



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Metsätalousinsinööri (AMK)

# Tekoälyhavaintojen luotettavuus ja hyödynnettävyys osana taimi- konhoitoa

Paavo Korhonen

Opinnäytetyö, toukokuu 2025

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



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2025**  
**Metsätalouden koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Paavo Korhonen

Nimeke  
Tekoälyhavaintojen luotettavuus ja hyödynnettävyys osana taimikonhoitoa

Toimeksiantaja  
Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjala Ry

**Tiivistelmä**

Metsänhoitotyöt ja niiden oikea-aikainen ajoitus on merkittävä osa metsäomaisuuden hoitoa. Hoitotöiden viivästyminen voi aiheuttaa metsänomistajalle merkittävää taloudellista tappiota ja siten heikentää metsätalouden kannattavuutta. Metsien pitäminen elinvoimaisena parantaa lisäksi niiden kykyä sietää voimistuvia sään ääri-ilmiöitä ja tuhoja kohtaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tekoälyn ja sen tekemien havaintojen luotettavuutta ja hyödynnettävyyttä taimikonhoitotarpeen tunnistamisessa. Tutkimusta varten toteutettiin maastotiedonkeruu kesällä 2024, jonka jälkeen tulokset analysoitiin talvella 2025. Tutkittavista kuvioista suurimmalla osalla oli tekoälyhavainto. Lisäksi kohteiden taimikonhoito oli usein myöhässä. Aineiston analysointi suoritettiin logistisen regressioanalyysin avulla.

Tuloksista oli havaittavissa, että taimikoiden lehtipuuston pituus aiheuttaa suurimman vedonlyöntisuhteen eli riskin oikealle havainnolle. Tekoälyn tekemät havainnot soveltuvat parhaiten jo varttuneiden taimikoiden hoitotöiden kartoittamiseen. Samalla se hyödyntää myös muuta käytössä olevaa metsävara- ja kaukokartoitusaineistoa.

Kieli  
suomi

Sivuja 31

Asiasanat  
metsänhoito, tekoäly, kaukokartoitus, taimikonhoito



**THESIS**  
**May 2025**  
**Degree Programme in Forestry**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Paavo Korhonen

Title  
The Reliability and Usability of Artificial Intelligence Observations as Part of Sapling Care

Commissioned by

Abstract

Forest management tasks and their timely execution are crucial for managing forest assets. Delays in these tasks can lead to significant financial losses for forest owners and reduce the profitability of forestry. Keeping forests healthy also enhances their ability to withstand increasingly severe weather events and damage.

The aim of this thesis was to examine the reliability and usefulness of artificial intelligence observations in identifying the need for sapling care. For the research, field data was collected in the summer of 2024, and the results were analyzed in the winter of 2025. Most of the studied plots had AI observations. Additionally, the sapling care for the sites was often delayed.

Data analysis was conducted using logistic regression analysis. The results revealed that the height of deciduous trees in saplings had the greatest impact on the accuracy of correct observations. The observations made by artificial intelligence are best suited for assessing the care needs of more mature saplings, with the added benefit of utilizing other forest inventory data and remote sensing information.

Language  
Finnish

Pages 31

Keywords  
forest management, AI, remote sensing, sapling care

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Taimikonhoidon tarpeen tunnistaminen .....	6
2.1	Varhaisperkaus .....	6
2.2	Taimikonharvennus .....	7
2.3	Taimikonhoidon ajoituksen merkitys .....	7
2.4	Taloudelliset kannustimet .....	9
3	Kaukokartoitusaineistot .....	9
3.1	Kaukokartoitus .....	9
3.2	Ilmakuvaus .....	10
3.3	Laserkeilaus .....	11
3.4	Satelliittikuvaus .....	11
3.4.1	Landsat .....	12
3.4.2	Copernicus .....	12
4	Tekoäly ja sen hyödyntäminen metsätaloudessa .....	13
5	Tutkimuksen tausta tavoite .....	14
6	Aineisto ja menetelmät .....	16
7	Tulokset .....	18
7.1	Koealat .....	18
7.2	Kokonaisuus .....	19
7.3	Kuusi kasvatettavana puulajina .....	21
7.4	Lehtipuuston vaikutus .....	21
8	Pohdinta .....	22
8.1	Tulosten tarkastelu .....	22
8.2	Tutkimuksen luotettavuus .....	27
8.3	Jatkotutkimustarpeet .....	28
	Lähteet .....	30

## 1 Johdanto

Taimikonhoito ja sen oikea ajoittaminen on yksi metsän kasvatuksen peruspilareista. Taimikoiden varhaisperkauksella ja harvennuksilla vapautetaan kasvutilaa ja parannetaan uuden puusukupolven mahdollisuuksia hyvään arvokasvuun.

Metsäteollisuuden kasvavan puuntarpeen myötä taimikonhoitotoimenpiteiden merkitys kasvaa entisestään. Suomen Metsäkeskuksen (2023) mukaan taimikonhoitorästejä on metsissämme noin 620 000 ha, joka on noin neljännes vähemmän kuin VMI12 inventoinnissa. Vaikka hoitorästien laskuun on vaikuttanut energiapuun kohonnut kysyntä, niin kehitykseen on vaikuttanut myös taimikoiden järeytyminen seuraavaan kehitysluokkaan.

