punaista väriä esiintyy. Suojakaistaa voisi näin leventää 5 - 10 metriä tarpeen mukaan. Potentiaalinen vesistökuormitusriski voidaan näin välttää ilman taloudellisia tappioita.

Kuviolla 2 eroosiopotentiaali on hyvin leveästi suuri lähes koko rantaviivan matkalta. Tällä kuviolla säästöpuiden minimimäärä tuskin riittää kokonaan kattamaan korkean riskin vaatimaa suojakaistan levennystä. Mikäli puuston ja kasvupaikan ominaisuudet sallivat, kuvioita voisi harkita käsiteltäväksi yhtenä kokonaisuutena, ja keskittää kaikki säästöpuut rannan suurimmalle riskialueelle. Näin suojakaistaa voitaisiin leventää ainakin kaikkein kriittisimmiltä kohdilta. Muun kuin säästöpuiden aluetta voisi harkita käsiteltävän suojakaistan

omaisesti. Koneilla liikkumista tulisi välttää ja hakkuut tehdä poimintaluonteisesti. Vähän raskaampi, mutta tehokkaampi tapa huomioida riski, olisi harkita koko kuviolle sellaista jatkuvapeitteistä kasvatusta, jossa ei hyödynnetä maanmuokkausta. Tämä edellyttää, että olosuhteet luontaiselle taimettumiselle ovat kohteessa muuten hyvät.

Kuvassa olevan ison tien länsipuolelle jäävällä tilalla on hyvin esimerkiksi soveltuva kuvio. Sekä TWI-kosteusindeksi että RUSLE 2015 -malli osoittavat korkeita arvoja kuvion 3 länsilaidalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että riski painumien synnylle koneilla liikuttaessa on suuri. Toisaalta liikkeelle lähtevän kiintoaineen potentiaalinen määrä on merkittävä. Riskialue on kuitenkin melko pieni suhteessa kuvion kokoon. Jättämällä säästöpuuryhmiä tällaisiin kohtiin vältetään vesiensuojelliset riskit ilman taloudellista tappiota myös muilla, kuin suoraan vesistöön rajoittuvilla kuvioilla.

Läntistä tilaa tarkasteltaessa havaitaan myös, miten aineistoja voi hyödyntää ajourien ja varastopaikkojen suunnittelussa. Alavat ja tasaiset kohteet saattavat olla houkuttelevia ajourien paikkoja. Toisaalta juuri sellaisiin kohtiin myös vedellä on taipumus kerääntyä ja heikentää kohdan kantavuutta. Mallien mukaan jompikumpi riskeistä on teiden varsilla koholla lähes koko alueella. On kuitenkin muutamia kohtia, joissa maa kantaa ympäristöä paremmin ja eroosipotentiaali on muuta tilaa pienempi. Varastopaikka ja ajourat kannattaakin sijoittaa johonkin näistä kohdista siten, kun se työmaan muuhun toimintaan parhaiten soveltuu.

### **5.3 Esimerkki turvemaalta**

Turvemaan esimerkki haluttiin ottaa Suurisuonojan valuma-alueelta, koska suurin osa Immalanjärven kuormituksesta tulee sieltä. Ilmakuvien perusteella lähes kaikki suometsät ovat kuitenkin aukeita tai taimikoita. Tämä rajasi näiltä kohteilta pois jatkuvapeitteiset kasvatusmenetelmät. Kuten viitekehyksessä todettiin, ne vaativat toimiakseen tarpeeksi iäkästä puustoa, jotta luontainen siementuotanto ja siten taimettuminen voisi onnistua. Jatkuvapeitteiset kasvatusmenetelmät taas olivat olennainen keino kunnostusojitustarpeen välttämässä ja näin vesiuomien huuhtoutumisriskin huomioimisessa.

Kohteeksi valikoitui lopulta Mallisillanojan kosteikon ympäristö, joka näkyy metsäkuviointeen kuvassa 19. Ilmakuva samasta kohteesta on kuvassa 20. Turvemaat ovat sen verran tasaisia, että RUSLE 2015 -mallin osoittamat arvot eivät olleet kohteessa merkittäviä. Lisäksi malli ei ulotu rajavyöhykkeen läheisyyteen, joten tästä kohteesta sen tarkastelu jätettiin pois.



