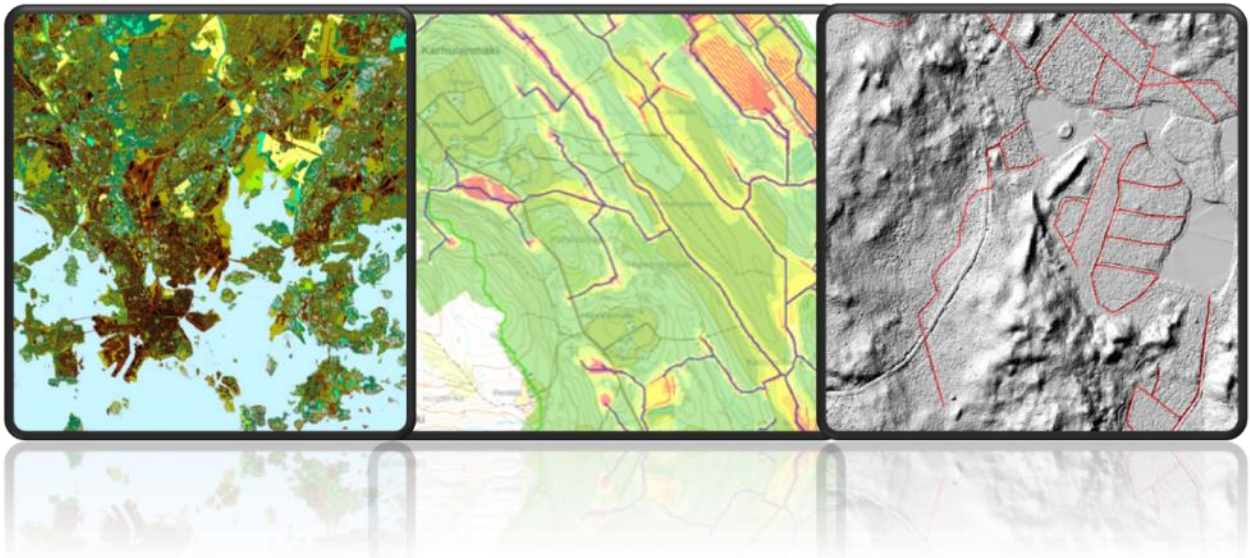


**Laserkeilaus vesien hallinnassa osana kestävästä
maankäytön ja metsien suunnittelua (LaserVesi)-
hankkeen loppuraportti
30.9.2022**



Sisällys

Laserkeilaus vesien hallinnassa osana kestävä maankäytön ja metsien suunnittelua (LaserVesi)-hankkeen loppuraportti	1
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	3
2. Osapuolet ja yhteistyö	4
3. Hankkeen toteutus ja tulokset.....	5
3.1 Menetelmät ja aineisto	5
3.1.1 WP1	5
3.1.2 WP2	7
3.2 Tulokset.....	8
3.2.1 WP1.....	8
3.2.2 WP2	9
3.3 Toteutusvaiheen arviointi	12
3.3.1 WP1	12
3.3.2 WP2	12
3.4 Julkaisut ja viestintä	14
4. Tulosten arviointi	17
4.1 Tulosten käytännön sovellettavuus	17
4.1.1 WP1	17
4.1.2 WP2	17
4.2 Tulosten tieteellinen merkitys	18
5. Tiivistelmä	19
LIITE 1. Ojatulkinnan raportti, Arbonaut Oy	21
JOHDANTO	21
OJALINJOJEN GEOMETRIOIDEN KORJAUS JA LUONTI.....	22
Ojien luokittelu ja luonnollisten uomien täydennys.....	26
OMINAISUUSTIETOJEN TUOTTAMINEN.....	27
Vedenpinnan korkeus/ojan pohjan korkeus.....	27
Kuivavara.....	29
Ojan leveys.....	29
TULOKSET	31
JOHTOPÄÄTÖKSET.....	31
Ojien manuaalinen digitointi	31
Ojien luokittelu ja luonnollisten uomien täydennys.....	31
Ojan automaattitulkinta.....	35
LIITE 2. Pohjavesialueiden ja pohjavesien muodostumisalueiden läpäisemättömät pinnat	36

1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

LaserVesi-hankkeen tarkoituksena oli tuottaa uusia kansallisen laserkeilausohjelman aineistoon perustuvia innovatiivisia tuotteita ja sovelluksia kestäväen vesien- ja maankäytön hallinnan tueksi. Tavoitteena oli, että tuotteet ovat suoraan laajennettavissa koko Suomeen pelkästään Maanmittauslaitoksen (MML) valtakunnallisia paikkatietoaineistoja käyttämällä. LaserVesi-hanke tekikin läheistä yhteistyötä muun muassa MML:n ATMU-hankkeen kanssa, jossa on selvitetty automaation mahdollisuuksia Kansallisen maastotietokannan kohteiden ajantasaistamisessa. Muita merkittäviä yhteistyöhankkeita ovat olleet Mammutti ([Suomen ympäristökeskus > Yhteisen tietopohjan kehittäminen maankäytön ja sen muutosten seurannalle \(Mammutti\) \(syke.fi\)](#)) sekä Valumavesi ([Suomen ympäristökeskus > Valumavesi-hanke \(syke.fi\)](#)). Hankkeiden välinen tiivis yhteistyö tietoaineistojen kehityksessä on luonut jatkumon menetelmien ja aineistojen kehitystyölle ja avaamiselle laajan yleisön käyttöön. Avoimuus taas mahdollistaa tietoaineistojen hyödyntämisen erilaisissa käytännön sovelluskohteissa, kuten esimerkiksi maankäytön suunnittelun, vesienhoidon suunnittelun tai valuma-alueuunnittelun välineenä.

Kaupunkialueilla on tarve tarkalle tiedolle vettä läpäisemättömien ja läpäisevien pintojen sijainnista ja määrästä mm. hulevesien hallinnan suunnitteluun ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen tietopohjaksi. Perinteisillä ilmakuvatulkinnan menetelmillä näiden pintojen erottaminen toisistaan on kuitenkin hankalaa. LaserVesi-hankkeessa käytettiin tekoälyä hyödyntävää maanpeitteen luokittelumallia pääkaupunkiseudulle.

Sijainniltaan ja kattavuudeltaan laadukkaalla ojien paikkatiedolla taas on keskeinen merkitys mm. vesiensuojelussa, suometsätaloudessa, suolinympäristöjen monimuotoisuuden ylläpidossa ja turvemaiden hiilitaselaskennassa. Maanmittauslaitoksen (MML) maastotietokannan ojaverkosto on puutteellinen, koska sitä on tuotettu pääosin ilmakuvilta, joilla ei pystytä erottamaan vesistöjen pienipiirteisiä kohteita. Laserkeilaus mahdollistaa tarkemman uomaverkoston kartoituksen sekä automaattisten ja koneoppimiseen perustuvien ratkaisujen kehittämisen.

Tarkemmin Laserveisi-hankkeen tavoitteena oli selvittää pintavaluntamallinnuksen luotettavuus, mahdollisuudet ja rajoitukset peltojen kuivatustilan/tulvaherkkyiden arvioimiseksi automatisoidusti, sekä tuottaa pilottiaineisto tulvaherkistä pelloista. Lisäksi tavoitteena oli laatia uoma-aineisto, joka kuvaa sijainnin lisäksi uoman ja tulva-alueen piirteitä, kuten vedenjohtokykyä, geometriaa ja kasvillisuutta. Aineiston avulla voidaan muun muassa arvioida tarvetta uoman vedenjohtokyvyn parantamiseen luonnonmukaisella peruskuivatuksella, esim. kaivamalla uoma poikkileikkaukseltaan kaksitasoiseksi.

Pilotissa testattiin ja analysoitiin metsä- ja pelto-ojien lasertulkintaa tiheäpulsasilaseralueella sekä valittiin tarkkuudeltaan ja kustannustehokkuudeltaan soveltuvin menetelmä valtakunnallisen tuotannon referenssiaineistoksi. Menetelmätesteissä oli mukana sopiva kaukokartoitusyritys ja Maanmittauslaitos, joka tarkasteli myös jatkotuotantovaihtoehtoja. Metsä- ja maatalousalan osapuolet osallistuivat pilottiin loppukäyttäjän ja aineiston hyödyntäjän roolissa ja tukivat kehitystyötä erityisesti määrittelyssä ja tulosten validoinnissa.

Hankkeessa selvitettiin tuotantovaihtoehtot metsä- ja maatalousojien kattavaan kartoittamiseen ja niiden tallentamiseen Kansalliseen maastotietokantaan (KMTK) kaikkien aineistotarvitsijoiden hyödynnettäväksi. Tämä tukee pidemmän ajan tavoitetta tuottaa riittävän tarkka aineisto Suomen metsä- ja pelto-ojaverkosta uuden keilausohjelmakierron myötä.

Hankkeessa tuotettiin tarkka maanpinnan vedenläpäisemättömyyttä ja samalla myös maanpeitettä kuvaava aineisto pilottialueille. Tanskassa onnistuneesti hyödynnettyä U-NET-neuroverkkomallinnusta testattiin nyt pääkaupunkiseudulla käyttämällä ensin opetusaineistona

tarkkoja seudullisia paikkatietoaineistoja ja tämän jälkeen valtakunnallisia Maanmittauslaitoksen aineistoja. Näiden perusteella tuotetaan edelleen veden virtauksen mallinnuksessa tarvittavat aineistot karkeus- ja valuntakertoimesta pilottialueilta, joita testataan niin pintavalunta-, hulevesi-, kuin joen hydraulisessa mallintamisessa.

Edellä tuotetusta maanpeiteaineistosta johdettiin kaupunkialueiden mittakaavaan soveltuva viherrakennetta kuvaava paikkatietoaineisto, joka on yleistettävissä valtakunnallisesti eri alueille. Aineistossa kiinnitettiin huomiota viherrakenteen laatuun luokittelemalla sen rakenteellisia ominaisuuksia, kuten korkeus, sekä vallitseva maanpeite. Erityistä huomiota kiinnitettiin vettä läpäisemättömien pintojen (esim. asfaltti/betoni) erotteluun vettä läpäisevistä pinnoista (hiekkä, savi ja multa). Tämä on todettu aikaisemmin haasteelliseksi, mutta U-NET-neuroverkkomallinnuksen avulla erottelu on onnistunut lupaavasti. Tietoa viherrakenteesta ja maanpinnan läpäisevyydestä tarvitaan mm. Kaupunkisuunnittelussa ja hulevesimallinnuksessa, joka on perustana hulevesitulvariskien hallinnalle.

Hankkeessa tuotetut aineistot on tarjottu pääosin avoimesti ladattavina ([HSY:n karttapalvelu](#)) sekä karttapalveluiden kautta hyödynnettävinä aineistoina (tarinakartta: [Peltojen kuivatustilan arviointi](#)).

2. Osapuolet ja yhteistyö

Suomen ympäristökeskus SYKEN koordinoima LaserVesi-hanke on yksi MMM:n rahoittamista Laserkeilausdatan hyödyntämispiloteista, jotka saivat rahoitusta vuosille 2021–2022. Rahoitusta saavan hankeconsortion SYKEN kanssa muodostivat Suomen metsäkeskus (SMK), Maanmittauslaitos (MML) ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY). Hankkeen keskeisiä yhteistyökumppaneita olivat lisäksi Metsäteho Oy, Helsingin kaupunki, Salaojayhdistys, Etelä-Suomen Salaojakeskus/KVVY Tutkimus Oy, SCALGO ja ESRI. Hankkeelle perustettiin ohjausryhmä, joka kokoontui hankkeen aikana kolme kertaa.

SMK vastasi hankkeen ojatulkintaosuudesta yhteistyössä MML:n ja SYKE:n kanssa. Ojatulkinnan toteutti Arbonaut Oy. Keskeisimmät yhteistyötahot SMK:n osuudessa olivat Arbonaut ja MML. Ojatulkinnan tulosten läpikäyntiin järjestettiin erilliset teemakokoukset metsäojista (SMK, Arbonaut, MML, MetsätKuntoon) sekä pelto-ojista (SMK, Arbonaut, MML, SYKE, Salaojayhdistys, Ruokavirasto). SMK:ssa tehtiin yhteistyötä erityisesti MML:n ATMU (Advanced Technology for National Topographic Map Updating) eli Maastotietotuotannon automatisointi-hankkeen kanssa.

Hankkeessa pidettiin myös kaksi yhteistyötilaisuutta uomia ja hydrologiaa kuvaavien paikkatietoaineistojen kehittämistarpeista ja meneillään olevista hankkeista. Alustuksia oli SLU:sta (Sveriges Lantbruksuniversitet) sekä Aalto-, Itä-Suomen- ja Turun yliopistoista. Lisäksi SMK järjesti Ditch detection support group-webinaarin, johon oli avoin kutsu. Esityksiä pitivät SLU ja SMK, jonka jälkeen keskusteltiin laseraineistolla tehtävästä uomatulkinnasta sekä koneoppimismenetelmien hyödyntämisestä ja opetusaineistojen vaatimuksista. Yhteistyötä tehtiin siis hyvin laajasti eri sidosryhmien kanssa.

3. Hankkeen toteutus ja tulokset

3.1 Menetelmät ja aineisto

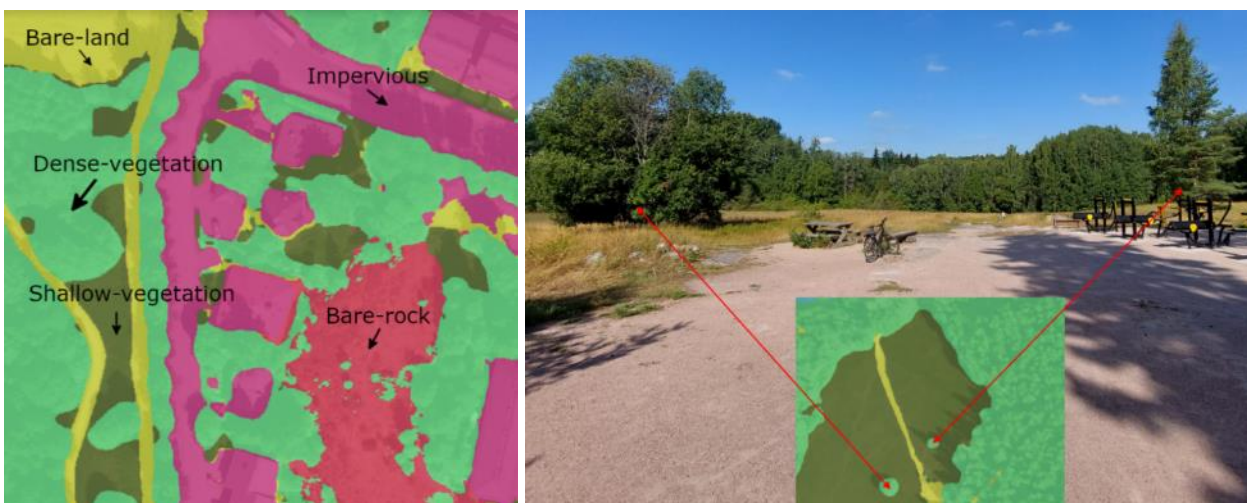
3.1.1 WP1

Työpaketin 1 tehtävät keskittyivät veden läpäisemättömyys- ja maanpeiteaineistojen tuotantoon ja soveltamiseen. Tarkemmin tehtävät sisälsivät seuraavat kokonaisuudet:

1. Tarkan resoluution veden läpäisemättömyysaineiston tuottaminen pääkaupunkiseudulta
2. Viherrakennetta kuvaavan maanpeiteaineiston tuottaminen pääkaupunkiseudulta
3. Tuotettujen läpäisevyys- ja maanpeiteaineistojen testaaminen muissa sovelluksissa

Veden läpäisemättömyysaineistossa keskityttiin etenkin pinnoitetun ja pinnoittamattoman maanpeitteen erottamiseen ja tarkempaan tunnistamiseen. Menetelmä perustuu tanskalaisen Scalgon kehittämään U-NET neuroverkkopohjaiseen mallinnukseen, jossa opetusaineiston ja tekoälyn avulla opetetaan mallia tunnistamaan erilaisia maapeitteitä. Lähtöaineistona käytettiin sekä seudullisia, että valtakunnallisia paikkatietoaineistoja, kuten Maanmittauslaitoksen ja HSY:n ilmakuvia (resoluutio 0.2 cm ja 0.5 cm) ja pistepilviaineistoa (0.5 pulssia/m², 5 pulssia/m²). Lopputuloksena tuotettiin tarkka (pikselikoko 20 cm) koko pääkaupunkiseudun kattava rasteripohjainen paikkatietoaineisto, jonka jokainen pikseli kuvastaa veden läpäisemättömyyden todennäköisyyttä kyseisessä pikselissä. Valtakunnallisen aineiston kehitystyötä on jatkettu TIIMA¹- ja Mammutti-hankkeissa.

Maapinnan veden läpäisemättömyyttä kuvaavaan aineistoon täydennettiin seuraavassa vaiheessa alla olevassa kuvassa (kuva 1) esitetyjä maanpeiteluokkia ortoilmakuvia ja tekoälyä hyödyntämällä. SCALGO:n tuottaman maanpeiteaineiston laatua ja käytettävyyttä arvioitiin testialueilla Etelä-Suomessa ja Lapissa. Työ tehtiin SCALGO:n selainsovelluksessa, jossa maanpeiteaineiston työversioita verrattiin orto-ilmakuviin visuaalisesti. Lisäksi työversioita ladattiin SYKE:n paikkatietoympäristöön, jossa aineistoja voitiin verrata omiin paikkatietoihin (mm. maastotietokanta, maanpeiteaineistot, kasvillisuuden pintamallit, maastokoealat). Tulkintaa validoitiin pääkaupunkiseudulla maastossa (kuva 2). Havaitut virheet ja uudet opetusalueet digitoitiin em. sovelluksessa, jolloin ne olivat suoraan käytettävissä SCALGO:ssa uuden tulkintamallin opetuksessa.