Metsänhoitotöiden kartoittaminen ja arviointi työllistää metsänhoitopalveluita tarjoavia yrityksiä, mihin on kehitetty ja kehitetään erilaisia maastotöitä helpottavia ja vähentäviä työkaluja. Esimerkiksi suomalainen Terramonitor oy on kehittänyt koko maan kattavan tekoälyä hyödyntävän VESA-indeksin, jonka tarkoitus on helpottaa vesakoituneiden taimikoiden ajantasaista tunnistamista ja hoitotoimenpiteiden ajoittamista (Terramonitor 2019). Metsänhoitoyhdistykset ovat myös ottaneet tekoälyn käyttöönsä helpottaakseen taimikonhoitotöiden kartoittamista.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä taimikonhoitotöiden kartoittamiseen tekoälyn avulla. Lisäksi tarkoitus on selvittää, kuinka luotettavia tekoälyn tekemät havainnot ja ehdotukset taimikonhoitotoimenpiteistä ovat. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjala ry, joka hyödyntää MHY-ketjun uuden metsäjärjestelmän taimikonhoitoehdotuksia luovaa tekoälysovellusta. Opinnäytetyötä tehdään myös yhteistyössä Sitowise Oyj:n kanssa, joka on metsänhoitoyhdistysten Leafpoint-metsäjärjestelmän ohjelmistotoimittaja ja kehittäjä.

## 2 Taimikonhoidon tarpeen tunnistaminen

### 2.1 Varhaisperkaus

Taimikon varhaisperkauksen tarkoituksena on poistaa vain havupuuntaimia nopeakasvuisempi lehtipuusto. Perkaus tehdään kasvupaikan viljavuudesta hie- man riippuen pääsääntöisesti 4–6 vuoden kuluttua istutuksesta, kun lehtipuusto alkaa tiheydellään ja pituudellaan uhata kasvatettavan puuston kasvuedellytyk- siä. Taimet ovat kuusen osalta ehtineet yleensä metrin ja männyllä 1-2 m pi- tuusvaiheeseen. (Saksa., Miina. & Uotila. 2016, 44; Äijälä., Koistinen. A., Sved., Vanhatalo. & Väisänen. 2014, 86.)

Taimikon kasvatustiheyttä ei säädellä vielä varhaisperkauksessa. Taimet pyri- tään kasvattamaan istutus- ja kylvötiheydessä taimikonharvennukseen saakka, jotta puiden laatuominaisuudet olisivat paremmat. Erityisesti liian väljästi kasva- neiden mäntyjen oksien paksuuskasvu on voimakasta, jolloin erityisesti tyvitukin arvo laskee. Ainoastaan männyn kylvötuppaita voidaan harventaa kilpailun lie- vittämiseksi. (Huuskonen., Hynynen. & Valkonen. 2014, 64).

Varhaisperkauksen tarve voidaan tunnistaa helpoiten kesällä lehtien ollessa täysikasvuisia, jolloin myös lehtien varjostava vaikutus on helpointa havaita. Varjostuksen aiheuttamien haittojen minimoimiseksi varhaisperkauksen toteut- taminen myös etuajassa voi olla perusteltua. (Huuskonen. ym. 2014, 63; Saksa. ym. 2016, 47).

Varhaisperkauksen ajoittaminen oikeaan hetkeen on tärkeää. Lehtipuiden eh- tiessä etukasvuiksi ne alkavat varjostaa ja aiheuttamaan tuhoja kasvatetta- vassa puustossa. Havupuiden taimet alkavat nopeasti kärsiä valon vähyydestä, jolloin kasvu taantuu erityisesti männyillä. Myöhästyneen hoidon jälkeen taimien kasvun toipuminen voi viedä useita kasvukausia. (Saksa. ym. 2016, 59-61.)

Hidastunut kasvu voi jopa johtaa varhaisperkauksen toistamiseen ennen taimikonharvennusta (Huuskonen. ym. 2014, 63).

## 2.2 Taimikonharvennus

Taimikonharvennuksella ja nuoren metsän hoidolla lisätään kasvutilaa varttuneessa ja järeytyneessä taimikossa. Harvennuksella mahdollistetaan taimikon riittävä kasvu ja elinvoima ensiharvennukseen saakka. Samalla myös ensiharvennuksen taloudellinen kannattavuus paranee. (Äijälä ym. 2014, 88, 146.)

Taimikon optimaaliseen kasvatustiheyteen pyritään yhdellä oikein ajoitetulla harvennuksella. Kuusentaimikot harvennetaan lopulliseen tiheyteensä 3-4 metrin pituudessa 1 800 - 2 000 r / ha tiheyteen. Mäntyä pyritään paremman laatukehityksen vuoksi kasvattamaan hieman kuusta tiheämpänä 5-7 m pituuteen saakka, jolloin harvennus tehdään 2 000 – 2 200 r / ha tiheyteen. (Huuskonen. ym. 2014, 64-66.) Mäntyä suositellaan paremman laatukehityksen vuoksi kasvattamaan myös 2 000 – 3 000 r / ha tiheydessä (Saksa. ym. 2016, 69).

Taimikonharvennuksen myöhästyminen lisää tuotostappioita. Aikainen taimikon harvennus lisää puiden tilavuuskasvua erityisesti tyvessä mutta myös latvassa. Samalla myös pienimpien puiden tilavuuskasvu paranee ja on verrattain suurempaa kuin valtapuilla. (Saksa. ym. 2016, 74.)

## 2.3 Taimikonhoidon ajoituksen merkitys

Taimikonhoito yleisesti on merkittävä osa metsän uudistamisketjua. Hoitotoimenpiteillä varmistetaan ja ylläpidetään uudistettavan puusukupolven jatkokehityksen mahdollisuudet ja luodaan edellytykset metsikön paremmalle tuottavuudelle. Ajallaan tehdyn taimikonhoidon vaikutus koko kiertoajalla lisää

tutkimusten mukaan metsikön tuottavuutta jopa 20 % ja tukkipuun osuutta jopa 30 %. (Saksa. ym. 2016, 8-10.)

