

The image shows a dense forest of tall, thin trees, likely spruce or fir, with a thick carpet of green moss and ferns on the forest floor. A green horizontal band is overlaid on the bottom half of the image, containing white text. The word 'TAPIO' is written in a large, white, sans-serif font, followed by a white silhouette of a spruce tree.

TAPIO

# Metsäojien madaltumiskehityksen mallin- taminen

31.10.2024

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 johtuneista 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 tahoa kohtaan ei voi olla suurempi, kuin mitä se on lausunnon pyytäneellä taholla kohtaan.



Kauppila, M., Karvonen, T. Anttila, T. & Ronkainen, T. 2024, Metsäojien madaltumiskehityksen mallintaminen. Tapion raportteja nro 73.

© Tapio Oy

Kansikuva: Maija Kauppila

ISBN 978-952-7435-36-6

ISSN 2342-804X

Työn tilaaja: Raportti on laadittu osana Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa Hiilestä Kiinni ohjelman hanketta: Metsäojien madaltumiskehityksen mallintaminen

# Sisällysluettelo

|   |    |
|---|----|
| YHTEENVETO .....  | 3  |
| TAUSTA .....  | 4  |
| OJAINVENTOINNIT .....   | 5  |
| AINEISTON KERUU .....   | 5  |
| TULOKSET .....  | 7  |
| MALLINNUKSEN AINEISTOT .....  | 11 |
| MAASTOMITTAUSTULOKSET .....   | 11 |
| MITATTUJEN OJASYVYYKSIEN VERTAAMINEN LASERKEILAUSAINEISTOON .....                           | 12 |
| MUUT PAIKKATIETOAINEISTOT .....   | 13 |
| TUPASALON ESIMERKKI .....   | 13 |
| OJASYVYYDEN MATALOITUMISEN ENNUSTEMALLIT .....  | 18 |
| OJASYVYYDEN ENNUSTEMALLIT .....   | 18 |
| ENNUSTEMALLIVERSIO 1: ENNUSTE LAADITTAAN OJITUSHETKESTÄ 50 V. ETEENPÄIN .....               | 18 |
| ENNUSTEMALLIVERSIO 2: TEHDÄÄN ENNUSTE, KUN OJITUSHETKESTÄ ON JO KULUNUT USEITA VUOSIA ..... | 21 |
| LÄHTEET .....   | 23 |
| LIITE 1. ENNUSTEMALLIN MUUTTUJAT JA MALLISSA KÄYTETYT KAAVAT .....                          | 24 |
| TURVEKERROKSEN PAINUMISTA JA UUDEN TURVEKERROKSEN KASVUA KUVAAVAT MALLIT .....              | 24 |
| ENNUSTEMALLIN KAAVAT .....  | 25 |

## Yhteenveto

Metsäojien madaltumiskehityksen mallintaminen käsittelee Suometsien hoitoon kehitettyä mallinnusmenetelmää, jolla voidaan ennustaa metsäojien kunnon kehittymistä. Ennustemallin avulla suunnittelija voi arvioida ojien kunnostustarvetta ja näin välttää tarpeettomia ojakunnostuksia, jolloin voidaan vähentää suometsien vesistökuormitusta ja kasvihuonekaasupäästöjä.

Ennustemallia varten inventoitiin 1990-luvulla ojitetut kohteet, joista on aiempaa inventointitietoa kolmelta inventointikerralta. Pitkäaikaisen ojainventointitiedon avulla pystyttiin selvittämään ojien mataloitumiskehitys. Mallinnuksessa käytettiin ojainventointiaineiston lisäksi vapaasti ladattavia maanmittauslaitoksen, GTK:n, Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen paikkatietoaineistoja.

Lopputuloksena tuotettiin Excel-pohjainen ennustemalli, jota voidaan käyttää ojien kehityksen ennustamiseen. Ennustemalli arvioi ojan madaltumisen yhdessä ojan pisteessä. Malli on vapaasti käytettävissä ja ladattavissa Tapion verkkosivuilta.

Metsäojien madaltumiskehityksen mallintaminen -raportti toteutettiin samannimisessä hankkeessa (MEMMA) 2023-2024. MEMMA-hankkeen toteutti Tapio Oy yhteistyössä WaterHope Oy:n kanssa. Hankkeen rahoitti Maa- ja metsätalousministeriön Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpidekokonaisuus, jolla pyritään vähentämään maa- ja metsätalouden ja muun maankäytön kasvihuonekaasupäästöjä ja vahvistamaan hiilinieluja.

## Tausta

Tapio toteutti Metsäojien madaltumiskehityksen mallintaminen-raportin saman nimisessä hankkeessa (MEMMA) osana Maa- ja metsätalousministeriön Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpidekokonaisuutta, jolla pyritään vähentämään maa- ja metsätalouden ja muun maankäytön kasvihuonekaasupäästöjä ja vahvistamaan hiilinieluja. Hanke toteutettiin vuosien 2023-2024 aikana.

Lähes puolet Suomen soista, noin 5,9 miljoonaa hehtaaria, on ojitettu metsätaloukseen varten. Suomettien hoito on keskeisessä asemassa ilmastokestävän metsänhoidon toteutuksessa. Suomettien rooli ilmaston hiilensidonnassa riippuu olennaisesti metsäojien ja puuston ylläpitämästä kuivavarasta. Puuston kasvukauden aikana 30–40 cm kuivatussyvyys saralla on riittävä puuston kasvun ylläpitämiseksi. Ojitusvyyhdellä on vaikutus kuivatukseen ja oletetusti myös ojien kunnan säilymiseen. Toisaalta mitä tehokkaampi kuivattava vaikutus ojalla on, sitä isommiksi kasvihuonekaasupäästöt turpeesta ja vesistökuormitus kasvavat. Maaperän turpeen hiilivaraston säilymisellä on suuri vaikutus ilmastoon: 10 cm turvekerroksessa on varastoituneena yhtä paljon hiiltä kun 100 m<sup>3</sup>/ha puuston biomassassa samankokoisella alueella. Turvemaiden hiilitasapainon kannalta on erityisen tärkeää osoittaa ojien kunnostustoimenpiteet sellaisille kohteille, joilla kunnostus on kannattava ja tarpeellinen toimenpide puuston kasvun kannalta sekä välttää ojien kaivamista liian syviksi. Hyvällä ojasuunnittelulla ja toteutuksella on suora vaikutus turvemaiden metsien kasvukykyyn ja rooliin ilmaston hiilensidonnassa.

Mallinnuksen kehittämisessä käytettiin 30 vuoden ajanjaksolta, vuosien 1990-2023 ajalta ojainventointitietoja. 1990-luvulla alkaneessa Vesihallituksen METVE-projektissa selvitettiin metsätalouden vesistöhaittoja. METVE-projektissa kunnostettiin 40 kohteen ojat 1990-luvun alussa, minkä jälkeen Tapio on seurannut ojien kunnan kehittymistä. Ojat inventointiin kunnostamisen jälkeen vuonna 1994, sekä tämän jälkeen vuonna 2006 ja vuosien 2011–2013 välillä. Vuonna 2023 toteutettiin MEMMA-hankkeessa viimeisin inventointikierros, eli neljäs kerta, kun ojat inventoitiin.

30 vuoden ojainventointitietoihin perustuvan ennustemallin avulla on mahdollista arvioida ojien nykykunnan perusteella, miten kauan ojat todennäköisesti pysyvät jatkossa kuivatusta vastaavassa kunnossa. Menettely parantaa suunnittelijan mahdollisuuksia arvioida kohteen ojien perkaustarvetta. Lisäksi ojien inventointitiedon perusteella tarkasteltiin paikkatietopohjaisen hydrologisen kytkeytyneisyyden mallin kykyä tunnistaa ojasyvyyksiä.

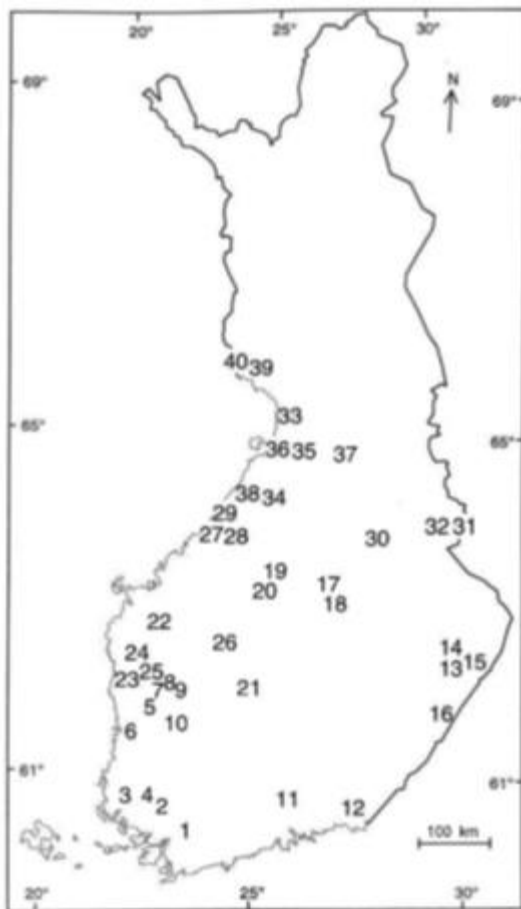
Lisäksi hankkeessa hyödynnettiin laserkeilausaineiston analysointiin perustuvaa menetelmää, jonka tavoitteena on tunnistaa ne osat uomaverkostosta, joiden kunnostaminen on tarkoituksenmukaista ojien nykyisen kunnan ja maanpinnan muotojen perusteella. Mitattuja ojasyvyytietoja verrattiin laserkeilausaineiston tuottamaan ojien kunnan arvioon.

Madaltumiskehityksen mallintamisella voidaan kehittää suomettien hoidon suunnittelua. Puuston haihdunnalla ja ojien ennustettavalla kunnolla on merkittävä yhteisvaikutus suomettien vesitalouteen ja kuivatustilaan.

# Ojainventoinnit

## Aineiston keruu

Mallinnuksen kehittämisessä käytettiin 30 vuoden ajanjaksolta, vuosien 1990-2023 aikana kerättyjä ojainventointitietoja. 1990-luvulla alkaneessa Vesihallituksen METVE-projektissa selvitettiin metsätalouden vesistöhaittoja. METVE-projektissa kunnostettiin 40 suometsäkohteen kuivatusojat (Kuva 1) 1990-luvun alussa, minkä jälkeen Tapio on seurannut ojien kunnan kehittymistä. Ojat inventointiin kunnostamisen jälkeen vuonna 1994, sekä tämän jälkeen vuonna 2006 ja vuosien 2011–2013 välillä. Vuonna 2023 toteutettiin MEMMA-hankkeessa neljäs ja viimeisin inventointikierrös.