Kuva 19. Palstakartta ja metsäkuviot turvemaan esimerkkikohteelta Suurisuonojan valuma-alueelta



Kuva 20. Ilmakuva Suurisuonojan turvemaan esimerkkikohteesta

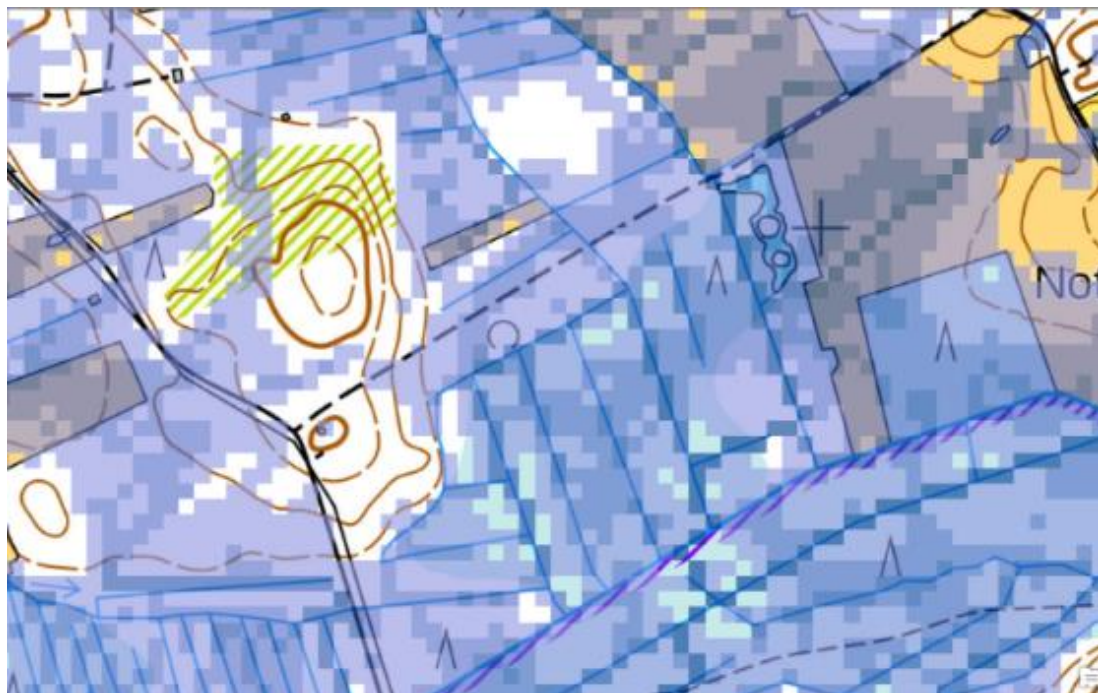


Kuten kuvasta 21 havaitaan, vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto osoitti paikoitellen korkean (punaisella merkityt uomat) ja kohtalaisen (oranssilla merkityt uomat) riskin arvoja.



Kuva 21. Korkea vesiuomien huuhtoutumisriski punaisella merkittynä Suurisuonojan turvemaan esimerkkikohteessa.

Kuvasta 22 puolestaan näkyy, miten TWI-kosteusindeksi osoittaa korkeampia arvoja ojauomille. Käytännön kannalta olennaista on kuitenkin tarkastella indeksin kuvaaman kantavuuden vaihtelua ojien välisillä alueilla.



Kuva 22. TWI-kosteusindeksin tiedot Suurisuonojan turvemaan esimerkkikohteessa.

Tarkastelemalla aineistoja päällekkäin voidaan kohteesta tehdä muutamia päätelmiä. Kuten kuvasta 23 voidaan huomata, kuvion 4 ojissa huuhtoutumisriski on muutamassa kohdassa lyhyehköltä matkalta erittäin korkea, mutta muuten riski on matala.



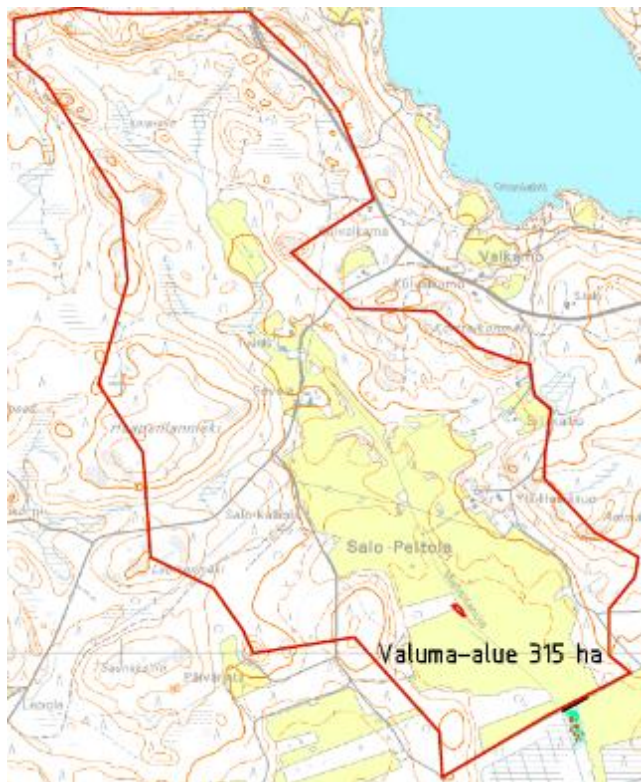
Kuva 23. Aineistot yhdisteltynä Suurisuonojan turvemaan esimerkkikohteelta