Taimikonhoito on istuttamisen ja maanmuokkauksen jälkeen uudistamisketjun merkittävin kiertoajan alun investointi. Kustannusten minimoimiseksi hoitokerrat on syytä pyrkiä minimoimaan oikealla ajoittamisella yhteen varhaisperkaukseen ja yhteen taimikonharvennukseen. Rehevillä ja kosteilla kasvupaikoilla varhaisperkauksen tarve saattaa myös uusiutua vesasyntyisten lehtipuiden nopean pituuskasvun takia tai, jos ensimmäinen perkaus on tehty myöhässä ja puiden kasvu on taantunut (Huuskonen. ym. 2014, 63).

Ajallaan tehdyt hoitotoimenpiteet lisäävät positiivista kassavirtaa metsikön kiertoajalla. Viivästyminen aiheuttaa hoitovaiheessa lisäkustannuksia erityisesti rehevillä kasvupaikoilla lehtipuuston nopean kasvun ja järeytymisen seurauksena. Vastaavasti ajallaan tehdyt toimenpiteet lisäävät kasvatettavan puuston järeytymistä arvokkaampiin puutavaralajiluokkiin ja siten myös kantorahatulot lisääntyvät. Luonnonvarakeskuksen tekemän VMI-aineisoihin perustuvan skenaariolaskennan perusteella nykyistä aktiivisemmalla taimikonhoidolla voitaisiin seuraavan sadan vuoden tarkastelujaksolla lisätä metsätalouden kantorahatuloja jopa 1 700 milj. €. (Luonnonvarakeskus. 2024.)

Hoitotoimenpiteillä ja elinvoimaisuuden säilyttämisellä voidaan myös osaltaan ennaltaehkäistä metsille tulevaisuudessa aiheutuvia tuhoriskejä, jotka lisääntyvät ilmastonmuutoksen myötä. Elinvoimainen ja järeytymään päässyt taimikko kestää paremmin tuuli ja lumituhoja. Hyvin hoidettu metsikkö myös sopeutuu paremmin kasvuympäristössä tapahtuviin muutoksiin. (Äijälä. ym. 2014, 28-29, 51-60.)

Taimikonhoidon ajoittaminen on siis tasapainoilua hoitokustannusten minimoimisen ja metsikön kasvukunnon säilyttämisen välillä. Kasvatusketjun taloudellisen tuottavuuden kannalta oikea-aikaisella hoidolla metsikön taloudesta saataisiin mahdollisimman kannattavaa. Tärkeintä tulevaisuuden kannalta on kuitenkin, että taimikonhoito tehdään.

## 2.4 Taloudelliset kannustimet

Metsätaloudessa on käytössä taloudellisilla kannustimilla, joilla tuetaan ja kannustetaan metsänomistajia toteuttamaan erilaisia taloudellista panostusta vaativia metsänhoitotoimenpiteitä. Suurimpia metsän kasvuun tehtäviä investointeja ovat metsänuudistamisen jälkeen tehtävät taimikon varhaisperkaus, taimikon harvennus sekä myös mahdolliset terveyslannoitukset

Kestävän metsätalouden rahoituslailla eli kemera-tuilla tuettiin yksityisiä metsänomistajia muun muassa taimikonhoito-, suometsien hoito- ja terveyslannoitushankkeissa. Lain voimassaolo lakkasi 31.12.2023 ja sen korvasi uusi Metka-järjestelmä. (Metsäkeskus 2024.)

Uusi metsätalouden kannustejärjestelmä eli Metka-järjestelmä tuli voimaan vuoden 2024 alussa. Rahoitusjärjestelmä mukailee pääpiirteissään vanhaa Kemera-järjestelmää, mutta on muuttunut ja täsmentynyt tukiehtojen osalta. Esimerkiksi taimikonhoitotyöt voi aloittaa nyt ilman ennakko ilmoitusta ja tukihakemus tehdään vasta töiden toteutuksen jälkeen. (Maa- ja Metsätalousministeriö. 2023.)

## 3 Kaukokartoitusaineistot

### 3.1 Kaukokartoitus

Kaukokartoituksella tarkoitetaan metsätaloudessa metsävarojen määrittämistä ja kartoittamista esimerkiksi ilmakuvien tai satelliiteilla saadun aineiston avulla ilman erillisiä maastomittauksia. Kaukokartoituksen kehitys on alkanut Ranskalaisen G. F. Tournachon ottamasta ilmakuvasta, jonka jälkeen eri menetelmien kehitys on ollut nopeaa 1900-luvun puolivälin jälkeen. Kehitystä ovat

vauhdittaneet erilaiset sotilastarkoituksiin tarvittavat sovellukset. (Auvinen., Pukala., & Vesa. 1997, 61–62.)

Kaukokartoitus on merkittävä osa metsien inventointia ja metsävaratietoa Suomessa. Perinteisillä menetelmillä maastossa tehtävät mittaukset ovat suhteessa hyvin paljon hitaampia ja siten myös kalliimpia. Kaukokartoituksen myötä metsien inventoinnin kustannukset ovat laskeneet merkittävästi, mikä on mahdollistanut ajantasaisen metsävaratiedon laajemman käytön yksittäisten metsänomistajien ja metsäalan toimijoiden keskuudessa. (Talkkari. & Lehmonen. 2021, 71).

### **3.2 Ilmakuvaus**

Ilmakuvausta on hyödynnetty 1920-luvun jälkeen osana kartoitusta. Kuvauksessa ollaan siirrytty käyttämään perinteisten mustavalkokuvien jälkeen tavalista värikuvaa, väärävärikuvaa sekä numeerista eli digikuvaa.

Väärävärikuvista pystytään tunnistamaan havu- ja lehtimetsät toisistaan valon eri aallonpituusalueiden avulla, mikä helpottaa esimerkiksi metsäsuunnittelua. Numeeriset kuvat puolestaan voidaan yhdistää osaksi paikkatietoa, jolloin niiden spatiaalinen tarkkuus paranee. (Kangas., Päivinen., Holopainen. & Maltamo. 2011, 134-137.)