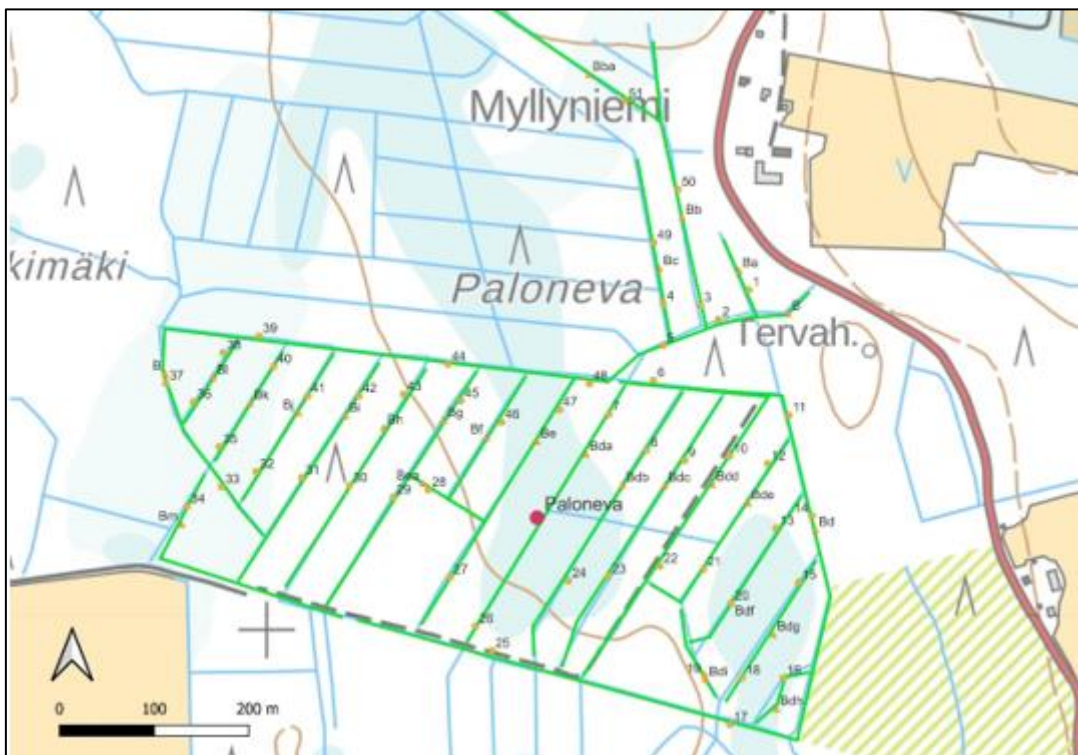
Kuva 1 Seurantakohteiden sijainti kartalla.

Seurantakohteiden ojista inventoitiin kaikkina neljänä inventointikertoina samat muuttujat:

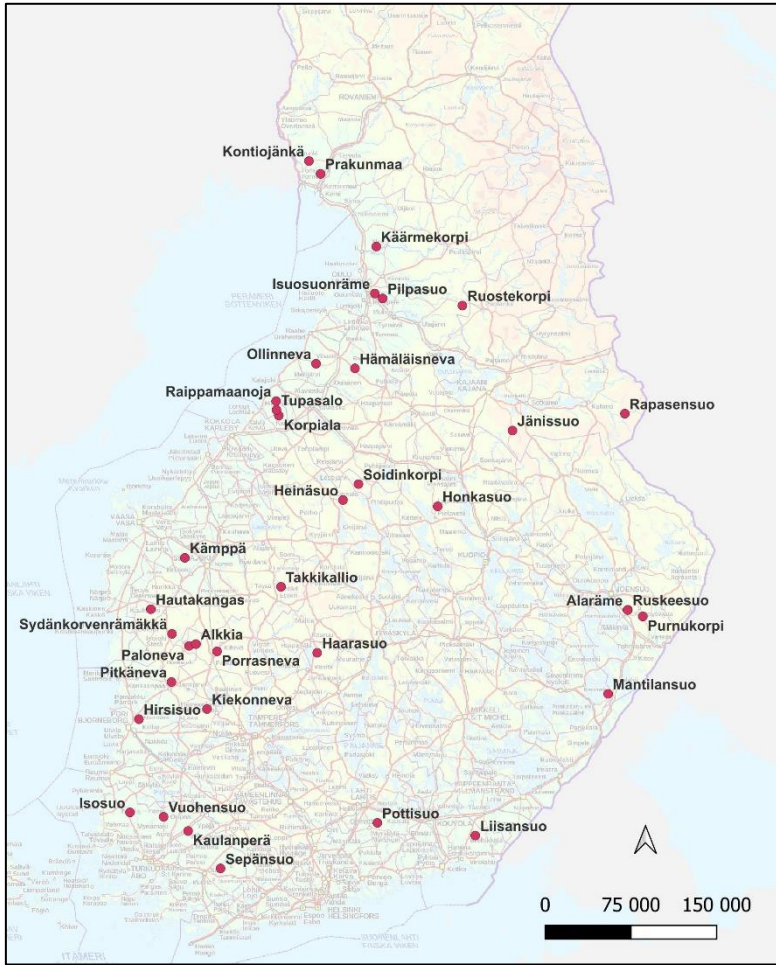
- Ojan syvyys, ojan pinta- ja pohjaleveys, kasvillisuus ja sen peittävyys
- Ojan toimivuus (hyvä, kohtalainen, heikko), myös ojien mahdollisten tukkeumien syyt (kynnys, rumpu, lietekasauma, kasvillisuus, hakkutähteet).
- Puustomittaukset ojien mittauspisteiden läheisyydessä, puuston kehitysluokka, turpeen paksuus
- Vesiensuojelurakenteiden kunto ja toimivuus

MEMMA-hankkeessa kerättiin yhteen viimeisimpien 2011-2013 inventoitujen 40 ojitusalueen mittaus-tiedot ja vietiin QGis paikkatietojärjestelmään. Kolme (3) kohdetta (Komulansuo, Tervasuo ja Vähä-Oi-vari) jätettiin puuttuvien mittauspistetietojen vuoksi MEMMA-hankkeen inventoinnin ulkopuolelle.

MEMMA-hankkeessa 2023 tehtyä ojainventointia varten luotiin paikkatiedon mobiilisovellukseen QFieldiin maastotallennuslomake. Lomake sisälsi vuosien 2011-2013 digitoitujen mittauspisteiden sijainnit ja ojaviivat kartalla sekä kohteilla mitattavat vastaavat muuttujat kuten aiempina vuosina. Mittauspisteitä oli kokoomaojissa 50 metrin ja sarkaojissa 100 metrin välein, noin 50 mittauspistettä yhdellä kohteella. Mitatut ojat ja mittauspisteiden sijainnit digitoitiin (Kuva 2). Vuoden 2023 aikana inventoitiin 37 ojituskohdetta (Kuva 3) sisältäen noin 1 650 mittauspistettä. Ojien mittauspisteet valokuvattiin inventointien yhteydessä.



Kuva 2. Esimerkkikartta mitatulta koalueelta (Paloneva). Kirjaimet kuvaavat ojan nimeä ja numerot mittauspistettä.



Kuva 3 MEMMA-hankkeessa vuonna 2023 inventoidut ojituskohteet.

## Tulokset

### Ojasyvyyden muutos

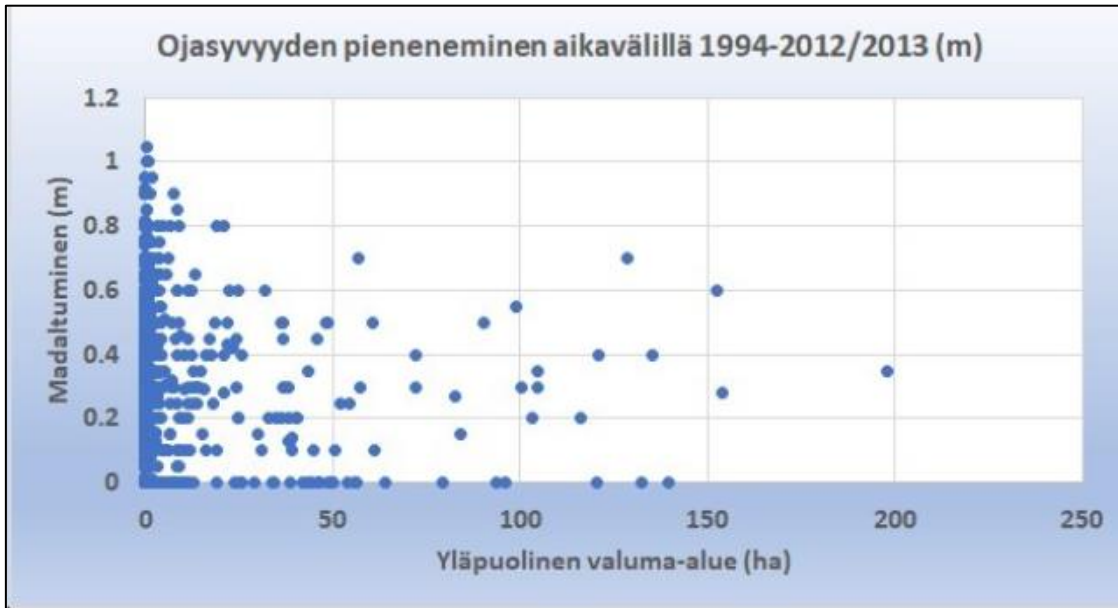
Vuonna 2023 tehtiin ojamittaukset samoilta pisteiltä kuin aikaisempina mittauskertoina. Tarkastelussa ovat mittauksista lasketut ojaakohtaiset keskiarvot. Tarkastelussa on vain sarkaojat ja kokooajat on jätetty keskiarvosta pois. Kaikista alueista tehtiin tiedustelu mahdollisista ojitusilmoituksista alueellisiin ELY-keskuksiin. Osalle koalueista (Kontiojätkä, Paloneva, Vuohensuo, Kämpän kohdalla osalla alueesta) oli tehty ojitusilmoitus: nämä alueet jätettiin pois analyysistä siinä tapauksessa, että mitattu ojasyvyys kasvoi mittausajanjaksojen välillä.



| Keskisyvydet |      |      |                    |
|--------------|------|------|--------------------|
| 1994         | 2012 | 2023 | Koealue            |
| 1,17         | 0,72 | 0,63 | Sepänsuo           |
| 0,91         | 0,63 | 0,50 | Kaulanperä         |
| 1,12         | 0,53 | 0,79 | Isosuo             |
| 1,05         | 0,70 | 1,05 | <b>Vuohensuo</b>   |
| 1,05         | 0,75 | 0,78 | Pitkäneva          |
| 1,24         | 0,74 | 0,76 | Hirsisuo           |
| 1,21         | 0,62 | 1,04 | <b>Paloneva</b>    |
| 1,13         | 0,71 | 0,76 | Alkkia             |
| 1,13         | 0,72 | 0,69 | Porrasneva         |
| 0,95         | 0,74 | 0,77 | Kiekonneva         |
| 0,98         | 0,54 | 0,71 | Pottisuo           |
| 1,07         | 0,67 | 0,76 | Liisansuo          |
| 0,82         | 0,53 | 0,60 | Ruskeesuo          |
| 0,82         | 0,71 | 0,89 | Alaräme            |
| 1,05         | 0,72 | 1,04 | Purnukorpi         |
| 0,88         | 0,57 | 0,72 | Mantilansuo        |
| 0,83         | 0,57 | 0,52 | Honkasuo           |
|              |      |      | <i>Tervasuo</i>    |
| 0,99         | 0,68 | 0,68 | Soidinkorpi        |
| 0,93         | 0,67 | 0,64 | Heinänsuo          |
| 1,07         | 0,61 | 0,58 | Haarasuo           |
| 0,80         | 0,55 | 0,64 | <b>Kämpä</b>       |
|              |      |      | <i>Vähä-Oivari</i> |
| 1,11         | 0,70 | 0,79 | Hautakangas        |
| 1,04         | 0,72 | 0,74 | Sydänkorvenrämäkkä |
| 1,07         | 0,61 | 0,67 | Takkikallio        |
| 0,93         | 0,69 | 0,85 | Tupasalo           |
| 0,87         | 0,49 | 0,49 | Korpiala           |
| 1,00         | 0,75 | 0,72 | Raippamaanoja      |
| 1,16         | 0,76 | 0,97 | Jänissuo           |
| 1,07         | 0,73 | 1,01 | Rapasensuo         |
|              |      |      | <i>Komulansuo</i>  |
| 0,93         | 0,71 | 0,82 | Käärmekorpi        |
| 1,09         | 0,76 | 0,82 | Hämäläisneva       |
| 0,95         | 0,62 | 0,66 | Pilpasuo           |
| 0,90         | 0,65 | 0,68 | Isosuoönräme       |
| 0,88         | 0,64 | 0,76 | Ruostekorpi        |
| 0,81         | 0,57 | 0,58 | Ollinneva          |
| 1,02         | 0,61 | 0,76 | Prakunmaa          |
| 1,03         | 0,70 | 0,91 | <b>Kontiojätkä</b> |

Taulukko 1 Ojasyvyysmittausten keskiarvot kaikilla 37 alueella kolmena ajanhetkenä. Lihavoituna alueet, joissa oli tehty ojen kunnostusta. Kursivoituna alueet, jotka jätettiin mittausten ulkopuolelle puuttuvien mittauspistetietojen takia.

