

Hydrologisen kytkeytyneisyyden tarkastelu laser-
keilausaineistoa hyödyntäen

Loppuraportti 2023

15.12.2023

Nappaa hiilestä kiinni

Tapio Oy (jäljempänä Tapio) vastaa palvelun toteuttajana ja raportin laatijana siitä, että raportti on laadittu ammattitaitoisesti, huolellisesti ja alalla vallitsevaa hyvää ammattikäytäntöä noudattaen. Raportti vastaa tilannetta sen antamishetkellä, eikä Tapio siten ole vastuussa myöhemmin esim. olosuhteiden muuttumisesta johduneista seikoista. Toimeksiannon suorittamista varten Tapio on saanut toimeksiantajalta tai kolmansilta aineistoa ja laskentamalleja, joiden oikeellisuuteen ja todenmukaisuuteen Tapio on luottanut ilman eri tutkimusta tai todentamista, ellei kyse ole aineistosta, jonka oikeellisuuden tai todenmukaisuuden selvittäminen on nimenomaisesti kuulunut toimeksiantoon.

Tapio ei vastaa missään tapauksessa raportin välillisistä eikä epäsuorista vahingoista. Tapion vastuu rajoittuu kaikissa tapauksissa sille toimeksiannosta maksettuun määrään, ellei Tapion osoiteta menetelleen tahallisesti tai törkeän tuottamuksellisesti. Kolmannella taholla on oikeus luottaa lausuntoon vain siinä tarkoituksessa, mihin lausunto on nimenomaisesti pyydetty. Tapion vastuu kolmatta tahoja kohtaan ei voi olla suurempi, kuin mitä se on lausunnon pyytäneitä tahoja kohtaan.

Samuli Joensuu, Tarja Anttila, Maija Kauppila, Kati Kontinen, Mikko Niemi, Tiina Ronkainen (Tapio Oy), Vesa Leppänen (Arbonaut Oy), Leena Stenberg (Luonnonvarakeskus), Miia Saarimaa, Mika Masalin (Suomen metsäkeskus), 2023, Hydrologisen kytkeytyneisyyden tarkastelu laserkeilausaineistoa hyödyntäen. Tapion julkaisu.

© Tapio Oy

Työn tilaaja: Maa- ja metsätalousministeriö

Sisällys

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | HANKKEEN ESITTELY | 3 |
| 1.1 | PERUSTIEDOT HANKKEESTA | 3 |
| 1.2 | HANKKEEN TAVOITTEET | 3 |
| 1.3 | YHTEENVETO HANKKEESTA | 4 |
| 2 | HANKKEEN TOTEUTUS JA TOTEUTUSVAIHEEN ARVIOINTI | 5 |
| 2.1 | HANKKEEN TOTEUTUS | 5 |
| 2.1.1 | Kohdealueiden valinta | 5 |
| 2.1.2 | Menetelmäkehitys I & II | 5 |
| 2.1.3 | Maastoinventointi ja testaus | 11 |
| 2.1.4 | Retkeily | 13 |
| 2.1.5 | Työpajat | 14 |
| 2.1.6 | Hankehallinto ja viestintä | 15 |
| 2.2 | AIKATAULU JA RESURSSIT | 16 |
| 2.3 | KUSTANNUKSET JA RAHOITUS | 17 |
| 2.4 | RAPORTOINTI, JULKAISUT JA SEURANTA | 17 |
| 2.5 | TOTEUTUSVAIHEEN ARVIOINTI | 17 |
| 3 | TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI | 18 |
| 3.1 | TULOSTEN ESITTELY | 18 |
| 3.2 | TULOSTEN VIEMINEN KÄYTÄNTÖÖN | 25 |
| 3.3 | TULOSTEN MERKITYS JA JATKOTOIMENPITEET | 26 |
| 4 | LIITTEET | 27 |

1 Hankkeen esittely

1.1 Perustiedot hankkeesta

Hydrologisen kytkeytyneisyyden tarkastelu laserkeilausaineistoa hyödyntäen (HYTKY) -hanketta rahoittaa Maa- ja metsätalousministeriö Hiilestä kiinni -maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuudesta. Hankkeen vastuutahona toimii Tapio Oy ja projektipäällikkönä Samuli Joensuu. Hanke toteutetaan yhteistyössä Arbonaut Oy:n, Suomen metsäkeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen kanssa. Hanke alkoi kesällä 2021 ja päättyy vuoden 2023 loppuun.

1.2 Hankkeen tavoitteet

Metsäojituksen tavoitteena on vesitalouden säätelyn avulla tuottaa puuston lisäkasvua. Suomessa on ojitettu metsätaloutta varten soita ja ohutturpeisia kivennäismaita kaikkiaan noin 5,9 miljoonaa hehtaaria. Ojien kunnostus on yksi vaihtoehto pitää yllä puuston kasvun kannalta optimaalista vesitaloutta. 2010-luvulla vanhoja metsäojitusalueita on kunnostettu noin 20 000–30 000 hehtaaria vuodessa. Vuonna 2023 ojien kunnostusta tehty enää noin 8 000 hehtaaria. Tarveharkinta vain puuston kasvun kannalta tarpeellisten ojien kunnostukseen on tärkeää turvemaiden ilmastovaikutusten ja vesistökuorituksen pienentämiseksi.

Turvemaiden vesitaloutta muokattaessa vaikutetaan metsätalouden maankäyttösektorin hiilivarastoon. Jotta metsätalouksikäytössä olevien turvemaiden hiilensidonta ja puuston kasvu voidaan maksimoida ja turpeen hajoamisesta johtuvat hiilipäästöt minimoida, tulee ojituksen suunnitteluun ja menetelmien kehittämiseen panostaa. HYTKY -hankkeen tavoitteena on parantaa hiilitaseen huomioimista suometsien hoitohankkeissa yhdistämällä laserkeilausaineistosta tuotettuja tietotuotteita Suosimulaattori -mallinnukseen.

Hankkeessa kehitettävä laserkeilausaineiston analysointiin perustuva menetelmä tukee kokonaistavoitteen toteutumista vahvistamalla tietopohjaa suometsäkuvioiden hydrologisesta kytkeytyvyydestä. Hydrologisella kytkeytyneisyydellä tarkoitetaan tässä hakkuun ja ojan kunnostuksen vaikutusalueen ja voimakkuuden tunnistamista pohjaveden pinnan tasoon suoltaan eri osissa. Pohjaveden pinnan tasolla on merkittävä vaikutus turpeen hajoamiseen sekä sitä kautta hiilinielujen muutokseen suometsissä. Jotta hiilen sidontaa voidaan vahvistaa, tulee hakkuissa ja ojien kunnostuksen suunnittelussa pyrkiä säätelemään hakkuiden voimakkuutta ja kohdentaa uomien kunnostaminen uomaverkoston sisällä siten, että kuivatus pysyy puuntuotoksen ja puuston hiilensidontan kannalta riittävällä tasolla niillä suoaltaan osilla, jotka ovat talouskäytössä. Toisaalta kuivatusvaikutuksen ulottamista puuston kasvun kannalta epätarkoituksen mukaisen syvälle turvekerrokseen tulisi välttää kasvavien hiilidioksidi- ja ravinnepäästöjen vuoksi. Lisäksi tulisi välttää pohjaveden pinnan laskua niillä osilla suoallasta, jotka eivät ole puuntuotannon piirissä.

Maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuudessa on määritelty toimia, jotka edesauttavat Suomen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista. HYTKY-hankkeen aihepiiriin suoraan liittyviä toimenpiteitä ovat:

1) kokonaisvaltainen suometsänhoidon suunnittelu

a) kunnostusojitusten välttäminen

2) valuma-alue suunnittelu (Kehitetään valuma-alueen suunnitteluun menetelmiä ja välineitä

tukemaan ilmastokestävien hankkeiden toteuttamista sekä vesiensuojelua).

HYTKY – hankkeen tavoitteena oli kehittää menetelmää, jonka avulla voidaan tunnistaa ne osat uomaverkostosta, joiden kunnostaminen on tarkoituksenmukaista ojien nykyisen kunnan ja maanpinnan muotojen perusteella, puuntuotos ja hiilivaraston muutos huomioiden sekä yhdistää hankkeessa tuotettua tietoa Suosimulaattori-mallinnukseen. Menetelmä auttaa myös minimoimaan kuivatusvaikutuksen ulottumisen niille osille suoallasta, jossa pohjaveden pinnan laskua ei tavoitella. Kokonaisuutena menetelmä mahdollistaa kuivatuksen täsmäsuunnittelun, jossa pohjaveden pintaa säädellään suoaltaassa halutulla tasolla suoaltaan eri osissa ja mahdollistaen puuston haihdunnan huomioisen pohjaveden pinnan säätelyssä. Tällöin hakkuiden ajoituksen, voimakkuuden ja hakkuutapojen vaikutus pohjaveden pinnan säätelyssä voidaan tunnistaa ja huomioida siten myös metsien käyttöä koskevassa päätöksenteossa. Täsmäsuunnittelulla voidaan välttää ojien kunnostus tarpeettomilla osilla ojaverkostoa.

1.3 Yhteenveto hankkeesta

Hydrologisen kytkeytyneisyyden tarkastelu laserkeilausaineistoa hyödyntäen (HYTKY) -hankkeessa kehitettiin menetelmää uomaverkoston ja kunnostusojitustarpeen tunnistamiseen. Kehitetty menetelmä edistää täsmäsuunnittelua suometsien hoidossa: uuteen laserkeilausaineistoon pohjautuvaa analyysiä hyödyntämällä vältytään alueiden ei-toivotulta kuivumiselta ja kuivatuksen vaikutukset saadaan kohdistettua vain talouskäytön kannalta tarpeellisille osille suoallasta. Menetelmä toimii työkaluna valuma-aluekohtaisessa suunnittelussa, jossa tarkoituksena on hallita pohjavedenpinnan tasoa suoaltaan eri osissa.

Hanketta koordinoi Tapio Oy ja projektipäällikkönä toimi vesiensuojelun johtava asiantuntija Samuli Joensuu. Hankkeen yhteistyökumppaneina olivat Arbonaut Oy, Suomen metsäkeskus ja Luonnonvarakeskus (Taulukko 1). Hanketta tehtiin yhteistyössä SUO-hankkeen kanssa. Hankkeen kokonaisrahoitus on esitetty Taulukko 2.

Taulukko 1 Hankkeen pääasiallinen projektiryhmä. Hankkeessa oli lisäksi vuonna 2021 töissä kolme kesäharjoittelijaa maastotöissä sekä avustavia tehtäviä tehneitä henkilöitä hankkeen aikana.

| Henkilö | Organisaatio |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Samuli Joensuu, projektipäällikkö | Tapio Oy (2021-2023) |
| Tiina Ronkainen | Tapio Oy (2021) |
| Tarja Anttila | Tapio Oy (2021,2023) |
| Mikko Niemi | Tapio Oy (2022) |
| Maija Kauppila | Tapio Oy (2022-2023) |
| Antti Leinonen | Suomen metsäkeskus (2021) |
| Miia Saarimaa | Suomen metsäkeskus (2021-2023) |
| Mikko Kesälä | Suomen metsäkeskus (2021) |
| Mika Masalin | Suomen metsäkeskus (2023) |
| Vesa Leppänen | Arbonaut Oy (2021-2023) |
| Jussi Peuhkurinen | Arbonaut Oy (2021-2022) |
| Alexander Koleshnikov | Arbonaut Oy (2021-2023) |
| Heli Hiltunen | Arbonaut Oy (2021-2023) |
| Eero Rauhala | Arbonaut Oy (2021-2023) |
| Ecre Sener | Arbonaut Oy (2021-2023) |
| Leena Stenberg | Luonnonvarakeskus (2021-2023) |
| Aura Salmivaara | Luonnonvarakeskus (2022-2023) |
| Eero Liski | Luonnonvarakeskus (2023) |

Taulukko 2 Hankkeen kokonaisrahoitus

| Kokonaisrahoitus | Tapio | Arbonaut | Luke | SMK | Yhteensä |
|------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| MMM osuus | 130 000 | 70 454 | 100 000 | 65 000 | 375 434 |
| Omarahoitus | 0 | 30 195 | 42 857 | | 75 861 |
| Yhteensä | 130 000 | 100 649 | 142 857 | 65 000 | 451 295 |

2 Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1 Hankkeen toteutus

2.1.1 Kohdealueiden valinta

Kohdealueiden valinta tehtiin yhdessä Tapion, Suomen metsäkeskuksen ja Arbonautin kanssa kesäkuun 2021 aikana. Kohdealueet valittiin sellaisilta alueilta, joissa oli suoritettu laserkeilaus edellisenä kesänä kuivaan aikaan, sillä myös maastomittaus tehtiin loppukesästä, kun ojat olivat kuivia. Kohdealueita valittiin yhteensä kolme (Parkano, Iisalmi ja Kuivaniemi). Ennakkoon arvioitiin, että valitut HYTKY-hankkeen kohdealueet kytkeytyisivät SUO-hankkeen pilottikohteiden toteuttamiseen samoilla alueilla.

2.1.2 Menetelmäkehitys I & II

2.1.2.1 Digitaalinen ojaverkko

Ojien kuivavara-analyysimenetelmä

Ojien kuivavara-analyysimenetelmänä käytettiin Arbonautin kehittämää automaattista laserkeilausaineistoon ja valmiiseen keskilinja-aineistoon perustuvaa menetelmää. Keskilinjat saatiin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta ja niitä editoitiin tarvittaessa.