Suomessa Maanmittauslaitos toteuttaa kansallista ilmakuvausohjelmaa, jonka tarkoituksena on kuvata Suomen alueet kolmen vuoden välein pois lukien aivan pohjoisin Lappi. Ohjelman tuottamat aineistot ovat kaikkien kansalaisten saatavilla mm. maanmittauslaitoksen karttapaiikka-palvelusta. (Maanmittauslaitos. 2024.)

Ilmakuvauksessa on alettu viimeisten vuosien aikana käyttää myös kauko-ohjattavia droneja. Dronella tehtävä ilmakuvaus mahdollistaa pienemmille metsäalueille varsin kustannustehokkaan ja nopean vaihtoehdon perinteiseen ilmakuvaukseen verrattuna. (Talkkari. & Lehmonen. 2021, 66-68.)

### 3.3 Laserkeilaus

Laserkeilaus on kaukokartoituksessa nimensä mukaisesti laserin avulla tehtävää mallinnusta, jota hyödynnetään metsävarojen inventoinnissa ja mallinuk- sessa. Keilaus voidaan toteuttaa joko maasta tai ilmasta. Lentolaserkeilauk- sessa lasertykki on integroitu osaksi lentokonetta, jolla keilattava alue lenne- tään. Laserkeilaus on ollut osa metsätalouden tutkimusta vuodesta 2008 lähtien ja sen avulla tehtävä kuvioittainen inventointi on noussut merkittäväksi osaksi metsävaratiedon hankintaa, jonka etuja erityisesti ovat sen edullinen yksikkö- kustannus ja kehittyvä tarkkuus. (Talkkari. & Lehmonen. 2016, 62-79).

Suomen alueiden laserkeilaus toteutetaan kansallisen laserkeilausohjelman mukaisesti kuuden vuoden sykleissä, lukuun ottamatta Pohjois-Lappiin kuuluvia alueita. Ohjelman tuottaman aineiston pistetiheys on 5 pistettä neliömetrillä, josta tuotetaan myös tiheydellä 0,5 pistettä neliömetrillä oleva harvennettu ai- neisto. Harvempi aineisto on kaikkien kansalaisten hyödynnettävissä ja ladatta- vissa Maanmittauslaitoksen Karttapaiikka-palvelimen kautta, kun tarkemman ai- neiston hyödyntäminen vaatii erillisen käyttöluvan. (Maanmittauslaitos. 2024.)

### 3.4 Satelliittikuvaus

Maata kiertää tuhansia satelliitteja, joilla kerätään sekä välitetään tietoa eri käyt- tötarkoituksiin. Osa satelliiteista on vanhentuneita eivätkä ne ole enää käytössä ja osa satelliiteista on tarkoitettu kaupalliseen tiedonvälitykseen, mutta jotkin niistä on erityisesti tarkoitettu sotilaskäyttöön. Valtioilla on omia satelliittiohjelmi- aan, joilla ne tuottavat ja välittävät tietoa eri tarkoituksiin. Metsätalouden tutki- muksen kannalta merkittävimpiä kansainvälisiä satelliittiohjelmia ovat yhdysval- talainen Landsat sekä Euroopan avaruusjärjestö ESA:n (European Space Agency) Copernicus-ohjelman Sentinel-2 satelliittijärjestelmä (Talkkari. & Leh- monen. 2021, 60).

### 3.4.1 Landsat

Landsat-satelliittiohjelma on Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallintavirasto NASA:n ja yhdysvaltain Geologian tutkimuslaitoksen vuodesta 1972 ylläpitämä ohjelma, joka tarkoitus ensimmäisestä laukaisusta saakka on ollut tuottaa tietoa maapallon resursseista. Ohjelmaa on jatkettu ajan saatossa kahdeksalla uudella satelliitilla, joista viimeisin laukaistiin kiertoradalleen vuonna 2021. (Landsat Science. 2024a.)

Suomen metsätaloudessa hyödynnettävä aineisto tuotetaan optisilla kaukokartoitussatelliiteilla Landsat-7 ja Landsat-8, joiden kiertoradat on säädetty kulkemaan lähellä maapallon napa-alueita. Landsat-8 kerää tietoa yhdeksältä eri sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueelta ja kuvien maastotarkkuus on 30 m. (Talkkari. & Lehmonen. 2021, 60–62.) Landsat-8 ottaa päivässä 725 kuvaa, kun Landsat-7 ottaa vain 438 kuvaa päivässä. Suurempi kuvaustiheys antaa paremmat mahdollisuudet kuvata alueita pilvettömään aikaan, mikä lisää tuotetun kuva-aineiston tarkkuutta. (Landsat Science. 2024b.)

### 3.4.2 Copernicus

Euroopan avaruusjärjestö ESA:n Copernicus-satelliittiohjelma on Euroopan komission hallinnoima ja koordinoima hanke, jonka ensimmäinen satelliitti Sentinel-1 laukaistiin maata kiertävälle radalle vuonna 2014. Ohjelmaa rahoittavat Euroopan unionin jäsenmaa. Sen tarkoituksena on tuottaa käyttäjilleen reaaliaikaista tietoa sekä antaa tutkijoille ja eri päätöksentekijöille työkaluja kestävien ympäristöratkaisujen löytämiseksi. Satelliittien tuottama informaatiota hyödynnetään laajasti myös metsätalouden tutkimukseen maailmanlaajuisesti. (Copernicus. 2024a.)

Copernicus-ohjelmaan kuuluvat Sentinel-1, -2, -3 ja -6 ovat ohjelman erityistarpeisiin vastaavia hankkeita, kun taas Sentinel-4 ja -5 ovat Euroopan

satelliittijärjestö Eumetsatin sääsatelliitteihin liittyviä välineitä. (Copernicus. 2024b.) Sentinel-2 koostuu kahdesta keskenään samanlaisesta satelliitista, jotka kiertävät maata 786 km korkeudessa suunnattuna 180° kulmaan toisiinsa nähden. Satelliitin kuvantaminen perustuu maan pinnasta heijastuvan auringonvalon havaitsemiseen multispektri-instrumentin avulla. (Sentinel online. 2024a.)