Mittauspisteiden yläpuolisen valuma-alueen ja ojan madaltumisen välistä yhteyttä kaikille 1 650 mittauspisteelle katsottiin kuvaajan avulla (Kuva 4 Mittauspisteiden yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan (ha) ja ojan mitatun madaltumisen välinen yhteys jaksolla 1994 – 2012/2013. Kuva 4). Tulosten mukaan yhteys on niin heikko, että sarkaojien ojasyvyyden madaltumismalliin ei otettu mukaan yläpuolisen valuma-alueen kokoa. Kokoojaojille yläpuolisen valuma-alueen koko otettiin mukaan selittävänä tekijänä. Erosio ja sedimentaatio voi olla ”tasapainossa” mittauspaikoilla, joiden yläpuolinen valuma-alue on suuri. Turvekerroksen kasvun vaikutus on merkittävä niissä mittauspisteissä, joissa yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala on pieni.



Kuva 4 Mittauspisteiden yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan (ha) ja ojan mitatun madaltumisen välinen yhteys jaksolla 1994 – 2012/2013.

### Puuston kasvun lisäys

Puuston kasvun lisäys laskettiin laskemalla puuston kuutiomäärän muutokset kolmen ajanjakson välillä (1994 – 2013, 2013 – 2019 ja 2019 – 2021). Vuoden 1994 data on otettu vuoden 1994 kenttäkoikeista ja vuosien 2013, 2019 ja 2021 data Luonnonvarakeskuksen hila-aineistoista jokaiselle kohdealueelle.

Puuston kuutiomäärien muutosta käytettiin apuna arvioitaessa mitkä mittausvälit poistettiin ennustemallin aineistosta. Jos kuutiomäärän pieneneminen oli enemmän kuin  $50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mittausväli}$ , niin nämä mittauspaikat jätettiin pois aineistoista, kun muodostettiin mallin yhtälöitä. Puuston kuutiomäärän pieneneminen saattaa indikoida avohakkuuta, joka voi vaikuttaa ojasyvyyden madaltumiseen. Näitä aineistoja ei käytetty ennustemenetelmän muuttujina, vaan niiden avulla arvioitiin, onko alueella tehty niin merkittäviä hakkuuta, että sen jakson mittauspisteet jätetään pois ennustemallin selittäjistä (pienennys enemmän kuin  $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Pois jäivät Paloneva, Mantilansuo ja Heinäsuo 2013-2023.

| Kasvun lisäys m <sup>3</sup> |           |           |                    |
|------------------------------|-----------|-----------|--------------------|
| 1994-2013                    | 2013-2019 | 2019-2021 | Alue               |
| 4,4                          | 5,1       | 4,5       | Sepänsuo           |
|                              | 6,3       | 6         | Kaulanperä         |
| 4,1                          | -1,7      | 2,5       | Isosuo             |
| 6,1                          | -5,4      | 11,5      | Vuohensuo          |
| 3,4                          | -7,2      | 11        | Pitkäneva          |
| 4,4                          | -7,2      | -0,5      | Hirsisuo           |
| 4,8                          | -9,5      | 15,5      | Paloneva           |
|                              | -1,2      | 1         | Alkkia             |
| 3,4                          | -6,2      | 1,5       | Porrasneva         |
| 2,8                          | 1,3       | 9         | Kiekonneva         |
| 2,7                          | 3,1       | -0,5      | Pottisuo           |
| 2,8                          | -0,9      | 4,5       | Liisansuo          |
| 2,4                          | -3        | 10,5      | Ruskeesuo          |
| 4,9                          | -1        | 2,5       | Alaräme            |
| 3,2                          | 5,8       | -9        | Purnukorpi         |
| 5,8                          | -9        | -7,5      | Mantilansuo        |
| 0,4                          | -2,2      | 7         | Honkasuo           |
|                              |           |           | <i>Tervasuo</i>    |
| 4,7                          | 0,5       | -5        | Soidinkorpi        |
|                              | -11       | 9         | Heinäsuu           |
| 1,4                          | 1,8       | -0,5      | Haarasuo           |
| 1,8                          | 8         | -8,5      | Kämpä              |
|                              |           |           | <i>Vähä-Oivari</i> |
| 4,1                          | 0,1       | 13,5      | Hautakangas        |
| 2,8                          | 1,5       | 5,5       | Sydänkorvenrämäkkä |
| 2                            | 4,8       | 3,5       | Takkikallio        |
| 4,5                          | -5,2      | 14,5      | Tupasalo           |
| 4,4                          | -0,5      | -22,5     | Korpiala           |
| 3,2                          | 0,3       | -1        | Raippamaanoja      |
| 3,7                          | 6,6       | -4        | Jänissuo           |
| 2,8                          | -0,4      | -5        | Rapasensuo         |
|                              |           |           | <i>Komulansuo</i>  |
| 1,7                          | 8,8       | -7,5      | Käärmekorpi        |
| 3                            | -1,5      | -2        | Hämäläisneva       |
| 2,5                          | 3         | -4,5      | Pilpasuo           |
| 2,2                          | 4,3       | -1,5      | Isosuoönräme       |
| 3,3                          | 1,3       | -0,5      | Ruostekorpi        |
| 3,1                          | -2        | 10,5      | Ollinneva          |
| -0,8                         | 2,5       | 11,5      | Prakunmaa          |
| 0,5                          | 4,5       | -15,5     | Kontiojänkä        |

Taulukko 2 Puuston kuutiomäärät on poimittu Luonnonvarakeskuksen hila-aineistoista vuosilta 2013, 2019 ja 2021 jokaiselle kohdealueelle. Kursivoituna alueet, jotka jätettiin laskelmien ulkopuolelle puuttuvien mittauspistetietojen takia.

# Mallinnuksen aineistot

## Maastomittaustulokset

Edellä kuvattua maastossa mitattua aineistoa hyödynnettiin mallin muodostamisessa ja arvioinnissa. Lopullisessa ennustemallissa kerätyistä aineistoista käytettiin seuraavia oja- ja mittauspistekohtaisia tietoja:

- alkuperäinen ojasyvyys (m)
- turvekerroksen paksuus (m) ja turpeen maatuneisuusaste
- turvekerroksen alapuolella olevan kivennäismaakerroksen paksuus ja maalaji

Turvelaji jaettiin mallissa kolmeen eri tyyppiin:

- Rahkaturve = S, CS, BS (*S-rahkaturve, CS-sararahkaturve, BS-ruskosammalrahkaturve*)
- Ruskosammalturve = B, SB, CB (*B-ruskosammalturve, SB-rahkaruskosammalturve, CB-sararuskosammalturve*)
- Saraturve = C, SC, BC (*C-saraturve, SC-rahkasaraturve, BC-ruskosammalsaraturve*)

Ennustemallissa turpeen maatuneisuusasteikkona käytettiin jakoa (von Post asteikko 1-10):

- Luokka 1 = H1
- Luokka 2 = H2, H3, H4
- Luokka 3 = H5, H6
- Luokka 4 = H7, H8, H9
- Luokka 5 = H10

Turpeen alapuolella olevan kivennäismaan osalta ennustemallissa lähtötietona käytettiin jakoa:

- Hienot: savimoreeni, hiesumoreeni, savi ja hieno hiesu
- Keskikarkeat: hietamoreeni, hieno hietä, karkea hietä ja hieno hiekka
- Karkeat: hiekkamoreeni, soramoreeni, kivinen moreeni, karkea hiekka, hiekkainen sora ja kivinen sora

Turvemaiden osalta malliin lisättiin mahdollisuus antaa lähtötietona GTK:n paikkatietoaineistoista poimittava suon ravinteisuustaso:

- Ravinteisuustaso 1 (Ruohoturvekangas)
- Ravinteisuustaso 2 (Mustikkaturvekangas)
- Ravinteisuustaso 3 (Puolukkaturvekangas)
- Ravinteisuustaso 4 (Varputurvekangas)
- Ravinteisuustaso 5 (Jäkäläturvekangas)

Jokaiselle koealueelle laadittiin yläpuolisen valuma-alueen rasteri ja sen perusteella jokaisen mittauspisteen yläpuolisen valuma-alueen koko (ha). Vain kokoojajille käytettiin selittävänä muuttujana yläpuolisen valuma-alueen kokoa (kts. Kuva 4).

## Mitattujen ojasyvyyksien vertaaminen laserkeilausaineistoon

Madaltumiskehityksen ennustemallissa käytettiin kaikkien 40 ojainventointialueen laserkeilausaineistoja. Koealueista 20 oli sellaisia, joille oli olemassa tiheäpulsista laserkeilausaineistoa 5 p/m<sup>2</sup> (5p-aineisto) (kts. Taulukko 3) ja muilla käytettiin harvapulsista 0,5 p/m<sup>2</sup> aineistoa (0,5p-aineisto). Vertailun vuoksi 0,5p-aineistoa käytettiin myös niille alueille, joilta oli olemassa tarkka 5p-aineisto.

| NRO | 5P-tuotantoalue | Koealueet                               | Lkm       |
|-----|-----------------|---|-----------|
| 1   | Alavus          | Takkikallio                             | 1         |
| 2   | Iisalmi         | Honkasuo, Tervasuo                      | 2         |
| 3   | Keuruu          | Haarasuo                                | 1         |
| 4   | Kokkola         | Tupasalo, Raippamaanoja, Korpiala       | 3         |
| 5   | Kuivaniemi      | Käärmekorpi                             | 1         |
| 6   | Lahti           | Pottisuo                                | 1         |
| 7   | Loimaa          | Vuohensuo                               | 1         |
| 8   | Merikarvia      | Vähä-Oivari                             | 1         |
| 9   | Parkano         | Pitkäneva, Paloneva, Alkkia, Porrasneva | 4         |
| 10  | Pori            | Hirsisuo                                | 1         |
| 11  | Puolanka        | Ruostekorpi                             | 1         |
| 12  | Salo            | Sepänsuo, Kaulanperä                    | 2         |
| 13  | Siikalatva      | Hämäläisneva                            | 1         |
|     |                 | <b>Yhteensä</b>                         | <b>20</b> |

Taulukko 3 5p-tuotantoalueet ja niille osuvat Tapion ojainventointialueet.