Kuva 1. Maanpeiteaineiston luokittelu sekä esimerkki aineiston validoinnista Helsingin Pitkäkoskelta.

Veden läpäisemättömyysaineistosta johdettiin viher- ja vesialueiden kokonaisuutta kuvaava paikkatietoaineisto tukemaan yhdyskuntarakenteen seuranta ja kestävän maankäytön suunnittelua. Aineistoon liitettiin olemassa olevia viherrakennetta kuvaavia paikkatietoaineistoja

¹ TIIMA-hanke: <https://www.syke.fi/hankkeet/tiima>

täydentämään luokitusta. Lopullinen aineisto koostuu 11 erilaisesta maanpeiteluokasta, missä keskityttiin etenkin kasvillisuuden tarkempaan luokitteluun ja piha-alueiden tarkempaan tunnistamiseen. Aineisto on mahdollista yleistää valtakunnalliseksi.

Johdetun maanpeiteaineiston käytettävyyttä tarkempaan hulevesimallinnukseen arvioitiin Helsingin Malmilla, missä ATeNaS-hankkeen² tapaustarkastelussa oli aiemmin tehty hulevesien skenaariomallinnusta SWMM-ohjelmistolla hyödyntäen HSY:n maanpeiteaineistoa.

Matalan virtausta rajoittavan kasvillisuuden aineistoa (5 p) validoitiin käyttäen hyväksi Google Street View –palvelua ja maastokäynnein. Aineisto vaikutti tarkastelujen pohjalta tunnistavan hyvin matalaa kasvillisuutta kaupunkikuvassa. Validointia tehtiin myös Mätäjoella Länsi-Helsingissä. Myös tämän alueen osalta tulokset olivat lupaavia (kuva 2). Paikoin laserpulssit eivät kuitenkaan juurikaan päässeet läpi tiheästä, ylemmästä kasvillisuuskerroksesta. Sen takia matalan kasvillisuuskerroksen tiheydestä ei voitu saada täysin luotettavaa tietoa. Aineiston tuotannosta ja ominaisuuksista on kerrottu tarkemmin WP2:n alla.



Kuva 2. Matalan virtausta rajoittavan kasvillisuusaineiston validointia niin kaupunkialueella Malmilla kuin uoman varrella Mätäjoella Länsi-Helsingissä.

Vettä läpäisemättömät pinnat Pääkaupunkiseudun pohjavesialueilla

Hankkeessa tuotettua vettä läpäisemättömiä pintoja kuvaavaa aineistoa sekä SYKEN pohjavesialueet-aineistoa³ käyttäen laskettiin pääkaupunkiseudun pohjavesialueille ja niiden muodostumisalueille vettä läpäisemättömien pintojen tunnuslukuja. Tuloksia voidaan hyödyntää jatkotarkasteluissa. Läpäisevyystietojen lähtöaineistona käytettiin Suomen ympäristökeskuksella jalostettua läpäisevyysrasteria, jonka resoluutio on 2 metriä. Jalostettu aineisto on yleistetty versio 20 senttimetrin resoluution läpäisemättömyysrasterista ja sen on tuottanut Scalgo.

Tunnuslukujen laskemista varten kehitettiin ArcGISin model builder -toiminnolla työkalu, johon syötetään lähtöaineistoksi läpäisevyysaineisto ja pohjavesiaineisto. Työkalulle ilmoitetaan läpäisevyysaineistoa varten luottamusväli, jolle tunnusluvut halutaan laskea. Väli ilmoitetaan prosenttilukuna (esim. 30), jolloin työkalu valikoi analyysia varten vähintään 30 prosentin todennäköisyydellä vettä läpäisemättömää pintaa kuvaavia pikseleitä analyysia varten. Lopputuotteena syntyy kaksi vektorimuotoista polygoniaineistoa, joista toinen sisältää pohjavesialueille ja toinen muodostumisalueille lasketut tunnusluvut (esim. läpäisemättömän alueen pinta-alan osuus pohjavesialueesta).

² ATENAS-hanke [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/ATeNaSTo_Ally_Technology_Nature_and_Society_for_integrated_urban_water_management/To_Ally_Technology_Nature_and_Society_fo\(52727\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/ATeNaSTo_Ally_Technology_Nature_and_Society_for_integrated_urban_water_management/To_Ally_Technology_Nature_and_Society_fo(52727))

³ Pohjavesialueet <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/pohjavesialueet>

3.1.2 WP2

Työpaketissa kehitettiin menetelmiä niin ojatulkinnan tekemiseen ja ojien piirteiden tunnistamiseen MML:n 5 p laserkeilausaineistosta kuin peltojen ja metsien kuivatustilan ja tulvaherkkyuden arviointiin.

Ojatulkinta

SMK:n pilottialueeksi valittiin 16 karttalehteä (576 km²) Suonenjoelta etelään (ks. LIITE 1). Alueelta oli käytettävissä tiheäpulssinen laserkeilaus (5 p/m²) ja ilmakuvaus vuodelta 2019. Ojatulkintaan pyydettiin tarjous 3 kaukokartoitusyritykseltä ja ainoana tarjoajana toimittajaksi valittiin Arbonaut.

Ojatulkinnassa oli mukana metsä- pelto- ja tienvarsojat. Lisätilauksena täydennettiin myös luonnonuomat sekä tehtiin ojien sääntöperusteinen luokittelu. Laseraineistoon perustuva tulkinta sisälsi 1) maastotietokannassa olevien ojien tarkentamisen (ojaviivat oikeaan paikkaan) ja 2) puuttuvien ojien kartoituksen (uusien ojaviivojen digitointi). Arbonautin menetelmällä voidaan tehdä sijaintikorjaus automaattisesti olemassa olevien ojien siirtymille, mutta kaikki muut pilottialueen ojat, joita ei ollut kartalla, digitoitiin käsin.

Geometrioiden lisäksi ominaisuustietoina tulkittiin:

1. ojan syvyys (kuivan ojan pohja tai vedenpinta, korkeus merenpinnasta),
2. kuivavara (ojaa ympäröivän maanpinnan ja kuivan ojan pohjan tai vedenpinnan erotus),
3. virtaussuunta, sekä
4. ojan leveys (vain 4 lehdeltä, koska menetelmä oli vasta testikäytössä).

Ominaisuustietojen tulkinnassa Arbonautin menetelmässä hyödynnetään ojien keskilinjoihin, laserin pistepilveä sekä maanpintamallia. Ojalinjolle muodostetaan tietyn mittaisia ja sivuille laajennettuja analyysiyksiköitä. Jokaiselle yksikölle määritetään maanpinnan korkeus ja etsitään laseraineistosta matalin piste (kuivan ojan pohja tai veden pinta). Kuivavara lasketaan paikallisen maanpintamallin korkeuden ja matalimman laserpisteen erotuksena. Ojan leveys tulkitaan vertailemalla analyysiyksikön sisällä olevien pisteiden jakautumista ojan ja ympäröivän maanpinnan välillä.

SMK teki pilottialueella myös maastoevaluointia, jossa tehtiin havaintoja metsäojien tulkinnan onnistumisesta sekä paikannettiin tarkempia oja pisteitä, joilta mitattiin ojan syvyys ja leveys.

Peltojen kuivatustilan arviointia tukeva aineisto

Työpakettia WP2 toteutettiin SYKEssä tiiviissä yhteistyössä Valumavesi-hankkeen⁴ kuivatustilan arviointi (KUTI) -työpakettin kanssa. Työpakettin tavoitteena oli selvittää kaukokartoitus- ja mallinnusmenetelmien luotettavuus, mahdollisuudet ja rajoitukset peltojen kuivatustilan ja tulvaherkkyuden arvioimiseksi valtakunnallisesti. Laservesi-hanke täydensi hankesuunnitelman mukaisesti olennaisesti Valumavesi-hanketta ja näin saavutettiin myös merkittäviä synergiahyötyjä. LaserVesi-hanke keskittyi erityisesti laserkeilausaineistojen käyttöön sekä pintavaluntamallinnuksen kehittämiseen, kun taas Valumavesi-hankkeessa keskityttiin muihin kuivatustilan arviointia tukeviin menetelmiin. Molemmissa hankkeissa oli mukana myös keskeinen sidostaho Salaojayhdistys.

Laservesi-hankkeen yhtenä tavoitteena oli tuottaa laserkeilausaineistoa 5 p hyödyntäen aikaisempaa tarkempaa tietoa uoman piirteistä, kuten vedenjohtokyvystä, geometriasta ja kasvillisuudesta. Tavoitteena oli päästä arvioimaan peruskuivatuksen toimivuutta ja esittää peltolohkojen sekä valuma-alueen eri osien peltojen kuivatustilan suhteelliset erot. Hankkeessa luotujen aineistojen loppukäyttäjät ovat vesienhallinnan parissa työskentelevät suunnittelijat,

⁴ <https://www.syke.fi/hankkeet/valumavesi>

viranomaiset ja viljelijät. Hankkeen aluksi tehtiin vaatimusmäärittely yhdessä sidostahojen kanssa. Heitä osallistettiin myös aineistojen ja palvelujen kehittämiseen. Määrittelyssä päädyttiin seuraavaan peltojen kuivatustilan arviointia tukevaan paikkatietoaineisto-kokonaisuuteen:

1. Yleispiirteinen kuivavara (depth to water -analyysi laserkeilausaineistosta (*, sisältäen tiedon laserkeilauksen aikaisesta vesitilanteesta)
2. Tulvaherkät pellot (pintavaluntamallinnus (*, satelliittikuvat ja drone-kuvaus)
3. Matalan virtausta rajoittavan kasvillisuuden tiheys (laserkeilausaineistosta) (*)
4. Poikkileikkauksien, pituusleikkauksien sekä yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan esittäminen (laserkeilausaineistosta) (*)
5. Maaperän kosteuden estimaatti (satelliittikuvista)

Tähdellä merkityjä aineistoja kehitettiin ja pilotoitiin Laservesi-hankkeen puitteissa.

Pilottialueeksi vaihtui hankesuunnitelmaan verrattuna Loviisanjoen valuma-alue, josta oli varsin kattavasti laserkeilausaineistoa 5 p, validointiaineistoja sekä KVVY Tutkimus Oy:n/Etelä-Suomen Salaojakeskuksen paikallistuntemusta äskettäin tehdyn valuma-aluekunnostuksen pohjalta. Alueelta tehtiin drone-kuvaus kevättulvan 2021 aikana samanaikaisesti, kuin Sentinel-1-tutkasatelliittikuva oli käytettävissä. Satelliittikuvasta tehtiin myös tulvatulkinta. Drone-kuvausta voitiin hyödyntää niin pintavaluntamallinnuksen kuin DTW:n validoinnissa. Toisena pilottialueena toimi Suonenjoki, jossa mm. vertailtiin DTW:tä SMK:n teettämään kuivavaratulkintaan ja tarkasteltiin, miten aineisto soveltuu pelto-ojien ja niiden ominaisuuksien tulkintaan.

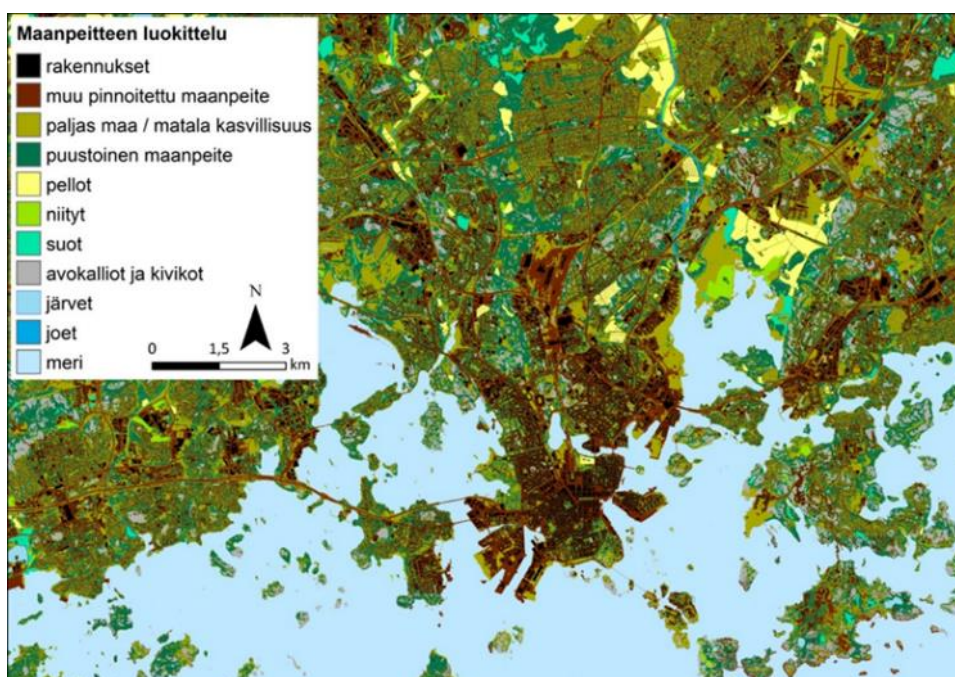
3.2 Tulokset

3.2.1 WP1

Maanpeiteaineistot

Pääkaupunkiseudulle tuotettiin tarkka (spatiaalinen resoluutio 20 cm) rasteriaineisto tekoälyn avulla tunnistetuista vettä läpäisemättömistä pinnoista. Rasteriaineisto metatietoineen on julkaistu [avoimena datana](#) HSY:n avoimissa rajapinnoissa ja karttapalvelussa <https://kartta.hsy.fi/>.

Aineistosta johdettiin samalta alueelta viher- ja vesialueiden kokonaisuutta kuvaava paikkatietoaineisto 2 m resoluutiolla (Kuva 3). Aineisto julkaistiin [karttapalvelussa](#) yhdessä WP2:ssa tuotetun matalan kasvillisuuden tiheyttä kuvaavan aineiston kanssa.



Maanpeiteaineiston kehitystyötä ja yleistettävyyttä ollaan jatkamassa TIIMA⁵- ja Mammutti-hankkeissa. Mammutti-hankkeen yhtenä tavoitteena on tuottaa valtakunnallinen, rakennetun ympäristön maankäyttö- ja maapeiteaineisto, jossa pohjana toimii LaserVesi-hankkeessa tuotettu maanpeiteaineisto pääkaupunkiseudulta. Aineiston on tarkoitus valmistua vuoden 2022 loppuun mennessä ja se tullaan julkaisemaan avoimena aineistona.

Vettä läpäisemättömät pinnat Pääkaupunkiseudun pohjavesialueilla – tuloksia

Projektissa tuotetulla työkalulla laskettiin vettä läpäisemättömän alueen pinta-alan osuudet alueiden pinta-alasta kolmelle luottamusvälille. Luottamusvälit ovat 30, 50 ja 70 %. Tulokset pohjavesialueille on esitetty Liitteen 2 taulukossa 1 ja pohjavesien muodostumisalueille Liitteen 2 taulukossa 2. Joillakin alueilla vettä läpäisemättömää pintaa ei ole (ks. tyhjät rivit). Luottamusvälillä 70 % tai yli arvioituna suurimmat läpäisemättömän pinnan osuudet olivat Vuosaaren (37 %) ja Kaivokselan (35 %) pohjavesialueilla.

3.2.2 WP2

Ojatulkinta

Arbonautin ojatulkinnan palautekokouksessa aineisto hyväksyttiin pienillä korjauksilla. Lisäksi pidettiin suunnittelukokous MML:n kanssa, jossa tarkasteltiin aineiston sopivuutta erityisesti tekoälyn opetusaineistoksi. Johtopäätöksenä tehtiin lisätilaus, jossa ojat luokiteltiin sen mukaan, kuinka todennäköisesti ne ovat oikeita pysyviä ojaia sekä täydennettiin luonnonuomat. Nämä tarvitaan opetusaineistoon, koska tekoäly ei erottele onko kyseessä oja vai puro.

Tulosaineistossa oli yhteensä 65 586 kohdetta. Luokat olivat 1) varsinainen pysyvä oja tai puro, 81 %, 2) väliaikainen oja/uoma, 14,3 % (perusteena koko, tiheys, muoto, sijainti, metsätalouden toimenpiteet), sekä 3) muu kuin oja, 4,7 % (maanmuokkausjälki, ajoura, polku tai muu painanne).

Koska maastotietokannasta puuttuvat ojat digitoitiin manuaalisesti, niin erityisesti niiden geometrioissa havaittiin pieniä epätarkkuuksia, eli viiva ei ollut aina keskellä ojaa. MML soveltaa lasertulkinnassa myös TPI-tunnusta (Topographic Position Index), joka kuvaa havaintopisteen korkeutta suhteessa naapurustoon tietyllä säteellä. Tällä voidaan korjata pienempiä siirtymiä niin, että ojaviivaa siirretään TPI:n syvimpään kohtaan. Tekoälylle sijaintitarkkuus on keskeinen, eli opetus- ja validointiaineisto pitää olla tarkasti ojan pohjalla.

Konenäöllä saadaan pienipiirteisiäkin uomia tulkittua, koska laserissa riittää tarkkuutta, mutta uomien valinta ja luokittelu on haastavaa. Arbonautin ojaluokitus ei vastannut täysin MML:n tekemää luokitusta, mutta kehittämisen myötä ojien luokitusymmärrys on kasvanut. Lisäksi laaja ja vähän eri periaatteillakin luokiteltu aineisto on hyödyllinen, jotta tekoälyä voidaan testata ja verrata isommalla alueella. Yksi tekijä onkin se, kuinka paljon opetusaineistoa tarvitaan. Tekoälyllä voidaan tehdä myös ojien luokittelua, mutta toinen vaihtoehto on tunnistaa sillä kaikki uomat ja tehdä sen jälkeen jälkiluokittelu ja suodatus. Lisäksi yhtenäisten ojien saamiseksi tarvitaan verkoston täydentäminen (esim. peitteiset, osin umpeen kasvaneet, tierummut, sillat).