Sentinel-2 pystyy havaitsemaan maan pinnalla tapahtuvat muutokset nopeasti. Ohjelman kaksi samanlaista satelliittia kiertävät maata aurinkosynkronoiduilla kiertoradoilla ja kuvantavat maanpintaa 290 km levyisiltä kaistoilta. Yhden satelliitin täyteen kuvauskierrokseen kuluu 10 vuorokautta, jolloin ne yhdessä kuvaavat koko maapallon viidessä vuorokaudessa. Tiheä kuvaustahti antaa paremmat mahdollisuudet kuvata alueita pilvettömään aikaan, jolloin myös havainnot ovat tarkempia. (Sentinel online. 2024b.)

## **4 Tekoäly ja sen hyödyntäminen metsätaloudessa**

Tekoälyllä tarkoitetaan yleisesti koneen kykyä jäljitellä ihmisen päättelykykyä ja ajattelua. Tekoälyyn perustuva teknologiaa on käytetty jo 50 vuoden ajan, mutta viimeisten vuosien aikana se on ottanut suuria kehitysaskelia, mikä on johtanut myös sen nopeaan yleistymiseen osana arkielämää. Euroopan unioni on nostanut tekoälyn kehittämisen yhdeksi prioriteetikseen ja sitä pidetään myös yhtenä yhteiskunnan digitalisaation kulmakivenä. (Euroopan parlamentti. 2023, 1-2.)

Tekoälyn kehitys muuttaa tulevaisuuden yhteiskuntaa ja työelämää. Tekoälyn kehittämisessä nähdään uhkia sekä mahdollisuuksia, minkä takia kehitystyössä tarkoituksien eettisyys on suuressa roolissa. Kehityksellä tulee olemaan vaikutuksia tulevaisuuden työelämään, kun jatkossa osa ihmisen tekemistä työtehtävistä voidaan antaa tekoälyn hoidettaviksi. Muutoksen uskotaan myös parantavan työelämän tuottavuutta, kun ihmisen ja tekoälyn yhteistyön ansiosta työnteko muuttuu tehokkaammaksi. (Suomen yrittäjät. 2023.)

Tekoäly kykenee ajattelun ja päättelyn lisäksi myös oppimaan, joka on tekoälyn yksi osa-alue. Tekoälyn kykyä oppimiseen kutsutaan koneoppimiseksi, jonka algoritmit käyttävät laskennallisia tapoja oppiakseen annetusta aineistosta ilman ennalta määrättyä malliyhtälöä. Oppimiseen käytettävä tekniikka jaetaan ohjattuun ja ohjaamattomaan oppimiseen. (MathWorks. 2024.)

Ohjattu koneoppiminen tuottaa mallin, jonka kykenee ennustamaan saatavilla olevien todisteiden ja vallitsevan epävarmuuden perusteella. Ohjelman algoritmi kouluttaa mallin annettujen syötteiden ja tulosten perusteella tuottamaan perusteltuja ennusteita. Ohjaamaton koneoppiminen puolestaan havaitsee annetusta aineistosta piilokuvioita tai luontaisia muotoja, minkä takia sitä käytetään luomaan päätelmiä lähdeaineistosta ilman merkittäviä vastauksia. (MathWorks. 2024.)

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltava tekoälysovellus hyödyntää myös koneoppimista. Ohjelma hyödyntää ohjattua oppimista ja sen opetusaineistona on käytetty Suomen metsäkeskuksen avoimen metsävaratiedon Kemera-toteutusilmoituksia tehdyistä taimikoiden varhaisperkauksista ja harvennuksista sekä satelliittikuvia ennen ja jälkeen työn toteutuksesta. Ohjelman tarkoituksena on tunnistaa varhaisperkaus- ja taimikonharvennuskohteet, millä pyritään perinteisten maastotarkastusten vähentämiseen. (Lamminsalo. A. 2021, 23-24.)

## **5 Tutkimuksen tausta tavoite**

Taimikonhoitorästit ovat merkittävä metsien jatkokasvua rasittava tekijä, joka työllistää suuresti eri metsäalan toimijoita. Taimikonhoitotarpeen oikea-aikainen tunnistaminen ja siihen reagoiminen oikeilla toimenpiteillä tuottavat metsän kasvatusketjussa merkittävää arvonnousua. Metsänhoidon tueksi kehitetään jatkuvasti uusia innovaatioita, joita myös opinnäytetyön toimeksiantaja Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjala ry hyödyntää.

Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjala on koko Pohjois-Karjalan maakunnan kattava metsänhoitoyhdistys, joka tarjoaa asiantuntija ja neuvontapalveluita alueensa 10 500 henkilön jäsenistölleen 10 eri toimipisteellä. Vuoden 2023 aikana Mhy-ketju otti käyttöönsä uuden Leafpoint-metsätietojärjestelmän, jonka yksi ominaisuus on ohjelmistotoimittaja Sitowise oy:n kehittämä taimikonhoitotarpeita tunnistava tekoälysovellus.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tekoälysovelluksen tekemien havaintojen luotettavuus ja siten myös edistää sovelluksen parempaa käyttöönottoa osana metsäasiantuntijan päivittäisiä työtehtäviä. Sovelluksen laajemmalla käytöllä helpotettaisiin metsäasiantuntijan työtehtäviä sekä vähennettäisiin pitkien välimatkojen aiheuttamia lisäkustannuksia sekä ajanmenekkiä, kun metsäasiantuntija voisi todeta taimikonhoitotarpeen myös omalta työpisteeltään ilman erillistä maastokäyntiä. Opinnäytetyö tehtiin osana kahden opinnäytetyön sarjaa, joista toisessa on selvitetty taimikonhoitotöiden hinnoittelua tekoälyhavaintojen pohjalta.