Lidar 5p-aineiston avulla tehty ojan pohjan korkeustason ja ojasyvyyden tulkinta tehtiin seuraavalla tavalla:

- kaikki ojat jaettiin 5 m pituisiin jaksoihin
- etsittiin jokaiseen 5 m ojajaksoon osuvat Lidar 5p maanpintapisteet ja niistä poimittiin pienin arvo, jonka tulkittiin olevan ojan pohjan syvyystaso  $Z_{min}$
- jokaisen ojajakson ympärillä oleva maanpinnan vertailutaso arvioitiin poimimalla korkeusmalista ympäröivien solmujen (pois lukien kaikki ojasolmut) keskimääräinen maanpinnan korkeus ( $Z_{keski}$ )
- tulkittu ojasyvyys laskettiin kahden edellä kuvatun erotuksena  $Z_{ojasyv} = Z_{keski} - Z_{min}$

Ojasyvyysmittauksia oli käytettävissä noin 1 650, jotka oli mitattu vuonna 2023. Mittauspisteitä oli keskimäärin 50 kpl/alue. Mittauspisteille kerättiin Lidar 5p-aineistolla ja Lidar 0,5p-aineistolla saadut korkeudet. 20 alueelle tehtiin ojasyvyysvertailu vuoden 2023 mitattuihin mittauspisteisiin. Vertailu osoitti, että Lidar 5p-aineistolla saatujen korkeuksien keskiarvo on sama kuin mitattujen, tuloksissa on kuitenkin hajontaa. Lidar 0,5p aineistolla saadut korkeudet antoivat keskimääräiseksi ojasyvyudeksi 16 cm liian matalan mitattuihin tuloksiin nähden. (Taulukko 4)

| Mittaus      | Lidar 5P | Lidar 05P | Ero 5P | Ero 05P |                   |              |          |           |        |         |                    |
|--------------|----------|-----------|--------|---------|-------------------|--------------|----------|-----------|--------|---------|--------------------|
| 0.75         | 0.76     | 0.59      | -0.01  | 0.16    | Keskiarvot/kaikki |              |          |           |        |         |                    |
| Keskisyvydet |          |           |        |         |                   | Keskisyvydet |          |           |        |         |                    |
| Mittaus      | Lidar 5P | Lidar 05P | Ero 5P | Ero 05P | Alue              | Mittaus      | Lidar 5P | Lidar 05P | Ero 5P | Ero 05P | Ero 05P            |
| 0.63         | 0.68     | 0.60      | -0.05  | 0.02    | Sepänsuo          | 0.58         | 0.71     | 0.55      | -0.12  | 0.03    | Haarasuo           |
| 0.50         | 0.33     | 0.28      | 0.16   | 0.21    | Kaulanperä        | 0.64         |          | 0.63      |        | 0.02    | Kämpä              |
| 0.79         |          | 0.52      |        | 0.27    | Isosuo            |              |          |           |        |         | Vähä_Oivari        |
| 1.05         | 0.98     | 0.84      | 0.06   | 0.21    | Vuohensuo         | 0.79         |          | 0.59      |        |         | Hautakangas        |
| 0.78         | 0.88     | 0.78      | -0.10  | 0.00    | Pitkäneva         | 0.74         |          | 0.67      |        |         | Sydänkorvenrämmäkä |
| 0.76         | 0.63     | 0.61      | 0.13   | 0.15    | Hirsisuo          | 0.67         | 0.71     | 0.59      | -0.04  | 0.08    | Takkikallio        |
| 1.04         | 1.05     | 0.98      | -0.01  | 0.06    | Paloneva          | 0.85         | 0.94     | 0.83      | -0.09  | 0.01    | Tupasalo           |
| 0.76         | 0.80     | 0.70      | -0.03  | 0.06    | Alkkia            | 0.49         | 0.55     | 0.43      | -0.06  | 0.07    | Korpiala           |
| 0.69         | 0.78     | 0.64      | -0.09  | 0.05    | Porrasneva        | 0.72         | 0.71     | 0.51      | 0.01   | 0.20    | Raippamaanoja      |
| 0.77         |          | 0.51      |        | 0.25    | Kiekonneva        | 0.97         |          | 0.69      |        | 0.28    | Jänissuo           |
| 0.71         | 0.57     | 0.43      | 0.14   | 0.28    | Pottisuo          | 1.01         |          | 0.61      |        | 0.40    | Rapasuo            |
| 0.76         |          | 0.46      |        | 0.30    | Liisansuo         |              |          |           |        |         | Komulansuo         |
| 0.60         |          | 0.38      |        | 0.22    | Ruskeesuo         | 0.82         | 0.73     | 0.58      | 0.09   | 0.24    | Käärmekorpi        |
| 0.89         |          | 0.54      |        | 0.35    | Alaräme           | 0.82         | 0.83     | 0.71      | 0.00   | 0.11    | Hämäläisneva       |
| 1.04         |          | 0.56      |        | 0.48    | Purnukorpi        | 0.66         |          | 0.59      |        | 0.06    | Pilpasuo           |
| 0.72         |          | 0.47      |        | 0.25    | Mantilansuo       | 0.68         |          | 0.55      |        | 0.14    | Isosuo nräme       |
| 0.52         | 0.60     | 0.49      | -0.08  | 0.03    | Honkasuo          | 0.76         | 0.61     | 0.53      | 0.15   | 0.23    | Ruostekorpi        |
|              |          |           |        |         | Tervasuo          | 0.58         |          | 0.52      |        | 0.06    | Ollinneva          |
| 0.68         |          | 0.53      |        | 0.15    | Soidinkorpi       | 0.76         |          | 0.49      |        | 0.27    | Prakunmaa          |
| 0.64         |          | 0.53      |        | 0.12    | Heinäsuu          | 0.91         |          | 0.37      |        | 0.54    | Kontiojänkä        |

Taulukko 4 Vertailu vuonna 2023 mitattujen ojasyvyyksien ja tiheäpulsisen laserkeilausaineiston 5 pistettä/m<sup>2</sup> (Lidar 5P) ja harvennetun laserkeilausaineiston 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> (Lidar 0,5P) välillä.

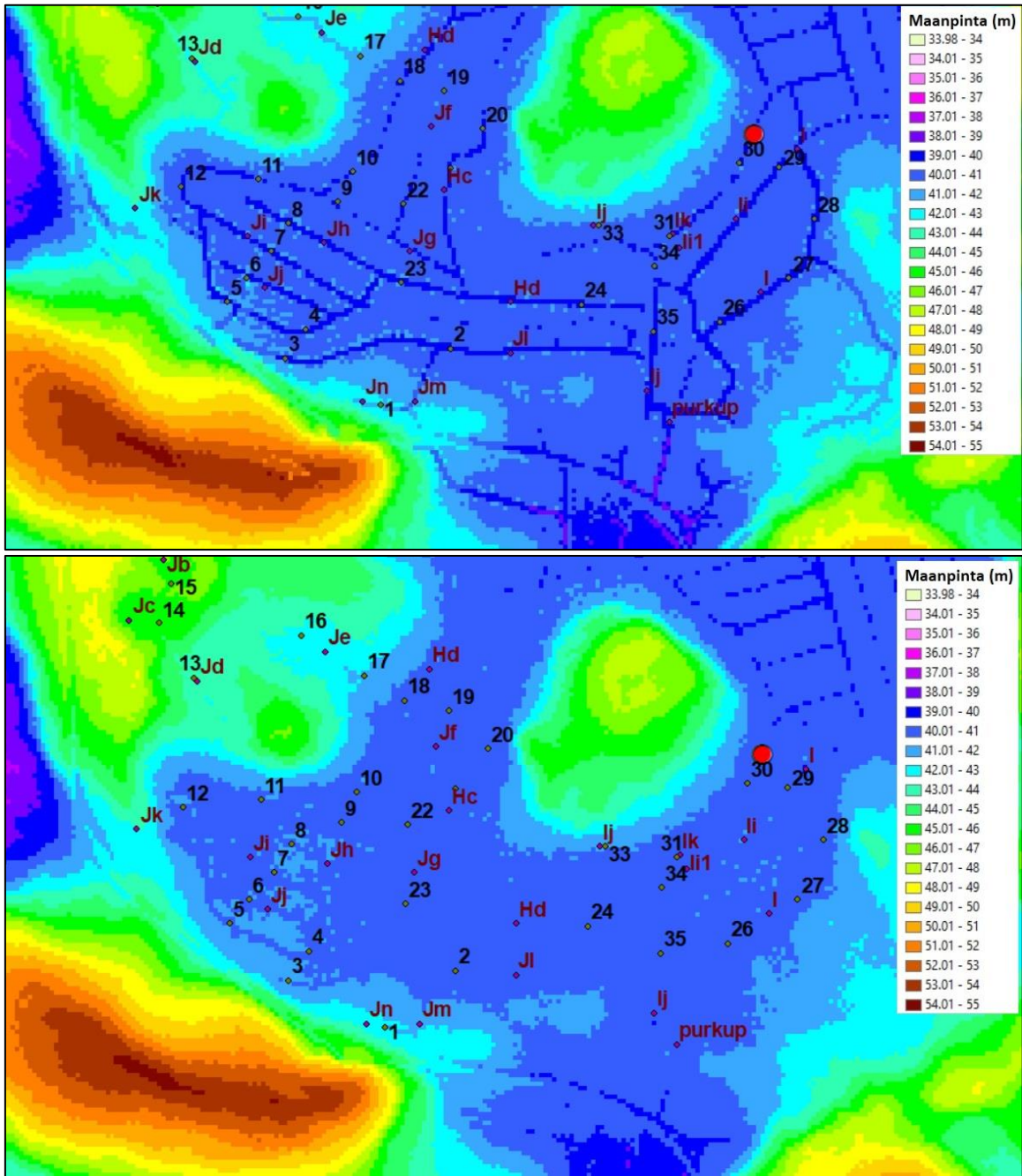
## Muut paikkatietoaineistot

Kaikilta koalueilta koottiin vapaasti ladattavat paikkatietoaineistot:

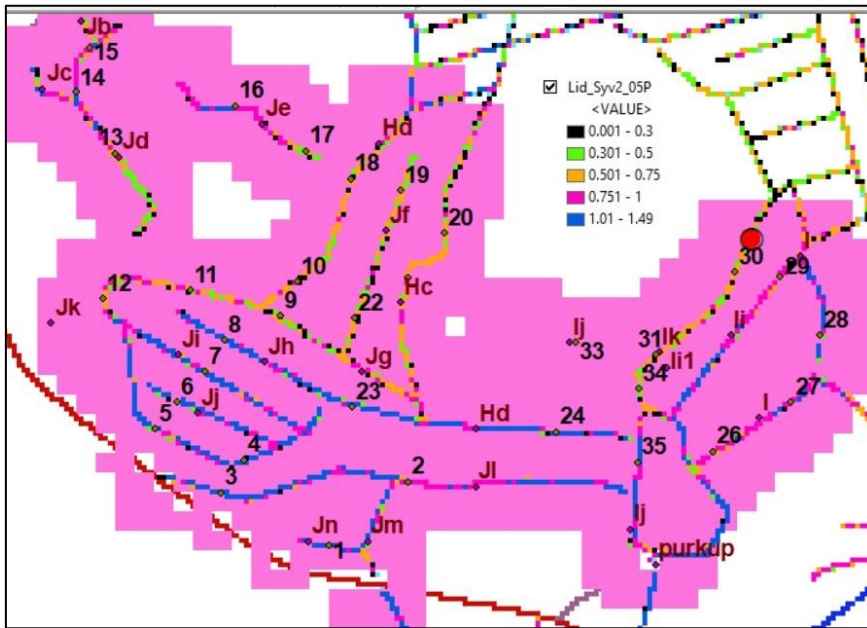
- Ojainventointiaineistot (1990, 2011 ja 2023): maastomittaukset, ojaviivat, ojanimet ja koalueiden valuma-alueet (MEMMA-hankkeessa kerätyt aineistot)
- Korkeusmalli 2 m (ruutukoko 2 m x 2 m) (Maanmittauslaitos)
- Tiheäpulsinen laserkeilausaineisto 5 pistettä/m<sup>2</sup> (Lidar 5P). Aineistot käytössä 20 koalueelle (Maanmittauslaitos)
- Harvennettu laserkeilausaineisto 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> (Lidar 0,5P). Aineistot käytössä kaikille 40 koalueelle. (Maanmittauslaitos)
- Ojat ja tiet (Maanmittauslaitoksen maastotietokanta)
- Puuston kuutiomäärä 2013, 2019 ja 2021 (Luonnonvarakeskus)
- Päätyyppi: kivennäismaa, korpi, räme (Luonnonvarakeskus)
- Maaluokka: metsämaa, kitumaa, joutomaa (Luonnonvarakeskus)
- Puuston ikä (Luonnonvarakeskus)
- CORINE Land Cover ja uomaverkosto (Suomen ympäristökeskus)
- Maalajiluokka, pääosin 1:200 000, 1:20 000 kattaa vain pienen osan koalueista (GTK)
- Suomaiden ravinteisuusluokka (GTK)

## Tupasalon esimerkki

Jokaisella kohteella vertailtiin 2023 mitattua ojasyvyysaineistoa ja laserkeilausaineistoa. Tupasalon alueelta ei ollut käytettävissä 5p-aineistoa. Kuvissa (Kuva 5) on esitetty maanpinnan korkeusmalli, joka on tehty Maanmittauslaitoksen 2x2 m<sup>2</sup> korkeusmallin perusteella (ylempi kuva) ja korkeusmalli Lidar 0,5p-aineiston avulla (alempi kuva). Kuvassa (Kuva 6) on esitetty 0,5p-laserkeilausaineiston perusteella tehty ojasyvyystulkinta Tupasalon koalueelle.