Kaikki Arbonautin lasertulkinnan tulosaineistot toimitettiin MML:lle ja SYKE:lle vapaasti kehittämistyössä hyödynnettäväksi. SMK:n maastomittauspisteitä, joilta otettiin myös valokuvat, oli yhteensä 276 kpl. Pelto-ojia ei tarkasteltu maastossa, mutta yhtenä päivänä tehtiin havaintoja

⁵ TIIMA-hanke: <https://www.syke.fi/hankkeet/tiima>

autolla tienvarsojien tulkinnan onnistumisesta. Lisäksi ATMU-hankkeelle toimitettiin toisen vesipuolen kehittämishankkeen (HYTKY) maastoaineisto, joka sisälsi 1 035 mitattua oja pistettä valokuvineen. MML tarkastelee, voiko myös pistemäisiä havaintoja hyödyntää tekoälyn opetuksessa tai tulosten evaluoinnissa.

Peltojen kuivatustilan arviointia tukeva aineisto

Laservesi-hankkeessa kehitetty paikkatietoaineistokokonaisuus tukee peltojen kuivatustilan valtakunnallista kartoitusta/arviointia. Täytyy kuitenkin muistaa, että kyseessä on yleispiirteinen kartoitusmenetelmä, koska aineisto on suuntaa antava ja sisältää vielä virheitä. Mallinnuksessa ei ole huomioitu esimerkiksi tietoja pienemmistä ojarummuista, salaojaston purkupisteet eivät vastaa todellisia purkukohtia ja vedenkorkeuden tulkinta laserkeilausaineistosta sisältää paljon epävarmuutta. Epävarmuuksista viestiminen onkin keskeistä. Aineisto mahdollistaa kuitenkin myös tarkemman tason tarkastelun (esim. poikkileikkauksesta voidaan tulkita mahdollista uomaeroosiota), vaikka se ei koskaan täysin korvaakaan maastokäyntejä. Sen perusteella voidaan kuitenkin kohdentaa kuivatustilan parantamiseen tähtääviä tarkempia selvityksiä. Aineistoa voi hyödyntää myös valuma-alueen vesienhallinnan suunnittelussa.

Määritellystä peltojen kuivatustilaa tukevasta paikkatietoaineistokokonaisuudesta (luku 3.1.2) laadittiin ESRI Finland Oy:n tukemana ja yhdessä Valumavesi-hankkeen kanssa tarinakartta⁶, jossa esitetään havainnollisesti peltojen kuivatustilan/tulvaherkkyuden arvioimista eri menetelmiä hyödyntäen. Palvelussa on myös kerrottu yleisesti laserkeilausaineistoista sekä tehty erilaisia visualisointeja vanhasta 0,5 p ja uudesta 5 p laserkeilausaineistosta havainnollistamaan niiden välisiä eroja. Käyttäjä voi palvelussa myös piirtää poikkileikkauksia ja tutkia esimerkiksi uoman geometriaa tarkemmin.

Seuraavassa on kuvattu lyhyesti hankkeessa pilotoituja peltojen kuivatustilaa ja tulvaherkkyttä kartoitettavaa aineistoa. Lisätietoja menetelmistä ja niiden vertailua toisiinsa (luotettavuus, rajoitukset, mahdollisuudet sekä jatkotoimenpide-ehdotukset) on saatavilla Valumavesi-hankkeen KUTI-työpaketin loppuraportista.

- 1) Kuivavaralla tarkoitetaan maan pinnan ja pohjavedenpinnan välistä korkeuseroa. Tässä hankkeessa laadittu yleispiirteinen kuivavara-aineisto kuvaa pellon pinnan (jokaisessa tarkasteltavassa pisteessä) ja ojan vedenpinnan korkeuseroa laserkeilausaineistossa. Vedenpinnan korkeustason havaintopisteeksi valitaan tarkasteltavaa pellon pistettä pintavirtausreittiä lähinnä oleva ojien risteys. Aineisto tuotettiin DTW-analysillä laserkeilausaineistosta 5 p, 8 m ruutukokoon käyttäen arvona ruudun matalinta laserpistettä. Tavoitteena on ollut näin saada poimittua kasvillisuuden seasta matalin ojan vedenpintaa edustava piste. Oletetut rummut ja putket on koverrettu analyysiä ennen korkeusmalliin alustavassa hulevesitulvakartassa⁷ käytetyllä menetelmällä. Lisäksi kokeiltiin Hydro-RDI-Network-hankkeessa⁸ pilotoitua kehittyneempää koverrusmenetelmää. Aineisto on visualisoitu alla olevalle kartalle liikennevalovärein (kuva 4).
- 2) Tulvaherkkien peltojen tunnistamisessa hyödynnettiin Potut-hankkeessa⁹ kehitettyä menetelmää valuma-alueen tulvakartoitukseen. Alla olevassa kartassa on esitetty valuma-alueen tulvakartta perustuen sadantaan 10 mm tunnissa 12 tunnin ajan (kuva 4). Yhteensä sadanta oli siis 120 mm. Kartalla on esitetty tulvan peittävyys ja vesisyvyys maksimissaan 48 tunnin laskentajakson ajalta. Kartasta voidaan tarkastella mahdollisia heikkotuottoisia, tulvaherkkiä peltoja, mutta toisaalta tunnistaa myös esimerkiksi

⁶ <https://storymaps.arcgis.com/stories/5a6fdacdabea459c9ba08bc03e59bb3b>

⁷ <https://www.ymparisto.fi/hulevesitulvat>

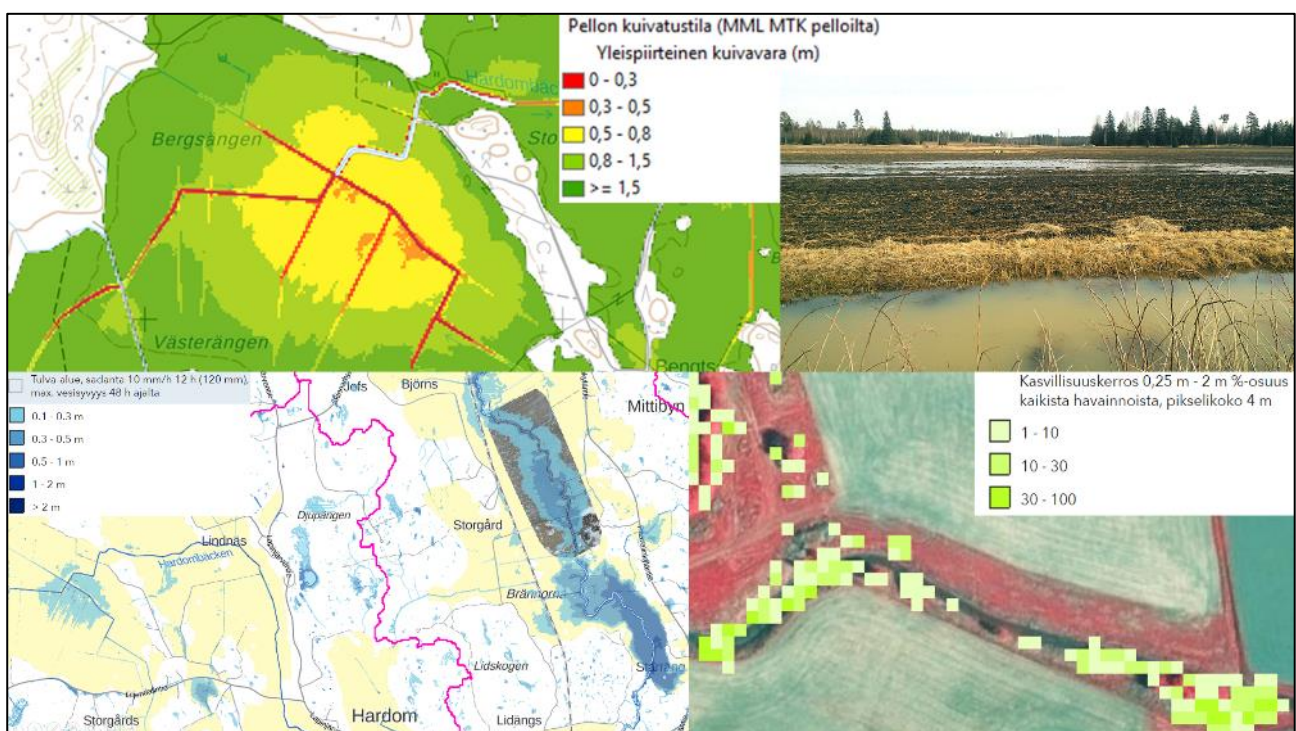
⁸ <https://hydrordi.com/>

⁹ <https://www.syke.fi/hankkeet/potut>

monitavoitteisille kosteikoille ja kaksitasouomille soveltuvia paikkoja. Valuma-alueetasoisessa tulvakartoituksessa on hyödynnetty alustavassa hulevesitulvakartassa käytettyä pintavaluntamallinnusta.

- 3) Laserkeilausaineistoa hyödynnettiin hankkeessa myös virtausta rajoittavan matalan kasvillisuuden tunnistamisessa. Jos pellon kuivatustila on heikko, voidaan kasvillisuustiedon perusteella tulkita, voisiko uomien umpeenkasvu olla syynä siihen. Toisaalta kasvillisuus uomien varrella on tärkeää monimuotoisuuden kannalta. Alla esitetyn kartan (kuva 4) aineistossa on esitetty korkeudelta 0,25–2 m heijastuneiden 5 p laserpulssien prosentuaalinen osuus kaikista 4 x 4 m ruudussa heijastuneista laserpulseista osalta Loviisanjoen pilottialuetta.

Lisäksi työpaketissa tehtiin SYKEssä laserkeilausaineisto 5 p käyttöä tukevien työkalujen kehittämistä. Aineistot ovat näiden myötä nyt SYKEN ja ELYjen käytettävissä käyttöehtojen hyväksymisen jälkeen. Em. työvaiheisiin laadittiin paikkatietotyökaluja, jotka ovat myös muiden hankkeiden käytettävissä, ja niitä voitaneen hyödyntää myös tulevilla laseralustalla.



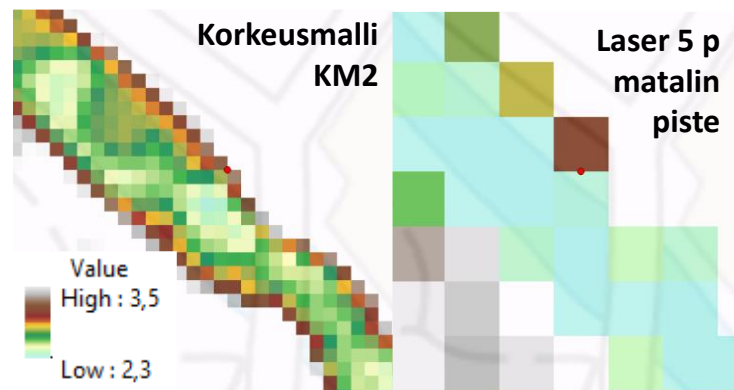
Kuva 4. Ylhäällä yleispiirteinen kuivavara -aineisto visualisoituna liikennevalovärein Loviisanjoen Hardombäckenin yläjuoksulla sekä kuvassa tulvavesiä pellolla ja heikkoa kuivatustilaa ko. alueelta (kuva: Mikko Ortamala). Punainen ja oranssi tarkoittavat erittäin huonoa kuivavaraa. Alhaalla vasemmalla puolestaan valuma-alueetasoista tulvakarttaa ja oikealla laserkeilausaineistosta tehtyä matalan kasvillisuuden (0,25–2 m) tiheyden tulkintaa. Yli 30 % tarkoittaa, että ruudussa on runsaasti kenttäkerrosta. Jos prosenttiosuus on pieni: (1) ei ruudussa ole matalaa kasvillisuutta ja/tai (2) laserpulssit ovat heijastuneet pääosin jo ylempää esim. tiheästä latvustosta.

Toisena pilottialueena toimineelle SMK:n Suonenjoen pilottialueelta valitulle valuma-alueelle laadittiin yleispiirteinen kuivavara-aineisto vastaavasti kuin Loviisanjoelle sillä poikkeuksella, että vedenpinnan korkeustason havaintopisteiksi valittiin tarkasteltavaa pellon pistettä pintavirtausreittiä lähinnä oleva mallinnetun uomaverkon oja – ei siis vain ojien risteyskoja. Rumpujen koverruksessa ja ojien valinnassa hyödynnettiin nyt MML:n maastotietokannan ohella SMK:n tuottamaa oja-aineistoa. Kuivavara esitettiin pelkkien peltöjen sijasta koko valuma-alueen mallinnetun uomaverkon suhteen (kuva 5). Näin aineistoa pystyttiin vertailemaan SMK:n tuottamaan kuivavaraan (ojan syvyys). Pintavirtausreitit poistettiin ennen laskentaa vain pelloilta. Lopuksi tehtiin tarkkuusanalyysejä.

- Ojaksi tulkittu painauma onkin muu maanmuokkausjälki, hakkuukoneen ajoura tai jopa painunut polku.
- Tiet on aina pengerrytetty ja viereisten tienvarsiojien tulkinta voi olla haastavaa.
- Mutkittelevat ja mahdollisesti osin pintakasvillisuuden peitossa olevat luonnonpurot ja norot voivat olla myös vaikeita tulkittavia.

Ojat muodostavat verkoston, oli kyseessä metsä, pelto tai tienvarsi, joten uomatulkintaa tulee tarkastella kokonaisuutena, jossa on ojien lisäksi huomioitu luonnonvedetkin. Jos ajatellaan valuma-analyysien kannalta, niin vesi virtaa myös pienemmissä ja väliaikaisissakin uomissa. Toisaalta maastotietokannan ylläpidossa ojilla tarkoitetaan pysyviä oja. Joka tapauksessa varsinaisten ojienkin tarkempi ja kattavampi kartoitus parantaa jo huomattavasti vesiensuojeluun liittyviä analyyseja ja käytännön toimien kohdentamista, kuten hakkuutapojen valinta, suojavyyhykkeet, laskeutusaltaat ja muut vesiensuojelurakenteet.

Kuivavara (DTW) pystytään laskemaan yleispiirteisesti, kun korkeusmalli on hankkeessa toteutetun mukaisesti hydrologisesti korjattu säilyttäen mahdollisesti tarkasti laserkeilauksen aikaisen vedenkorkeuden. Kun käytetään alimman laserpisteen perusteella tehtyä riittävän suuren ruutukoon korkeusmallia (tässä 8 m) pystytään melko hyvin poimimaan alin oletettavasti vedenkorkeutta kuvaava piste myös pienempien rumpujen kohdilta.



Kuva 6. KM2-korkeusmallin ja laserkeilausaineistosta 5 p 8 m ruudun alinta laserpistettä käyttämällä laaditun korkeusmallin visualisointi. Loviisanjoen havaintoaseman sijainti on esitetty punaisella pisteellä. Havaintoasemalla keilauspäivänä mitattu vedenkorkeus (2,34 m (N2000)) vastasi laserkeilausaineiston 5 p ruudun matalinta korkeutta (2,33 m (N2000)). KM2-korkeusmallin mukainen korkeus ko. kohdalla oli 2,74 m (N2000).

Laserkeilauksen ajankohta (kevät/kesä) ja keilauksen aikainen vesitilanne vaikuttavat olennaisesti tuotteiden tarkkuuteen ja siten niiden hyödynnettävyyteen. Esimerkiksi mikäli keilaus on tehty keväällä, tai poikkeuksellisen märkänä aikana, ojan vedenpinta voi olla hetkellisesti korkealla ja kuivavara on pieni, vaikka kuivatustila olisikin kokonaisuudessa hyvä. Kesäkeilauksen aikainen matalampi vedenkorkeus kertoo yleisesti kevätkeilauksen aikaista tilannetta paremmin kuivavarasta, mutta kesällä paikoin tiheä kasvillisuus voi aiheuttaa korkeusmalliin virheitä. Toisaalta jos 5 p laserkeilausaineiston laserpulssit eivät läpäise kasvillisuutta 8 x 8 m ruudun matalimman laserpisteen käyttämisestä huolimatta, voidaan miettiä indikoiko tämä umpeenkasvua ja uoman yläpuolista mahdollista heikkoa kuivatustilaa. Valumavesi-hankkeessa pilotoidaan vuoden 2022 aikana SYKE:n Vesistömallia hyödyntäen valuma-aluekohtaista aineistoa kuvaamaan laserkeilauksen ajankohtaa ja sen aikaista vesitilannetta. Aineistoa voidaan hyödyntää arvioimaan lasketun yleispiirteisen kuivavaran oikeellisuutta.

SMK:n käyttämä ojan syvyyden tulkintamenetelmä ei vaadi DTW:stä poiketen hydrologisesti korjattua korkeusmallia, mutta sillä pystytään laskemaan kuivavara vain ojan viereen (ojan ja ympäröivän maaston max. leveys 8 m). DTW:llä puolestaan lasketaan kuivavara uoman ulkopuolelle. Näin ollen vertailu ei ole ihan suoraviivaista, mutta visuaalisesti tarkasteltuna kuivavarat vastasivat melko hyvin toisiaan. Hydrologisesti korjatun korkeusmallin ja alkuperäisen korkeusmallin keskihajonta uomaverkolla oli 8 cm. Mitä pienemmän yläpuolisen valuma-alueen uomia oli

kyseessä, sitä enemmän oli myös virheitä. Toisaalta yksittäisiä virheitä havaittiin myös suuremmilla uomilla (esim. jos rummun kovertaminen ei ollut onnistunut).