Mikäli uudistettaessa syntyy vesitalouden tasapainossa pitämisen vuoksi tarve kunnostusojitukseen, kannattaa näihin korkean riskin kohtiin jättää kaivu- ja perkauskatkoja. TWI-kosteusindeksin mukaan kantavuus näyttäisi olevan heikompi kuvion keskellä. Ajourat kannattaakin suunnitella tätä tietoa hyödyntäen, ja välttää ojien ylityksessä heikon kantavuuden ja korkean huuhtoutumisriskin paikkoja.

Viereisellä kuviolla 8 suuri osa ojista näyttäisi olevan korkean huuhtoutumisriskin aluetta. Tämä vähentää sopivia kohtia uomien ylittämiseen, mutta se kannattaa kuitenkin mahdollisuuksien mukaan huomioida. Tällä kuviolla kunnostusojituksen tarvetta tulisi pyrkiä välttämään. Mikäli se muuten soveltuu jatkuvaan kasvatukseen, voisi siten yrittää pitää pohjaveden pintaa kasvavan puuston haihdutuksen avulla tarpeeksi matalana.

Kuvatun alueen koillisosassa on 0,82 hehtaarin kokoinen kosteikko, jonka kautta Mallisillanojan kuljettama vesi ohjataan. Kuvassa 24 on esitetty kos-

teikon 315 hehtaarin laajuinen valuma-alue. Siinä näkyy myös ylempänä Mallisillanojassa sijaitsevat laskeutusallas ja pohjapato, joiden on tarkoitus kerätä karkein kiintoaines ennen kosteikkoa.

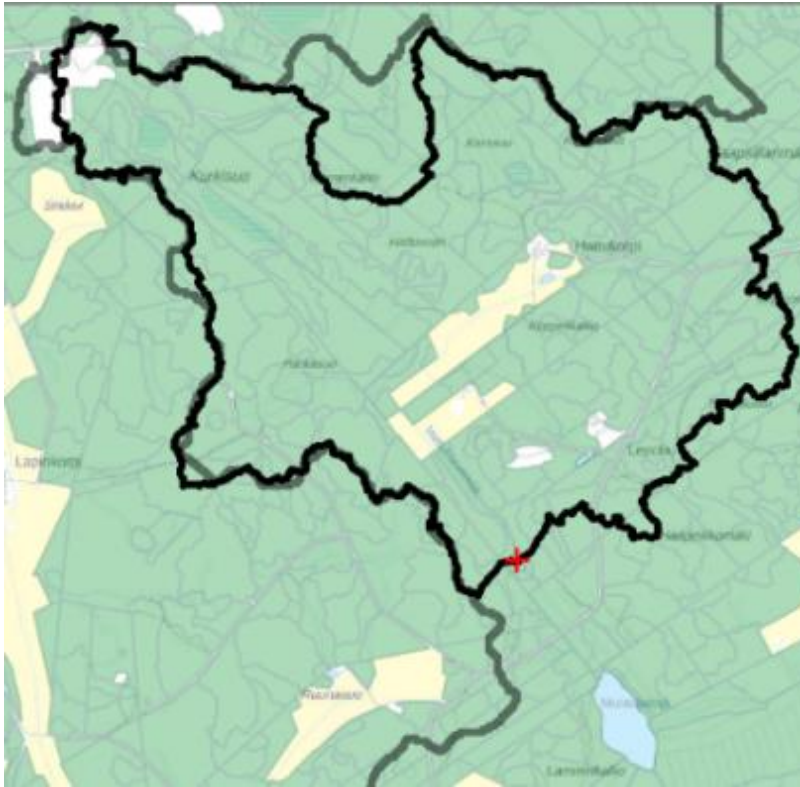


Kuva 24. Mallisillanojan kosteikon valuma-alue (Heiskanen 2012)

Kosteikon alapuolinen kuvio 9001 (kuvat 19 & 23) on tarkoitus pitää jatkuva-peatteisenä. Kohteessa on toteutettu pienaukkohakkuuta ja taimettumista on pyritty edistämään lehtipuuta suosimalla. Näin on pyritty välttämään kuvion pohjois- ja länsipuolisten ojien kunnostus, sillä huuhtoutumisriski näissä uomissa on erittäin korkea.