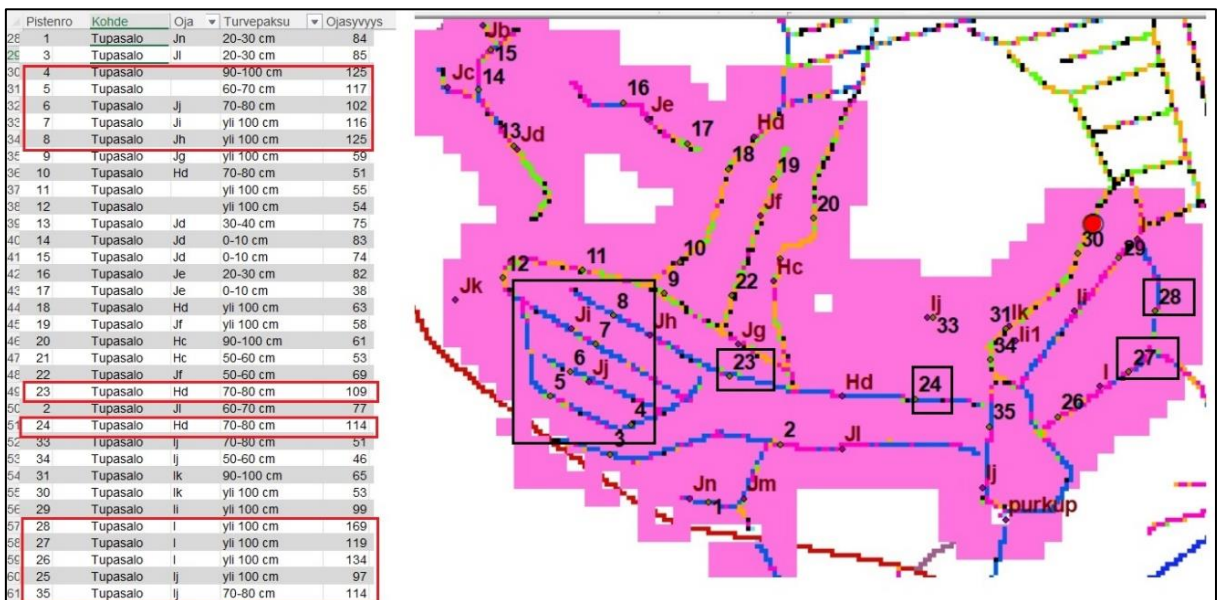


Kuva 5 Tupasalon alueen korkeusmallit. a) MML:n 2x2 m<sup>2</sup> aineisto (ylempi kuva) ja b) Lidar 0,5p-aineiston perusteella tehty korkeusmalli (alempi kuva). Ojien paikat näkyvät erittäin selvästi Lidar-aineiston perusteella tehdystä korkeusmallista.



Kuva 6 Tupasalon koalueen ojat (kirjaimet), mittauspisteet (numerot) ja Lidar 0,5p-aineiston perusteella tulkittu ojasyvyys (m). Alueen eteläosassa on paljon ojia, joissa syvyys on tulkinnan mukaan yli 100 cm.

Mittauspisteitä oli Tupasalossa 35. Kuvassa (Kuva 7) on kuitenkin esitetty alustavaa vertailua Tupasalon alueelta. Sinisellä merkityt ojat ovat lasertulkinnan perusteella sellaisia, joilla ojasyvyys on yli 100 cm. Kuvan (Kuva 7) vasemmassa reunassa on esitetty vuoden 2023 maastomittausten tulokset eri havaintopisteille. Suuret mitatut ojasyvyudet näyttävät osuvan erittäin hyvin tulkittujen syvyyksien kanssa.

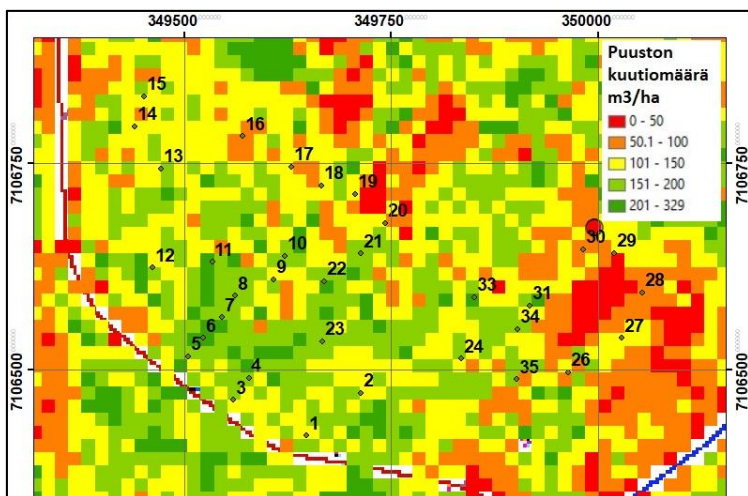
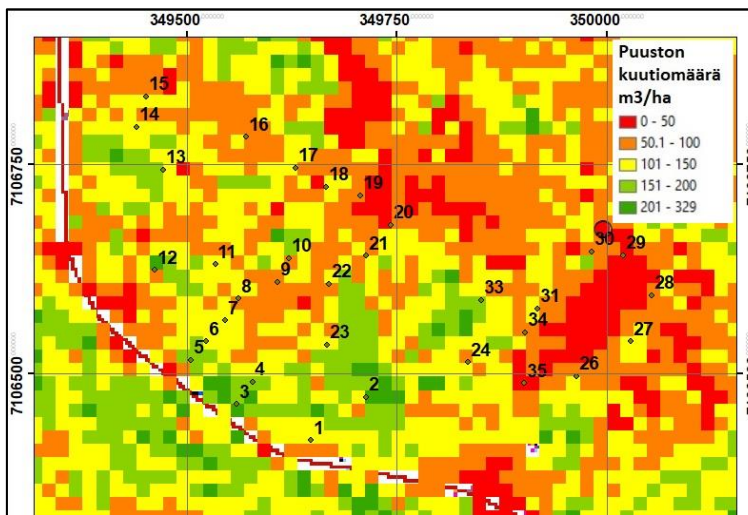
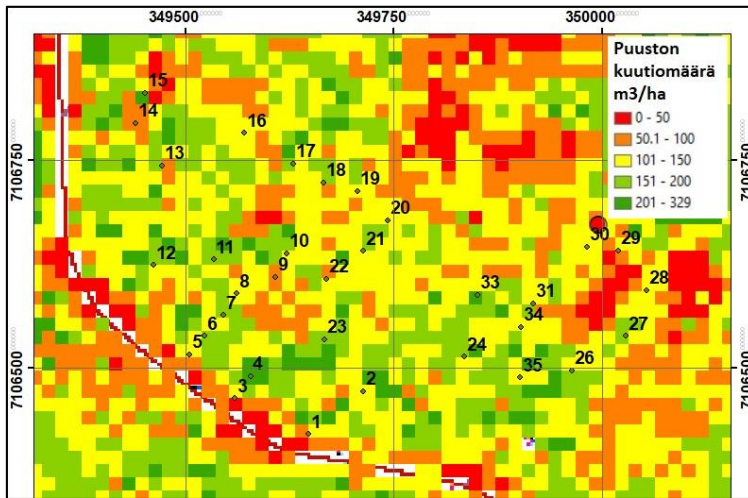


Kuva 7 Tupasalon mittauspisteiden (1..35) 2023 mitattu ojasyvyys ja vastaava Lidar 0,5p-tulkinta. Suuria mitattuja ojasyvyyskäsä osuu pisteisiin 4..8, 23, 24 ja 27 ja 28, joissa myös Lidar-tulkinnan mukaan syvyys on yli 100 cm. Tulosten mukaan osa alueen ojista on perattu v. 1990 jälkeen, joten kyseisiä ojia ei voida käyttää madaltumiskehityksen mallintamisessa.

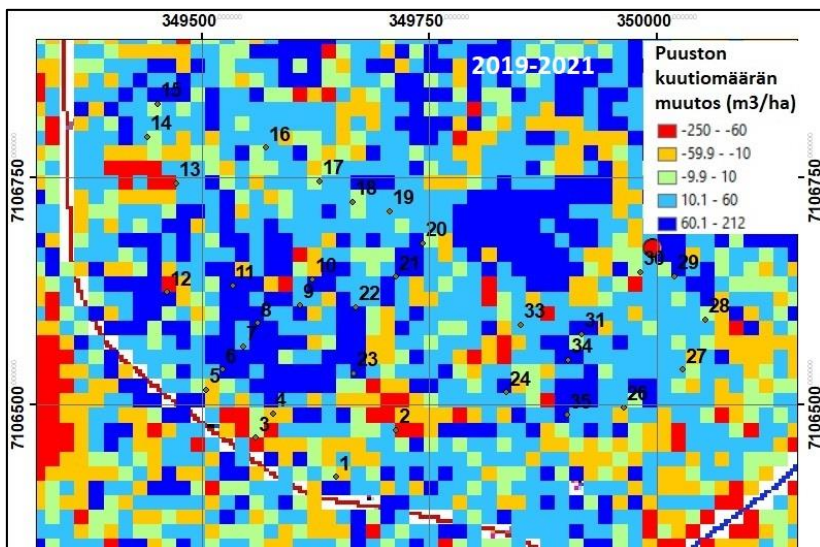
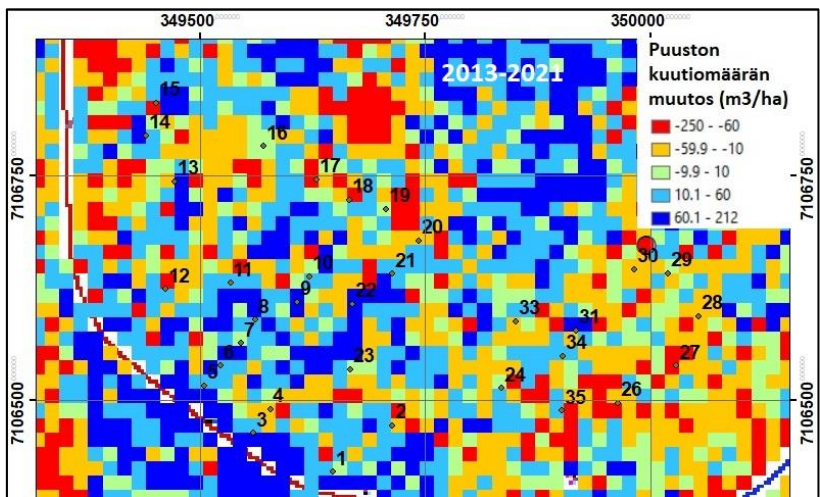
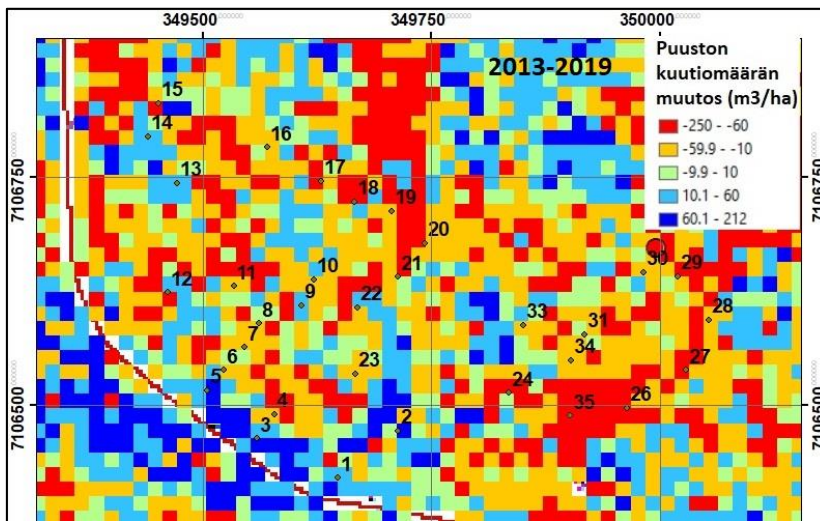
Kuvissa (Kuva 8) on esitetty puuston kuutiomäärä Luken aineistojen perusteella vuosien 2013, 2019 ja 2021. Kuvissa (Kuva 9) on esitetty näiden rasterien avulla lasketut puuston kuutiomäärän muutokset v. 2013–2021 välisenä aikana. Näitä aineistoja ei käytetty ennustemallin muuttujina, vaan niiden avulla



arvioitiin, onko alueella tehty niin merkittäviä hakkuita, että sen jakson mittauspisteet jätetään pois enustemallin selittäjistä (vähennys enemmän kuin 50 m<sup>3</sup>/ha).