Virtausta rajoittavaa matalaa kasvillisuutta ja jopa sen tiheyttä pystytään tunnistamaan 5 p laserkeilausaineistosta alueilla, joilla ylemmän kasvillisuuskerroksen läpi pääsee valoa (ja laserpulsseja). Toisaalta voidaan olettaa, että kenttäkerroksen kasvillisuuttakin on yleisesti sitä vähemmän mitä vähemmän valoa latvuston läpi pääsee. Hankkeessa laadittiinkin myös ylemmän 2–40 m kasvillisuuskerroksen tiheyttä kuvaava aineisto, jonka perusteella voidaan tunnistaa mahdollisia virheellisiä paikkoja matalan virtausta rajoittavan kasvillisuuden ja toisaalta myös uoman vedenkorkeuden tulkinnan osalta. Jatkotutkimuksia varten olisi erittäin tärkeää saada vedenkorkeuden ja kasvillisuuden mittauksia laserkeilaushetkeltä niin kesä- kuin kevätkeilauksenkin ajalta. Lopuksi kokeiltiin vastaavien aineistojen tuottamista perustuen 0,5 p keväällä keilattuun laserkeilausaineistoon. Johtuen eri pistetiheydestä ja keilausajankohdasta erot olivat jo visuaalisesti tarkasteltuna merkittäviä.

3.4 Julkaisut ja viestintä

Hankkeen viestinnän ja vuorovaikutuksen tavoitteina oli:

1. varmistaa se, että kehitetyt aineistot, tuotteet, työkalut ja palvelut vastaavat käyttäjien tarpeisiin
2. tehdä hanke ja sen tuotokset tunnetuiksi hyödynsaajien ja sidosryhmien keskuudessa

Kaikki hanketoimijat osallistuivat hankkeen viestintään omien organisaatioidensa kautta. Hankkeesta viestitään mm. verkkosivujen ja sosiaalisen median kautta.

Hanketta ja sen tuloksia esiteltiin vuoden 2021–2022 aikana 18 tilaisuudessa, blogissa, uutiskirjeissä, Vesitalouslehden ja Maatilan Pellervon artikkelissa, ohjausryhmän kokouksissa ja Twitterissä ja LinkedIn:ssä. Hankkeelle perustettiin omat www-sivut SYKEN sivujen alle. Hankkeen viestintätapahtumat on yksilöity tarkemmin taulukossa 1, Laservesi-hankkeen viestintäkaleri.

HSY julkaisi pääkaupunkiseudun kattavan vettä läpäisemättömien pintojen rasteriaineiston avoimena aineistona¹⁰. Tämän lisäksi aineisto julkaistiin Scalgo Live-palvelussa. SYKE julkaisee pääkaupunkiseudun viher- ja vesialueiden kokonaisuutta kuvaavan paikkatietoaineiston avoimena datana.

Hankkeen teeman mukaisia laajempia tilaisuuksia järjestettiin seuraavasti:

- SMK, SYKE ja MML järjestivät 13.4.2021 webinaarin uomia ja hydrologiaa kuvaavien paikkatietoaineistojen kehittämistarpeista ja meneillään olevista hankkeista. Järjestäjien lisäksi alustuksia oli SLU:sta (Sveriges lantbruksuniversitet) sekä Aalto-, Itä-Suomen- ja Turun yliopistoilta.
- SMK järjesti 8.12.2021 Ditch detection-support group meeting, johon oli avoin kutsu laajalla jakelulla. Tilaisuudessa pitivät alustuksia SLU ja SMK, jonka jälkeen keskusteltiin laseraineistolla tehtävästä uomatulkinnasta sekä mm. koneoppimismenetelmien hyödyntämisestä ja niihin liittyvien opetusaineistojen vaatimuksista.

¹⁰ <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/avoindata/avoin-data---sivut/tekoalylla-tunnistetut-vetta-lapaisemattomat-pinnat-paakaupunkiseudulla/>

Taulukko 1. Laservesi-hankkeen viestintäkaleri.

Toteutus	Kanava/viestintätapa	Kohderyhmä/vaikuttavuus	Vastuuhenkilö	Vastuu organisaatio	Pvm
Hankesivut Syke.fi alle	http://syke.fi/hankkeet/laservesi	Syke.fi seuraajat/	Mikko Sane	SYKE	4.2.2021
Twitter hankkeen alkamisesta	Twitter #Laservesi		Mikko Sane	SYKE	11.2.2021
Hankkeen kick off	Teams-kokous	Hanke+yt.ryhmä/~25 asiantuntijaa	Pasi Valkama	SYKE	12.2.2021
MTK:n vesiohjelman blogi: Viljelijän ja tutkimuksen yhteistyöllä vesistöt hyvään tilaan	Blogissa Laservesi edustaa uusia menetelmiä osana valuma-alueen kuorm.hallintaa	MTK:n verkkosivujen seuraajat	Pasi Valkama	SYKE	10.3.2021
Uudenmaan vesienhoidon kuuleminen-asiantuntijan kommenttipuheenvuoro	Esitys, Laservesi mukana esimerkkinä uusista menetelmistä osana vesienhoitoa	50 vesienhoidon ammattilaista/sidosryhmää	Pasi Valkama	SYKE	10.3.2021
Twitter blogista	Twitter #Laservesi		Pasi Valkama	SYKE	11.3.2021
Useita twiittien jakoja	Twitter #Laservesi				11.-15.3.2021
Esitys Laser-infossa	Ympäristöhallinnon sisäinen infotilaisuus	85 osallistujaa	Mikko Sane	SYKE	25.3.2021
Esitys Uomia ja hydrologiaa kuvaavien valtakunnallisten paikkatietoaineistojen kehityksen ajankohtaisseminaarinaari	Etäwebinaari	120 osallistujaa	Pasi Valkama	SYKE	13.4.2021
Esitys Yksityiskohtaisten tietoaaineistojen tuottaminen ja niiden hyödyt suunnittelussa	ScalgoLive-webinaari		Mikko sane	SYKE	15.4.2021
Uutinen Laserkeilausaineiston hyöd. vesistökuunnostusten kohdentamisessa	Vesistökuunnostusverkoston uutiskirje	Uutiskirjeen tilaajat/	Pasi Valkama	SYKE	24.4.2021
Hulevesien tulvakartta auttaa kuntia riskien hallinnassa	Vesitalous-lehti 2/2021		Mikko Sane ym.	SYKE	
Esitys HSY:n sisäisessä TKI-toiminnan hankeinfossa	webinaari + tallenne	HSY:n henkilöstö	Outi Kesäniemi	HSY	6/21/2021
Esitys HRI loves developers-tilaisuudessa	webinaari		Outi Kesäniemi ja Mikko Sane	HSY	9/23/2021
Ohjausryhmäkokous	Teams-kokous			kaikki	9/1/2021
Esitys: Tekoälyn pohjautuva tarkkan resoluution maanpeiteaineisto hulevesi- ja tulvahallinnan suunnittelun parantamiseksi	Hulevesi-seminaari		Arto Viinikka	SYKE	9/24/2021
Twitter: Laservesi-hanke Hulevesiseminaarissa	Twitter#Laservesi		Pasi Valkama	SYKE	9/24/2021
Esitys Pks kartastoyhteistyöryhmässä	Teams-kokous	pks-kaupunkien paikkatietoasiantuntijat	Outi Kesäniemi	HSY	10/28/2021

Tulva-, pato-, vesienhoito- ja kunnostuspäivät 2021	Teams	yli 200 osallistujaa	Pasi Valkama	SYKE	11/17/2021
Esitys:Kosteikkowebinaari, Laservedessä tuotettujen aineistojen hyödyntäminen kohdentamisessa	Teams-Webinaari	~50 osallistujaa, mm. viljelijät	Pasi Valkama	SYKE	11/25/2021
Esitys: Kokonaisvaltainen vesienhallinta-tilaisuus	Teams-webinaari	~40 asiantuntijaa	Pasi Valkama	SYKE	12/9/2021
Esitys: Salaojituksen neuvottelupäivät	Teams-webinaari		Mikko Sane	SYKE	2/2/2022
ESRI Finland uutiskirje	ESRI Finland uutiskirje	Kunnat, konsultit, ELYt ym	Pasi Valkama ja Mikko Sane	SYKE	2/17/2022
Esitys: HSY paikkatietoseminaari	Webinaari	Paikkatietoalan asiantuntijat, kunnat, konsultit ym.	Arto Viinikka	SYKE	2/23/2022
Ilmastoviisaan maatalouden työpaja maatalouden vesienhallinnasta, virtuaalistä	Webinaari	Hiilestä kiinni toimijat, viranomaiset, neuvojat	Pasi Valkama ja Mikko Sane	SYKE	3/17/2022
Artikkeli maatalousalan lehdessä	Maatilan Pellervon artikkeli: peltojen vesitalous hallintaan	Viljelijät	Pasi Valkama, Helenä Äijö		
Salaojayhdistyksen uutiskirje		Viljelijät, suunnittelijat	Pasi Valkama ja Mikko Sane	SYKE	3/2022
Seminaari	Hundred Solutions for Water Protection in Agriculture and Forestry” -seminaari	Vesien hallinnan ammattilaiset ja hanketoimijat	Pasi Valkama	SYKE	1/6/2022
Opitaan ojista	Teams-webinaari	> 20 osallistujaa	Mikko Sane	SYKE	9/13/2022
Ohjausryhmäkokous	Teams-kokous			kaikki	22/9/2022
Laserkeilauspilottien loppuseminaarin	läsnäoloseminaari	Seminaari, Paja, Helsinki	Pasi Valkama	SYKE	12/12/2022

4. Tulosten arviointi

4.1 Tulosten käytännön sovellettavuus

4.1.1 WP1

Pääkaupunkiseudulle tuotetun tarkan vettä läpäisemättömien pintojen kartoituksen tulosten perusteella LaserVesi-hankkeessa kehitetty maanpeitteen luokittelun tekoälymenetelmä otettiin käyttöön Helsingin seudun maanpeiteaineiston 2022 tuotannossa. Aineisto sisältää vettä läpäisemättömän pinnan lisäksi myös vettä läpäisevät pinnat sekä eri kasvillisuusluokkia. Se on tuotettu kahden vuoden välein vuodesta 2014 alkaen, ja vuoden 2022 aineisto kattaa Helsingin, Espoon, Vantaan, Kauniaisten, Kirkkonummen ja Järvenpään maa-alueet. Näin LaserVedessä kehitettyä menetelmää ja sen tuloksia tullaan hyödyntämään mm. hulevesiselvityksissä ja kuntien ympäristön tilan seurannassa.

Läpäisemättömien pintojen tarkempi kuvaus, aineiston parempi resoluutio ja yhtenevä rakenne helpottavat ja nopeuttavat maanpeitteen tarkkaa kuvausta vaativien hulevesi- ja pintavaluntamallinnusten tekoa. Samalla aineiston manuaalinen muokkaustarve, ja ilmakuviin ja muiden lähteiden käyttötarve vähenee. Laajoissa pintavaluntamallinuksissa voidaan uutta maanpeiteaineistoa käyttää myös maaperätietojen spatiaalisen tarkkuuden parantamiseen esimerkiksi Green-Ampt -menetelmässä, jota käytetään veden maaperään imeytymisen mallintamisessa.

Pintavaluntamallinnuksen ja muun hulevesimallinnuksen kannalta nyt tuotetun maanpeite- ja maanpinnan läpäisemättömyysaineiston suurin etu vanhaan verrattuna, on spatiaalisen tarkkuuden huomattava parantuminen. Pintavaluntamallinuksissa käytetään yleisesti KM2-korkeusmallin mukaista 2 metrin ruutukokoa. Uuden aineiston myötä on ratkaisevasti parempi mahdollisuus saada oikeampi maanpinnan läpäisevyys- ja imeytymistieto sekä karkeuskerroin jokaiselle laskentasolulle, kuin aikaisempia aineistoja käytettäessä (esim. esim. CORINE-maanpeite- ja maankäyttöaineiston ruutukoko 20 m).

Matalan virtausta rajoittavan kasvillisuuden tiheys palvelee hyvin nykyisellään kuivatustilan/biodiversiteetin ja toisaalta laserkeilauksen aikaisen vedenkorkeuden virheiden arviointia peltojen osalta, mutta karkeuskertoimen määrittämisessä sitä ei juurikaan voida hyödyntää valtakunnallisesti (esim. TIIMA-hankkeessa) aineiston epähomogeenisuudesta (sis. kevät- ja kesäkeilauksia) ja yläpuolisen kasvillisuuden läpäisemättömyydestä johtuen.

4.1.2 WP2

Ojatulkinnan teemakokouksissa keskusteltiin eri organisaatioiden tietotarpeista. Oleellisin tarve on selvä; se on geometria, eli ojat on kartoitettu myös sijainniltaan riittävän tarkasti. Virtaussuunta tarvitaan esim. valuma-analyysihin ja se onkin selkeästi laskettavissa maanpinnan korkeustietojen perusteella. Ojien ominaisuustietojen (syvyys, leveys, kuivavara) lasertulkinnan kehittäminen ja yhtenäinen määrittely nähtiin myös tärkeänä.

Ojien kuivavara saadaan tiheimmällä laserilla suhteellisen luotettavasti, mutta vaihtelua tulkintaan aiheuttaa eri vuosien säät ja vuodenaika, eli kuinka täynnä ojat ovat vettä, koska laserilta saadaan joko kuivan ojan pohja tai veden pinnan korkeus. Ojaleveys sisälsi enemmän poikkeamia maastohavaintoihin verrattuna. Ojaleveyden tulkinta onkin ominaisuustiedoista haastavin toteuttaa. Koska käytännön toiminnassa ominaisuustiedotkin ovat hyödyllisiä, niiden tulkintamahdollisuuksia tarkastellaan myös MML:n kehittämistyössä.

Kuivatustilan arviointia tukevan paikkatietoaineisto-kokonaisuuden avulla pystytään esittämään peltolohkojen ja valuma-alueen eri osien suhteelliset erot ja valitsemaan mahdolliset ongelmaloikat edelleen tarkempaan tarkasteluun ja kohdentaa näille kuivatustilan parantamiseen

tähtäviä tarkempia selvityksiä. Aineisto ei kuitenkaan korvaa maastokäyntejä. Se kuitenkin mahdollistaa valtakunnan tason tarkastelun yleispiirteisellä tasolla laserkeilausaineiston 5 p valmistuttua koko Suomesta. TIIMA-hankkeessa tuotettavaa virtausreitin korjausaineistoa voitaisiin hyödyntää pintavaluntamallinnuksen lisäksi myös yleispiirteisen kuivavaran laskennassa. Pienempien rumpujen puuttumisesta johtuen aivan täydellistä korkeusmallin hydrologista korjausta ei kuitenkaan pystytä tekemään. Edellä mainittu tarkempi ojatulkinta ja edelleen MML:n ATMU-hankkeessa tehtävä kehitystyö tarkentaisi kuitenkin jatkossa aineistoa, mikäli virtavesiviivat tuotetaan nykyisen MML:n maastotietokannan tavoin verkostomaisena aineistona ylittäen myös rumpujen kohdat ja kuvaten myös maan alla kulkevat putket.

MML on keräämässä ATMU-hankkeessa palautetta maastotietokannan hydrografia-teeman kehittämiseksi. Laservesi-hanke on avustanut kyselyn laatimisessa ja hankkeessa tunnistetut kehittämistarpeet tuodaan myös esille kyselyssä ja näin ne tulevat dokumentoitua maastotietokannan kehittämistä varten.

Jatkumona Laservesi-hankkeelle tulvaherkkien peltojen valtakunnallinen kartoitus perustuen pintavaluntamallinnukseen, toteutetaan TIIMA-hankkeessa vuosina 2022–2023. Laserkeilaus- ja ilmakeuhajelma (6/3 v) mahdollistaa nyt myös muun muassa ympäristön tilan seurannan kannalta tärkeän säännöllisen muutosseurannan.

4.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Hankkeen aikana ei laadittu tieteellisiä artikkeleita. Tarkoitus oli enemmänkin kokeilla ja demonstroida laserkeilausaineisto 5 p mahdollisuuksia vesien hallinnassa sekä maankäytön ja metsien suunnittelussa. Voidaan todeta, että aineisto tarjoaa erinomaisia mahdollisuuksia varsinaiseen tutkimukseen. Valtakunnallisiin käyttötarkoituksiin aineisto on käytettävissä vuoden 2025 jälkeen joitakin pohjoisen Lapin alueita lukuun ottamatta. Käytössä on kuitenkin huomioitava aineiston epähomogeenisuus. Osa tuotantoalueista on tuotettu keväällä ennen kuin lehti on puussa. Näyttää kuitenkin siltä, että lähinnä tuotantoa tehdään kesäkeilauksella täyden lehden aikaan. SMK:n pilotti tuotti laadukkaan ojien lasertulkinta-aineiston, jota voidaan hyödyntää tutkimuskehityksessä esimerkiksi koneoppimismenetelmien opetus- ja validointiaineistona.