Virtaamalaskenta

Pintavaluntaverkon mitoitusvirtaamat ovat tärkeä osa mm. ojaston parannus- ja ennallistamishankkeiden suunnittelua. Virtaamat saadaan analysoimalla kullekin ojanosalle pintavaluntavettä tuova pinta-ala maaston pintamallista ja käyttämällä virtaaman ennustemallia, jossa on lisäparametreina esimerkiksi valuma-alueen maankäyttöluokka, mitoitusasteen määrä ja haihdunnan / pohjaveteen päätyvän veden määrä. Laskentaa varten löytyy valmiita laskentamalleja. Tavallinen maan pinnan kartografiseen kuvaamiseen käytetty maaston pintamalli (DTM) ei ole kuitenkaan optimaalinen virtaamalaskennassa. Vuoden 2021 tuloksia tarkasteltaessa todettiin, että kartografiaa varten tehty DTM ei ole riittävän tarkka ojaston kuvaamisen osalta, ja vesi valuu mallissa esimerkiksi poikittain ojien yli. Lisäksi kartograafisella mallilla rummut, sillat ym. ylimmän ylöspäin näkyvän tiiviin pinnan alittavat virtausverkon osat eivät kuvaudu veden virtauksen kannalta realistisesti. Virtausmalleja varten käytetäänkin yleisesti ns. hydrologisesti korrekkeja pintamalleja. Hydrologisesti korrekkin pintamallin tuottaminen sisältää yleensä jonkin verran käsityötä. Arbonaut on kehittänyt työkaluja, joilla DTM:iä voidaan modifioida siten, että tulkitun ojan kohdalla olevien pikseleiden korkeusarvoa muutetaan vastaamaan ojan pohjaa ja ojan pohja on muodoltaan V-kirjaimen muotoinen. Tällainen malli on optimaalinen valuntalaskelmissa. Lisäksi Arbonaut on kehittänyt työkalun, jolla tierummut ”leikataan DTM:iä auki” jolloin rummun kohdalla olevien pikseleiden korkeusarvo vastaa rummun pohjan korkeusarvoa.

Ojien mittaustiedon ja hydrologisen kytkeytyneisyyden analysointi

- Ojien sijaintikorjaus
- Ojien kunnan ja dimensioiden mittaaminen
- Ojaston verkostanalyysi

Ojien sijaintikorjaus

Maastotietokanta sisältää hyvän aineiston ojien paikasta. Kannassa on kuitenkin jonkin verran paikkavirheitä, puuttuvia ojia ja turhia ojia. Arbonaut on kehittänyt menetelmän, jolla ojien sijaintia voidaan korjata laserkeilausaineiston avulla automaattisesti.

Ojan paikannusprosessi sijaintikorjauksen tuottamiseksi:

1. Tuotetaan keskilinjoiden ympärille analyysialueet
2. Syvimmälle painunut maapiste analyysiruudussa tulkitaan ojan pohjaksi, jos sen korkeusarvo on hyväksyttävissä rajoissa
3. Lähin ojan solmupiste siirretään löydettyyn matalimpaan pisteeseen
 - Menetelmä tarkentaa ojien paikkaa, mutta ei löydä puuttuvia ojia eikä poista turhia
 - Menetelmä korjaa ojan paikan vain, jos todellinen paikka löytyy analyysialueen sisältä
 - Puuttuvien ojien tulkinta tuottaa liian paljon virheellistä tulkintaa.

Ojien kunnan ja dimensioiden mittaaminen

Ojien kunnan mittaamisen ongelma

- Normaalit profiiliteknikat ojan syvyyden mittaamiseksi eivät toimi harvoilla pistepilvillä (1-5pt/m)
- Ojan keskilinjain paikkatarkkuus ei mahdollista ojan pohjan tunnistamista sellaisenaan
- Ihmistyön määrä olisi liian suuri kaikkien ojien kunnan analysointiin

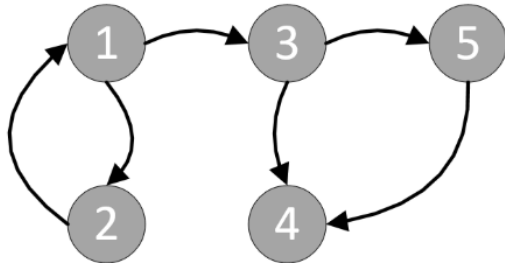
Menetelmäratkaisu (Kuivavara-analyysi):

- Ojien syvyyden automaattiseksi mittaamiseksi analyysialueet (~8x8 m) muodostetaan ojien keskilinjoiden ympärille
- Analyysialueen on oltava riittävän suuri, jotta riittävä määrä keilauspisteitä osuu alueelle siten, että ainakin yksi piste osuu ojan pohjalle
- Maanpinnan keskikorkeus analyysiruudussa lasketaan maapisteiden korkeusarvoista
- Syvimmälle painunut maapiste analyysialueella (lucky point) tunnistetaan ja nimetään ojan pohjapisteeksi. Pistein korkeusarvo kiinnostaa, ei sinänsä sen paikka!
- Ojan syvyys lasketaan syvimmälle osuneen pisteen ja maan keskitason erotuksena
- Mikäli analyysi ei löydä luotettavasti pistettä ojan pohjasta, on analyysiruudun pituutta suurennettava

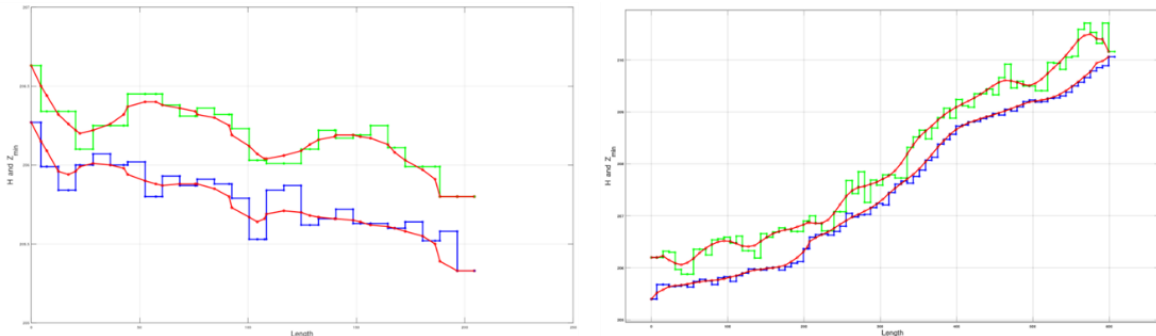
Ojaston verkostanalyysi

Verkostanalyysin tarkoituksena oli tuottaa pintavaluntaverkosta digitaalinen kaksonen, jossa ojasto on esitetty reititettävän suunnatun multigraafin (Directed MultiGraph "DMG", Kuva 1) muotoisena verkostona. Yksittäiset ojat linkitetään toisiinsa muodostamaan verkoston, jossa voidaan reitittää veden virtaus

ojaprofiilien mahdollistamia virtaussuuntia hyödyntäen. Verkostoanalyysin lähtödatana on käytetty valuma-alueita ja purkupisteitä, järviä ja jokia, sekä ojien keskilinjoi, joille on tulkittu mahdolliset veden virtaussuunnat. Jokaiselle ojalle on laskettu mahdolliset virtaussuunnat ojan pohjan ja reunojen pituusprofiilien perusteella (Kuva 2).



Kuva 1 Esimerkki suunnatusta multigraafista. Suunnattu multigraafi on suunnattu graafi, jossa voi olla useita reittejä (...tässä tapauksessa ojien risteyksistä muodostuvien...) solmujen välillä.



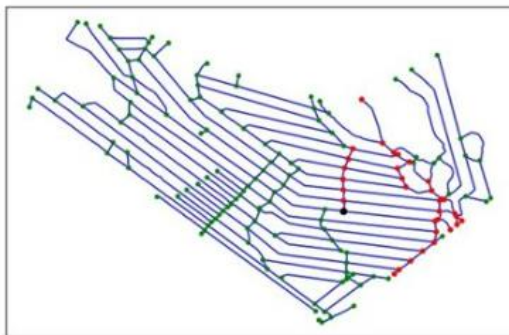
Kuva 2 Kahden ojan pituusprofiilit. Ylempi käyrä esittää ojan reunan profiilia ja alempi pohjan profiilia. Punaiset käyrät on tasoitettu alkuperäisistä profiileista. Jos ojan reuna on koko ojanosan matkalla korkeammalla kuin mikään ojan pohjaprofiilin piste, voi oja virrata molempiin suuntiin. Vasemmanpuoleinen oja voi virrata oikealle ja oikeanpuoleinen oja vasemmalle.

Directed Multigraphin (DMG) muodostamisen jälkeen prosessointi jatkuu ojaverkon pilkkomisella sisäisiin valuma-alueisiin ns. Connected Component-analyysin (CC) avulla. Analyysissä tutkitaan, mitkä valuma-alueen ojaston osat voivat kuljettaa vettä toisiinsa johonkin suuntaan, eli ovat hydrologisesti kytkeytyneitä. Tällaiset hydrologisesti kytkeytyneet ojastot muodostavat järkeviä ojanhankekokonaisuuksia.

Hydrologisesti kytkeytyneessä ojaverkostossa voidaan analysoida vastauksia esimerkiksi seuraaviin kysymyksiin:

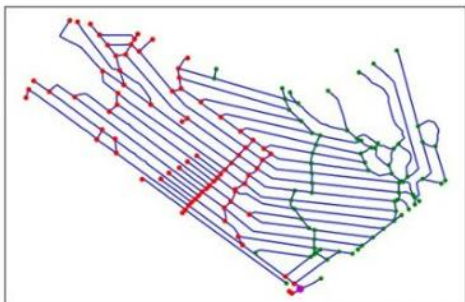
- Kuinka suuri on jonkun annetun pisteen valuma-alue (contributing area)? (Kuva 4).
- Mikä on veden virtaama annetussa pisteessä mitoitussateella? Mitoitussateena voidaan käyttää esimerkiksi 50 v rankinta tunnin aikana havaittua sademäärää? (Kuva 5). Virtaamatieta mahdollistaa vesiensuojelurakenteiden optimaalisen sijoittelun ja mitoituksen halutun viipymän aikaan saamiseksi.
- Mihin ojaverkon osiin vesi voi kulkeutua annetusta pisteestä? (Kuva 3).
- Mistä kohdista ojat on tukittava, jotta haluttu alue saadaan tulvitetuksi ennallistamishankkeessa? (Kuva 6).
- Mitä ei-toivottuja tulvitusvaikutuksia voi ilmetä kohdealueen ulkopuolella, tai vastaavasti mitä ei-toivottuja kuivatusvaikutuksia voi ilmetä kuivatushankkeen ulkopuolella? (Kuva 6).

Valunnan vaikutusalue



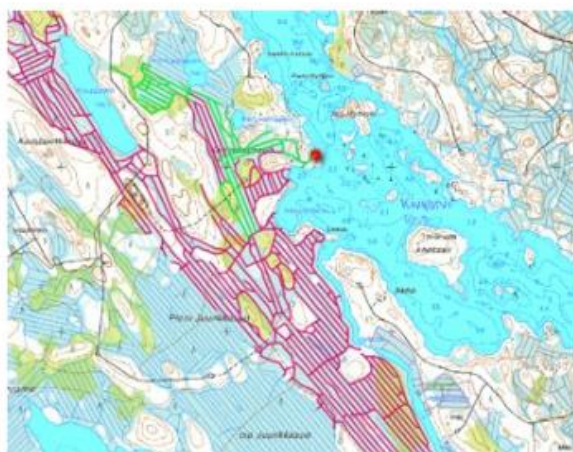
Kuva 3 Verkoston solmut, joihin vesi voi kulkeutua mustalla merkitystä solmusta, on esitetty punaisella. Tämä analyysi mahdollistaa esimerkiksi eroosioherkän kohteen vapauttaman sedimentin kulkeutumisreittien tarkastelun ja vesiensuojelurakenteiden sijoittamisen siten, että sedimentit saadaan jäämään ojaverkoston.

Verkoston solmun valuma-alue



Kuva 4 Verkoston solmut, jotka voivat valuttaa vettä violettiin solmuun on esitetty punaisella.

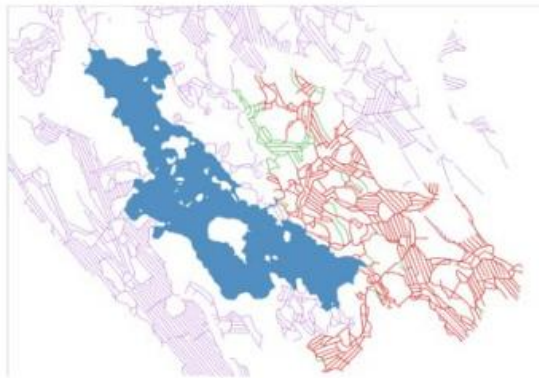
Valuma-alue (vihreä)



Ojaverkoston huomioiva valuma-alue voi poiketa DTM:n perusteella tehdystä. Esimerkiksi 2 m DTM ei havaitse ojaverkosta.