Samana tekoälyohjelman avulla luotujen karttatasojen hyödyntämistä taimikonhoitotöiden hinnoittelussa on tutkittu Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjalan alueella vuonna 2024. Tutkimuksessa selvitettiin jo toteutettujen taimikonhoitotöiden ja niiden poistumatietojen perusteella, voitaisiinko töitä kartoittaa ja hinnoitella tulevaisuudessa ilman maastotarkastuksia hyödyntämällä tekoälyhavainnot ja muita metsätietotuotteita (Heide M. 2024, 20-22).

Tutkimus toteutettiin Metsänhoitoyhdistys Pohjois-Karjalan pohjoisella palvelualueella Nurmeksessä, Lieksan ja Juuan alueella. Tutkimuksen suorittajan työpiste sijaitsi Nurmeksessä, minkä takia tutkimus toteutettiin kyseisellä alueella.

Opinnäytetyössä selvitettiin vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Kuinka hyvin tekoäly tunnistaa taimikonhoitoa vaativan kohteen?
- Kuinka kattavia ja luotettavia havainnot ovat?
- Kuinka hyvin havainnot voidaan hyödyntää hoidon tarpeen arvioinnissa?

## 6 Aineisto ja menetelmät

Kvantitatiivisella, eli määrällisellä tutkimuksella vastataan tutkimuskysymyksiin, joiden vastaukset ovat numeerisia, ja kertovat kuinka paljon tai usein jokin asia havaitaan. Tutkimukseen yleensä kuuluu standardoitu tutkimuslomake, jonka avulla saatuja tuloksia ja niiden tilastollisia riippuvuuksia voidaan esittää erilaisilla havainnollistavilla kuvaajilla. Tutkimuksen tulosten luotettavuuden varmistamiseksi tutkittavan otoksen tulee olla riittävän suuri. (Heikkilä. T. 2014, 15-16.)

Opinnäytetyö toteutettiin tilastollisena havainnointitutkimuksena, jossa maastotiedonkeruussa käytettävälle lomakkeelle kerättiin tutkittavilta taimikkokuvioilta tieto puuston pituudesta, keskipaksuudesta, runkoluvusta ja siten myös puulajisuhteista. Mitattujen suureiden avulla selvitettiin kohteiden todellinen tarve mahdollisille taimikonhoitotoimenpiteille sekä logistisen regression avulla selvitettiin eri tekijöiden tilastollinen vaikutus hoidontarpeeseen.

Logistisessa regressioanalyysissä selitettävälle muuttujalle on mahdollista saada vain kaksi arvoa, 0 ja 1 eli se on dikotominen muuttuja. Perinteisessä regressioanalyysissä muuttujan saamat arvot voivat puolestaan vaihdella suuresti. Logistinen regressioanalyysi on siis perinteisen regressioanalyysin erityistapaus, jolla pyritään selvittämään tapahtuman todennäköisyyttä. (Tietoarkisto. 2024.)

Tässä tutkimuksessa selitettävänä muuttujana eli vastemuuttujana  $y$  on tekoälyn tekemä havainto taimikonhoidon tarpeesta. Mikäli alueelta on havainto taimikonhoitotarpeesta niin  $y=1$ . Jos havaintoa ei ole, niin vastaavasti  $y$  saa arvon 0. Vastemuuttujan saamaa arvoa selittäviä määrällisiä muuttujia puolestaan ovat puulajikohtaisesti mitattu runkoluku ( $r/ha$ ), keskipituus ( $m$ ) ja keskipaksuus ( $cm$ ). Lisäksi käytetään mittaustulosten perusteella tehtyä arviota taimikonhoitotarpeesta, joka kategorisena muuttujana voi saada samat arvot kuin selitettävä muuttuja.

Logistisessa regressioanalyysissä tutkimuksen tulos voidaan ilmaista joko vedonlyöntisuhteen tai regressiokertoimen avulla. Vedonlyöntisuhteella tarkoitetaan tapahtuman todennäköisyyksien suhdetta toisiinsa. Veto kuvaa, kuinka todennäköisesti tutkittava asia tapahtuu ja kuinka suuri kyseisen muuttujan vaikutus siihen on. (Tietoarkisto. 2025.) Tämän tutkimuksen analysoinnissa käytettiin vetosuhdetta, jolla voidaan ilmaista yksinkertaisesti muuttujan arvoissa tapahtuneiden muutosten vaikutus tapahtuman todennäköisyyteen.

Regressiokerroin puolestaan on vetosuhteen luonnollinen logaritmi, jonka tulkinta tapahtuu samoin kuin lineaarisessa regressiossa. Kertoimen suuruus kuvaa vastemuuttujan ja selittävän muuttujan keskinäistä suhdetta. Kertoimen itseisarvon ollessa suuri myös muuttujien välinen suhde toisiinsa on suuri ja selittävän muuttujan arvon kasvaminen lisää tapahtuman todennäköisyyttä merkittävästi. (Tietoarkisto. 2025.)

Laaditun mallin tulosten tilastollista merkitsevyyttä arvioidaan P-arvolla, jolla halutaan sulkea pois tapahtuman satunnaisuus. Tilastollinen merkitsevyys voidaan jakaa kolmeen tasoon, jotka ovat 95 % melkein merkitsevä, 99 % merkitsevä tai 99,9 % erittäin merkitsevä. Tutkittavan otoksen laajuus vaikuttaa suoraan mittauksen keskivirheeseen pienestävasti. (Tilastokeskus. 2025.)