5. Tiivistelmä

Tekninen loppuraportti

Hankkeen nimi

Laserkeilaus vesien hallinnassa osana kestävästä maankäytön ja metsien suunnittelua (LaserVesi)

Hankkeen nimi englanniksi

Applying laser scanning in water management for sustainable land use and forestry planning

Loppuraportti 30.9.2022

Vastuuorganisaatio: Suomen ympäristökeskus SYKE

Yhteyshenkilö: Pasi Valkama

Jakeluosoite: Latokartanonkaari 11

Postinumero- ja toimipaikka: 00790 Helsinki

Puhelin: +358 295 252 218

Sähköpostiosoite: pasi.valkama@syke.fi

Hankkeen kesto (2021–2022)

Rahoitus	Euroa
Kokonaiskustannukset	294 286,00
MMM:ltä saatu kokonaisrahoitus	206 000,20
Oma rahoitus	88 285,80
Muista julkisista lähteistä saatu rahoitus	0
Muu ulkopuolinen rahoitus	0

Avainsanat: laserkeilaus, ojatulkinta, kuivavara, maanpeite, viherrakenne

Tiivistelmä

Tavoitteet

LaserVesi-hankkeen tarkoituksena oli tuottaa uusia kansallisen laserkeilausohjelman aineistoon perustuvia innovatiivisia tuotteita ja sovelluksia kestävästä vesien- ja maankäytön hallinnan tueksi. Tavoitteena oli, että tuotteet ovat suoraan laajennettavissa koko Suomeen pelkästään Maanmittauslaitoksen (MML) valtakunnallisia paikkatietoaineistoja käyttämällä. Tarkemmin Laserveisi-hankkeen tavoitteena oli selvittää pintavaluntamallinnuksen luotettavuus, mahdollisuudet ja rajoitukset peltojen kuivatustilan/tulvaherkyyden arvioimiseksi automatisoidusti, sekä tuottaa pilottiaineisto tulvaherkistä pelloista. Lisäksi tavoitteena oli laatia uoma-aineisto, joka kuvaa sijainnin lisäksi uoman ja tulva-alueen piirteitä, kuten vedenjohtokykyä, geometriaa ja kasvillisuutta. Pilotissa testattiin ja analysoitiin metsä- ja pelto-ojien lasertulkintaa tiheäpulsilaseralueella sekä valittiin tarkkuudeltaan ja kustannustehokkuudeltaan soveltuvin menetelmä valtakunnallisen tuotannon referenssiaineistoksi.

Hankkeessa selvitettiin tuotantovaihtoehtot metsä- ja maatalousojien kattavaan kartoittamiseen ja niiden tallentamiseen Kansalliseen maastotietokantaan (KMTK) kaikkien aineistotarvitsijoiden hyödynnettäväksi. Tämä tukee pidemmän ajan tavoitetta tuottaa riittävän tarkka aineisto Suomen metsä- ja pelto-ojaverkosta uuden keilausohjelmakierron myötä.

Tavoitteena oli myös tuottaa tarkka maanpinnan vedenläpäisemättömyyttä ja samalla myös maanpeitetä kuvaava aineisto pilottialueille. Sekä edelleen johtaa kaupunkialueiden mittakaavaan soveltuva viherrakennetta kuvaava paikkatietoaineisto, joka on yleistettävissä valtakunnallisesti eri alueille.

Tulokset

Pääkaupunkiseudulle tuotettiin tarkka (spatiaalinen resoluutio 20 cm) rasteriaineisto tekoälyn avulla tunnistetuista vettä läpäisemättömistä pinnoista. Rasteriaineisto metatietoineen julkaistiin [avoimena datana](#) HSY:n avoimissa rajapinnoissa ja karttapalvelussa <https://kartta.hsy.fi/>.

Aineistosta johdettiin samalta alueelta viher- ja vesialueiden kokonaisuutta kuvaava paikkatietoaineisto 2 m resoluutiolla (Kuva 3). Aineisto julkaistiin [karttapalvelussa](#) yhdessä WP2:ssa tuotetun matalan kasvillisuuden tiheyttä kuvaavan aineiston kanssa.

Projektissa tuotetulla työkalulla laskettiin vettä läpäisemättömän alueen pinta-alan osuudet alueiden pinta-alasta kolmelle luottamusvälille. Luottamusvälillä 70 % tai yli arvioituna suurimmat läpäisemättömän pinnan osuudet olivat Vuosaaren (37 %) ja Kaivokselan (35 %) pohjavesialueilla.

Ojatulkinnassa ojat luokiteltiin sen mukaan, kuinka todennäköisesti ne ovat oikeita pysyviä ojia sekä täydennettiin luonnonuomat. Tulosaineistossa oli yhteensä 65 586 kohdetta. Luokat olivat 1) varsinainen pysyvä oja tai puro, 81 %, 2) väliaikainen oja/uoma, 14,3 % (perusteena koko, tiheys, muoto, sijainti, metsätalouden toimenpiteet), sekä 3) muu kuin oja, 4,7 % (maanmuokkausjälki, ajoura, polku tai muu painanne).

Hankkeessa kehitetty paikkatietoaineistokokonaisuus tukee peltojen kuivatustilan valtakunnallista kartoitusta/arviointia. Menetelmää testattiin ja validoitiin Loviisanjoen pilottialueella. Toisena pilottialueena toimineelle Suonenjoen pilottialueelta valitulle valuma-alueelle laadittiin yleispiirteinen kuivavara-aineisto vastaavasti kuin Loviisanjoelle sillä poikkeuksella, että vedenpinnan korkeustason havaintopisteiksi valittiin tarkasteltavaa pellon pistettä pintavirtausreittiä lähinnä oleva mallinnetun uomaverkon oja – ei siis vain ojien risteyksiä.

Tulosten arviointi

Läpäisemättömien pintojen tarkempi kuvaus, aineiston parempi resoluutio ja yhtenevä rakenne helpottavat ja nopeuttavat maanpeitteen tarkkaa kuvausta vaativien hulevesi- ja pintavaluntamallinnusten tekoa. Samalla aineiston manuaalinen muokkaustarve, ja ilmakuvien ja muiden lähteiden käyttötarve vähenee. Laajoissa pintavaluntamallinuksissa voidaan uutta maanpeiteaineistoa käyttää myös maaperätietojen spatiaalisen tarkkuuden parantamiseen esimerkiksi Green-Ampt -menetelmässä, jota käytetään veden maaperään imeytymisen mallintamisessa.

Pintavaluntamallinnuksen ja muun hulevesimallinnuksen kannalta nyt tuotetun maanpeite- ja maanpinnan läpäisemättömyysaineiston suurin etu vanhaan verrattuna, on spatiaalisen tarkkuuden huomattava parantuminen.

Ojien kuivavara saadaan tiheimmällä laserilla suhteellisen luotettavasti, mutta vaihtelua tulkintaan aiheuttaa eri vuosien säät ja vuodenaika, eli kuinka täynnä ojat ovat vettä, koska laserilta saadaan joko kuivan ojan pohja tai veden pinnan korkeus. Ojaleveys sisälsi enemmän poikkeamia maastohavaintoihin verrattuna. Ojaleveyden tulkinta onkin ominaisuustiedoista haastavin toteuttaa.

Kuivatustilan arviointia tukevan paikkatietoaineisto-kokonaisuuden avulla pystytään esittämään peltolohkojen ja valuma-alueen eri osien suhteelliset erot ja valitsemaan mahdolliset ongelmaloikat edelleen tarkempaan tarkasteluun ja kohdentaa näille kuivatustilan parantamiseen tähtääviä tarkempia selvityksiä. Aineisto ei kuitenkaan korvaa maastokäyntejä. Se kuitenkin mahdollistaa valtakunnan tason tarkastelun yleispiirteisellä tasolla laserkeilausaineiston 5 p valmistuttua koko Suomesta.

Julkaisut

- Rasteriaineisto metatietoineen julkaistiin [avoimena datana](#) HSY:n avoimissa rajapinnoissa ja karttapalvelussa <https://kartta.hsy.fi/>.
- Viher- ja vesialueiden kokonaisuutta kuvaava paikkatietoaineisto 2 m resoluutiolla (Kuva 3). Aineisto julkaistiin [karttapalvelussa](#)
- Peltojen kuivatustilaa tukevasta paikkatietoaineistokokonaisuudesta julkaistiin tarinakartta: <https://storymaps.arcgis.com/stories/5a6fdacdabea459c9ba08bc03e59bb3b>

LIITE 1. Ojatulkinnan raportti, Arbonaut Oy

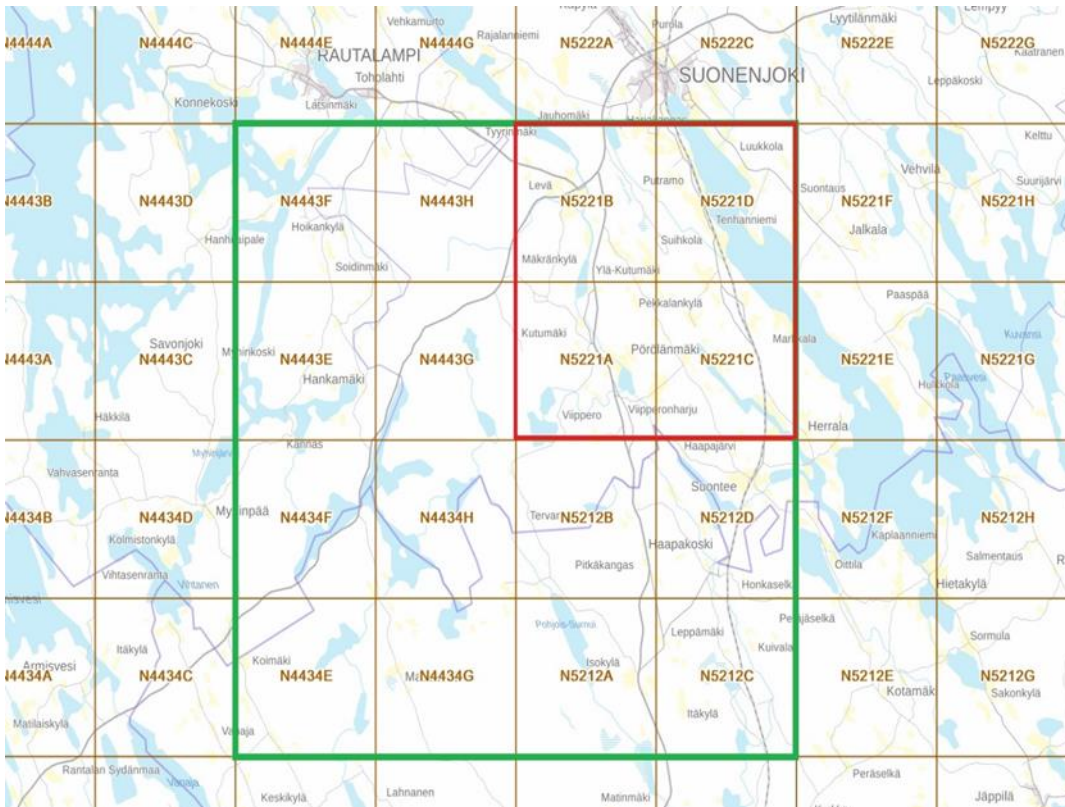
JOHDANTO

Vuosina 2021–22 toteutetaan MMM-rahoitteinen LaserVesi-pilottihanke, johon liittyen kehitetään ja testataan metsä- ja pelto-ojien lasertulkintaa. Ojatulkinntapilotin keskeisenä tavoitteena on tuottaa laadukas referenssiaineisto uomatulkinntojen jatkokehittämiseen. Lisäksi ojatulkinntapilotissa tuotetaan tietoa ojaverkoston paikkatiedon laadusta.

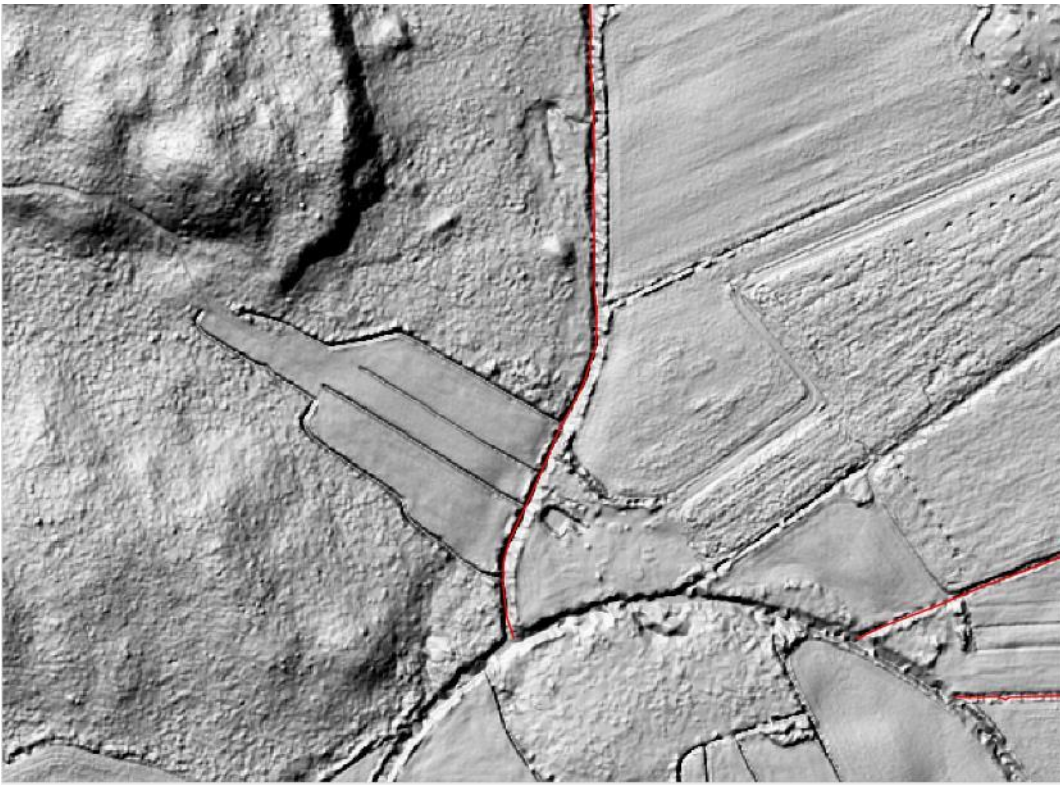
Suomen metsäkeskuksen (SMK) tehtävänannon mukaisesti Arbonaut Oy on tehnyt Pieksämäen 2019 laserkeilausalueelta valitulle pilottialueelle laserkeilausaineistoon perustuvan ojalinjojen tulkinnan ja ojien ominaisuustietojen estimoinnin.

Pilottialue koostuu 16 UTM karttalehdestä (kuva 1), joista kaikille tehtiin ojalinjojen tulkinta sekä ojien kuivavaran ja vedenpinnan korkeuden estimointi ja neljälle ojalinjan leveyden estimointi.

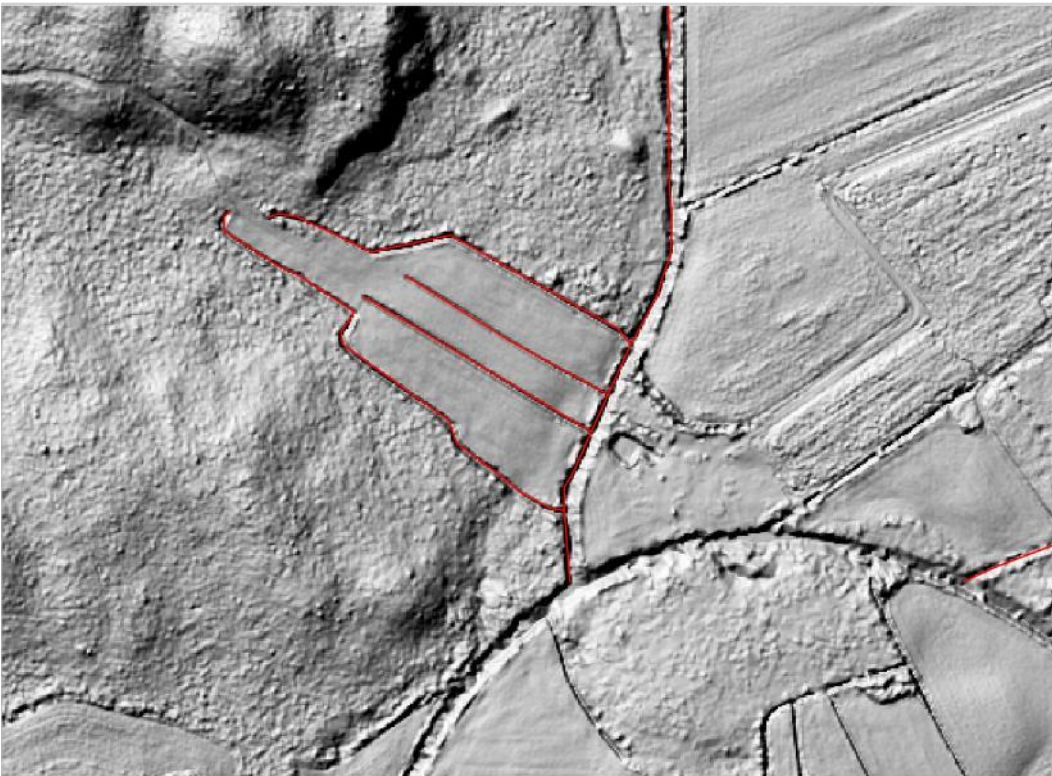
Tässä raportissa kuvataan työn sisältö, keskeiset menetelmät, tulokset ja johtopäätökset.



Kuva 1. Pilottialue. Vihreä rajaus koko pilottialue, punainen rajaus ojan leveyden estimointialue.