Kuva 5 Punaisella tähdellä merkityn purkupisteen todellinen valuma-alue, kun ojaverkoston vettä kuljettava vaikutus on huomioitu.

Valuma-alueetarkastelu



Punaisen ojaston vesi päätyy järveen ojaverkosta pitkin

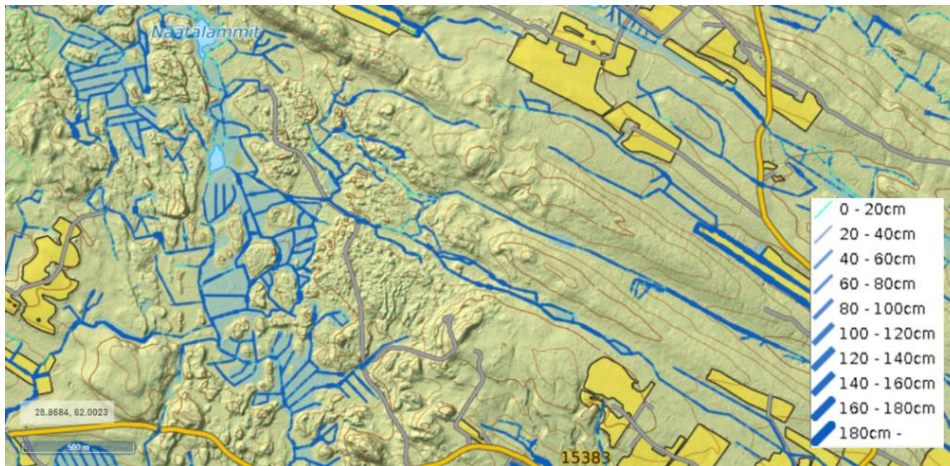
Kuva 6 Punainen ojasto esittää yhden valuma-alueen ojaston. "Patoamalla" eli muuttamalla ojan osien ojan pohjan profiilia voidaan virtaus digitaalisessa kaksosessa estää. Verkkoanalyysi tuottaa suoraan uuden virtausmallin muokatusta ojastosta, jolloin ennallistamishankkeen vuotokohdat voidaan tunnistaa jo ennen maastotöiden aloittamista. Samalla tapaa voidaan ojaprofiileja muokkaamalla tuottaa ojaston perkaus ja tutkia mitä perkauksen kuivatusvaikutus mahdollisesti vaikuttaa kohdealueen ulkopuolella.

Aineiston kuvaus

Kartografiassa, eli aineiston esittämistavalla, on kriittinen merkitys aineiston käytettävyydelle ja sen tuottamalle lisäarvolle. Hyvä aineisto on hyödyllistä vain, jos se esitetään selkeästi ja käyttäjälle ymmärrettävästi. Kartografisesti ajatellen löytyy myös erilaisia käyttäjätarpeita ja käyttötylejä, joille hiukan erilainen kartografinen esitystapa voi olla mieleen. Esimerkkinä tästä Kuva 7 ja Kuva 8, joissa on esitetty ojien syvyys liikennevaloin ja toisaalta eri paksuisin viivoin.



Kuva 7 Ojaverkoston kuivavara esitetty liikennevaloin.



Kuva 8 Ojaverkoston kuivavara esitetty viivapaksumuden ja värin avulla.

2.1.2.2 Suosimulaattori

Alkuperäinen Suosimulaattori on Itä-Suomen yliopistossa, Luonnonvarakeskuksessa ja Helsingin yliopistossa kehitetty mallinnustyökalu ojitetujen suometsien hydrologian, puuston kasvun, ravinnehuuhtoumien ja hiilitaseen simulointiin. HYTKY-hankkeessa Suosimulaattorista kehitettiin spatiaalisesti hajautettu, kvasi-3D-versio. Suosimulaattoriin liittyvät tehtävät HYTKY-hankkeessa voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan:

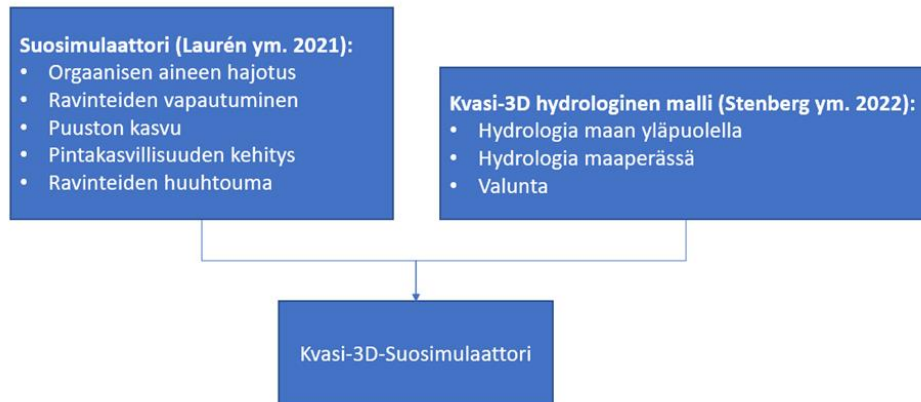
1) Kuivavara-aineiston testaus hydrologisessa mallinnuksessa:

Suosimulaattorin kvasi-3D hydrologisen moduulin (Stenberg ym., 2022) teknistä toimintaa testattiin Arbonaut Oy:n tuottamilla ojaverkoston kuivavara-aineistoilla Hanhiselän ja Parkanon esimerkkikohteilla. Kuivavara-aineistot muokattiin soveltumaan Suosimulaattorin lähtötiedoiksi muuttamalla ne rasterimuotoon ja rajaamalla data sopivalle alueelle. Muina lähtötietoina käytettiin avoimesti saatavilla olevia Metsäkeskuksen metsävaratietoja ja Ilmatieteenlaitoksen säädätaa. Lähtötietojen avulla mallinnettiin pohjavesipintojen käyttäytymistä alueilla erilaisissa sääolosuhteissa. Testien perusteella kuivavaratieto näytti soveltuvan teknisesti hyvin alueelliseen hydrologian mallinnukseen ja on erinomainen lisä Suosimulaattorin tarvitsemiin lähtötietoihin.

2) Suosimulaattorin kvasi-3D-version kehitystyö ja soveltaminen:

Suosimulaattorin alkuperäisen version (Laurén ym., 2021) prosessikuvauksia on kehitetty eteenpäin muissa hankkeissa. Tätä Suosimulaattorin päivitettyä versiota sekä kvasi-3D hydrologista moduulia käytettiin HYTKY-hankkeessa tehtävän kehitystyön lähtökohtina (Kuva 9). Mallit yhdistettiin siten, että kvasi-3D-mallilla pystytään simuloimaan hydrologian lisäksi myös muita Suosimulaattorin sisältämiä suureita, kuten puuston kasvua, hiilitasetta ja ravinnekuormitusta.

Mallin teknistä toimintaa testattiin ensin pienellä testiaineistolla, jotta nähtiin prosessien kuvautuvan kvasi-3D-versiossa samoin kuin Suosimulaattorin alkuperäisessä versiossa. Tämän jälkeen mallia sovellettiin koalueille, joilta oli saatavilla Arbonaut Oy:n kuivavara-aineistoa. Alkuperäistä kuivavara-aineistoa muokkaamalla kokeiltiin myös erilaisia ojien syventämisen ja tukkimisen vaihtoehtoja Suosimulaattorin lähtödatana. Vertaamalla Suosimulaattorin tuloksia erilaisilla kuivavara-vaihtoehtoilla, saadaan selville, millaisia vaikutuksia kuivavaran muutoksilla on puuston kasvuun, hiilitaseeseen ja ravinnekuormitukseen.



Kuva 9. HYTKY-hankkeessa toteutettiin kvasi-3D-versio Suosimulaattorista.

2.1.3 Maastoinventointi ja testaus

Ojaverkoston kuivavaran tarkistukseen liittyvä maastoinventointi toteutettiin elokuun 2021 aikana kolmella eri alueella (Parkano, Kuivaniemi ja Iisalmi) Suomen metsäkeskuksen harjoittelijoiden toimesta. Maastoinventoinnin toteutuksesta ja organisoinnista vastasi Metsäkeskus. Alkuperäisessä suunnitelmassa tarkoituksena oli tehdä yhteistyötä Tapion ja Metsäkeskuksen kesken, mutta Tapion budjetin pienentymisen vuoksi Tapion osuus maastotöistä jätettiin pois. Yhteisissä projektiryhmän tapaamisissa määriteltiin muuttujat, joita maastossa halutaan mitata.



Kuva 10. Ojan syvyyden mittamista maastossa.

Maastossa mitattiin ojen kuivavara, vesisyvyys sekä leveys vedenpinnassa ja maanpinnassa (Kuva 10). Mittauspisteillä arvioitiin turpeen syvyysluokka, pohjan kasvillisuuden ja luiskan kasvillisuuden peittävyysprosentti (eroteltuna sammalet, heinät ja puuvartiset), ojan toimivuusluokka, kasvupaikkatyyppi ja ojan syvyysluokka. Lisäksi kohteilta otettiin valokuvat mitatun ojan pohjasta ja leveydestä. Maastotietojen keräämiseen kehitettiin Metsäkeskuksessa oma QField-pohjainen tiedonkeruusovellus. Mittauspisteitä kertyi yhteensä 1035 kpl (Iisalmi 249 kpl, Parkano 334 kpl, Kuivaniemi 452 kpl).

Maastomittauksista on koostettu tilastollinen analyysi Tapion ja Suomen metsäkeskuksen toimesta, jossa arvioidaan eroja laserkeilausaineiston ja maastossa mitatun kuivavaran eroista. Analyysi toteutettiin ensin menetelmäkehitys I vaiheessa maastomittausten jälkeen. Arbonaut on laskenut ojasyvyyden neljällä menetelmällä (DTM, keskiarvo, moodi ja mediaani). DTM (Digital Terrain Model) etsii matalimman kohdan ojasta. Toisella menetelmällä

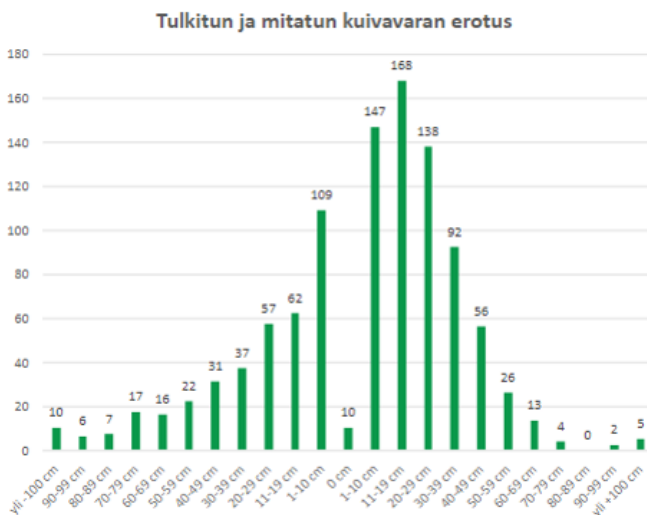
otettiin mukaan useampi arvo ojasegmentillä, joista laskettiin keskiarvo, moodi ja mediaani. Näitä lukuja vertaamalla maanpinnan referenssitason saatiin arvio ojan syvyydestä. Vertailussa huomattiin, että tulkitun ja maastossa mitatuista arvioista (DTM ja maastossa mitatun kuivavaran erotus) korkeintaan +/- 10 cm ero oli 295 mittauskohdalla (28,5 %) ja korkeintaan +/- 20 cm erotus 524 mittauskohdalla (50,6 %). Kun maastossa mitattua ojasyvyyttä vertailtiin laserkeilausaineistossa segmentin keskiarvoon,

korkeintaan +/- 10 cm:n erotus oli 554 kpl kohteissa (53,5 %) ja +/- 20 cm 842 kpl (81,3 %). Segmenttiarvo antaa osuvamman arvion ojasyvyydelle. Kaikista suurimpia eroja on vertailtu toisiinsa maastossa otettujen kuvien avulla. Kuvista tarkasteltiin, näkykö niissä selkeitä tulkintaa haitanneita tekijöitä. Eri-tyisesti pohjasta kapea, mutta syvä oja on aiheuttanut jopa yli metrin eroja tulkintaan, kun laserkeilaus ei ole tulkinnut pisteitä ojan pohjalta (Kuva 11). Eroja tulkinnassa on voinut aiheuttaa myös hyvin leveä oja, jolloin tulkinta on voinut ottaa maanpinnan lukemia ojasta ja mataloittaa ojaa. Yli metrin erotuksia tulkinnassa oli kuitenkin vain 15 kpl.



Kuva 11. Havainnekuva kohteesta, jossa oli huomattavan iso ero (-1.21 m) laserkeilatun (DTM) ja maastossa mitatun kuivavaran välillä. Segmentin keskimääräiset arviot (mediaani ja keskiarvo) arvioivat paremmin ojasyvyyden kyseisellä kohteella, mutta segmentin moodin arvio oli epätarkka.