Regressioanalyysi voidaan ilmaista kaavana seuraavalla tavalla:

$$\ln \left[ \frac{P(Y = 1)}{1 - P(Y = 1)} \right] = a + bx$$

Opinnäytetyötä varten saatiin Sitowise oy:ltä geopackage muotoinen aineisto, johon on koottu kaikki tekoälyn tuottamat ehdotukset taimikonhoitotoimenpiteistä vuodelle 2024. Aineistosta valittiin satunnaisesti 45 tutkimusalueelle sijoituvaa kuviota, joille suoritettiin koealamittaukset kesän 2024 aikana. Mittauksissa jokaiselta kuviolta mitataan 4-10 ympyräkoealaa, käyttäen apuna 1,78 m pituista koealakeppiä. Koealat sijoitetaan tasaisin välimatkoin kuvion pisimmälle

lävistäjälle ja niiden määrä suhteutetaan kuvion pinta-alan mukaisesti siten, että otos on mahdollisimman edustava. Mittaustulokset kerättiin paperiselle koealalomakkeelle.

## 7 Tulokset

### 7.1 Koealat

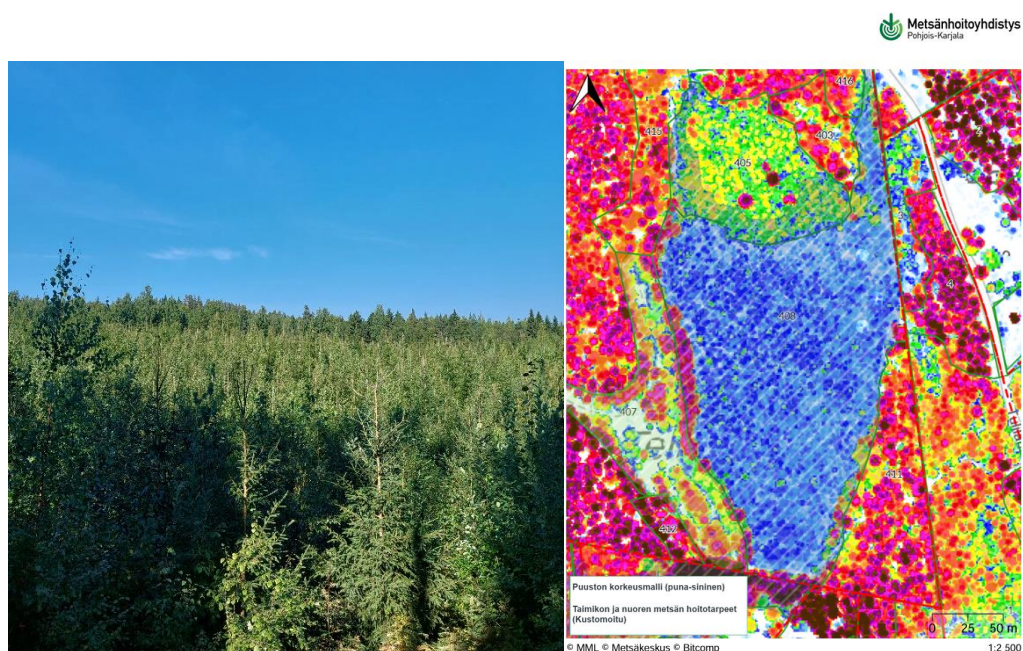
Maastotiedonkeruussa tarkastettiin yhteensä 45 metsikkökuviota, jotka kattoivat taimikoita yhteensä 146 ha Juuan, Lieksan ja Nurmeksen alueelta. Kuvioilta kerättiin yhteensä 286 ympyräkoealaa, joista 248 koelalalle tekoäly oli havainnut taimikonhoitotarpeen. Tarkastuksissa määritettiin taimikonhoitotarve puolestaan 216 metsikkökuvioille mittaustulosten perusteella.

Kuvioista 42 eli 93 % oli kasvupaikkatyypiltään tuoretta kangasta ja loput 7 % lehtomaista kangasta, jotka kaikki sijoittuivat kivennäismaalle. Koealojen puusto vastasi 37 kuvion (84 %) osalta kehitysluokkaa t2 eli varttunutta taimikkoa. Loput 7 kuviota olivat siirtymässä tai siirtyneet jo kehitysluokkaan 02 eli nuori kasvatusmetsikkö. Kaikkien kuvioiden pääpuulajina oli kuusi, jonka lisäksi osalla kuvioista oli sekapuustona mäntyä sekä rauduskoivua. Rauduskoivujen määrää ei erikseen eritelty, vaan se sisällytettiin muun lehtipuuston joukkoon.

Koelaoilta kerättiin puustotiedot kuusen, männyn ja lehtipuuston osalta. Koeala mittaukset tehtiin 1,78 m koealakepin avulla, jolloin yksi koealan runko vastaa 1000 runkoa hehtaarilla. Kaikkien koealojen keskiarvona puuston tiheys on: kuusi 1873 r/ha, mänty 705 r/ha ja lehtipuu 7993. Puuston pituus puolestaan mitattiin 0,5 m tarkkuudella ja puuston paksuus 1 cm tarkkuudella.

Tutkimusaineistosta muodostuu kolme selkeää kokonaisuutta, joita voidaan tarkastella logistisen regressiomallin avulla. Ensimmäinen malli käsittelee koko tutkimusaineistoa ja kaksi muuta kuusesta ja lehtipuustosta mitattuja suureita.

Männyn mittatuloksista ei muodosteta omaa regressiomalliaan, koska niiden osuus muuhun aineistoon verrattuna on varsin pieni.



Kuva 1. Kohde nro. 45, jossa lehtipuusto oli osittain jo kasvatettavan puuston tasolla. Lisäksi latvuspintamalli samalta kohteelta, jossa on myös tekoälyn havainto taimikonhoitotarpeesta. (Korhonen.)