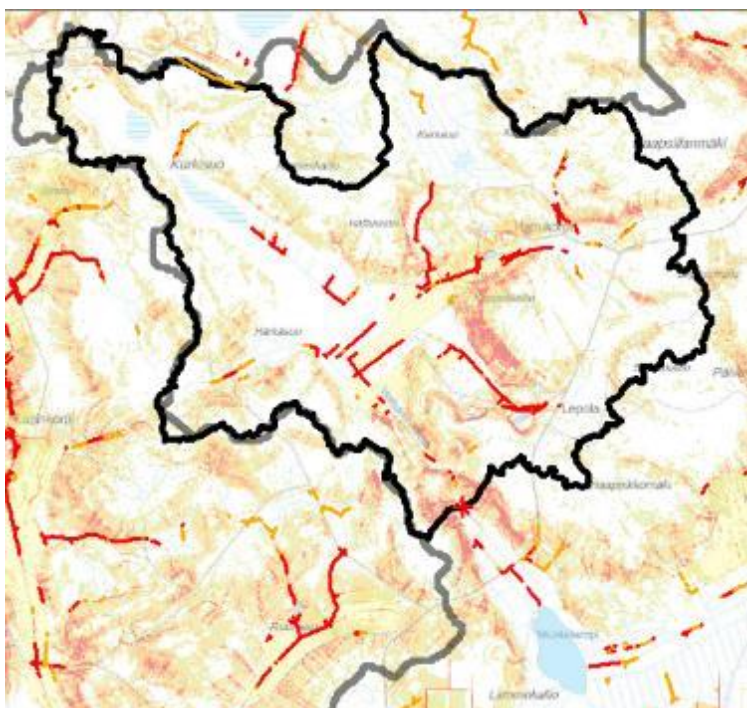
### 5.3.1 Valuma-alueyökalun hyödyntäminen

Suomen metsäkeskuksen laatiman yksittäisille uomille soveltuvan valuma-alueelaskurin toimintaa kokeiltiin Hattukorvenojan laskeutusaltaaseen ja pohjapatoon kohdistuvan potentiaalisen kuormituksen kuvaamiseen. Kun purkupisteeksi asetettiin laskeutusaltaan yläreuna, saatiin kuvassa 25 näkyvä tulos.



Kuva 25. Hattukorvenojan laskeutusaltaan valuma-alue

Toimeksiantajan toiveesta asetuksia muutettiin niin, että valuma-alueen pinta-ala ei näy numerona kartalla. Työkalu kuitenkin laskee sen, ja kooksi muodostui vähän alle 300 hehtaaria. Kuormituspotentiaalista ei numeerista tulosta saa, mutta riskialueita näyttäisi kuvan 26 mukaan olevan kohtalaisen paljon. Arviota tehdessä on muistettava, että aineistot kertovat vain mahdollisesta huuhtoumasta. Noudattamalla varovaisuutta ja soveltamalla kohteisiin vesien-suojelun kannalta sopivia käsittelytapoja eroosiota ei välttämättä synny. Lopulta varman tiedon laskeutusaltaan tehosta ja kapasiteetin riittävydestä saisi vain mittaamalla veden laatua sen alapuolella.



Kuva 26. Hattukorvenojan laskeutusaltaaseen kohdistuva kuormituspotentiaali RUSLE-mallin ja vesiuomien huuhtoutumisriskiaineiston avulla kuvattuna.

Jos puhdistustehoa olisi tarve lisätä, tähän kohteeseen voisi kokeilla uusia biohiiliratkaisuja. Ne kannattaisi rakentaa laskeutusaltaan jälkeen, jolloin puhdistusprosessia pahiten häiritsevä karkea kiintoaines olisi saatu poistettua. Rakenne tulisi kuitenkin sijoittaa hyvissä ajoin ennen Mustalampeen laskevaa korkean huuhtoutumisriskin osuutta, jotta itse rakennustöiden aiheuttama huuhtouma voitaisiin minimoida. Toinen tälle teknologialle soveltuva kohde voisi olla Mallisillanojan kosteikon jälkeen ojan loppupäässä, jossa uoman huuhtoutumisriski laskee (kuva 21).

### 5.3.2 Tulosten esittely ja palaute

Esiteltäessä ensimmäisiä versioita tuotoksesta toimeksiantajalle maaliskuun lopulla nousi esiin tarve pienelle opasvihkoselle, jossa kuvattaisiin tiiviisti tuotos ja sen hyödyntäminen. Tämä olisi helposti jaettavissa esimerkiksi koulutustilaisuuksissa. Toisaalta toiveena oli hieman laajemmin tuotoksen perusteita avaava versio, joka kuitenkin olisi varsinaista opinnäytetyöraporttia kevyempi. Nämä dokumentit luotiin, ja niitä hiottiin toimeksiantajan palautteen perusteella maalis-huhtikuun aikana. Työn tulokset esiteltiin Immalanjärven vesiensuojelun ohjaustyöryhmän kokouksessa 25.4.2019. Jäsenille oli etukäteen lähetetty sähköpostitse opasvihkonen sekä laajemmin perusteita avaava ver-

sio. Itse kokouksessa ohjeisto ja työkalut herättivät paljon kiinnostusta ja tarkentavia kysymyksiä. Työ sai kiitosta visuaalisuudesta ja informatiivisuudesta. Ohjausryhmän jäsenille lähetettiin sähköpostitse vielä palautekysely, jossa oli kolme avointa kysymystä:

1. Mikä työssä oli hyvää? Missä onnistuttiin?
2. Mihin jäi parannettavaa? Jäikö jotain puuttumaan?
3. Miten työn tuloksia voi hyödyntää käytännössä?