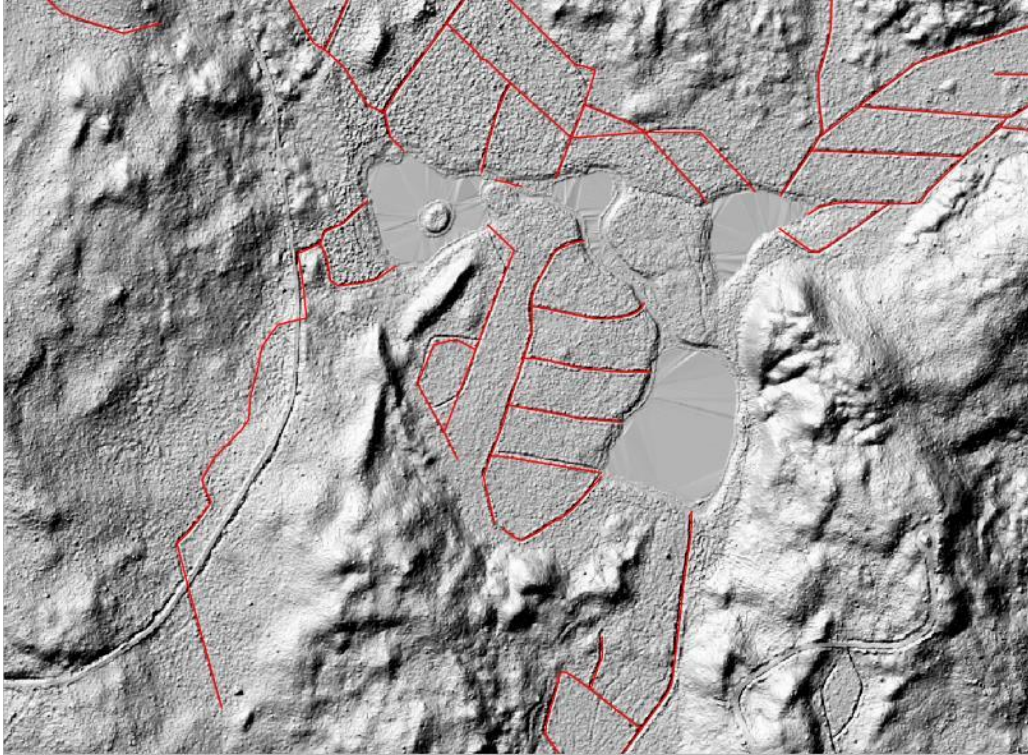


Kuva 3. Ojageometriat puuttuvat mm. kuvan keskellä olevan ojan vasemmanpuoleiselta pellolta, mutta ne ovat selvästi havaittavissa.

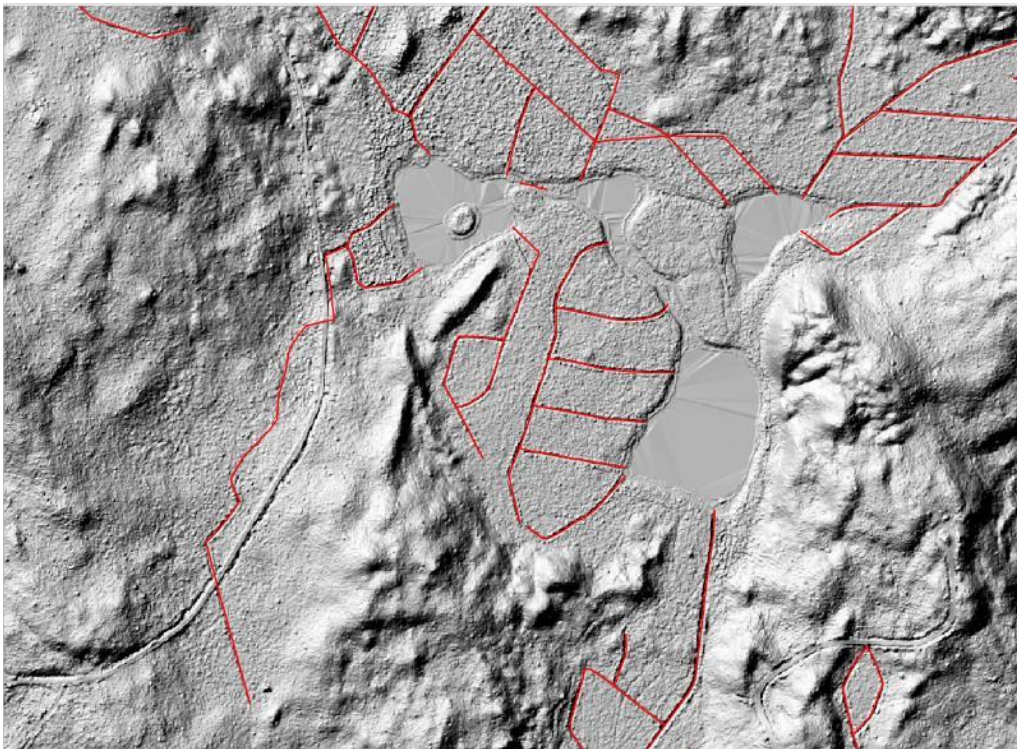


Kuva 4. Vasemmanpuoleisen pellon ojasto on digitoitu ja yhdistyy alkuperäiseen ojageometriaan.

Metsäojasto oli monilla alueilla kuvattu maastotietokannassa tarkasti, mutta paikoittain ojageometrioiden sijainneissa oli laserkeilausaineistoja vasten tarkastellessa selvästi parantamisen varaa (kuva 5, kuva 6).



Kuva 5. Osa ojageometrioista on selvästi väärässä sijainnissa tai puuttuu kokonaan.

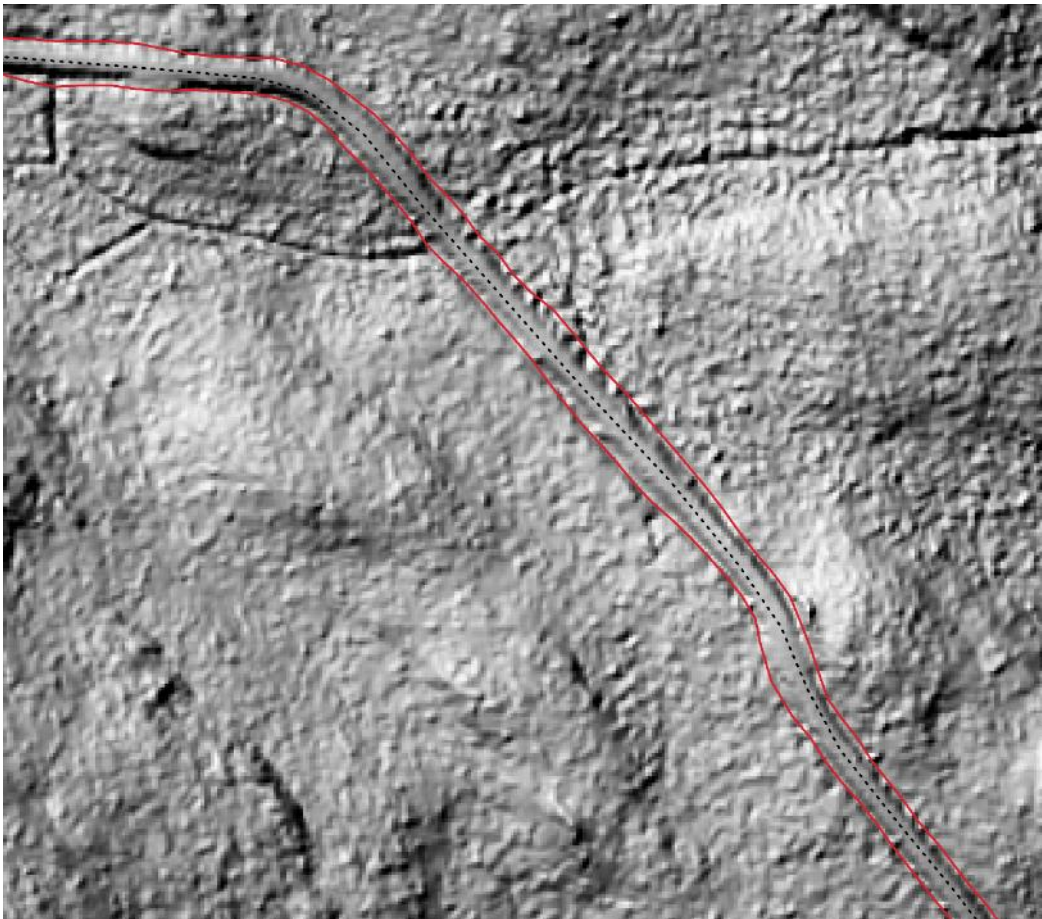


Kuva 6. Ojageometrioita on korjattu kuvan keskellä sijaitsevalle ojikolle ja kuvan oikean alalaidan tienvarsiojaan laskevalle ojikolle.

Tienvarsojasto muodosti merkittävän uusien ojageometrioiden muodostamistehtävän. Tienvarsojia ei ollut harvoja poikkeuksia huomioimatta digitoitu ollenkaan. Tienvarren ojat tulkittiin automaattitulkinta-avusteisesti laserkeilausaineistojen avulla (kuva 7, kuva 8). Tulkintatyökalu havaitsee oja sille annettavien tien keskilinjien ympäristöstä tietyllä hakusäteellä tarkkailemalla pienellä resoluutiolla tehdystä maanpintamallista maaston kallistuksia. Keskilinjoina tulkinnassa käytettiin digiroad-aineistoa. Mikäli tienvarsoja ei täyttänyt analyysityökalulle annettua ojan määritelmää, sitä ei tuotettu. Analyysitulokset tarkastettiin tiekohtaisesti ja geometrioita tarkennettiin, jos oli selvää, että veden virtausverkkoon tulisi muuten katkos. Selkeimmät tulkintavirheet myös poistettiin. Metsä- ja pelto-ojastot digitoitiin kiinni tienvarsojiin niissä kohdissa missä ojaverkostojen havaittiin olevan yhteydessä toisiinsa.



Kuva 7. Tienvarsojasto näkyy himmeästi tien vierustassa. Tien keskilinja kuvattu katkoviivalla.



Kuva 8. Tienvarsiuojasto on tulkittu kohteelle.

Uusien ja vanhojen ojien digitoinnissa käytettiin automaattisia sekä manuaalisia menetelmiä. Varsinaisten pelto- ja metsäojien lisäksi ojaksi saatettiin tulkita myös mitoiltaan merkittävimmät metsämaan muokkauksesta syntyneet ojat, lähinnä ojitusmätästykseen yhteydessä kaivetut ojat, sekä mitoiltaan merkittävimmät vettä kuljettavat ajourapainauumat. Lopputuotteessa siis esiintyy merkittävimpiä ojitusmätästysoja sekä ajourapainauumia ojina. Nämä luokiteltiin myöhemmin epätodennäköiseksi tai erittäin epätodennäköisiksi ojiksi.

Alkuperäisten, korjattujen ja sekä uusien ojageometrioiden topologinen jatkuvuus varmistettiin automaattityökaluilla. Tämän tarkoituksena oli poistaa mahdolliset epäjatkuuskohdat ojaverkostosta, mikä estäisi topologisesti ehjää ojaverkosta vaativat jatkoanalyysit. Lopputuotteessa kaikki toisiansa leikkaavat ojageometriat yhdistyvät toisiinsa yhteisen solmun kautta. Ojaverkostolle ei tuotettu topologiatietoja.

Autoteitä alittavien tierumpujen sijaintien tulkitsemista ei tässä työssä tehty. Maanmittauslaitoksen alkuperäisten ojageometrioiden alittaessa tien oletettiin tämän tarkoittavan rummun olemassaoloa ja geometria sai jatkaa tien alitse, vaikka sen sijaintia olisi muualla pitänyt korjata. Koska vinovalovarjosteesta tienalituksien päättely on virheille altista, uusia oja ei digitoitu alittamaan teitä.

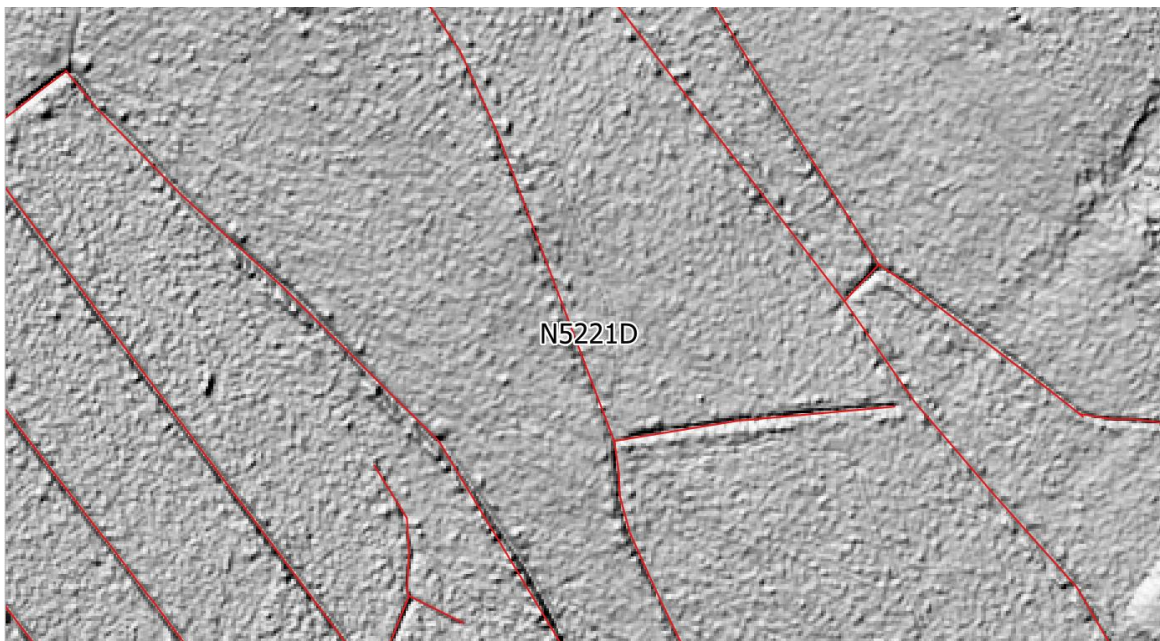
Ojien luokittelu ja luonnollisten uomien täydennys.

Myöhemmin tilattiin lisätyönä koko alueen ojien manuaalista luokittelua ja luonnollisten uomien korjausta sekä täydentämistä. Luonnollisia uomia täydennettiin ja olemassa olevia uomia korjattiin kattavammin vinovalovarjosteen ja ilmakuvien avulla. Lisäksi ojat luokiteltiin neljään eri luokkaan, sen perusteella miten todennäköisesti ne ovat varsinaisia eli pysyviä ojia tai uomia, eivätkä vain väliaikaisia maanmuokkauksen tuloksia. Luokan yksi saivat ojat, jotka katsottiin olevan todennäköisesti varsinaisia ojia. Tässä luokassa ovat myös varmat luonnolliset uomat, jotka joko olivat alkuperäisessä aineistossa tai ovat digitoitu aineistoon aikaisemmin projektissa. Luokan nolla saivat luokittelun yhteydessä digitoidut, uudet ojat ja luonnolliset uomat. Myös ne ovat varsinaisia ojia ja uomia. Luokkaan neljä luokiteltiin ojat, jotka saattavat olla varsinaisia ojia, mutta johtuen esim. ojien tiheydestä, muodosta, sijainnista tai tehdyistä maanmuokkaustoimenpiteistä, ne ovat epäilyksen alaisia, eikä asiaa voida varmasti todeta. Luokka viisi tarkoittaa ojia, jotka todennäköisesti eivät ole varsinaisia ojia. Osa tuskin on ojia ollenkaan, vaan esim. maanmuokkausjälkiä, polkuja tai jyrkkiä maastonmuotoja. Osa taas saattaa olla väliaikaisia ojia kuten naveromätästysojia. Apuna arvioinnissa käytettiin vinovalovarjostetta, ilmakuvia, maastokarttaa, ojien tiheysanalyysiä sekä metsänkayttöilmoitustietoja tehdyistä päätehakuista ja maanmuokkauksista.

OMINAISUUSTIETOJEN TUOTTAMINEN

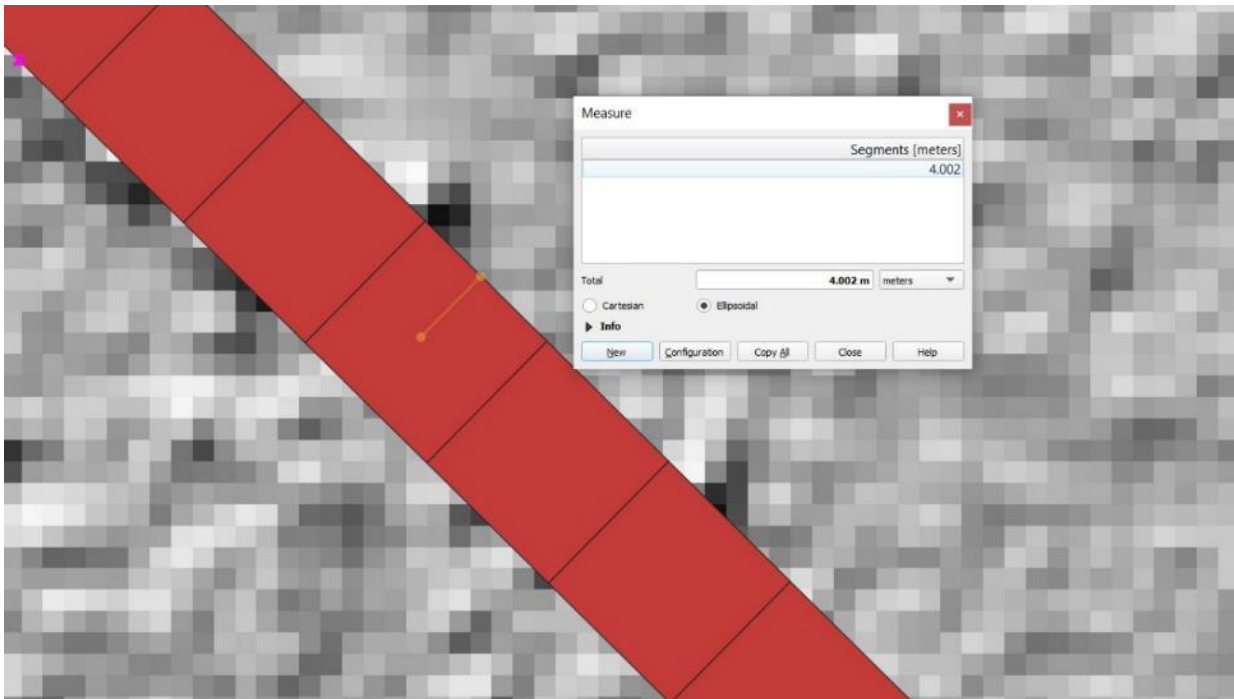
Vedenpinnan korkeus/ojan pohjan korkeus

Tulkinta tehtiin Arbonaut Oy:n kehittämällä menetelmällä, jossa hyödynnetään ojageometrioita (ojien keskilinja, kuva 9), laserkeilausaineiston pistepilveä ja maanpintamallia. Keilausaineistosta laskettiin 10 metrin resoluutiossa maanpintamalli, joka kuvailee maanpinnan korkeutta.