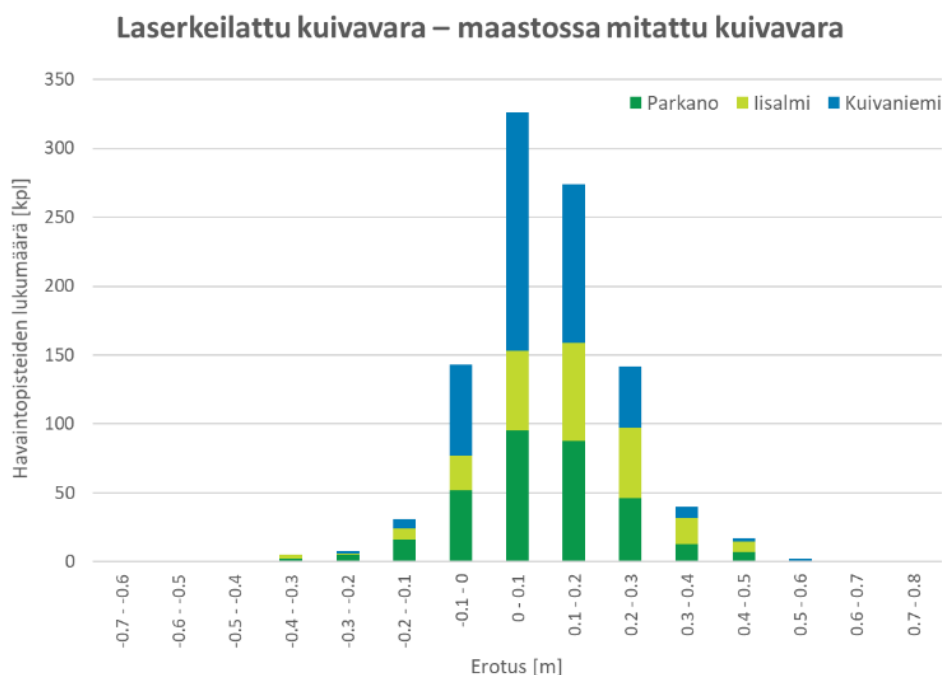
Maastoinventoinnista toteutettiin opinnäytetyö, joka valmistui vuonna 2023 (<https://www.theseus.fi/handle/10024/802806>). Opinnäytetyössä analysoitiin tulkinnassa käytetyn menetelmän (DTM, keskiarvo, mediaani ja moodi) vaikutusta maastossa mitatun ja laserkeilatun ojasyvyyden tulkinnan eroihin, virhelähteitä ja aluekohtaisia eroja.



Kuva 12 Tulkitun ojasyvyyden (DTM) ja mitatun kuivavaran erotus. Erotuksen keskiarvo on + 4 cm, keskihajonta 33,8 cm.

Menetelmäkehitys II:n jälkeen ojan kuivavara-analyysin tarkkuus parani huomattavasti, ja merkittävimmät poikkeamat saatiin korjattua. Yleisesti lähes kaikki vertailussa havaitut isot erot johtuivat ennemmin maastomittajaan mittaus- tai kirjausvirheestä kuin keilaustulkinnasta. Keskimäärin laserkeilausmittaus tuotti noin 10 cm maastomittausta suuremman arvion ojan kuivavarasta. 61 %:ssa havaintopisteistä laserkeilaustulkinta ennusti 0–20 cm suuremman kuivavaran kuin maastomittaja oli mitannut, ja vastavasta 89 %:ssa havaintopisteistä erotus oli -10–30 cm. Vertaamalla Kuva 13 jakaumaa kuvassa 17 esitettyyn vastaavaan informaation, voidaan visuaalisestikin havaita, kuinka paljon laserkeilaustulkinta kehittyi menetelmäkehitys II:n aikana. Vuoden 2022 osalta maastoinventointia ei koettu tarpeelliseksi tehdä.

Aineiston tarkastelu osoitti, että laserkeilaustulkinta on niin laadukasta, että voidaan perustellusti kysyä; kumpi on tarkempi mittaustulos: laserkeilaus- vai maastomittaus. Laserkeilaustulkinnan systemaattisesti suurempi kuivavaratulkinta saattaa johtua kummasta tahansa virhelähteestä: joko laserkeilausmittaus yliarvioi kuivavaraa tai maastomittaus aliarvioi. Myös sääolosuhteet vaikuttavat. Tarkempi tarkastelu kuivavara-analyysin tarkkuudesta löytyy liitteestä 1. Automaattitulkinnassa virheet liittyvät useimmiten ojan penkan muodosta johtuvaan maan pinnan korkeuden tulkintavirheeseen. Maastomittauksessakin virheet usein liittyvät ojan penkan tason määrittämisen vaikeuteen vaihtelevissa olosuhteissa. Ero voi johtua myös esimerkiksi pohjaveden pinnan erosta keilausajan ja maastomittauksen välillä. Harha on niin pieni, että sillä ei ole merkitystä tavoitteena olevien käyttötarkoitusten kannalta. On huomioitava, että mittaus suoritetaan joltisesti epätasaisen maaston ja ojan pohjan korkeustasojen välillä, ja muutama sentin harha aiheutuu helposti maan pinnan tason määrittämisen vaikeudesta sekä tulkinnassa että maastomittauksissa.



Kuva 13 Laserkeilaustulkinnan ero maastossa mitattuun kuivavaraan menetelmäkehitys II:n jälkeen.

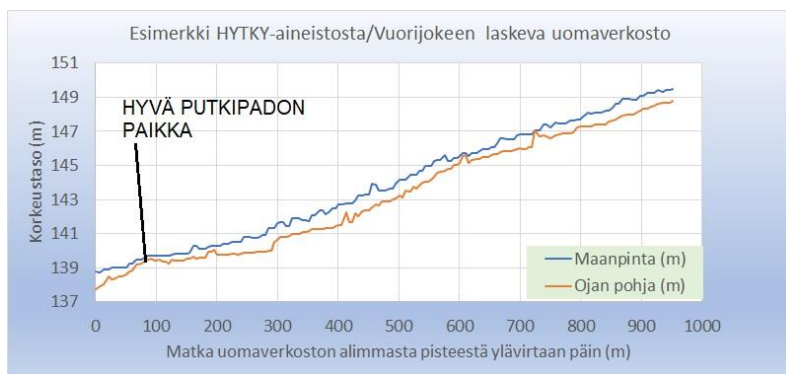
2.1.4 Retkeily

Projektikokouksissa todettiin, että maastoinventointi ja menetelmäkehitys II onnistuivat niin hyvin, että varsinaista tarvetta uudelle inventoinnille tulkittuun aineiston kehittämistä varten ei ollut. Aineisto täytti tarvittavat tarkkuusvaatimukset. Maastoinventointi ja testaus II päätettiin toteuttaa maastoretkeilynä, jonka avulla voitiin ideoida aineiston tehokasta käyttöä ja inventointiryhmää laajemmalla tiimillä tarkastella aineistoja.

Retkeily suuntautui 8.11.2022 Parkanoon, jonne oli tuotettu kuivavaratulkinnan ja hydrologisen kytkeytyneisyyden esimerkkiaineistoja, sekä Suosimulaattorilla tuotettiin taustamateriaalia pohjavesipinnoista ja puuston kehityksestä erilaisilla ojasyvyyksillä. Ensimmäinen kohde oli noin 6 kilometriä Parkanon keskustasta Karvian suuntaan. Kohteella oleva ojaverkosto oli kaivettu vuonna 2006. Retkeilyn tavoitteena oli verrata kuivavaratulkinnan aineistoa GNSS-laitteella mitattuihin maanpinnan korkeuksiin. Vertailujen perusteella kuivavara-analyysi ja satelliittipaikannuksella mitatut maanpinnan korkeuserot vastasivat erittäin hyvin toisiaan. Retkeilyllä katsottiin myös KUNNOS-työkalulla suunnitellun putkipadon sijainnin paikkansapitävyyttä maastossa. Maastossa todettiin, että KUNNOS-työkalu löysi hyvin putkipadon paikan. (Kuva 14)

Retkeilyn tuloksena voitiin kirjata joitakin jatkokehitysajatuksia:

- Todettiin, että maanpinnan korkeusvaihtelun vuoksi on aika vaikea löytää vertailukohtaa, josta maanpintahavainnot otetaan. Mättäiden ja painanteiden välillä on usein huomattava korkeusvaihtelu, joten eri mittajaikkin arvioivat maanpinnan tason eri paikkoihin.
- Ylipäätään ojatulkinta-aineiston tarkkuus todettiin erittäin hyväksi.
- Suosimulaattorin tuottama aineisto pohjaveden korkeudesta ja alueellisesta jakautumisesta vaikutti käyttökelpoiselta, ja tulokset vastasivat hyvin maastossa saatua mielikuvaa pohjaveden korkeudesta ja mahdollisen kunnostusajatuksen vaikutuksesta puuston kasvuun.
- Myös soiden ennallistamisessa hydrologisen kytkeytyneisyyden tunteminen on tärkeää.
- Ojatulkinta-aineisto tukee metsänomistajien välisen yhteistyön laajentumista koko valuma-alueella tehtäväksi tarkasteluksi.



Kuva 14 Hankkeessa tuotettu parannettu ojan kunnon tulkinta-aineisto on erittäin hyvä lähtöaineisto hyödynnettäväksi KUNNOS-työkalussa, kun etsitään vesiensuojelurakenteiden hyviä paikkoja.

2.1.5 Työpajat

2021

Hankkeesta järjestettiin 2.12.2021 webinaari. Tapahtumasivut ja kutsut tilaisuuteen tulivat Metsäkeskuksen kautta. Kohderyhmänä olivat laajasti suometsän hoitosuunnitelmien laatijat (metsäpalveluyritykset, metsänhoitoyhdistykset, Metsähallitus, ym.), metsäalan opiskelijat ja päättäjät (ELY-keskus, YM ja MMM). Tapahtumaan osallistui 64 henkilöä esiintyjät mukaan lukien. Tilaisuus sai aikaan aktiivista keskustelua mittaustiedon hyödyntämismahdollisuuksista erilaisissa yhteyksissä. Tilaisuudesta

Metsäkeskukselle tullut palaute oli positiivista. HYTKY-hankkeen aineistoa on esitelty metsäalan fotonikan tapahtumassa Forest and Photonics vuonna 2021 Joensuussa.

2022

Hankkeessa järjestettiin 14.3.2022 Teams-työpaja METKA-pilotti-hankkeen pilotoijille. Työpajassa esiteltiin hydrologista kytkeytyneisyyttä ja tilaisuuden lopussa sovittiin, että Arbonaut tuottaa kaikille kuudelle pilottialueelle kuivavaratulkinnan siitä huolimatta, että jokainen pilottialue sijaitsi ns. harvapulssi-keilatulla alueella. Kutsut, tapahtuma sekä ilmoittautuminen tulivat Metsäkeskuksen toimesta. 2022 joulukuussa järjestettiin työpaja yhteistyössä GTK:n ja Maanmittauslaitoksen kanssa. Osapuolet esittelivät ajankohtaisia tutkimushankkeita ja pohdittiin mahdollisia yhteishankkeita. Tilaisuudessa tunnistettiin mm. pintavesien virtausta koskevan tiedon puutteellisuus.

2023

Marraskuussa 2023 järjestettiin Metkan toimijakoulutus Vantaalla. Tilaisuus oli suometsien hoitoon liittyvä työpaja, jossa esiteltiin HYTKY-hankkeessa tuotettuja aineistoja. Joulukuussa 2023 Suomen metsäkeskus järjesti Metka-webinaarin, jossa niin ikään HYTKYn aineistot olivat esillä. Hankkeessa alun perin vuodelle 2023 kaavailut koulutustilaisuudet osana SUO-hanketta peruuntuivat, sillä SUO-hankkeen koulutukset siirtyivät Metkan aikataulumuutosten vuoksi. Hankkeen loppuwebinaari pidettiin 3.11. Osallistujia oli 42 ja tilaisuus sai kaiken kaikkiaan hyvää palautetta. Tilaisuutta markkinoitiin Metsäkeskuksen sähköpostilistoilla, Hiilestä kiinni uutiskirjeessä ja Tapion somessa.

2.1.6 Hankehallinto ja viestintä

HYTKY-hankkeessa on pidetty säännöllisesti hankkeen etenemistä esitteleviä kokouksia Maa- ja metsätalousministeriön edustuksen kanssa. Hankkeen projektiryhmä on kokoontunut noin kolmen viikon välein koko hankkeen keston ajan.