Kirjallisissa palautteissa kiitosta tuli uuden teknologian mielenkiintoisesta hyödyntämisestä ja havainnollistavasta tavasta kuvata hyvinkin tarkasti vesien-suojelun kannalta kriittiset maastonkohdat. Opasvihkosen selkeys visuaalisuus ja helppolukuisuus keräsivät mainintoja. Parannettavaa jäi suulliseen esittämiseen, jonka yhteydessä oli pientä epäselvyyttä eroosiopotentiaalin mittaustekniikoiden käytössä. Oppaasta tarkistamalla tästäkin selvittiin. Esitykseen kaivattiin myös vielä konkreettisemmin työmaasuunniteluun kytkettyä esimerkkiä. Käytännön hyödyntämiseen nähtiin paljonkin mahdollisuuksia myös muualla kuin Immalanjärven ympäristössä. Periaatteessa riskipaikkojen merkitseminen työmaakartoille ja näkymään työkoneiden ohjaamoissa nähtiin suhteellisen pienenä vaivana. Käytännössä sen kuitenkin katsottiin vaativan vielä paljon leimikkokohtaisia suunnitelmia tekevien toimihenkilöiden kouluttamista aineistojen hyödyntämiseen.

## **6 POHDINTA JA PÄÄTELMÄT**

### **6.1 Prosessin arviointi**

Työn aihe, tavoitteet ja rajaukset elivät jonkin verran prosessin kuluessa. Kun idea opinnäytetyöstä syntyi, tarkoituksena oli ainoastaan RUSLE 2015 -mallin hyödyntäminen. Jo opinnäytetyön aloituspalaverissa toimeksiantajan kanssa nousi esiin mahdollisuus hyödyntää muitakin aineistoja. Työsuunnitelmaan hyödynnettäväksi valikoituivat RUSLE 2015 -malli, TWI -kosteusindeksitiedot sekä vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto. Näistä viimeisin ei kuitenkaan ollut saatavissa Immalanjärven alueelle metsäkeskuksen WMS-rajapinnan kautta, ja se rajattiin ulos. Helmikuun lopulla SMK:n kanssa pidetyssä työpala-verissa ilmeni, että aineisto on sittenkin olemassa, ja sen saatavuutta opinnäytetyökäyttöön alettiin selvittää. Aineisto saatiin ladattua koneelle tiedostona ja

osaksi työtä. Valuma-alueen määrittäminen kulki ajatustasolla mukana koko prosessin ajan, mutta siinä hyödynnettävät työkalut mieltyivät aineistoihin rinnastettaviksi komponenteiksi vasta loppumetreillä. Sähköistä tuotosta täydentävästä dokumentista oli prosessin alussa puhetta, mutta opinnäytetyöraportin ajateltiin ajavan asian. Vasta loppuvaiheessa todettiin sen olevan koulutuskäyttöön liian raskas, ja päätettiin tehdä kaksi sähköistä tuotosta tukevaa dokumenttia.

Suurelta osin muutoksissa oli kyse asioiden tarkentumisesta ja tarpeiden selkiytymisestä. Alkuvaiheessa suunnitteluun ja yhteisen ymmärryksen rakentamiseen meni melko paljon aikaa, mutta jälkeinpäin voi sanoa, että se kannatti. Sen ansiosta lähteiden valinta helpottui ja tuotokseen ja sen sisältöön tulleista lisäyksistä ja muutoksista oli helppo keskustella selkeän yhteisen kuvan pohjalta.

Paikkatietoaineistoja ja niihin perustuvia työkaluja on tarjolla paljon. Tässä työssä käytettyihin vaihtoehtoihin päädyttiin toimeksiantajan ja työelämäohjaajan kanssa käytyjen yhteisten keskustelujen pohjalta, ja niiden avulla saatiin luotua melko tasapainoinen kokonaisuus, jota voi hyödyntää käytännön toimenpiteiden suunnittelussa. Mallit kehittyvät ja uusia työkaluja laaditaan koko ajan. Esimerkiksi tässä työssä hyödynnetty 16 x 16 metrin tarkkuudelle määritetty TWI-kosteusindeksi on korvautumassa tarkemmalla ja pienipiirteisemmällä 2 x 2 metrin pikselikokoisella Depth to Water (DTW) -indeksillä. Sen laskentatapa on hieman erilainen kuin TWI:n, ja tuloksissa saattaa tarkkuuden lisäksi olla muitakin pieniä eroavaisuuksia. DTW-indeksi ei vielä kuitenkaan ole saatavilla Immalanjärven alueelle, joten työssä valittiin hyödynnettäväksi TWI-kosteusindeksi.