Kuva 8 Puuston kuutiomäärä (m<sup>3</sup>/ha) Luken aineistojen perusteella. a) Vuosi 2013 (ylin kuva), b) vuosi 2019 (keskellä oleva kuva) ja c) vuosi 2021 (alin kuva).



Kuva 9 Puuston kuutiomäärän muutos ( $m^3/ha$ ) Luken aineistojen perusteella. a) Vuosien 2013 ja 2019 välinen muutos (ylin kuva), b) vuosien 2013 ja 2021 välinen muutos (keskellä oleva kuva) ja c) vuosi en 2019 ja 2021 välinen muutos (alin kuva).

# Ojasyvyyden mataloitumisen ennustemallit

## Ojasyvyyden ennustemallit

Alkuperäinen idea oli käyttää vuosina 1994, 2012/2013 ja 2023 kerättyjä tarkkoja MEMMA-aineistoja ennustemallin laadinnassa. Aikaisempina vuosina kerätty data on niin yksityiskohtaista, että käytännön ennustetilanteissa näitä tietoja ei ole mahdollista saada mallin muilta kuin MEMMA-kohteilta. Siitä syystä päädyttiin ratkaisuun, jossa ennustemallit tehtiin käyttäen vain niitä MEMMA-aineistoja, jotka on melko todennäköisesti mahdollista kerätä mallin uusilta sovelluskohteilta tai arvioida riittävän luotettavasti (kts. Maastomittaustulokset). Tällä ratkaisulla mallin mahdollisten sovelluskohteiden määrä kasvaa huomattavasti.

Ennustemallin laadinnassa otettiin mukaan alkuperäisistä 1 650 mittauspisteestä ne, joiden alueella ei ollut tehty ojitusilmoituksia. Aineistoista poistettiin myös ne mittauspisteet, joissa ojasyvyys oli kasvanut mittausjaksojen välillä (syy ojasyvyyden kasvuun niin epäselvä, että mittauspiste kannatti jättää pois). Aineistoista poistettiin myös ne alueet, joilla puuston kuutiomäärä oli pienentynyt enemmän kuin 50 m<sup>3</sup>/ha v. 2013 ja 2021 välisenä aikana (puuston kuutiomäärän pieneneminen saattaa indikoida avohakkuuta, joka voi vaikuttaa ojasyvyyden madaltumiseen, joten varmuuden vuoksi nämä jaksot jätettiin pois).

Aikaisempien tutkimusten mukaan kasvukauden lämpösumman lisääntyminen voimisti mataloitumista (Joensuu 2014). Ennustemalliin otettiin selittäväksi muuttujaksi leveysaste, joka kuvaa hyvin kasvukauden lämpösummaa eri puolilla Suomea, mutta on selvästi helpompi lähtötietomuuttuja kuin lämpösumma.

MEMMA-aineistojen avulla oli mahdollista tehdä ennustemallit neljälle erityyppiselle profiilille:

- 1) Paksurpeiset profiilit sarkaojissa (turvepaksuus ojitusketkellä yli 0,8 m)
- 2) Ohutturpeiset profiilit sarkaojissa (turvepaksuus 0,3 – 0,8 m)
- 3) Kivennäismaiden profiilit (turvepaksuus alle 0,3 m)
- 4) Kokoojajojien ennustemalli

Yksityiskohtainen lista mallin muuttujista ja ennustemallin kaavoista on esitetty liitteessä 1

Ennustemallin kaavoja voidaan käyttää kahdella eri tavalla (Malli 1 ja Malli 2). Kehitetty ennustemalli on ohjelmoitu Excel-käyttöliittymän ja Visual Basic-ohjelmointikielen avulla helppokäyttöiseen muotoon, jolla on mahdollista laskea madaltumiskehitys sekä malliversiolla 1, että versiolla 2. Excel-tiedosto on ladattavissa Tapion verkkosivuilta aineistopankin laskureista<sup>1</sup>.

## Ennustemalliversio 1: Ennuste laaditaan ojitusketkestä 50 v. eteenpäin

Tällä ennustemallilla ennustejakso on 50 v, vaikka datajakso on vain 30 v. Ennusteen epävarmuus kasvaa mitä pidempi jakso lasketaan. Ennustemallissa 1 tarvittavat lähtötiedot on esitetty taulukossa (Taulukko 5 Ennustemallin versiossa 1 tarvittavat lähtötiedot. (Taulukko 5).

<sup>1</sup> <https://tapio.fi/laskurit/ojien-madaltumisen-ennustemalli/>

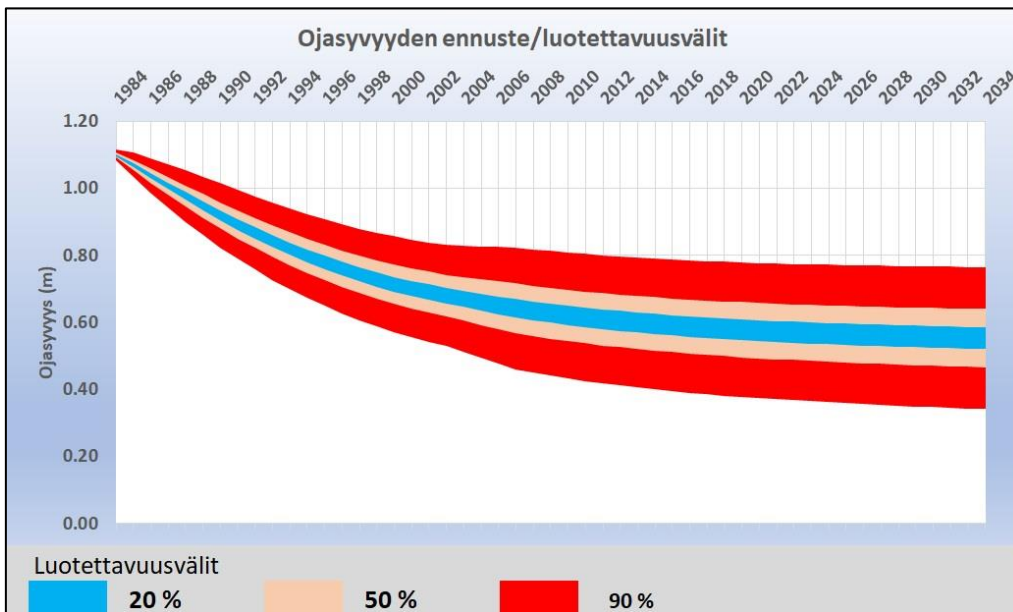
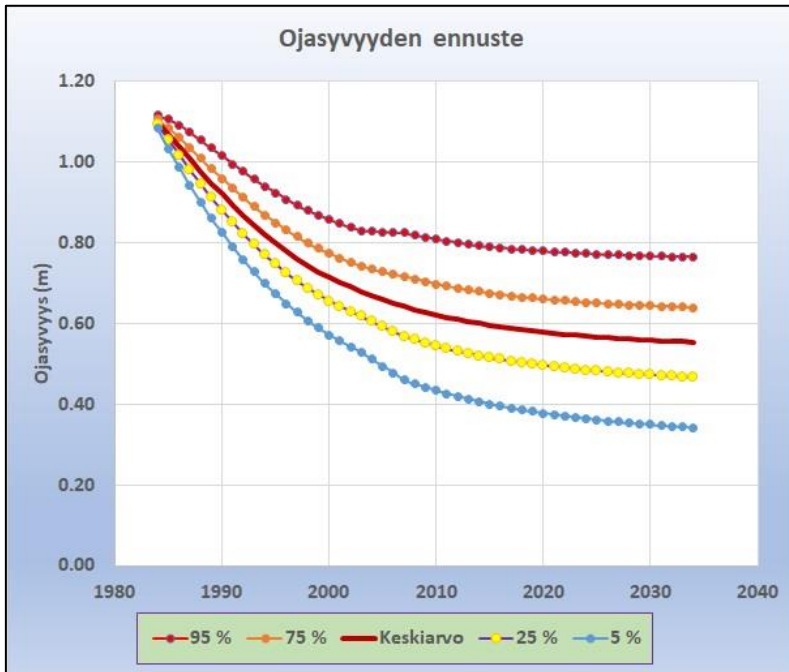
| Data | Parametrin kuvaus  | 1 Rahkaturve = S,CS, BS                          | 2 Ruskosammalturve = B, SB, CB | 3 Saraturve= C, SC, BC |
|------|--|--|--------------------------------|------------------------|
| 1984 | Edellisen ojituksen vuosi (aikaisin mahdollinen on 1974)         |  |                                |                        |
| 1.1  | Ojasyvyys ojituksen jälkeen (m)                                  |  |                                |                        |
| 1    | Turvekerroksen paksuus edellisen ojituksen aikana (m)            | 1 = H1   |                                | Maatuneisuusluokka     |
| 3    | Turvelaji 1..3 (Selitys vieressä)                                | 2 = H2, H3, H4                                   |                                |                        |
| 2    | Turpeen maatuneisuusaste 1..5 (selitys vieressä)                 | 3 = H5, H6                                       |                                |                        |
| 1    | Suon ravinteisuustaso 1..5 (Selitys vieressä)                    | 4 = H7, H8, H9                                   |                                |                        |
| 1    | Turpeen alla olevan kivennäismaan tyyppi 0..3 (selitys vieressä) | 5 = H10  |                                |                        |
| 1    | 1 = Sarkaoja 2 = Kokooja   | Ravinteisuustaso 1 (Ruohoturvekangas, GTK 14)    |                                |                        |
| 30   | Ei tarvita valuma-alueen kokoa jos sarkaoja                      | Ravinteisuustaso 2 (Mustikkaturvekangas, GTK 33) |                                |                        |
| 66   | Leveysaste (60 - 72 astetta)                                     | Ravinteisuustaso 3 (Puolukaturvekangas, GTK 56)  |                                |                        |
|      |  | Ravinteisuustaso 4 (Varputurvekangas, GTK 72)    |                                |                        |
| 2    | 1 = Sarkaoja 2 = Kokooja   | Ravinteisuustaso 5 (Jäkäläturvekangas, GTK 92)   |                                |                        |
| 30   | Yläpuolisen valuma-alueen koko (ha), Max=200                     | Kivilajin edelleen luokittelu                    |                                |                        |
|      |  | 0 = ei tietoa TAI ei tarvita                     |                                |                        |
|      |  | 1 = hieno  |                                |                        |
|      |  | 2 = keskikarkeat                                 |                                |                        |
|      |  | 3 = karkeat                                      |                                |                        |

Taulukko 5 Ennustemallin versiossa 1 tarvittavat lähtötiedot.