Hankkeessa toteutetut viestintätoimenpiteet:

- [Hankekuvaus MMM:n Hiilestä kiinni -hankesivuille](#) (Tapio)
- Hankesivut ([Tapio](#), [Metsäkeskus](#) ja [Luke](#))
- Tiedote: [Uusia menetelmiä suometsien ilmastokestävään käyttöön](#) (Tapio)
- Sosiaalisen median julkaisut Facebookissa ja Instagramissa 11.4.2022 ”*Metka-pilotoijien koulutusten palaute*”
- HYTKYn esittely Suopäivässä 20.5.2022
- HYTKYn esittely ELY-keskusten vesiensuojelutilaisuudessa Rovaniemellä 25.5.2022
- Suunnitellun tiedotteen sijaan tehtiin hankekumppaneiden kanssa yhteistyössä katsaus ”Hydrologinen kytkeytyneisyys -avain suometsien kasvun ja hiilinielun hallinnassa” [SUO-lehteen](#) (73/2022) (liitteenä)
- 16.5.2023 hankkeen esittely Hiilestä Kiinni-tilaisuudessa Pikku-Finlandiassa
- Loppuwebinaarin mainostaminen Tapion [somesa](#) (Twitter, LinkedIn, Instagram)
- Tuotetut animaatiot osana tarinakarttaa ([pohjavesipinta](#) ja [kytkeytyneisyys](#))
- Loppuwebinaarin kutsu Hiilestä Kiinni-[uutiskirjeessä](#) 5/2023
- [Lopputiedote](#)
- [Maaseudun tulevaisuus 5.12.2023](#): Kuinka syvä oja kannattaa kaivaa ja mihin kohtaan suota? Uusi paikkatietomenetelmä auttaa vähentämään ojituksen päästöjä
- [Ammattilehti.fi 5.12.2023](#): Kehittyneet paikkatietoanalyysit parantavat suometsien hoidon ilmastokestävyyttä
- [Tarinakartta](#) hankkeen tuloksista

- Väliraportti 2021 ja 2022
- Loppuraportti

2.2 Aikataulu ja resurssit

Tapio toimi hankkeen hallinnoijana ja vastasi suunnittelusta, toteutuksesta, resursseista, aikatauluista, tuloksista ja taloudesta sekä yhteistyöstä ja viestinnästä asiakkaan suuntaan. Tapio järjesti projektipalaverit sekä osallistui muihin projektiin liittyviin tapahtumiin. Tehtäviin kuului myös vaatimusmäärittelyyn ja käyttötapausten laatimiseen osallistuminen ja testaus. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen Tapio ei osallistunut maastomittausten toteutukseen Tapion budjettiosuuden pienenemisen vuoksi. Tapion ja koko hankkeen projektipäällikkönä toimi Samuli Joensuu.

Arbonaut Oy vastasi laserkeilausaineiston ja muiden paikkatietoaineistojen käsittelystä ja kuivavaran laskennasta testialueille. Arbonaut kehitti menetelmän hydrologisen kytkeytyneisyyden laskentaan. Arbonaut osallistui vaatimusmäärittelyyn ja käyttötapausten laatimiseen. Arbonautin projektipäällikkönä toimi Vesa Leppänen.

Metsäkeskus toteutti maastomittaukset sekä osallistui vaatimusmäärittelytyöhön, menetelmän kehittämiseen ja käyttötapausten laatimiseen. Metsäkeskuksen kautta hankkeen tulokset olivat esillä SUO-hankkeen koulutuksissa ja muissa Metka-suunnittelijoiden tilaisuuksissa. Metsäkeskuksen projektipäällikkönä toimi Miia Saarimaa.

Luke vastasi hankkeessa Suosimulaattorin kehitykseen ja sovellukseen liittyvistä tehtävistä. Luke kehitti Suosimulaattorista spatiaalisesti hajautettuun simulointiin soveltuvan version ja laski Arbonaut Oy:n tuottamien kuivavaratietojen ja Metsäkeskuksen ylläpitämän metsävaratiedon perusteella Suosimulaattorilla pohjavedenpinnat, puuston kasvuennusteen nykytilanteelle sekä kunnostusojituksella saatavan lisäkasvun testialueille. Luken projektipäällikkönä toimi Leena Stenberg.

Hankkeen projektiryhmä totesi, että yhteistyö hankkeen aikana on toiminut hyvin. Yhteydenpitoa on pidetty säännöllisillä palaverilla ja hankkeen edistymistä on seurattu hankkeen eri vaiheissa. Osapuolet ovat toteuttaneet oman vastualueen tehtävänsä ja hankkeen tulokset on saavutettu toivotulla tavalla.

Taulukko 3 Hanksuunnitelmassa määritellyt toteutettavat toimenpiteet, vastuutahot ja aikataulu.

| Organisaatio | Tehtävä | Ajankohta | Huomioita |
|----------------------|---|------------------|--|
| Tapio | Hankehallinto ja viestintä | 4/2021-12/2023 | Viestintään osallistuvat kaikki, mutta päävastuu on Tapiolla |
| SMK, Tapio, Arbonaut | Kohdealueiden valinta, Aineiston valmistelu | 4-6/2021 | Hyödynnetään mahdollisimman paljon SUO-ohjelman kohteita |
| Kaikki | Menetelmäkehitys I | 4/2021-6/2021 | Välitavoitteet määritellään hankkeen alussa |
| Kaikki | Maastoinventointi ja testaus I | 6/2021-10/2021 | Kuivavaran mittaaminen maastossa |
| Kaikki | Menetelmäkehitys II | 11/2021-5/2022 | |
| Kaikki | Maastoinventointi ja testaus II | 6/2022-10/2022 | |
| Kaikki | Menetelmän viimeistely | 11/2022-2/2023 | |
| Tapio, SMK | Työpajat | 11/2021, 11/2022 | Työpajat toteutetaan osana SUO-hanketta. Tässä hankkeessa tuotetaan työpajoihin sisältöjä. |
| Tapio, SMK | Koulutusmateriaalin valmistelu | 1/2023-4/2023 | |
| Tapio, SMK | Menetelmän käyttöönottokoulutukset | 5/2023-10/2023 | |
| Kaikki | Loppuraportti | 11-12/2023 | |

2.3 Kustannukset ja rahoitus

Taulukko 4 Hankkeen kokonaiskustannukset.

| Hankkeen kustannukset | Tapio | Arbonaut | Luke | SMK |
|--------------------------|--------|-----------|-------------------|--------------------|
| 2021 | | | | |
| Toteuma MMM | 43 478 | 26 089 | 0 | 27 780 |
| Toteuma omarahoi- tus | 0 | 11 181 | 0 | 0 |
| Yhteensä | 43 478 | 37 270 | 0 | 27 780 |
| 2022 | | | (1.1-31.12.22) | (1.12.21-31.10.22) |
| Toteuma MMM | 43 317 | 27 090 | 37 294,58 | 750 |
| Toteuma omarahoi- tus | 0 | 11 610 | 15 983,39 | 0 |
| Yhteensä | 43 317 | 38 700 | 53 277,97 | 750* |
| 2023 | | | (1.1.-30.11.2023) | |
| Toteuma MMM | 43 205 | 16 765,35 | 60 471,68 | 36 671,51 |
| Toteuma omarahoi- tus | 0 | 7 185,15 | 25 916,44 | 0 |
| Yhteensä | 43 205 | 23 950,5 | 86 388,12 | 36 671,51 |

*Metsäkeskuksen osalta HYTKY-hankkeen toteutuksessa on tehty jaksolla 1.12.2021 – 31.10.2022 paljon yhteistyötä MMM:n rahoittamien SUO- ja Metka-pilotti-hankkeiden kanssa esimerkiksi suometsänhoidon suunnittelun toimintamallin osalta. Näin ollen tälle hankkeelle ei ole kohdistunut merkittäviä kustannuksia vuoden 2022 aikana. Asiasta on sovittu valvojan Jaakko Nippalan kanssa, että metsäkeskuksen säästyneitä varoja hyödynnettiin vuonna 2023.

2.4 Raportointi, julkaisut ja seuranta

Hankkeen tuloksia esitellään yleistajuisesti hankkeen tarinakartassa eli paikkatietoa, kuvia ja tekstiä sisältävällä verkkosivulla. Tarinakartassa on esillä Arbonautin menetelmäkehityksessä tekemä hydrologisesti kytkeytynyt aineisto ja Suosimulaattoriaineisto.

Hankkeen tavoitteita esiteltiin Suo-lehden artikkelissa (73/2022). Lisäksi hankkeen aikana julkaistiin maastomittauksia ja Arbonautin tulkinta-aineistoa vertaileva opinnäytetyö.

2.5 Toteutusvaiheen arviointi

Ensimmäisen vuoden maastomittaukset onnistuivat erinomaisesti. Maastomittaukset toteutettiin hyvin kattavasti pilottialueilla jo ensimmäisenä hankevuonna. Koska ensimmäisen vuoden maastomittauksissa saatiin kerättyä jo niin kattava referenssiaineisto, ei ollut tarvetta järjestää toista maastomittauksia. Kohdealueiden valinta onnistui hyvin ja edusti Suomen ojaverkostoa.

Metkan myöhästyminen on vaikuttanut SUO-hankkeen yhteydessä järjestettävien koulutusten määrään vuonna 2023, mutta hankkeessa kehitettyä menetelmää on silti esitelty koulutuksissa. Suosimulaattorin kehitystyö onnistui hankesuunnitelman mukaisesti, joskin työ painottui odotettua enemmän hankkeen viimeiselle vuodelle. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut suoraan hankkeen muuhun etenemiseen, mutta pienenä parannettavana asiana voi mainita, että olisi ollut mahdollisuus kerätä enemmän palautetta, jos Suosimulaattoriaineisto olisi ollut aikaisemmin valmis. Myös aikataulutusta ja synkronointia muiden hankkeiden kanssa voisi parantaa.

3 Tulokset ja niiden arviointi

3.1 Tulosten esittely

Vuosien 2021 ja 2022 maastovertailujen perusteella sekä ojatulkintojen tulos että hydrologisesti kytkeytyneen verkon tietojen tarkkuus on riittävä projektin tavoitteiden mukaisten suunnittelutoimien tukemiseen ja osittaiseen maastotyön tarpeen suuntaamiseen suunnittelussa. Maastomittausten tulosten pohjalta menetelmäkehityksessä tunnistettiin ongelmakohtia, joissa tulkinta yli- tai aliarvioi kuivavaraa ja menetelmää pystyttiin kehittämään tarkemmaksi. Menetelmän viimeistelyn jälkeen tulkinta-aineisto tuotti keskimäärin noin 10 cm maastomittausta suuremman arvion ojan kuivavarasta. Myös maastomittauksessa on haasteena saada mitattua todellista maanpinnantasoja, sillä olosuhteet maastossa vaihtelevat. Ero maastomittaus- ja tulkinta-aineiston välillä voi johtua siitä, että joko laserkeilaustulkinta-aineisto hieman yliarvioi tai maastomittaus aliarvioi kuivavaraa.

Kartografiaan on panostettu projektissa, jotta saadaan aikaan suunnittelijalle käyttökelpoinen tiedon esitystapa. Suunnittelijat ovat testeissään antaneet positiivista palautetta tiedon käytettävyydestä ja esitystavasta.

Hankkeen tulokset on koottu tarinakarttaan. Tarinakartassa on selitetty hydrologisen kytkeytyneisyyden ja kuivavara-aineiston tarpeellisuutta ojien kunnostuksen suunnittelun näkökulmasta. Tarinakartassa on esillä Suosimulaattorilla tuotetut mallinnustulokset eri syvyyteen kunnostettujen (60 ja 80 cm) ojien vaikutuksesta puuston kasvuille, hiilitaseelle, typpikuormitukselle ja pohjavedenpinnan tasolle keskimäärin 10 vuoden simulointijaksolta. Suosimulaattorin simuloinnissa on hyödynnetty lähtötietona Arbonautin tuottamaa ojasyvyysaineistoa. Tarinakarttaa varten tuotettiin kaksi lyhyttä animaatiota visualisoimaan hydrologisesti kytkeytyneitä aineistoa sekä ojasyvyyden vaikutusta pohjavedenpinnan tasoon ja kasvihuonekaasupäästöihin.

Menetelmäkehitys

Menetelmäkehityksessä on toteutettu seuraavat toimenpiteet:

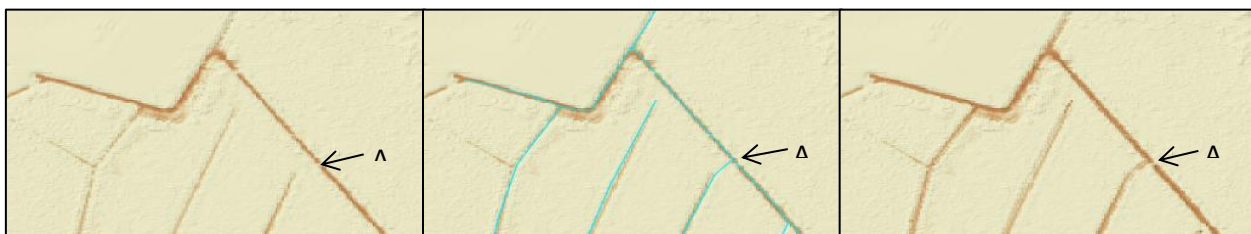
- Luokiteltu keilausaineisto on luovutettu Arbonaut Oy:n käyttöön.
- Kohdealueen ojaverkosto on tunnistettu. Tulkintatulokset on toimitettu projektipartnereille.
- Tienvarsiotat on tunnistettu automaattisesti tarkoitukseen soveltuvalla Arbonautin algoritmeilla.
- Ojien kuivavara on mitattu keilausaineistolta tarkoitukseen soveltuvalla Arbonautin algoritmeilla. Mittaustulokset on toimitettu projektipartnereille tarkkuusanalyysia varten ja Suosimulaattoria varten.
- Ojien leveysmittaus on suoritettu keilausaineistolta tarkoitukseen soveltuvalla Arbonautin algoritmeilla.
- Kuivavaran mittaustulosten tarkkuusanalyysiin on tutustuttu.
- Ojista on muodostettu hydrologisesti kytkeytyneet virtausverkko tarkoitukseen soveltuvalla Arbonautin algoritmeilla.
- Virtausverkon ominaisuuksia on esitelty demonstraatioina projektiryhmälle.