ArcGIS on suhteellisen raskas ohjelmisto, ja vaatii tietokoneelta huomattavasti muistia, laskentanopeutta ja tehokkaan näytönohjaimen. Tämä oli projektin resurssisuunnitelmassa huomioimatta jäänyt asia. Tietokone, jolla opinnäytetyötä oli kirjoitettu ei ollut kapasiteetiltaan riittävä. Tarpeeksi tehokas lainakone löytyi kuitenkin helposti ja nopeasti perhepiiristä.

Paikkatieto-ohjelmistojen käyttö ei kuulunut tutkinnon pakollisiin opintojaksoihin, eikä niiden käytöstä ollut projektin alussa vielä kokemusta. Kaakkois-Suo-

men ammattikorkeakoulun IT-tuen ja opinnäytetyön ohjaajan neuvoilla ohjelmiston käytössä päästiin kuitenkin hyvään alkuun. Kokeneemmalta käyttäjältä työn tekeminen olisi varmasti sujunut nopeammin, mutta valmista tuli näinkin. Samalla se synnytti tekijälle uutta osaamista.

Tämän työn tuotoksen luominen eteni melko hitaasti johtuen tekijän kokemattomuudesta ArcGIS -ohjelmiston käytössä. Paikkatieto-ohjelmistojen toiminnan tuntevalle käyttäjälle aineistojen hyödyntäminen on kuitenkin suhteellisen helppoa. Työ kannattaa aloittaa halutun valuma-alueen määrittämisellä. Sen jälkeen voi käydä muokkaamassa tuloksen ominaisuudet siten, että kartalla näkyy alueen ääriviivat, mutta sisäosa on läpinäkyvä. Muut tässä työssä kuvattut vesiensuojeluaineistot saa käyttöönsä WMS-rajapintoina SMK:n palvelimelta nopeasti ja helposti. Kun tähän lisää WMS-rajapintana metsätaloukseen ja kuviorajat Metsään.fi-palvelusta, niin kaikki tässä työssä tutkittu aineisto on valmiina.

## **6.2 Arviot ohjeistosta ja aineistojen hyödyntämisestä**

Vesiensuojelun paikkatietoaineistojen roolit poikkeavat hieman toisistaan, mikä on syytä ottaa huomioon niitä tarkastellessa ja suojelutoimenpiteitä suunniteltaessa. Osa aineistoista, kuten TWI-kosteusindeksi kuvaa sitä, miten herkästi esimerkiksi ajourapainumia ja maan pinnan rikkoutumista tapahtuu. Kyse on siis maan pinnan rikkoutumisen todennäköisyydestä, ja toimenpiteissä näkökulma on rikkoutumisen minimoinnissa sopivien ajourien tai säästöpuuryhmien avulla.

Toiset, kuten vesiuomien huuhtoutumisriskiaineisto, kuvaavat sitä paikkaa, missä eroosiota syntyy, jos maan pinta pääsee rikkoutumaan. RUSLE 2015 -mallin tapaiset aineistot puolestaan kuvaavat rikkoutumistilanteessa liikkeelle lähtevän kiintoaineen määrää. Siinä, missä nämäkin aineistot osoittavat paikkaa, jossa rikkoutumista tulisi välttää, ne myös antavat tietoa mahdollisesti syntyvän vahingon suuruudesta, ja niitä voi näin hyödyntää vesiensuojelurakenteiden mitoituksen suunnittelussa.

Useiden karttatasojen tuominen päällekkäin teki näkymästä melkoisen sekavan varsinkin, jos valuma-aluetta tarkasteli kokonaisuutena. Ongelmaa korosti



kannettavan tietokoneen pieni näyttö. Tarkentamalla lähemmäksi näkymä muuttui huomattavasti selkeämmäksi ja ymmärrettävämmäksi. Tuotoksen hyödyntämisessä kannattaakin käyttää riittävän suurta näyttöä.

Luodun työkalun havainnollisuus paranisi, mikäli kuviorajat voitaisiin tuoda kartalle ilman taustaväriä tai ainakin kontrasti taustan ja rajojen välillä olisi suurempi. Tämä parantaisi muiden tietojen näkyvyyttä huomattavasti ja vähentäisi päällekkäisyyksistä aiheutuvaa sekavuutta.