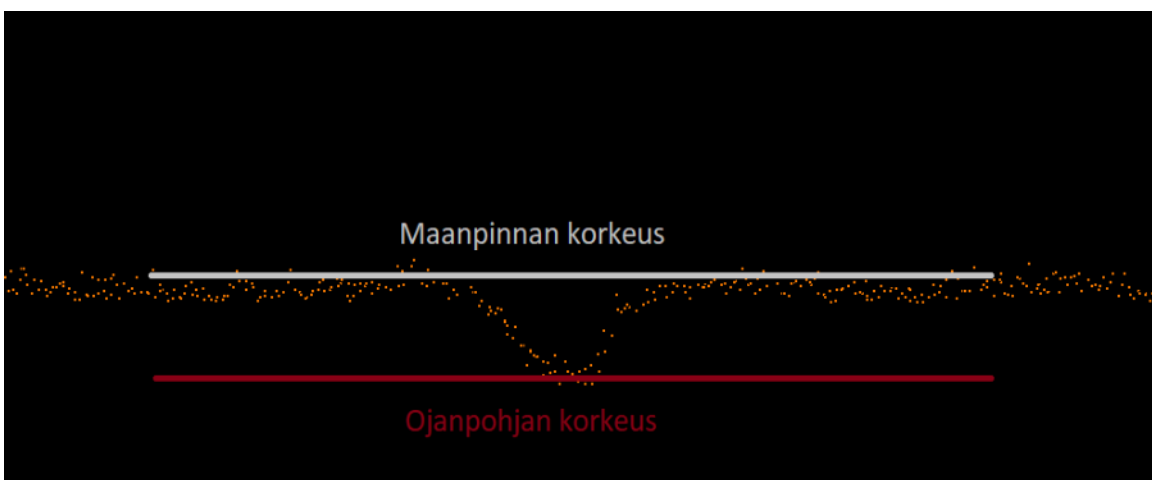
Kuva 9. Ojageometriat kuvailevat ojien keskilinjoja.

Ojageometrioiden ympärille luotiin linjasta 4 metrin päähän ulottuvat aluegeometriat (kuva 10). Aluegeometriat pilkottiin 8 metrin mittaisiin osiin, jolloin alkuperäisestä linjasta muodostui useimmiten 8 metrin pituisia ja 8 metrin levyisiä analyysiyksiköitä.



Kuva 10. Analyysiyksikkö on luotu ojageometrian ympärille.

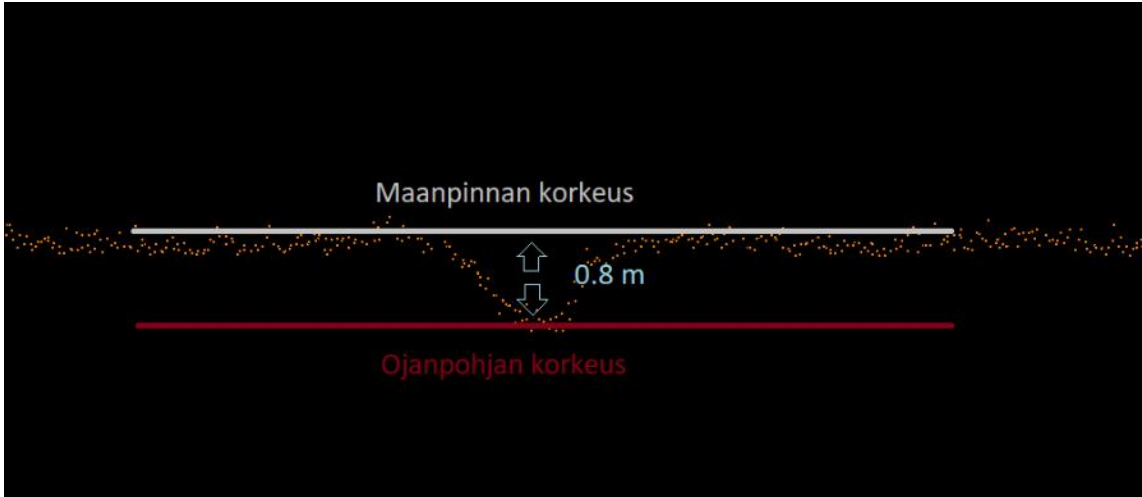
Jokaiselle analyysiyksikölle määritettiin maanpinnan korkeus aikaisemmin luodusta maanpintamallista. Lisäksi analyysiyksikön alueelta etsittiin laserkeilausaineistosta matalin sinne sattuva piste (kuva 11). Useimmilla ojikoilla, joissa ojageometria on piirretty riittäväällä tarkkuudella analyysin kannalta, matalin piste aluegeometrian sisällä tulee ojasta, joko sen pohjasta jos kyseessä on kuiva oja, tai veden pinnasta jos oja on täynnä vettä. Menetelmä on patentoitu.



Kuva 11. Ojan poikkileikkaus. Analyysiyksikön muodostuessa ojan päälle, matalin löydetty piste kertoo ojanpohjan tai vedenpinnan korkeuden merenpinnasta.

Kuivavara

Ojan kuivavara lasketaan edellistä analyysiä hyödyntäen vertailemalla analyysiyksikölle havaitun matalimman laserkeilauspisteen ja paikallisen maanpintamallin korkeusarvoa (kuva 12).

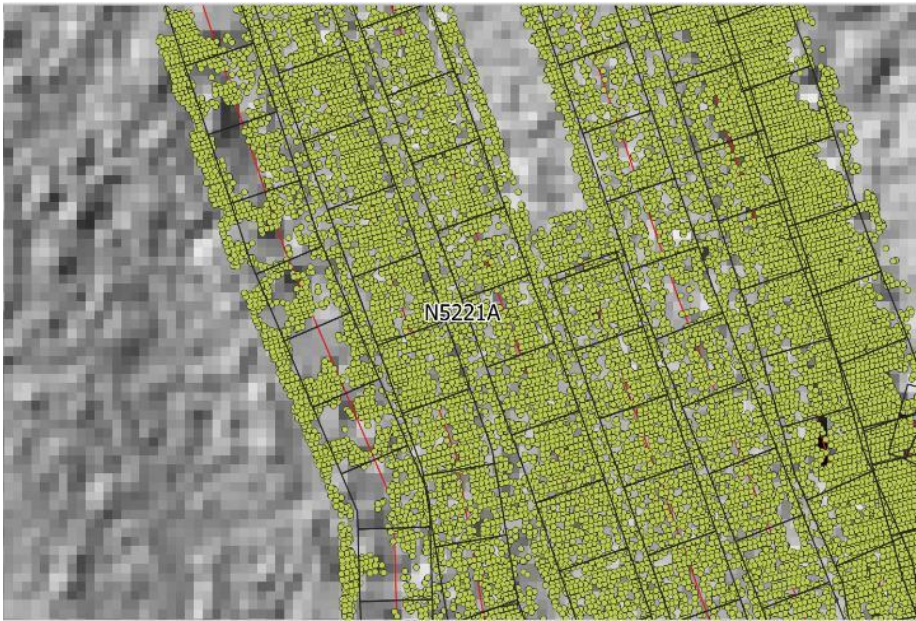


Kuva 12. Ojan kuivavara on ojan vedenpinnan tai pohjan ja ympäröivän maanpinnan korkeuksien erotus.

Kuivavaran laskennassa on kokemus osoittanut 8 x 8 metrin analyysiyksiköt käyttökelpoisiksi myös pistetiheyksiltään harvempia, vanhemmista laserkeilauskampanijoista kerättyjä aineistoja tulkittaessa. Menetelmä on patentoitu.

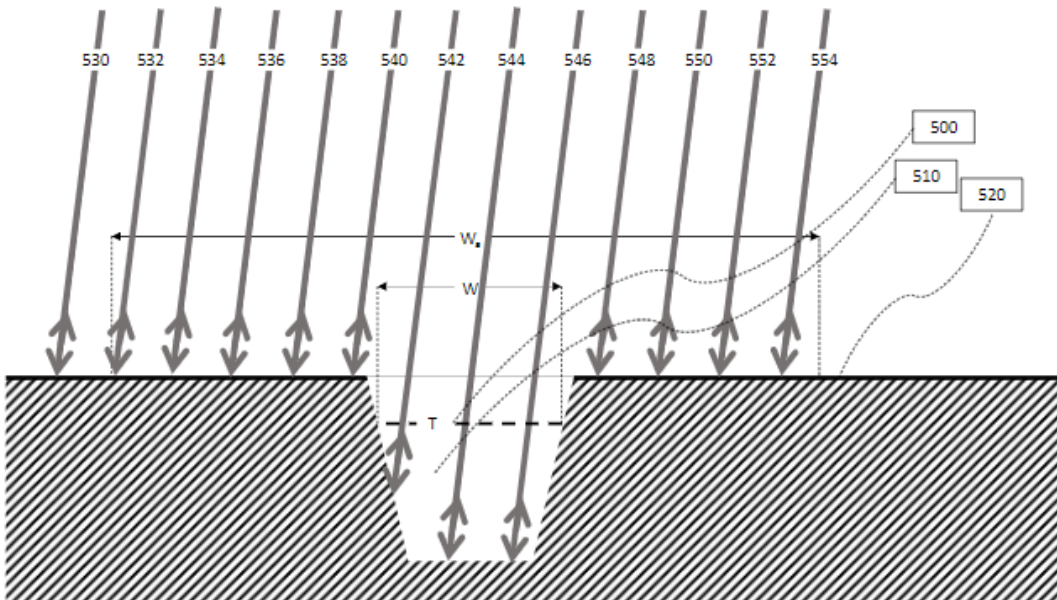
Ojan leveys

Ojan leveystulkinta tehtiin laserkeilausaineistoilta vertailemalla analyysiyksikön (sama kuin vedenpinnan korkeudessa ja kuivavarassa) sisälle sattuneiden maapisteiden jakautumista ojan ja ympäröivän maanpinnan välillä (kuva 13).



Kuva 13. Laserkeilauksessa tuotetut maapistet analyysiyksiköiden kohdilla.

Ojaan kuuluvat pisteet arvioitiin vertailemalla ojansyvyyyteen (joka tuotettiin aiemmin kuvatun mukaan) suhteutettuna olleen kynnyksarvon korkeutta ja analyysiyksikön sisälle sattuneiden maapisteen korkeutta. Tällä tavalla päätettyjen ojapisteiden ja ojan ulkopuolisten pisteiden suhteen oletettiin kuvailevan myös ojan oikeaa leveyttä suhteessa analyysiyksikön leveyteen (kuva 14). Menetelmälle on haettu patenttia.



Kuva 14. Laserpisteiden jakautuminen ojan alueelle teoriassa. Analyysiyksikön W_a leveys suhteessa ojan oikeaan leveyteen W on sama kuin ojan ulkopuolelle sattuneiden pisteiden ja ojan korkeuden T alapuolelle sattuneiden pisteiden suhde.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Ojien manuaalinen digitointi

Vanhoja ojavektoreita korjattiin vastaamaan paremmin vinovalovarjosterasterilla näkyviä ojia. Yleensä pieni sijainnin muokkaaminen riitti, mutta toisinaan vanhoja ojavektoreita digitointiin kokonaan uudelleen. Myös vanhojen ojavektorien risteykset vaativat yleensä korjaamista. Ojaverkostoa täydennettiin merkittävästi digitoimalla puuttuvia ojia tai jatkamalla vanhoja vektoreja. Ongelmalliseksi muodostuivat tilanteet, joissa vanhaa ojavektoria vastaavaa ojaa ei löytynyt rasterilta. Tällöin vanha ojavektori joko yritettiin korjata lähimpään löytyvään ojaan, vanha ojavektori poistettiin tai jätettiin ennalleen. Syynä saattaa olla joko vanhan ojan kasvaminen umpeen siinä määrin, ettei se enää erottunut rasterilta, voimakas virhe vanhan ojavektorin sijainnissa tai sitten ojaa ei ole koskaan ollutkaan ja se oli alun perin piirretty virheellisesti. Toisinaan vanhojen olemassa olevien ojien päälle oli kaivettu uudet ojat, tai vanhoja ojia oli tarkoituksella tukittu suon ennallistamismielessä. Toisinaan vanhat ojat edelleen erottuivat rasterilta, toisinaan eivät. Tämä saattoi aiheuttaa hämmennystä sen suhteen tuliko vanhoja ojia digitoida enää tai tuliko mahdolliset vanhat ojavektorit poistaa kokonaan. Menettelytavat riippuivat pitkälti kulloisenkin tilanteen tulkinnasta ja vaihtelivat digitointia tekevien henkilöiden välillä.

Ojien käydessä yhä matalammiksi, kapeammiksi, enemmän umpeenkasvaneiksi ja enemmän kasvillisuuden peittämiksi, myös niiden erottaminen rasterista sekä tarkan muodon ja sijainnin määrittäminen hankaloituu. Selkeää rajaa ei ollut miten epäselviä ojia tulisi digitoida ja tulkinnat siitä mihin rajaan asti ojia digitoidaan, vaihtelivat digitoijien välillä. Myös digitointia tekevän henkilön kyky erottaa ojia rasterilta vaihteli ja kehittyi työn myötä. Ojaverkostosta puuttuvien luonnon purojen, norojen ja uomien digitoiminen, sekä vanhojen luonnonpurovektorien korjaaminen, herätti myös epäselvyyttä, varsinkin jos luonnon uoma yhdistyi keinotekoiseen ojaverkostoon. Luonnon uomien erottaminen ojista ei aina ollut selkeää.

Rasterilla voimakkaat linjamaiset muutokset maanpinnassa saattoivat muistuttaa ojia. Esimerkiksi peltojen poikki tai reunassa kulkevat ojat saattoivat mennä sekaisin pellolta raivattujen kivien ja maa-aineksen kanssa. Myös pienet tiet, polut, hakkuukonejäljet, aurausurat ja muut maanmuokkausjäljet saattoivat muistuttaa ojia. Haasteellisiksi osoittautuivat myös tienvarsiojat. Automattisesti luodut tienvarsiojat osoittautuivat usein katkonaisiksi ja puutteellisiksi, vaatien manuaalista korjausta ja täydentämistä. Varsinkin jos maanpinta laski tai nousi jyrkästi tien vieressä, saattoi se muistuttaa voimakkaasti ojaa rasterilla. Tällöin oli monesti vaikea tulkita, kulkiko tienvieressä oikeasti ojaa vai ei.

Ojien luokittelu ja luonnollisten uomien täydennys.

Luonnollisten uomien täydentäminen oli tehty jo varsin hyvin aikaisemmassa vaiheessa, joskin niiden muotoa ja sijaintia piti edelleen paikoin korjata. Korjaus tehtiin pääasiassa vinovalovarjosteen perusteella, mutta myös ilmakuvia käytettiin apuaineistona. Toisinaan

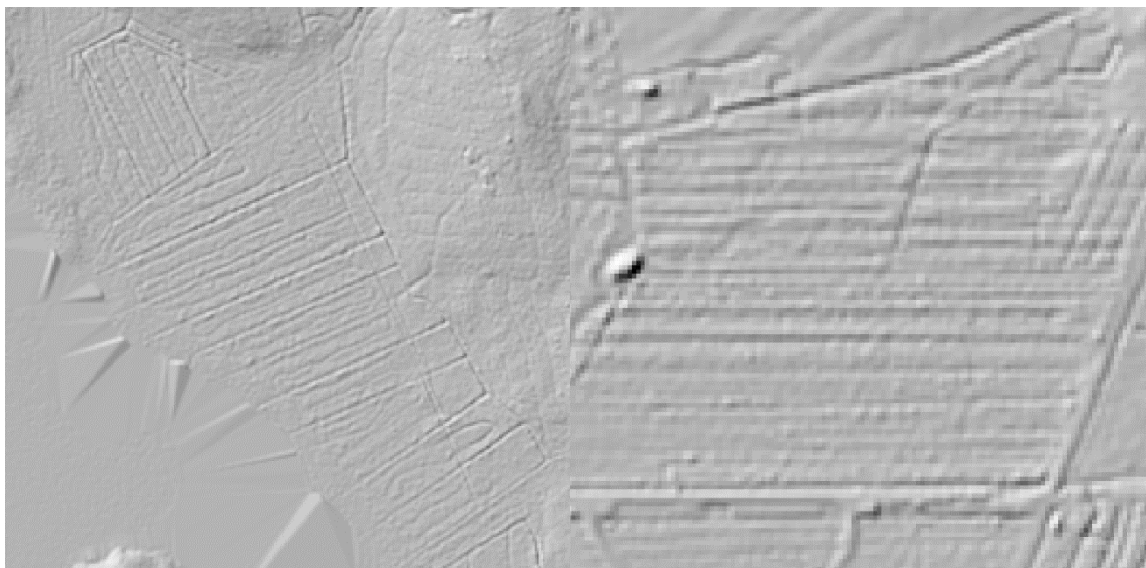
uomaa ei näkynyt vinovalovarjosteelta ollenkaan, jolloin sen piirtäminen perustui kokonaan ilmakehuun. Varsinkin vanhojen luonnonuomien kohdalla saattoi olla, ettei uomaa erottanut enää kummastakaan aineistosta.