Ojien kuivavara-analyysimenetelmä

Ojien kuivavara-analyysimenetelmää muokattiin maastohavaintojen perusteella. Analyysin perusteella alun perin harvalle laserkeilausaineistolle kehitetty menetelmä tuottaa tiheällä laserkeilausaineistolla liian pikkutarkan kuvauksen maanpinnasta, jota käytetään referenssitasona ojan kuivavaran määrittämisessä. Uusi ja vanha laserkeilausaineisto eroavat pistetiheydeltään; vanhalla harvapulssisella aineistolla pistetiheys on 0,5-0,7 p/m² ja uudella tiheäpulsisella 5p/m². Seurauksena on, että referenssitaso saattaa joissain tapauksissa seurata liikaa ojaluiskaa aiheuttaen kuivavaran aliarvion ja joissain tapauksissa ojapenkkaa, aiheuttaen kuivavaran yliarvion. Referenssitason laskentamenetelmä muutettiin paremmin tiheälle aineistolle sopivaksi ja testialueiden kuivavaralaskenta tehtiin uudestaan.

Virtaamalaskenta

Virtaamalaskentaan kehitettyjä työkaluja testattiin hankkeessa tuottamalla automaattisesti uusi oja- ja rumpuleikattu, hydrologisesti korrekti DTM, ja prosessoimalla valuntalaskelmat uudelleen tätä pintaa käyttäen. Tuloksin tulos paransi oleellisesti valuntalaskelmien loogisuutta. Kuva 15 esittää alkuperäisen ja ojaleikatun DTM:n.



Kuva 15 Alkuperäinen DTM on vasemmallä. Keskellä olevassa kuvassa on esitetty ojien keskilinjojen paikka. Oikealla olevassa kuvassa on ojien pohjan korkeustiedolla korjattu DTM. Vesi pystyy virtaamaan korjatulla pinnalla todellisuutta paremmin vastaavasti

Menetelmän viimeistely

Menetelmän viimeistelyvaiheessa toteutettiin seuraavat tehtävät:

1. Rumpuaineiston käytön tehostaminen.

Rumpuaineistoa on saatavilla valtion teiden osalta avoimena aineistona, mutta muiden teiden osalta saatavuus vaihtelee. Tämä tuo haasteen hydrologisesti korrektiin pintamallin automaattiselle tuottamiselle. Aineiston käyttöä on tehostettu kokeilemalla valtion avoimen rumpuaineiston käyttöä lähtöaineistona. Rumpuaineisto integroitiin virtausverkkoon hakemalla tien alittaville virtausverkon elementeille vastaava rumpu ja yhdistämällä tietoja. Lopputuloksena on todellisuutta paremmin vastaava digitaalinen kaksonen.

2. Mahdollisesti rumpujen automaattinen tunnistaminen – tehtävän vaatavuuden arviointi.

Projektin aikana tapahtuneessa kommunikaatiossa on tullut esiin, että automaattisesta rumpujen tunnistamisesta on tehty joitakin tutkimuksia, joissa tulokset ovat olleet rohkaisevia. Menetelmien käyttö olisi järkevää viimeistelyä tehokkaalle tuotantoprosessille, joka voisi tarjota hyvää aineistoa projektin tavoitteen mukaisissa suunnittelutehtävissä. Rumpujen automaattinen tunnistaminen todettiin työmäärältään niin laajaksi että se jätettiin tulevien hankkeiden tehtäväksi. Nykyisiä menetelmiä voidaan käyttää tunnistamalla puuttuvat rummut käsin käyttäen laserkeilausaineistoa, teiden keskilinjoja, ojien keskilinjoja ja ortokuvia.

Ojien sijaintikorjaus

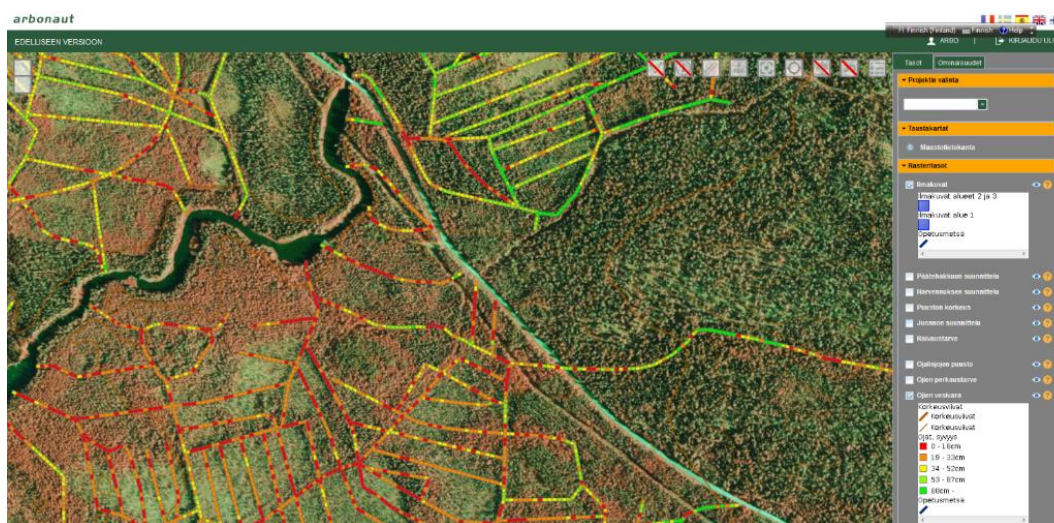
Maastotietokannan ojien paikkaa korjattiin Arbonautin kehittämällä menetelmällä. Esimerkki korjauksen tuloksista.



Kuva 16. Alkuperäiset maastotietokannan ojat on esitetty punaisella ja korjatut ojat vihreällä. Menetelmä ei pyri lisäämään puuttuvia ojia tai poistamaan hävinneitä, ainoastaan korjaamaan olemassa olevien sijainnin keilausaineiston mukaiseksi.

Ojien Kuivavara-analyysi

Kuivavara-analyysin tuottamaa aineistoa on esitetty Kuva 17 ja Kuva 18. Menetelmä on Arbonautin patenttoima.

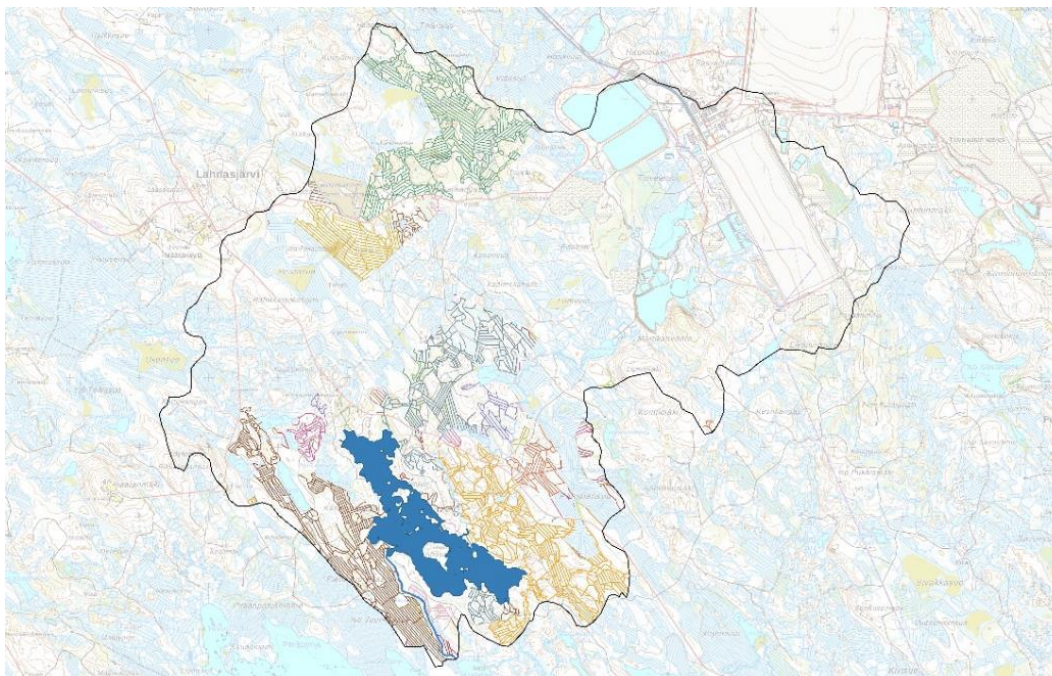


Kuva 17 Ojan kuivavaratietoa esitetynä väärävärivärikuvalla.



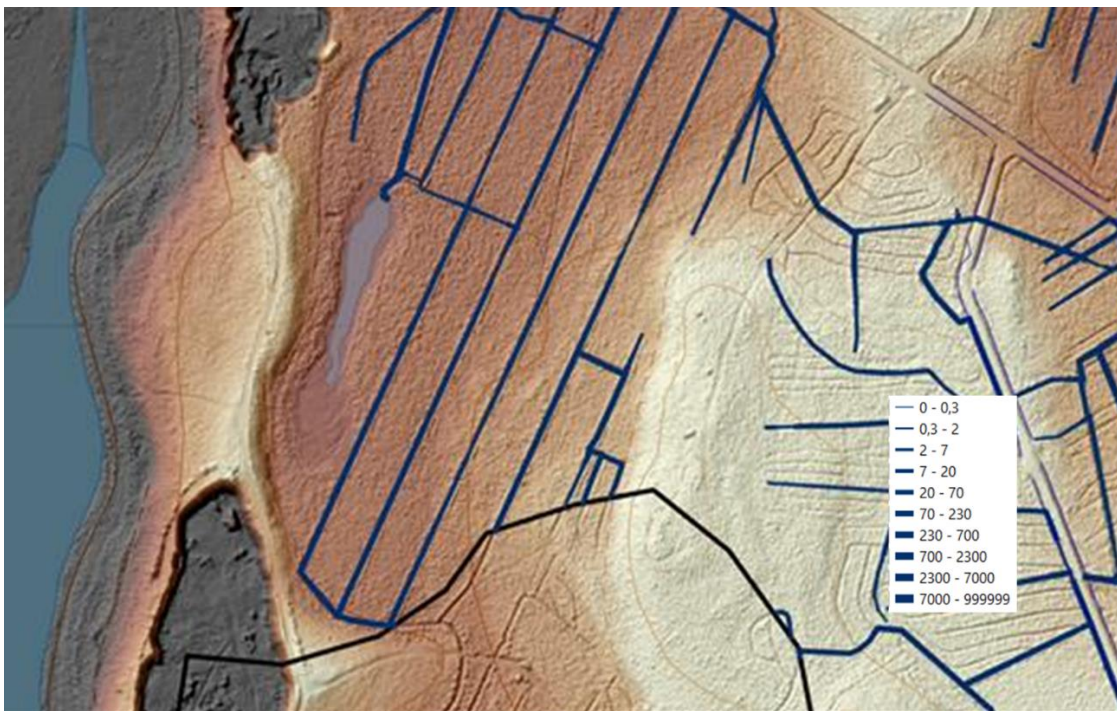
Kuva 18 Ojan kuivavaratietoa esitettyinä maaston pintamallilla.

Kohdealueiden ojastoille tuotettiin hydrologisesti kytkeytyneet ojaverkostot. Kuva 19 on esitetty eri värein yhden valuma-alueen hydrologisesti kytkeytyneet ojastot.



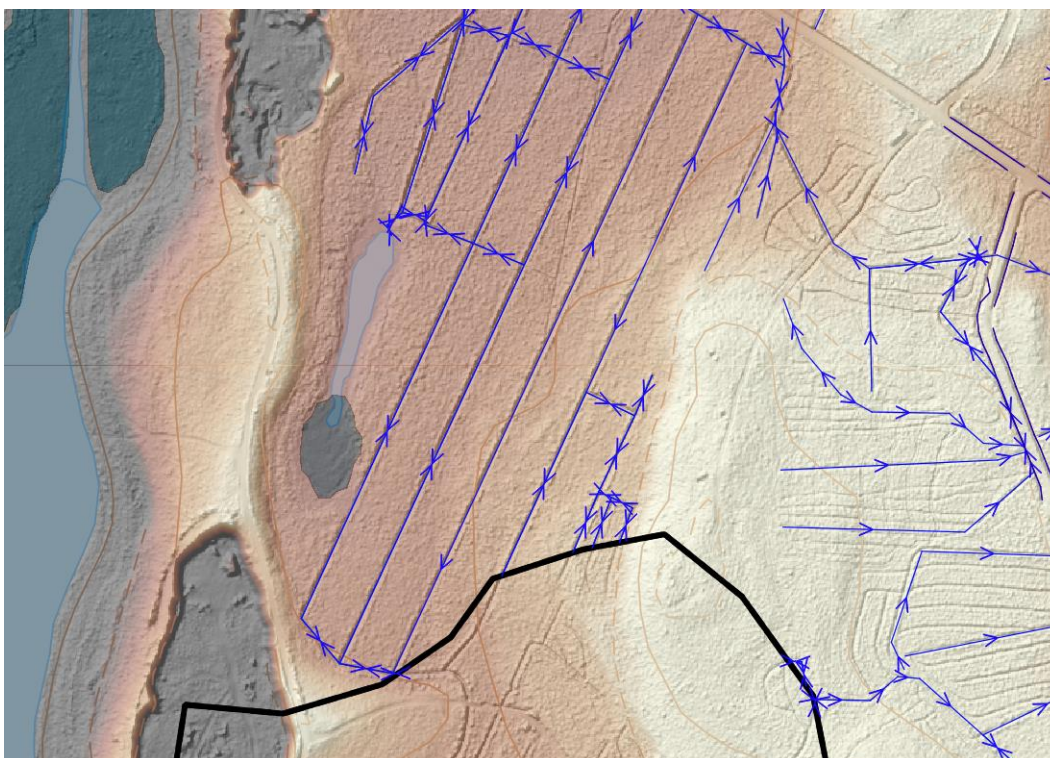
Kuva 19 Hydrologisesti kytkeytyneet ojastot yhdellä kolmostason valuma-alueella.