RUSLE 2015 maa-ainesten huuhtoutumiskarttataso perustuu lukuarvoihin tn/ha/v. Olisi siis mahdollista luoda työkalu, joka laskee kuormituksen kartalle rajatulla alueella. Näin päästäisiin määrittelemään mahdollisia kuormituksia kuvioittain. Metsähallituksen luontopalveluiden koordinoiman Freshabit LIFE IP -hankkeen koulutusmateriaalien mukaan kehitteillä on myös mallinnus kiintoaineksen pidättymisestä matkalle ennen vesistöä (Leinonen 2018). Yhdistelemällä näitä tietoja SMK:n valuma-alue työkalun piirtämiin tuloksiin, olisi mahdollista kuvata esim. tiettyyn maaston kohtaan, vesien purkautumispaikkaan tai vesiensuojelurakenteeseen kohdistuva potentiaalinen kuormitus.

Ideaalitilanteessa kartalle voisi merkitä myös vesiensuojelurakenteita, joille voisi määritellä tiettyjä pidätysarvoja. Tällaisella työkalulla olisi helppo tarkastella vesistökuormitusriskiä, ja saada lukuarvoina syntymättä jäävä kuormitus, mikäli alue käsitellään rikkomatta maan pintaa. Toisaalta tehtävien toimenpiteiden aiheuttamat kuormitusmäärät olisivat arvioitavissa, ja eri suojelurakenteiden ja niiden yhdistelmien mitoitus olisi suunniteltavissa vastaamaan syntyvää tarvetta. Tämän tyyppinen työkalu päivittyisi ajan mittaan sitä mukaa, kun eri tasojen mallit kehittyvät ja tiedot tarkentuvat. Näin sillä olisi mahdollisuus kehittyä muutoksen mukana samaan tapaan, kuin RUSLE -mallin käyttökelpoisuus on parantunut sen eri komponenttien määritystekniikoiden tarkentuessa.

Kaukokartoitusaineistot auttavat metsätalouden vesiensuojelun suunnittelussa, mutta ne eivät kokonaan korvaa maastotyötä. Niiden rooli on enemmänkin täydentävä ja tehostava. Aineistojen avulla voidaan saada monipuolisesti tietoa siitä, minkä tyyppisiä ja kuinka suuria vesiensuojelullisia riskejä kuviolla, työmaalla tai vesistön valuma-alueella on. Osa tästä informaatiosta olisi

vaikeampi, ellei mahdoton, hahmottaa ihmissilmin maastossa. Aineistot auttavat metsäsuunnitelmia ja leimikon suunnittelua tekeviä metsäammattilaisia määrittelemään ne kohteet, joiden käsittelemättä jättämistä tai ainakin maan pinnan rikkomisen välttämistä kannattaa harkita. Toisaalta niiden avulla voidaan alustavasti arvioida syntyvän kuormituksen määrä ja sijainti, mikä helpottaa tarvittavien vesiensuojelurakenteiden mitoittamista ja sijoittamista. Vaikka maastosuunnittelun tarve ei kokonaan poistukaan, tulee työstä helpompaa ja nopeampaa, kun alustava mielikuva suojelutoimenpiteiden kokonaisuudesta on voitu tehdä toimistossa.

Tällä hetkellä nämä aineistot ovat vapaasti saatavilla metsäkeskuksen verkkosivujen ja metsaan.fi palvelun ja näiden kautta avattavien WMS-rajapintojen avulla. Koneenkuljettajien arkeen ja reittivalintoihin ne alkavat todennäköisesti vaikuttaa kuitenkin vasta siinä vaiheessa, kun informaatio on selkeästi ja helposti nähtävissä työmaakartalla muiden ohjeiden joukossa. Näin kuljettaja voisi hakkuuta toteuttaessaan tietoinen pehmeiköistä, suuren eroosipotentiaalain paikoista ja huuhtoutumisherkistä uomakohdista, ja tehdä kohteen riskitason edellyttämät valinnat ja päätökset.

## LÄHTEET

Christiansson, L.E., Bhandari, A., Helmers, M.J., Kult, K.J. & Sutphin, T. 2012. Performance Evaluation of Four Field-Scale Agricultural Drainage Denitrification Bioreactors in Iowa. Iowa State University. Agriculture and biosystem engineering publications. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.fi/&httpsredir=1&article=1587&context=abe\\_eng\\_pubs](https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.fi/&httpsredir=1&article=1587&context=abe_eng_pubs) [viitattu 4.3.2019].

Christiansson, L.E., Lepine, C., Sharrer, K.L. & Summerfelt, S.T. 2016. Denitrifying bioreactor clogging potential during wastewater treatment. *Water research* 105, 147-156.