Kivennäismaan tyyppiä ei tarvita, jos turvekerros on vähintään ojasyvyyden paksuinen. Kivennäismaakerroksen paksuutta ei tarvitse antaa. Sen paksuudeksi oletetaan Ojasyvyys-Turpeen paksuus – 0,1 m, missä 0,1 on pinnan oletettu humuskerroksen paksuus. Lisäksi annetaan leveysaste (60 - 72 astetta), joka kuvaa hyvin lämpösumman eli kasvukauden pituuden vaikutusta. Lämpösumma olisi hankala parametri muille kuin asiantuntijoille. Jos ennustetaan kokoojaajan syvyyden kehitys, niin on annettava sen yläpuolisen valuma-alueen koko (ha). Datassa max.-koko oli 200 ha, joten sitä suurempaa arvoa Excel-ohjelma ei hyväksy.

Ohjelma tekee ennusteen 50 v eteenpäin ja laskee keskiarvoennusteen lisäksi sen luotettavuusrajat (5 %, 25 %, 40 %, 60 %, 75 % ja 95 %), jotka tulostetaan sekä käyrinä, että luotettavuusrajat väritettyinä alueina. Kuvaajassa x-akselilla on vuodet ja y-akselilla ojasyvyys metreinä. Alkupisteessä on syötetty tieto ojan syvyydestä ja ojitusvuosi.

Esimerkki Ennustemallin 1 tulostuksista on esitetty kuvissa (Kuva 10 Esimerkki Ennustemallin 1 tulostuksista, kun käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 5. Kuva 10), kun laskennassa käytetyt parametrit on esitetty taulukossa (Taulukko 5). Kuva 10 ojan syvyys alussa vuonna 1984 on 1,10 m ja kohde on paksuturveinen (1 m). Oja madaltuu ensimmäisen kymmenen vuoden aikana keskiarvona syvyyteen 0,82 m eli madaltuminen on 28 cm. 1994–2004 madaltuminen on 15 cm, 2004-2014: 7 cm, 2014-2024: 3 cm ja 2024-2034: 2 cm.



Kuva 10 Esimerkki Ennustemallin 1 tulostuksista, kun käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 5.

|      | 95 % | 75 % | Keskiarvo | 25 % | 5 %  |
|------|------|------|-----------|------|------|
| 1984 | 1,12 | 1,11 | 1,10      | 1,09 | 1,08 |
| 1994 | 0,94 | 0,87 | 0,82      | 0,77 | 0,70 |
| 2004 | 0,83 | 0,73 | 0,67      | 0,60 | 0,51 |
| 2014 | 0,79 | 0,68 | 0,60      | 0,52 | 0,41 |
| 2024 | 0,77 | 0,65 | 0,57      | 0,48 | 0,36 |
| 2034 | 0,76 | 0,64 | 0,55      | 0,47 | 0,34 |

Taulukko 6 Yllä olevan kuvaajan tulokset 10 vuoden välein ojitusvuodesta 1984 vuoteen 2034.

## Ennustemalliversio 2: Tehdään ennuste, kun ojitushetkestä on jo kulunut useita vuosia

Tällä ennustemallilla ennustejakso on myös 50 v, mutta ennuste tehdään useita vuosia edellisen ojituksen toteuttamisen jälkeen. Ennustemallissa 2 tarvittavat lähtötiedot on esitetty taulukossa (Taulukko 7).

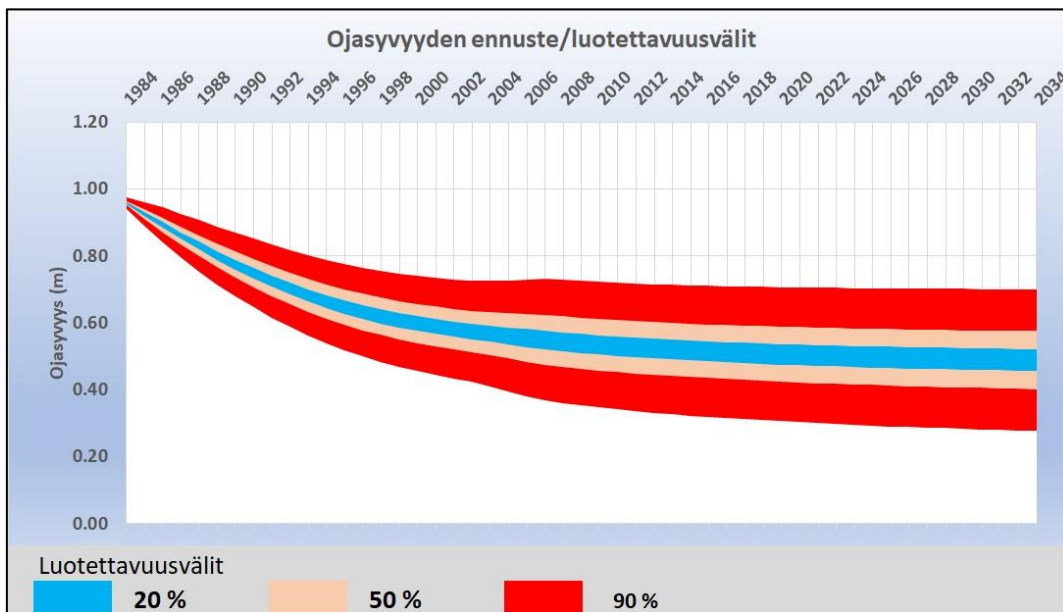
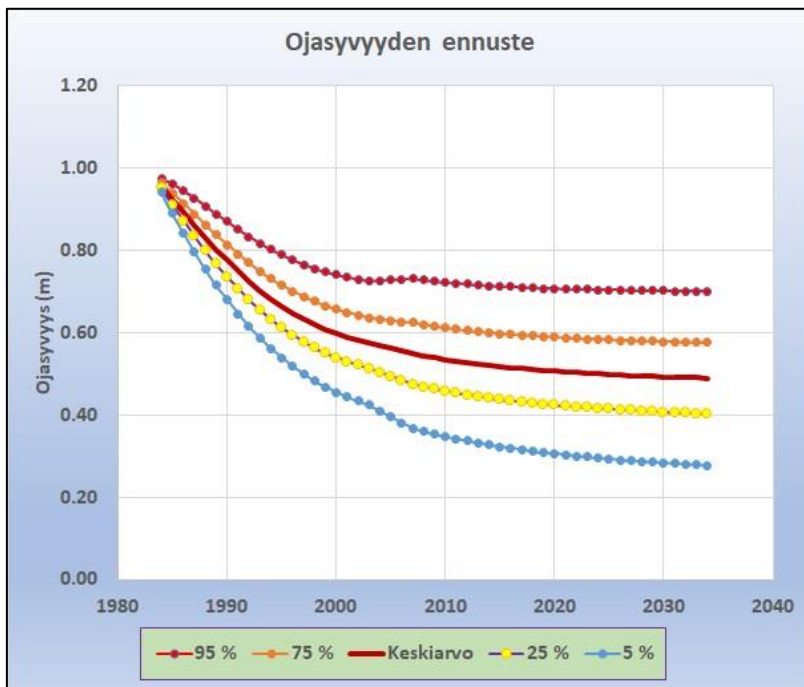
| Data | Parametrin kuvaus   | 1 Rahkaturve = S,CS, BS                          | 2 Ruskosammalturve = B, SB, CB | 3 Saraturve= C, SC, BC |
|------|---|--|--------------------------------|------------------------|
| 1984 | Milloin tehtiin edellinen ojitus (korkeintaan 40 v sitten)          |  |                                |                        |
| -9   | Ojasyvyys ed.ojituksen jälkeen (m) JOS -9, niin ennuste taaksepäin! |  |                                |                        |
| 1    | Turvekerroksen paksuus edellisen ojituksen aikana (m)               | 1 = H1   |                                | Maatuneisuusluokka     |
| 3    | Turvelaji 1..3 (Selitys vieressä)                                   | 2 = H2, H3, H4                                   |                                |                        |
| 4    | Turpeen maatuneisuusaste 1..5 (selitys vieressä)                    | 3 = H5, H6                                       |                                |                        |
| 4    | Suon ravinteisuustaso 1..5 (Selitys vieressä)                       | 4 = H7, H8, H9                                   |                                |                        |
| 2    | Turpeen alla olevan kivennäismaan tyyppi 0..3 (selitys vieressä)    | 5 = H10  |                                |                        |
| 1    | 1 = Sarkaoja 2 = Kokooja  | Ravinteisuustaso 1 (Ruohoturvekangas, GTK 14)    |                                |                        |
| 77   | Ei tarvita valuma-alueen kokoa jos sarkaoja                         | Ravinteisuustaso 2 (Mustikkaturvekangas, GTK 33) |                                |                        |
| 2024 | Ennusteen tekemisvuosi  | Ravinteisuustaso 3 (Puolukkaturvekangas, GTK 56) |                                |                        |
| 0.5  | Ojasyvyys ennusteen tekohetkellä (m) (pakollinen tieto)             | Ravinteisuustaso 4 (Varputurvekangas, GTK 72)    |                                |                        |
| 60   | Leveysaste (60 - 72 astetta)  | Ravinteisuustaso 5 (Jäkäläturvekangas, GTK 92)   |                                |                        |
|      |   | Kivilajin edelleen luokittelu                    |                                |                        |
|      |   | 0 = ei tietoa TAI ei tarvita                     |                                |                        |
|      |   | 1 = hieno  |                                |                        |
|      |   | 2 = keskikarkeat                                 |                                |                        |
|      |   | 3 = karkeat                                      |                                |                        |

Taulukko 7 Ennustemallissa 2 tarvittavat lähtötiedot.

Tämän ennustemallin laskennassa oletetaan, että edellisen ojituksen ajankohta tunnetaan (korkeintaan 40 v sitten). Ojitushetken ojasyvyys voidaan antaa, jos se tiedetään, tai annetaan ojasyvyudeksi luku -9, jolloin ohjelma tekee ennusteen myös taaksepäin. Lisäksi annetaan ennusteen tekemisvuosi ja ojasyvyys ennustevuonna (pakollinen tieto). Lähtötiedot ovat muuten samat ennustemalliversiossa 1.

Jos mallille annetaan lähtötietoina sekä ojitushetken, että ennustehetken ojasyvyudet, niin ohjelma tekee mallinnuksen siten, että ennustehetken ojasyvyys on annettu arvo. Jos mallille annetaan vain ennustehetken ojasyvyys, niin ohjelma arvioi ojitushetken ojasyvyyden ja tekee ennusteen sekä taaksepäin yhteensä 50 v ajalle (esimerkiksi 40 v taaksepäin ja 10 v eteenpäin). Esimerkit ennustemalliversioon 2 tulostuksista on esitetty kuvissa (Kuva 11 Esimerkki malliversioon 2 tulostuksista, kun käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 6. Kuva 11), kun käytetyt parametrit ovat taulukon (Taulukko 7) mukaiset.

Esimerkki Ennustemallin 2 tulostuksista on esitetty kuvissa (Kuva 10 Esimerkki Ennustemallin 1 tulostuksista, kun käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 5.), kun laskennassa käytetyt parametrit on esitetty taulukossa (Taulukko 7). Kuva 11 ennustettu ojan syvyyden keskiarvo alussa vuonna 1984 on 0,96 m ja kohde on paksuturpeinen (1 m). Ennustevuosi on 2024, jolloin ojasyvyys tiedetään olevan 0,5 m. Oja madaltuu ensimmäisen kymmenen vuoden aikana keskiarvona syvyyteen 0,68 m eli madaltuminen on 28 cm. 1994–2004 madaltuminen on 11 cm, 2004–2014: 5 cm, 2014–2024: 2 cm ja 2024–2034: 1 cm.



Kuva 11 Esimerkki malliversion 2 tulostuksista, kun käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 6.

|      | 95 % | 75 % | Keskiarvo | 25 % | 5 %  |
|------|------|------|-----------|------|------|
| 1984 | 0,97 | 0,96 | 0,96      | 0,95 | 0,94 |
| 1994 | 0,80 | 0,73 | 0,68      | 0,63 | 0,56 |
| 2004 | 0,73 | 0,63 | 0,57      | 0,50 | 0,41 |
| 2014 | 0,71 | 0,60 | 0,52      | 0,44 | 0,33 |
| 2024 | 0,70 | 0,58 | 0,50      | 0,42 | 0,30 |
| 2034 | 0,70 | 0,58 | 0,49      | 0,40 | 0,28 |

Taulukko 8 Yllä olevan kuvaajan tulokset 10 vuoden välein ojitusvuodesta 1984 vuoteen 2034.