Kuva 20 on esitetty ojaston virtaamaa viivapaksuuden avulla visualisoituna.



Kuva 20. Ojien virtaama laskentasateella.

Kuva 21 on esitetty ojien virtaussuunta hydrologisesti kytkeytyneessä verkossa.



Kuva 21. Ojien virtaussuunta. Tausta-aineistona on esitetty maanpinnan korkeusmalli vinovalvarjosteen päällä.

Suosimulaattorin kehitystyö

Hankkeen tuloksena Suosimulaattorista valmistui alueellisesti hajautettu kvasi-3D-versio, jota voidaan pitää alkuperäisen Suosimulaattorin sisar-versiona. Kvasi-3D-Suosimulaattori yhdistää alkuperäisen Suosimulaattorin (Laurén ym. 2021) prosessikuvaukset mm. turpeen hajoamisesta, ravinteiden vapautumisesta, puuston kasvusta, ravinnehuuhtoumista ja hiilitaseen laskennasta pohjavesipintojen kvasi-3D-laskentaan (Stenberg ym. 2022). Tämä mahdollistaa ojien sijainnin ja ojien kuivavaratiedon käyttämisen Suosimulaattorin laskennan lähtötietoina ja muiden prosessien laskennan toteutuksen hajautetusti.

Kvasi-3D-Suosimulaattori tarvitsee laskentaa varten hajautetut lähtötiedot: jokaiselle laskentasolulle tarvitaan puustotunnukset (pääpuulaji, tilavuus, pohjapinta-ala, valtapituus ym.), kasvupaikkaluokka ja turvelaji sekä ojasyvyys (kuivavara), mikäli kyseessä on ojasolu. Lisäksi tarvitaan mallinnuksessa käytettävä säädata. Simuloinnin pituus (vuosina) voidaan valita vapaasti. Kunnostusojitus voidaan simuloida muokkaamalla lähtötietona annettavaa ojasyvyysdataa. Simuloimalla erilaisia ojasyvyysvaihtoehtoja ja vertaamalla simulointituloksia, voidaan laskea esim. kunnostusojituksen vaikutukset. Alkuperäinen Suosimulaattori laskee yhdelle kuviolle kerralla useampia ojasyvyysvaihtoehtoja ja näiden väliset vaikutusten erot (pohjavesipintoihin, puuston kasvuun ym.). Kvasi-3D-Suosimulaattori sen sijaan laskee alueelle kerrallaan vain yhden ojaverkkovaihtoehdon, koska laskenta on huomattavasti raskaampaa ja hitaampaa. Erilaisten ojaverkkovaihtoehtojen muodostaminen ei myöskään ole yhtä suoraviivasta kuin Suosimulaattorin alkuperäisessä versiossa, jossa laskenta tapahtuu kuviotasolla. Ojaverkon tasolla ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista luoda esimerkiksi kunnostusojitusta koko alueelle ja simuloitavat ojaverkon syventämisen vaihtoehdot on syytä luoda ”käsityönä”.

Hankesuunnitelmassa tavoitteena oli julkaista alueellisesti hajautetusta Suosimulaattorista netin kautta käytävissä oleva versio HYTKY-hankkeen testialueille. Kvasi-3D-Suosimulaattorin vaatimien laskentaresurssien vuoksi tämä olisi käytännössä tarkoittanut valmiiksi laskettuja tuloksia. Hankkeen edetessä todettiin, että tarinakartta mahdollistaa vastaavan tulosten esittelyn testialueilta, joten se katsottiin hankkeen kannalta käytännöllisemmäksi vaihtoehdoksi. Tarinakartta on myös käyttäjälle helposti lähestyttävä tapa tutustua Suosimulaattorin tuloksiin. Näin säästyneet resurssit mahdollistivat Suosimulaattorin prosessikuvausten tarkemman testauksen ja kehitystyön, mitä pidettiin Suosimulaattorin jatkokäytön kannalta olennaisempana.

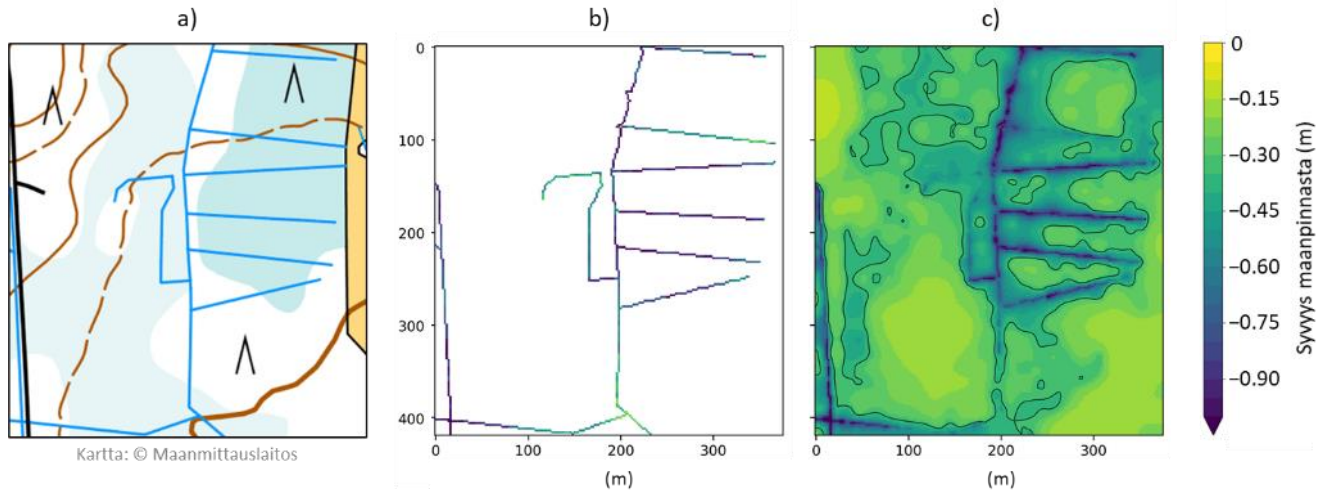
Esimerkkejä Suosimulaattorin testauksen tuloksista

Suosimulaattorin tekninen testaus aloitettiin kokeilemalla, kuinka Arbonaut Oy:n kuivavara-aineisto toimii kvasi-3D-hydrologisen moduulin lähtötietona. Yksi tällainen testi toteutettiin Parkanon maastoretkikohteella (Kuva 22). Ojien kuivavara ja puuston määrä vaihtelivat alueella, mikä näkyy pohjavesipintojen vaihteluna alueen sisällä. Toisessa simulointiesimerkissä puustoa harvennettiin Parkanon kohteella tasaisesti siten, että jäävää puustoa oli n. 30 % alkuperäisestä määrästä. Ojien nykytilanteen (kuivavara-aineiston) ja kunnostusojituksen (ojat syvennetään mallin lähtötiedoissa 90 cm:iin siellä, missä ne ovat tätä matalampia) simulointitulosten vertailun avulla voidaan nähdä kunnostusojituksen vaikutus pohjavesipintoihin harvennetussa tilanteessa (Kuva 23). Esimerkillä voidaan havainnollistaa, missä ojien syventämisellä on vaikutusta ja missä ei.

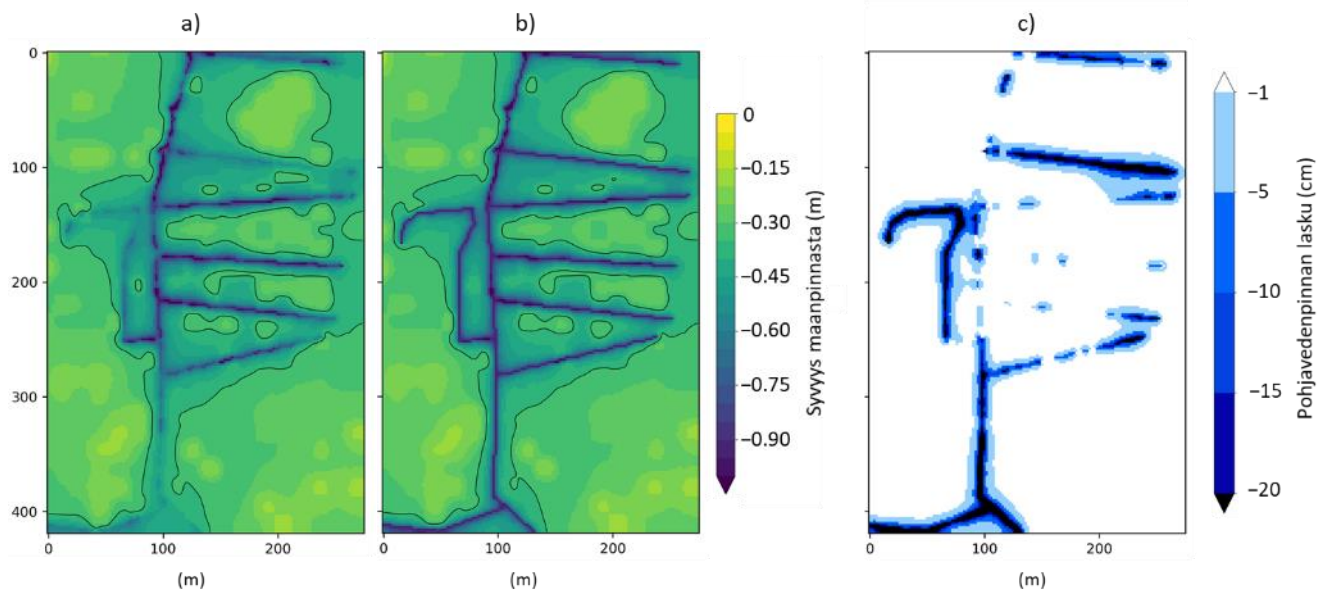
Suosimulaattorin kvasi-3D-version valmistuttua testausta jatkettiin puuston kasvun, hiilidioksidipäästöjen, hiilitaseen ja ravinnekuormituksen osalta. Kuva 24 on esimerkki alueellisesti hajautettua lähtötietoa käyttävästä simulointituloksesta, jossa puuston voimakkaampi kasvu simulointialueen pohjoisosan ravinteikkaammalla alueella heijastuu myös suurempina typpihuhtoumina pohjavesipinnan ollessa syvemmällä. Simulointitulosten perusteella alue on hiilinielu alueilla, joilla pohjavedenpinta on lähellä maan pintaa sekä alueilla, joissa puuston voimakas kasvu riittää kompensoimaan maaperän hiilidioksidipäästöt.

Kuivavara-aineisto toimi teknisesti hyvin Suosimulaattorin lähtötietona kaikissa testeissä.

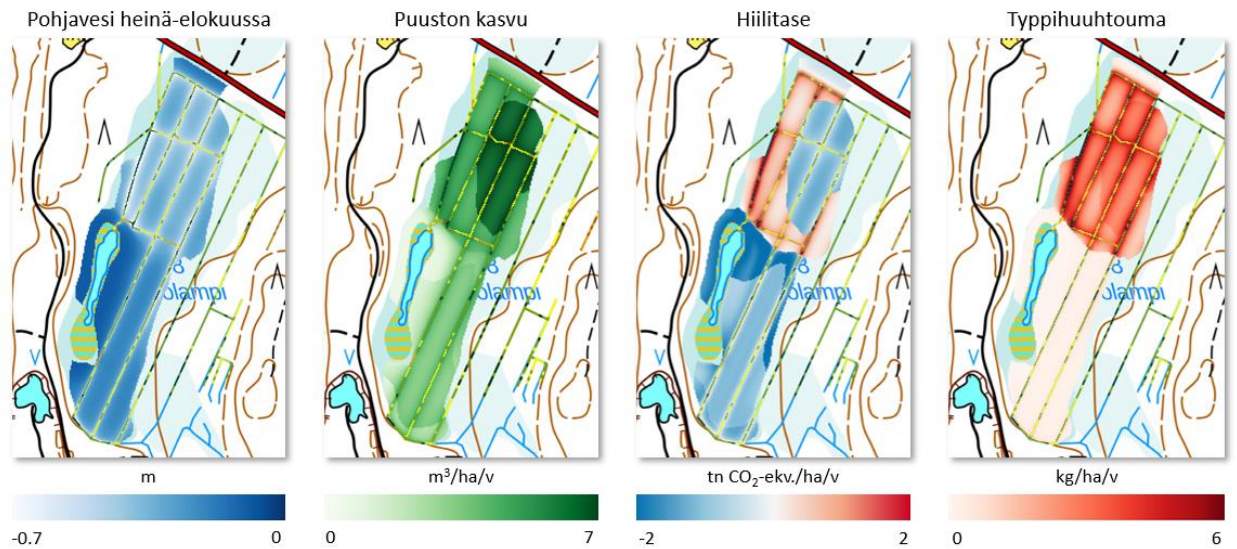
Liitteessä 4 on esitelty kattavammin erilaisia esimerkkejä Suosimulaattorin kvasi-3D-version teknisestä testauksesta.