Finer, L. 2017. Metsätalouden aiheuttama typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormitus on aiemmin arvioitua suurempaa. Blogi. Päivitetty 8.11.2017. Saatavissa: <https://www.luke.fi/blogi/olemmeko-aliarvioineet-metsatalouden-piirissa-oleviltal-alueilta/> [viitattu 28.11.2018]

Fredriksson, T. & Rantala, S. (toim.) 2008. Tapion taskukirja. Helsinki: Metsäkustannus.

Heiskanen, J. 2012. Kosteikkosuunnitelma. Kuopio: Maveplan Oy.

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 -kouluttaja-aineisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/metsatalouden\\_vesiensuojelu\\_kouluttajan\\_aineisto.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/metsatalouden_vesiensuojelu_kouluttajan_aineisto.pdf) [viitattu 4.2.2019].

Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M., & Tenhola, T. 2013. Hyvän metsänhoidon suositukset -Vesiensuojelu. Helsinki: Metsäkustannus.

Keisala, M., 2016. Vesiuomien maa-aineksen huuhtoutumisriski. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.6.2018. Saatavissa: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=12057471c2b0435db8d269539a848fb0> [viitattu 8.3.2019].

Keisala, M. & Jämsén, J. 2018. Käyttöohje: Valuma-alueen määritys-työkalu geoprosessointipalveluna. PDF-dokumentti. Päivitetty 24.9.2018. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/vesiensuojelutyokalu-valuma-alueen-maaritustyokalu-kaytto-karttapalvelussa.pdf> [viitattu 9.3.2019].

Kähö, T. 2015. Imatran Jäppilänniemen Korvenojan virtaamansäätöpatojen sekä pohjapattosarjojen rakennepiirroksat. Metsänhoitoyhdistys Etelä-Karjala ry.

Leinonen, A. 2016. Metsätalouden vesiensuojelun kehittämistöitä Freshabit Life IP-hankkeessa. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.11.2016. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/Metsakeskus/metstalous-vesiensuojelun-kehittamistit-freshabit-life-iphankkeessa> [viitattu 12.2.2019].

Leinonen, A. 2018. Paikkatietoaineistojen hyödyntäminen maanmuokkauksissa ja maastovaurioiden välttämässä. Webinaari/PDF-dokumentti. Esitetty: 10.9.2018.

Lepine, C., Christiansson, L., Sharrer, K. & Summerfelt, S. 2015. Optimizing Hydraulic Retention Times in Denitrifying Woodchip Bioreactors Treating Recirculating Aquaculture System Wastewater. *Journal of environmental quality* 45, 813-821.

Nieminen, A. 2018. Monipuoliset metsänhoitomenetelmät käyttöön suometsissä. Koulutuspäivä. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Imatra 30.10.2018. Koulutusmateriaali.

Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M. & Sarkkola, S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of The Total Environment* 609, 974-981.

Ollonqvist, P., & Aarnio, J. (toim.) 2004. Julkinen tuki yksityismetsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 923. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/521557> [viitattu 6.2.2019].

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rouseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S. & Alewell, C. 2014a. Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment* 511, 801-814.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. & Montanarella, L. 2014b. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land use policy* 48, 38-50.

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. 2015a. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy* 54, 438-447.

Panagos, P., Borrelli, P. & Meusburger, K. 2015b. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences* 5, 117-126.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool D.K. & Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agriculture Handbook Number 703. United States Department of Agriculture.

Riipinen, E. s.a. Kohdesuunnitelma. Kaakkois-Suomen metsäkeskus.

Salmi, M., Räsänen, T. & Hämäläinen, J. 2013. Kosteusindeksi puunkorjuun olosuhteiden ennakoinnissa. Metsäteho Oy. Metsätehon raportti 229. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti\\_229\\_Kosteusindeksi\\_puunkorjuuolosuhteiden\\_ennakoinnissa\\_misa\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_229_Kosteusindeksi_puunkorjuuolosuhteiden_ennakoinnissa_misa_ym.pdf) [viitattu 12.2.2019].

Sandell, M. 2017. Metsäojitusten vaikutukset vesistöihin yllättivät tutkijat – päästöt pahenevat vuosien kuluessa. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.9.2017. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9820831> [viitattu 6.3.2019].

Suomen metsäkeskus. s.a. Suojavyöhykkeet. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/kuormitus-kuriin-suojavyohykkeet.pdf> [viitattu 19.2.2019].

Suomen ympäristökeskus. 2017. VALUE - Valuma-alueen rajaustyökalun KÄYTTÖOHJEET. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/valueohje.pdf> [viitattu 9.3.2019].

Vilka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Tammi.

Vilka, H. & Airaksinen, T. 2004. Toiminnallisen opinnäytetyön ohjaajan käsikirja. Helsinki: Tammi.