## Lähteet

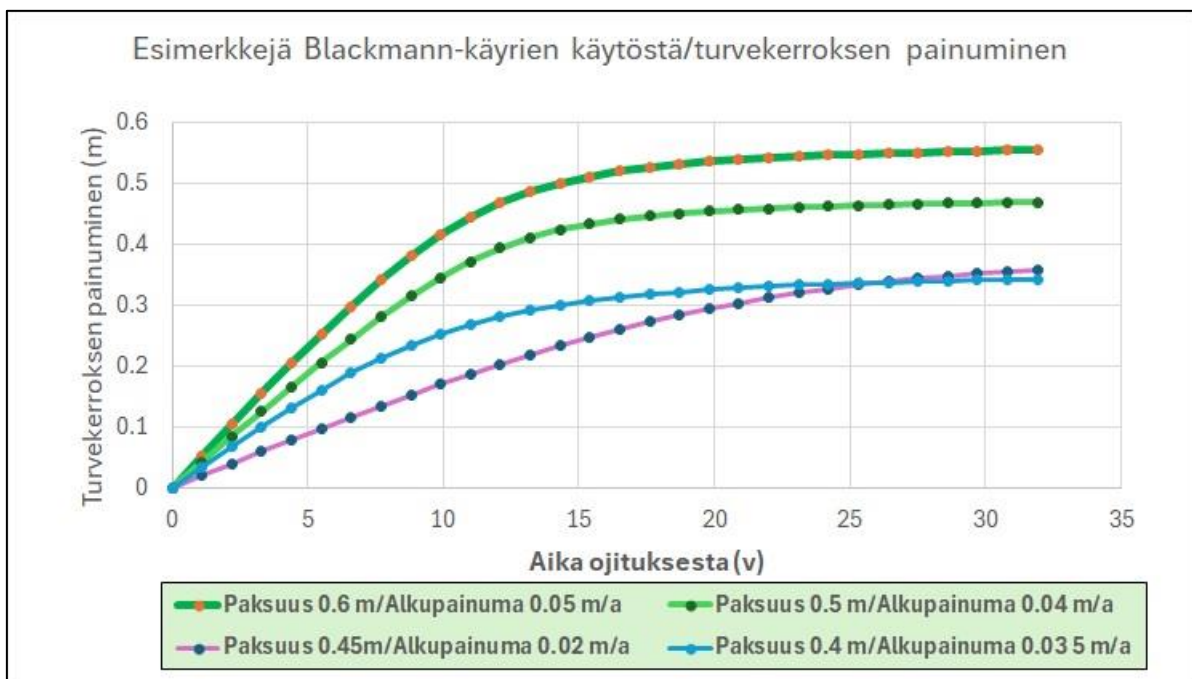
Joensuu, Samuli, Martti Vuollekoski & Maija Kauppila 2014: Ojien ja vesiensuojelurakenteiden kunto vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisematon aineisto. Saatavana pyydettäessä.



## Liite 1. Ennustemallin muuttujat ja mallissa käytetyt kaavat

### Turvekerroksen painumista ja uuden turvekerroksen kasvua kuvaavat mallit

Turvekerroksen painumista ja uuden turvekerroksen paksuuden kasvua kuvataan mallissa Blackmann-käyrien avulla (**Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**). Painumismallissa lähtötietoina tarvitaan turvekerroksen paksuus ojitushetkellä (m) ja ojituksesta kulunut aika (v). Mallissa tarvitaan kolme aineistojen perusteella kalibroituja parametria: 1) alkupainuma, joka kuvaa käyrän kaltevuutta ennustejakson alussa, 2) parametri ksii, joka kuvaa sitä, kuinka nopeasti käyrä alkaa tasaantua ja 3) maksimipainuma. Vastavat kolme parametria tarvitaan uuden turvekerroksen kasvua kuvaavassa mallissa. Eri tilanteiden parametrit on esitetty taulukossa (**Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**).



Liite 1/Kuva 1 Esimerkkejä Blackmann-käyrien käytöstä turvekerroksen painumisen arviointiin, kun selittäjänä on aika edellisestä ojituksesta kulunut aika.

MEMMA-aineistojen avulla tehtiin ennustemallit neljälle erityyppiselle profiilille:

- 1) Paksuturpeiset profiilit sarkaojissa (turvepaksuus ojitushetkellä yli 0.8 m)
- 2) Ohutturpeiset profiilit sarkaojissa (turvepaksuus 0.3 – 0.8 m)
- 3) Kivennäismaiden profiilit (turvepaksuus alle 0.3 m)
- 4) Kokoojajojien ennustemalli

Erityyppisten profiilien parametrit on esitetty taulukossa 1/Liite 1. Ennustemalleja ei ole mahdollista esittää yhden kaavan avulla, vaan ojasyvyyden madaltumisen laskentaan tarvitaan useita kaavoja, jotka ovat järkevintä toteuttaa jollakin ohjelmointikielillä (Excel-tiedostossa ohjelmointikieli on Visual Basic).

|              | Paksuturpeiset alueet (>= 0.8 m) | Ohutturpeiset alueet (0.3..0.8 m) | Kivennäismaan alueet (<0.3 m) | Kokoojat |  |
|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------|--|
| P_Tlaji(1)   | 0.58320                          | 0.40599                           | 0.36436                       | 0.47077  | Turvekerroksen painuminen  |
| P_Tlaji(2)   | 0.49912                          | 0.41230                           | 0.41230                       | 0.41230  | ja turvelajin vaikutus   |
| P_Tlaji(3)   | 0.56609                          | 0.44122                           | 0.31230                       | 0.39290  |  |
| P_HPost(1)   | 0.30000                          | 0.25120                           | 0.22000                       | 0.21100  | Turvekerroksen painuminen  |
| P_HPost(2)   | 0.24098                          | 0.17345                           | 0.22283                       | 0.15110  | ja maatuneisuuden vaikutus   |
| P_HPost(3)   | 0.19154                          | 0.15192                           | 0.15898                       | 0.11230  |  |
| P_HPost(4)   | 0.16036                          | 0.14821                           | 0.01000                       | 0.05110  |  |
| P_HPost(5)   | 0.11200                          | 0.12300                           | 0.01000                       | 0.02110  |  |
| P_Ravinne(1) | 0.00110                          | 0.00112                           | 0.00112                       | 0.00092  | Suon ravinteisuuden vaikutus (GTK)   |
| P_Ravinne(2) | 0.01111                          | 0.01111                           | 0.00112                       | 0.00120  |  |
| P_KivMaa(1)  | 0.04070                          | 0.02927                           | 0.01743                       | 0.02034  | Kivennäismaalajin vaikutus   |
| P_KivMaa(2)  | 0.01678                          | 0.01876                           | 0.01675                       | 0.01295  |  |
| P_KivMaa(3)  | 0.01121                          | 0.01591                           | 0.01279                       | 0.00525  |  |
| P_KivMaa(4)  | 1.00420                          | 0.70765                           | 0.79679                       | 0.67000  |  |
| PBL(1)       | 0.04651                          | 0.03923                           | 0.01576                       | 0.03987  | Alkukaltevuus (painuma)/Blackmann-käyrien parametrit/turpeen painuminen ajan funktiona |
| PBL(2)       | 0.19024                          | 0.18660                           | 0.18660                       | 0.16304  | Ksii   |
| PBL(3)       | 0.67800                          | 0.56700                           | 0.23400                       | 0.60000  | Max. Painuma (m)   |
| KBL(1)       | 0.00261                          | 0.00261                           | 0.00230                       | 0.04000  | Alkukasvu (kaltevuus)/Blackmann-käyrien vaikutus/turvekerroksen kasvu ajan funktiona   |
| KBL(2)       | 0.00100                          | 0.00100                           | 0.00100                       | 0.00000  | Ksii   |
| KBL(3)       | 0.05130                          | 0.05130                           | 0.03003                       | 0.04182  | Max. kasvu (m)   |
| P_VA(1)      | 0.00000                          | 0.00000                           | 0.00000                       | 0.00220  | Kokoojalle yläpuolisen valuma-alueen vaikutus (ei käytetä sarkaojille)                 |
| P_VA(2)      | 0.00000                          | 0.00000                           | 0.00000                       | 0.15120  |  |
| LeveysPara   | 0.1056                           | 0.1056                            | 0.1056                        | 0.1056   | Leveysasteella on hyvä korrelaatio lämpösunnan kanssa ja se on helppo parametri!       |

Liite 1/Taulukko 1 Ennustemallin parametrit erityyppisille profiileille.

## Ennustemallin kaavat

Kehitetty ennustemalli on ohjelmoitu Excel-käyttöliittymän ja Visual Basic-ohjelmointikielen avulla helpokäyttöiseen muotoon, joka on ladattavissa Tapion verkkosivuilta aineistopankin laskureista<sup>1</sup>. Jos käyttäjä haluaa tehdä ennustemallin osaksi omaa työkaluaan, niin kaavat on esitetty siinä muodossa, jossa ne on helpointa liittää omiin sovelluksiin jonkun ohjelmointikielen avulla. Muuttujien nimet ovat samat kuin taulukossa (**Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**). Mallin parametrit on jaettu neljään luokkaan: p aksuturpeiset alueet, ohutturpeiset alueet, kivennäismaat ja kokoojat. Jos käyttäjä ohjelmoi mallin, niin parametrikombinaatio on valittava sen mukaan, mille kohteelle ennuste laaditaan.

- Lasketaan kivennäismaan paksuus (kommentti)

$KivPaks = OjaSyv - 0.1 - Tpaks$  ! Huom: 0.1 on oletusarvo ohuelle turvekerrokselle

JOS  $KivPaks < 0$  NIIN  $KivPaks = 0$

- Lasketaan apumuuttujat

$LeveysEff = 1 + (66 - LeveysAste) / 12 * LeveysPara$  !Huom: leveysaste välillä 60 – 72)

$Apu1 = P\_Tlaji(Tlaji) * Tpaks$

$Apu2 = P\_HPost(HPost) * Tpaks$

$Apu2B = P\_Ravinne(2) * (6 - Ravinne)$

$Apu3 = (Apu1 + Apu2 + Apu2B) * LeveysEff$

$Apu11 = P\_KivMaa(KivMaa) * KivPaks$

JOS Sarka = 1 NIIN  $Va\_EFF = 0$

JOS ValumaA > 200 NIIN ValumaA=200

JOS Sarka = 2 NIIN  $Va\_EFF = P\_VA(1) * (ValumaA)^{P\_VA(2)}$

- Lasketaan ojasyyvyys ajanhetkelle V joko yhden vuoden laskenta TAI ohjelmassa silmukka, jossa V saa vuorollaan arvot 0, 1, .. 50

$Apu4 = 0.5 * PBL(1) * V + 0.5 * Apu3 - 1 * 0.5 * ((Apu3 + PBL(1) * V)^2 - 4 * Apu3 * PBL(1) * V * (1 - PBL(2)))^{0.5}$

$Apu5B = P\_Ravinne(2) * (V)^{0.5} * (6 - Ravinne)$

$Apu5 = Apu5B + 0.5 * KBL(1) * V + 0.5 * KBL(3) - 1 * 0.5 * ((KBL(3) + KBL(1) * V)^2 - 4 * KBL(3) * KBL(1) * V * (1 - KBL(2)))^{0.5}$

$Apu12 = Apu11 * V * P\_KivMaa(4)$

$Malli\_OjaSyv(V) = OjaSyv - Apu4 + Apu5 - Apu12 - Va\_EFF * V$



Maistraatinportti 4 A

00240 Helsinki

tapio@tapio.fi

[www.tapio.fi](http://www.tapio.fi)