Kuva 22 Pohjavesipintojen mallinnuskokeilun tuloksia Parkanon maastoretkikohteelle. Kohde ja ojat kartalla (a), vastaavien ojien kuivavaratieto (b) ja mallinnettu pohjaveden syvyys alueella (c). Pohjavesipinnat esittävät tilannetta 2.11.2022. Musta yhtenäinen viiva kuvassa c esittää pohjavesipintaa 35 cm syvyydellä.



Kuva 23 Pohjavesipintojen simulointituloksia Parkanon maastoretkikohteelle harvennus- ja kunnostusojituskokeilussa. Ojien kuivavaratietojen perusteella mallinnettu heinä-elokuun keskimääräinen pohjavesipinta 20 vuoden säädätällä (a) ja vastaava tulos, jos ojat olisi syvennetty siten, että joka paikassa ojien kuivavara on vähintään 90 cm (b). Lisäksi esitetty näiden kahden erotus eli kuinka paljon ja missä heinä-elokuun keskimääräinen pohjavesipinta syvenesi em. kunnostusojituksen seurauksena (c). Musta yhtenäinen viiva kuvissa a-b esittää pohjavesipintaa 35 cm syvyydellä. Turvelajina simuloinneissa käytettiin rahkaturvetta.



Kuva 24. Esimerkki Suosimulaattorin kvasi-3D-version tuloksista.

3.2 Tulosten vieminen käytäntöön

Analyysiaineisto on hankkeen aikana testattu ja todettu erittäin hyödylliseksi pintavesihankkeiden suunnittelussa. Kuivavara-aineisto on edellytys Suosimulaattorin aineiston tarkkaan käyttöön. Kuivavara-aineiston yhdistäminen osaksi Suosimulaattorin aineistoja tuo merkittävää kustannustehokkuutta Metka-suunnitteluun erityisesti laajojen kokonaisuuksien ennakkosuunnitteluvaiheessa. Yhdistämällä aineisto Suosimulaattoriin, voidaan ajantasaisella tiedolla selkeästi varmentaa ojaverkostossa tehtävien perkausten tarvetta ja taloudellista hyötyä.

Suomen metsävarojen käyttö kohdentuu yhä enemmän turvemaille, jolloin on kriittistä, että pintavesien hallintaan liittyvät aineistot ovat toimijoiden käytettävissä. Aineisto ohjaa suunnittelun maastotöiden tarvetta. On kuitenkin muistettava, että mikään aineisto ei korvaa maastotyötä.

Yksi tapa viedä aineisto käytäntöön on ottaa ojustoanalyysit osaksi Suomen metsäkeskuksen avoimia metsävaratietoja. Aineisto pitäisi kilpailuttaa samassa metsävaratietojen tuotannon kanssa tai erillisenä työpakettina. Analyysin yksikkökustannukset tulevat pienemmiksi isommilla tuotantoalueilla. Toinen tapa viedä aineistoja käytäntöön on tilata hankesuunnittelussa hanke kerrallaan aineisto kohdealueelle. Yksikkökustannukset ovat merkittävästi korkeammat tällä menettelyllä eikä mittakaavaetua ole. On tärkeää, että maa- ja metsätalousministeriö miettii ja kommunikoi strategisen lähestymistavan aineiston tuotantoon ja käyttöön.

Valmiita Suosimulaattori-aineistoja ei vielä toistaiseksi ole tuotettu koko Suomen tasolla. Suosimulaattorin käyttö kannattaakin tehdä hankealue kerrallaan. Hankkeen loppuwebinaarissa kysyttiin kuulijoiden mielipidettä Suosimulaattorin käytöstä. Osa vastaajista käyttäisi mieluummin itse Suosimulaattoria, ja vähän suurempi joukko käyttäisi mieluummin valmista aineistoa. Alkuperäisestä Suosimulaattorista on saatavilla avoin käyttöliittymä, jossa pystyy simuloimaan puuston kasvua, hiilitasetta, pohjavedenpinnan tasoa ja ravinnekuormitusta. Alueellisesti hajautetusta Suosimulaattorista ei kuitenkaan toistaiseksi ole käyttöliittymää.

Tulosten vieminen käytäntöön edellyttää laajaa tiedotusta, koulutusta ja opastusta uuden menetelmäkokonaisuuden käyttöön suunnittelussa. Tässä hankkeessa on viestitty ja koulutettu aineiston käyttöä yhteistyössä muiden hankkeiden tilaisuuksien kanssa ja tuotettu opasaineistoa tarinakarttaan.

Menetelmän käyttöönotto vaatisi myös jatkossa viestintää ja koulutusta aineiston hyödyntämisestä esimerkiksi Metka-suunnittelijoille suunnatuissa tilaisuuksissa.

3.3 Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

Hankkeessa tuotetut menetelmät ja aineistot tuovat merkittävää lisähyötyä ojitetuissa metsissä tehtävien suunnitelmien laadintaan. Ojien kunnostamisen suunnittelun lisäksi menetelmästä on hyötyä esimerkiksi luonnonhoidon ja ennallistamissuunnitelmien laadinnassa ja metsänhakkuumenetelmien valintaan. Ojan kuivavara-aineisto yhdessä Suosimulaattorin kvasi-3D-mallinnusten kanssa on havainnollistava aineisto, jota toimijoiden olisi visuaalisestikin helppo käyttää työssään.

Kuivavara-aineisto on mahdollista viedä WMS/WFS tasoiksi palvelimelle, josta käyttäjä voisi tunnistautuneena hakea ne omaan paikkatieto-ohjelmaan. Näin aineistojen käyttö olisi sujuvaa eri organisaatioille. Avoimien aineistojen käyttöoikeuksien takia on todennäköisesti kannattavaa vaatia kirjautumista käyttäjiltä. Puolustusvoimat on rajoittanut tiheäpulsseisen laserkeilausaineiston avoimen käytön kahden metrin resoluutioon, jos käyttäjä ei ole kirjautunut. Kirjautumalla voidaan jakaa käyttäjille laadukkaampaa aineistoa.

Hankkeen aineiston käyttö kohdentuu lähinnä Suomeen ja mahdollisesti Ruotsiin, jossa on myös paljon metsäojituksia. Maatalousojituksia on ympäri maailmaa, ja menetelmää on mahdollista hyödyntää myös niihin. Hankkeen maastomittausten ja tulkinta-aineiston vertailusta laadittiin yksi opinnäytetyö Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Suosimulaattorin jatkokehitys

HYTKY-hankkeessa kehitetty kvasi-3D-versio Suosimulaattorista toimii alkuperäisen Suosimulaattorin (Laurén ym. 2021) sisarversiona, jolla simulointi voidaan toteuttaa huomioiden alueellinen ojaverkko (ojien sijainti ja kuivavara ojaverkon eri kohdissa) sekä hajautettu puusto- ja maaperätieto, jotka kaikki yhdessä vaikuttavat pohjavesipinnan kautta muihin Suosimulaattorissa laskettuihin prosesseihin. Sekä alkuperäiselle Suosimulaattorille että HYTKY-hankkeen kvasi-3D-Suosimulaattorille on jatkossa käyttöä, sillä ne vastaavat erilaisiin tieto- ja käyttötarpeisiin. Molemmat versiot voivat myös hyödyntää hankkeessa kehitettyä kuivavara-aineistoa lähtötietonaan. Käytännön suometsänhoitohankkeiden vaikutusarvioinnin lisäksi Suosimulaattorille on käyttöä myös tutkimusprojekteissa. Hankkeen jälkeen kvasi-3D-Suosimulaattorista pyritään julkaisemaan tieteellinen artikkeli.

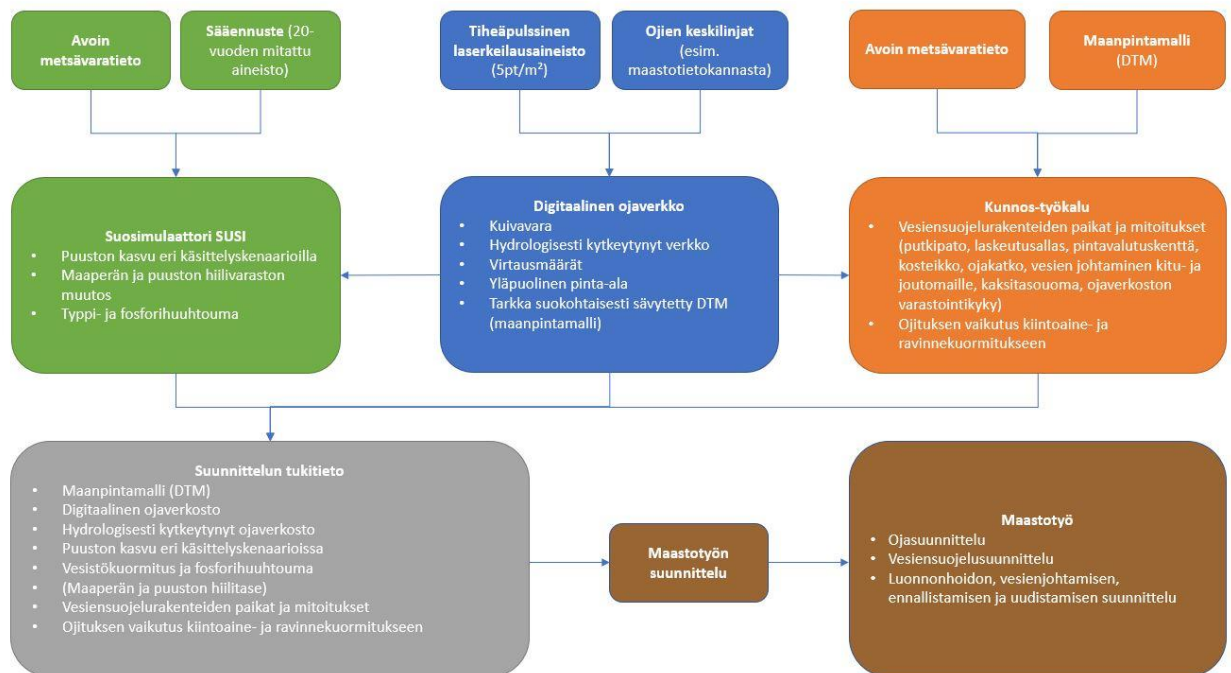
Mahdollisia kvasi-3D-Suosimulaattorin prosessien jatkokehityskohteita voisivat ovat esimerkiksi 1) liuenneen orgaanisen hiilen kuormituksen laskenta, 2) virtaaman laskenta ojaverkossa ja 3) ilmansuuntien ja reunavaikutusten huomiointi hakkuuaukoilla. Lisäksi kvasi-3D-Suosimulaattoria olisi syytä varautua päivittämään, kun alkuperäiseen Suosimulaattoriin tehdään päivityksiä. Moduulirakenteen ansiosta päivitysten tekeminen ei välttämättä vaadi suuria toimenpiteitä, mutta mikäli päivitykset koskevat esim. aineiden kulkeutumista maaperässä tai metsikön reunavaikutuksia, on syytä varautua isompaan työmäärään. Tärkeänä teknisenä jatkokehityskohteena on syytä mainita myös Suosimulaattorin kehitys entistä käyttäjäystävällisempään suuntaan.

Yhteenveto

Yhteenvetona ojien mittaustiedon ja hydrologisen kytkeytyneisyyden analysoinnista voidaan todeta:

- Suomessa avoimesti saatavilla olevat aineistot mahdollistavat kuivavara-analyysin tuottamisen koko maahan.

- Kuivavara-analyysiä kannattaa käyttää operaatiosuunnittelun osana vesiensuojelun ja operatiivitehokkuuden takia. Aineisto ei korvaa maastotyön tarvetta, mutta auttaa maastotarkastusten kohdentamista tuoden kustannussäästöjä ja tehokkuutta suunnitteluun.
- Vesiensuojelutoimenpiteet, kuivatushankkeet ja soiden ennallistamishankkeet hyötyvät kuivavara-aineistosta ja Suosimulaattorin aineistosta.
- Ojatulkinta-aineisto ja Suosimulaattoriaineisto auttavat metsänhoidon suunnittelussa ja menetelmien valinnassa esimerkiksi jaksollisen ja peitteisen metsänkasvatuksen välillä.
- Hyvä pohjaveden pinnan hallinta auttaa maksimoimaan metsien hiilinielun.



Kuva 25. Vuokaaviossa on esitetty menetelmiä ja avoimia paikkatietoaineistoja hyödyntäviä työkaluja, jotka kokonaisuutena edistävät suometsänhoidon täsmäsuunnittelua.

4 Liitteet

Liite 1 Kuivavara-analyysin tarkkuus.

Liite 2 Suoseura 2022. Hydrologinen kytkeytyneisyys – avain suometsien kasvun ja hiilinielun hallinnassa.

Liite 3 Opinnäytetyö Tuomas Pelo. Tampereen ammattikorkeakoulu 2023. Ojasyvyysien tulkinnan tarkkuus ojitetuilla turvemilla.

Liite 4 Esimerkkejä Suosimulaattorin teknisistä testeistä.

Liite 5 HYTKY-hankkeen tiivistelmä (FI, EN, SV)



Maistraatinportti 4 A

00240 Helsinki

tapio@tapio.fi

www.tapio.fi