Ojien luokittelussa yleisesti ottaen maastotietokannassa olevat ojat tulkittiin varmoiksi eli pysyviksi ojiksi, joskin tässäkin oli poikkeuksia. Projektin aikana digitoitujen uusien ojien kohdalla arvioitiin ojien pysyvyyttä, todellista luonnetta ja tarkoitusta. Haasteena oli monitulkinnaisuuden suuri mahdollisuus. Vinovalovarjosteelta arvioitiin ojan kokoa, muotoa ja sijaintia. Mitä leveämmältä ja syvemmältä oja vaikutti, sen todennäköisemmin se tulkittiin varsinaiseksi ojaksi. Joskin myös melko selkeät maanmuokkausjäljet saattoivat näyttää vinovalovarjosteella yllättävän suurikokoisilta. Varsinkin naveromätästyksen yhteydessä tehdyt ojat saattavat olla hyvinkin pysyvän ojan kokoisia, mutta eivät kuitenkaan varsinaisia oja. Vastaavasti varsinkin umpeenkasvaneet ojat voivat olla hyvinkin matalia ja epäselvästi vinovalovarjosteelta erottuvia. Suorien ja säännönmukaisten ojien katsottiin olevan todennäköisemmin varsinaisia oja, kun taas mutkikkuus ja epämääräiset muodot liitettiin enemmän maanmuokkausjälkiin. Toisaalta varsinaisetkin ojat voivat kaartaa ja mutkitella, samoin kuin maanmuokkausjäljet kulkea suoraa auraslinjaa. Yleisesti ottaen varsinaisten ojien oletettiin yhdistyvän yhtenäisiksi ja jatkuviksi verkostoiksi. Näin ollen irralliset, yksinäiset, lyhyet ja erikoisen muotoiset ojat katsottiin herkästi olevan jotain muuta kuin varsinaista ojaverkostoa. Jos oja yhdistyi entuudestaan tunnettuihin varmoihin ojiin, indikoi se myös kyseisen ojan olevan pysyvä, joskin monesti myös maanmuokkausjälkiä vedeltiin varsinaisen ojaverkoston sisälle ja nekin monesti vaikuttivat yhdistyvän varsinaisiin ojiin. Koska ojien tarkoituksena on usein alueen kuivattaminen, katsottiin kostealle ja tasaiselle turvemaalle tehdyt ojat todennäköisemmin varsinaisiksi ojiksi. Vastaavasti varsinkin kaltevalle kivennäismaarinteelle olevat ojat luokiteltiin herkemmin epätodennäköisiksi ojiksi.

Yleisesti erityisen tiheä ojien määrä katsottiin viittaavan, että ojat ovat todennäköisesti osa maanmuokkausta, eivätkä siten varsinaisia oja. Ei ole kuitenkaan mitään varmuutta, etteivätkö myös varsinaiset ojat voisi olla yllättävänkin tiheässä, samoin kuin ei ole myöskään mitään selkeää rajaa siitä mikä on liian tiheä ojaväli varsinaiseksi ojaksi. Neuvoa antavana aineistona olivat metsänkäyttöilmoitukset tehdyistä avohakkuu- ja maanmuokkausaloista. Mikäli ojien alueella oli tehty hiljattain avohakkuu taa maanmuokkaus, lisäsi se todennäköisyyttä, että oja oli osa maanmuokkausta, eikä siten varsinaisen ja pysyvä oja. Joskin uusia ojaverkostoja voidaan hyvin kaivaa myös tuoreille avohakkuu- ja maanmuokkausaloille. Metsänkäyttöilmoitusaineisto ei välttämättä ole kattava. Toimenpiteestä on voitu tehdä metsänkäyttöilmoitus, mutta jättää itse toimenpide tekemättä. Vastaavasti varsinkin vanhoja maanmuokkauksia ei välttämättä ilmene aineistossa. Ilmakuvista oli myös mahdollista tarkistaa tuoreita avohakkuuta ja maanmuokkauksia. Monesti epäilty maanmuokkausjälkien verkosto täsmäsi alueellisesti ilmakuvasa näkyvän avohakkuuaukean tai tuoreen taimikon kanssa. Paikoin ojat näkyivät ilmakuvasa, mikäli eivät olleet liikaa puuston peitossa. Ilmakuvista oli mahdollista yrittää tulkita ojien muotoa, leveyttä, syvyyttä, yhteneväisyyttä, sekä yleisesti alueen järkevyyttä ojituksen kannalta. Ongelma oli, että ojan tarkoitusta tai pysyvyyttä oli usein haastavaa ilmakuvasa tulkita. Tuore naveromätästysoja saattoi näyttää ilmakuvasa varsin pysyvältä ojalta, samalla kuin vanhemmat ojaverkostot tuskin edes erottuivat ilmakuvasa.

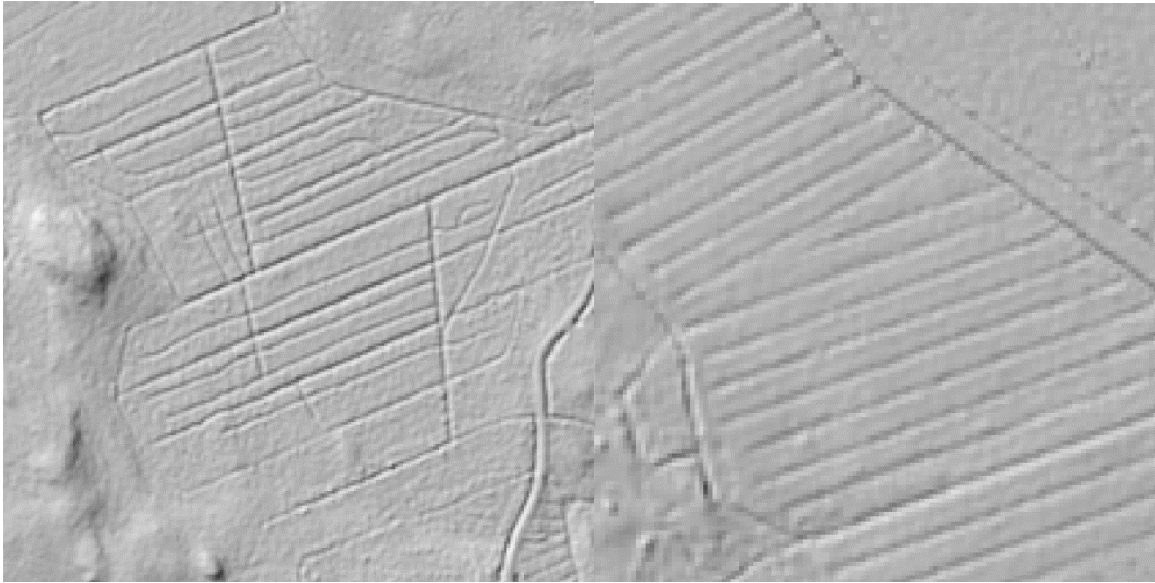
Myös luokittelupäätöksen tekeminen kolmen eri varmuusluokan välillä oli haastavaa. Useimmat indikaattorit ovat melko tulkinnanvaraisia, epävarmoja ja alttiitta poikkeuksille, mutta jos riittävän moni tekijä viittasi uoman olevan muuta kuin varsinaisen oja, uoma melko todennäköisesti ei ole oja. Luokkaan viisi päätyivät selkeät tapaukset kuten ojat, joiden sijainti ei vaikuttanut järkevältä, yksittäiset ja epämääräiset uomat, tiheet maanmuokkausjäljet, tiet,

jyrkät maastonmuodot sekä selkeät maanmuokkausjäljet. Tyypillisimpiä tapauksia olivat tiheät, epämääräiset ja mutkitttelevat jäljet tuoreella maanmuokkausosalalla tai joukko tiheitä ja heikosti erottuvia juovamaisia jälkiä ilman selkeää vedenjohtamistarkoitusta.

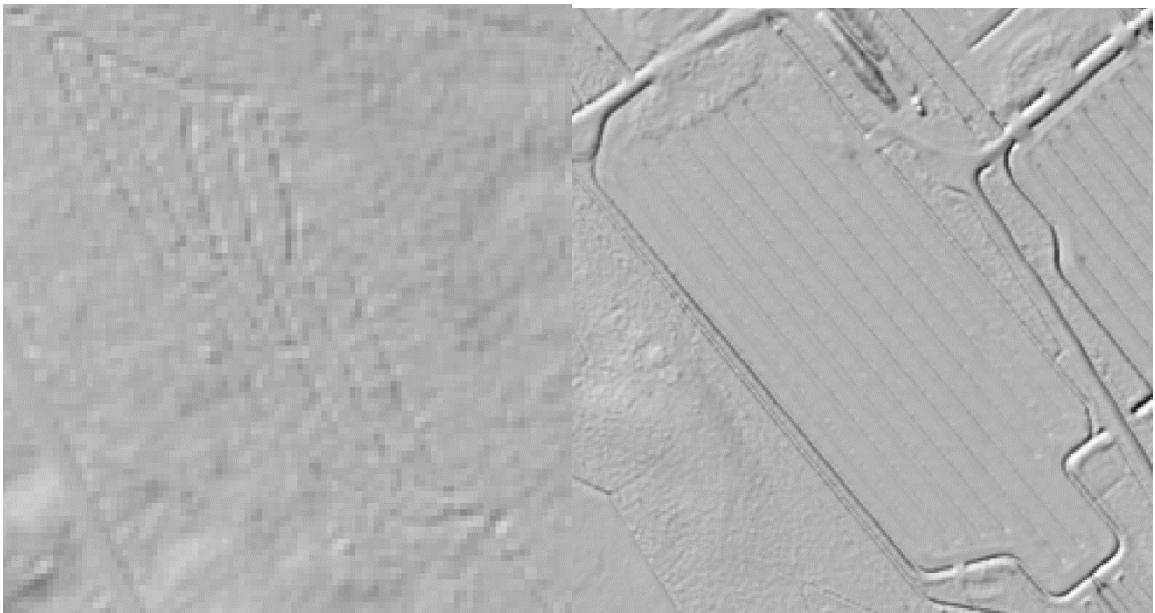


Kuva 15 ja 16. Esimerkkejä alueista, jotka on luokiteltu luokkaan viisi. Vasemmalla selkeä maanmuokkausjälki: mutkitttelevia, epämääräisen muotoisia, epäselviä ja irrallisia juovia tiheässä, varsinaisten ojien välillä tuoreella avohakkuu ja maanmuokkausosalalla. Alue on kosteaa turvemaata. Oikealla tiheitä, epäselviä, aurasmaisia juovia, joista osa tuoreella maanmuokkausosalalla ja osa istutetulla metsäalalla. Alue on kivennäismaata.

Huomattavasti enemmän ojia päätyi luokkaan neljä, johon päätyivät epävarmat ja epäilyttävät tapaukset, jossa ei voida sanoa onko oja pysyvä vai ei. Tähän luokkaan lukeutuvat mm. uudet ojat avohakkuu ja maanmuokkausaloilla, jotka saattavat olla kohtalaisen tiheässä ja mutkitttelevia, mutta eivät ole selkeästi osa maanmuokkausta. Ne saattavat yhdistyä varsinaisiin ojiin, eikä voida sulkea pois mahdollisuutta, että ne ovatkin uusia varsinaisia ojia. Mukana luokassa neljä on myös pitkiä, suorita, pelto-ojamaisia ojia rinnakkain tiheässä metsämaalla, sekä joukko ojia erkaantumassa pääojasta tiheässä viuhkamaisessa ryhmässä tuoreella uudistusosalalla. Myös kaikki turpeentuotantoalueilla olevat ojat merkittiin luokkaan neljä, sillä vaikka ne ovatkin melko selkeitä ojia, ei niitä välttämättä kuitenkaan varsinaisiksi ojiksi lasketa.



Kuva 17 ja 18. Luokan nelosen epävarmoja ojia. Vasemmalla uusia ojia vanhan ojaverkoston joukossa. Osa ojista suoria, osa mutkaisia, kohtalaisen tiheässä, syviä ja selkeitä, mutta kaikki kuitenkin liittyvät vanhoihin ojiin. Alue kosteaa turvemaata ja alueella tehty hiljattain avohakkuu ja maanmuokkaus. Oikealla suoria pelto-ojamaisia ojia kohtalaisen tiheässä metsämaalla.



Kuva 19 ja 20. Lisää esimerkkejä luokan neljä ojista. Vasemmalla viuhkamainen joukko uusia ojia pääojan jatkeena kohtalaisen tiheässä. Ojat mutkittelevat ja vaikei alueella olekaan hiljattain tehty avohakkuuta tai maanmuokkausta, myötäilee alueen puusto selkeästi ojituksen kattamaa alaa. Oikealla turvetuotantoalueelle digitoituja ojia. Ojat selkeitä ja suoria mutta eivät välttämättä varsinaisia ojia.

Ojan automaattitulkinta

Ojien etsimiseen automaattisesti sisältyy useita haasteita. Ensinnäkin automatiikan on kyettävä löytämään riittävällä tarkkuudella linjamaiset syventymät maanpinnasta. Ongelmana on kuitenkin, miten saada automatiikka erottamaan ojia muistuttavat maanmuodot kuten ajourat, polut, hakkukonejäljet sekä auras-, äestys- ynnä muut maanmuokkausjäljet oikeista ojista. Mahdollisena keinona algoritmille erottaa ojia voivat olla ojien taipumus yhdistyä säännöllisiksi, suoriksi, ja varsin suorakulmaisiksi verkostoiksi, joissa loivat kaaret eivät ole kovin yleisiä. Myös painaumien syvyys, leveys, tiheys sekä välinen etäisyys voivat auttaa. Ojan kriteereissä on oltava tarkkana. Liian löysät kriteerit johtavat suureen määrään virheellisiä positiivisia, kun taas liian tiukat kriteerit jättävät merkittävästi pieniä ojia löytämättä. Ojan ominaisuustietojen (mm. leveys, syvyys) tulkinta on myös virhealtista eikä tulkittuja ominaisuustietoja ehkä voi varsinaisesti käyttää uoman luokittelussa ojaksi tai muuksi uomaksi tai painanteeksi.

Olennaista ojan määrittämisessä automatiikalle on etsittävän ojaverkoston käyttötarkoitus. Jos halutaan vain ihmisen tekemät uomat, ts. ojat, kriteerien tulee olla melko tiukkoja. Luonnonuomia voidaan erotella suhteellisen suoruuden sekä käännösten ja haaraumien loivuuden perusteella. Mikäli halutaan veden virtausverkko, jossa on mukana mikä tahansa uoma, joka vaikuttaa veden liikkeeseen, kriteerien tulisi olla huomattavasti löysempiä. Tällöin ojien ja luonnonuomien lisäksi halutaan tulokseen sisällyttää maanmuokkausjäljet, ajourat, norot ynnä muut uomat ja painaumat, jotka johtavat vettä. Retkeilijän näkökulmasta maastokartan vaatimukset ovat edelleen poikkeavat. Mukana voisi olla kaikki selkeästi tunnistettavat keinotekoiset ja luonnolliset uomat, kosteikot ja muut vesistöt, mutta liian runsas ja pikkutarkka yksityiskohtien määrä on liikaa. Umpeenkasvaneita ojia maastokartassa ei ehkä tarvita, jos ne eivät enää maastosta erotu tai vettä johda. Metsätaloudellisissa analyyseissa taas tieto vanhoista umpeenkasvaneista ojista voi olla hyödyllistä.

LIITE 2. Pohjavesialueiden ja pohjavesien muodostumisalueiden läpäisemättömät pinnat

Taulukko 1. Pohjavesialueille lasketut tiedot vettä läpäisemättömien pintojen osuuksista (osuus pinta-alasta) eri luottamusväleille.

Pohjavesialueen id	Nimi	Pinta-ala (ha)	Luottamusväli >= 30 %	Luottamusväli >= 50 %	Luottamusväli >= 70 %
43320	Puolarmetsä	172	6	6	5
43354	Brinkinmäki	78	30	28	26
43525	Kattila	23	2	1	1
44042	Metsämaa	81	19	17	16
44436	Mätäkiivi	297	2	2	1
44505	Koivukylä	102	28	26	24
44690	Hyyrylä	46	11	10	10
45064	Backas	74	30	29	27
45206	Lentoasema	402	28	27	27
45382	Valkealähde	814	27	25	24
45466	Mätäkiivi	121	3	3	3
45528	Vuosaari	273	42	40	37
45949	Mullkärret	44			
46002	Velskola	84	2	1	1
46242	Tattarisuo	102	29	28	26
46474	Lahnus	89	8	7	7
46653	Luukki	65	5	5	5
46866	Fazerila	284	28	26	25
46899	Kaivoksela	121	38	36	35
47092	Vähä-Muori	14			
47362	Vestra	10	4	3	3
47606	Seutula	69	11	10	9
47801	Vantaanpuisto	115	15	14	14
48564	Mankki	35	10	10	9
48717	Vartiokylä	120	20	19	18
49897	Kunnarla	183	2	2	2

Taulukko 2. Pohjavesien muodostumisalueille lasketut tiedot vettä läpäisemättömien pintojen osuudesta (osuus pinta-alasta) eri luottamusväleille.

Pohjavesialueen id	Nimi	Pinta-ala (ha)	Luottamusväli >= 30 %	Luottamusväli >= 50 %	Luottamusväli >= 70 %
43320	Puolarmetsä	59	2	1	1
43320	Puolarmetsä	9	6	6	5
43320	Puolarmetsä	3	15	13	12
43525	Kattila	7	3	2	1
44505	Koivukylä	44	24	22	20
44690	Hyrylä	35	6	6	5
45206	Lentoasema	87	19	19	18
45382	Valkealähde	1			
45382	Valkealähde	2	14	12	12
45382	Valkealähde	0	50	48	47
45382	Valkealähde	0			
45382	Valkealähde	138	42	39	36
45382	Valkealähde	1			
45382	Valkealähde	1	5	4	3
45382	Valkealähde	0			
45382	Valkealähde	1	10	10	9
45382	Valkealähde	139	44	43	42
45382	Valkealähde	0			
45466	Mätäkivi	90	3	3	2
45528	Vuosaari	113	52	49	46
45949	Mullkärret	19			
46242	Tattarisuo	53	33	31	30
46474	Lahnus	11	14	13	12
46866	Fazerila	143	32	31	30
46899	Kaivoksela	17	19	17	16
47801	Vantaanpuisto	34	27	25	24