Valtaosalla kuvioista, joille ilmeni maastomittausten yhteydessä taimikonhoitotarve, toimenpiteiden tarve on suuri ja ne olisi syytä toteuttaa 1-2 vuoden kuluessa. Esimerkiksi kuvissa 1 ja 2 olevalle kohteelle ohjelma ehdottaa taimikonhoitoa koko kuvion alueelle. Kuten kuvasta 1 on nähtävissä, niin lehtipuusto on paikoin jo saavuttanut havupuut pituudessa tai saavuttaa ne seuraavan kasvukauden aikana.

## 7.2 Kokonaisuus

Tarkasteltaessa koko kerättyä aineistoa kokonaisuutena logistisen regressiomallin avulla taulukosta 1, huomataan kuusen ja koivun pituudella olevan suurin vaikutus vastemuuttujan arvoon. Kuusen pituuden vedonlyöntisuhde 2,20 ja koivun pituuden vedonlyöntisuhde 4,63 kertovat niillä olevan suurin painoarvo

aineistossa. Koivun pituuden lisäys yhdellä yksiköllä (10 cm) on siis 4,63 kertainen vaikutus. Veto havainnon puolesta siis kasvaa 4,63 kertaiseksi. Kun taas kuusen pituus nostaa sen 2,20 kertaiseksi.

Puuston runkoluvulla ei mallin perusteella ole merkittävää vaikutusta taimikonhoitotarpeeseen. Kuusen ja koivun vedonlyöntisuhteet 0,9991 ja 0,9999 ovat hieman alle yhden ja männyllä taas 1,0008. Pyöristettynä niiden saamat arvot ovat siis 1 eli niillä ei ole merkittävää vaikutusta tapahtuman vetoon.

Puuston rinnankorkeusläpimitalla ei myöskään näytä olevan merkittävää vaikutusta vetoon. Kuusen ja koivun vedonlyöntisuhteet 0,935 ja 0,4277 ovat selvästi alle yhden, eli niiden kasvattaminen pienentäisi vedon todennäköisyyttä. Paremmin järeytyneessä ja elinvoimaisemmassa taimikossa ei toisin sanoen siis ole tarvetta hoitotoimenpiteille. Männyn läpimitan vedonlyöntisuhde puolestaan saa arvon 1,766. Paremmin järeytyneet ja siten kasvitilaa vievät taimet vaikuttavat hoidontarpeeseen ja siten todennäköisyyteen saada pitävä tulos.

Muuttuja	p-arvo	vedonlyöntisuhde	95 % luottamusväli	
runkoluku (ku)	0,395	0,9991	0,9971	
läpimitta (ku)	0,919	0,934	0,2584	3,3858
pituus (ku)	0,544	2,2049	0,1714	28,3655
runkoluku (mä)	0,282	1,0008	0,9993 1,0023	
läpimitta (mä)	0,329	1,7662	0,5637	5,5339
pituus (mä)	0,194	0,1885	0,0152	2,3337
runkoluku (lp)	0,452	0,9999	0,9997 1,0001	
läpimitta (lp)	0,202	0,4227	0,1125	1,5888
pituus (lp)	0,094	4,6286	0,7712	27,7801
kontrolli	0,963	0,9155	0,0212	39,5409

Taulukko 1. Koko aineiston kattavan logistisen regressioanalyysin tulokset. (Korhonen.)

Kuten taulukosta 1 voidaan huomata, niin erityisesti kuusen ja koivun kohdalla vedonlyöntisuhteen arvot voivat vaihdella suuresti 95 % luottamusvälillä. Vaihteluvälän suuruus on merkittävä ja tekee vedonlyöntisuhteen käytön ja arvioinnin osittain haasteelliseksi. Lisäksi muuttujista yksikään ei ole mallin mukaan

tilastollisesti merkitsevällä tai melkein merkitsevällä tasolla, vaikka kuusen ja lehtipuun pituuksien vetosuhteista niin voisi päätellä.

### 7.3 Kuusi kasvatettavana puulajina

Kuusi on lähes jokaisella kuviolla kasvatettavana pääpuulajina ja sen osuus aineistosta on suuri, niin sen vaikutusta voidaan tarkastella myös oman logistisen regressiomallin avulla. Kuten taulukon 2 arvoista voidaan huomata, niin taimikon runkoluvulla ei ole vaikutusta vetoon ja vedonlyöntisuhteen arvo onkin 1. Taimikoita perustettaessa istutustiheys on ollut metsänhoidon suositusten mukainen eikä hoitotoimille sen perusteella ole tarvetta.

Muuttuja	p-arvo	vedonlyöntisuhde	95 % luottamusväli	
runkoluku (ku)	0,874	1,0000	0,9999	1,0002
paksuus (ku)	0,674	1,0908	0,7274	1,6359
pituus (ku)	0,441	1,2417	0,7162	2,1529
kontrolli	0,023	2,4639	0,131	5,3674

Taulukko 2. Logistisen regressioanalyysin tuloksia, kun muuttujina kuusen mitaustulokset. (Korhonen.)

Koealamittausten perusteella määritetty taimikonhoitotarve saa mallissa puolestaan vedonlyöntisuhteen 2,46. Suhteessa muiden muuttujien saamiin vetosuhteisiin, kontrolliarvion painoarvo vahvistaa päätelmän, että puhtaassa taimikossa taimikonhoitotarve määräytyy tapauskohtaisesti. Maastotarkastuksen p-arvo on 0,023 eli se on tilastollisesti melkein merkitsevällä tasolla ja sillä on siis todellisuudessa vaikutus todellisen taimikonhoitotarpeen määrittämiseen.

### 7.4 Lehtipuuston vaikutus

Lehtipuusto on merkittävä kasvatettavien puiden kasvua ja kehitystä haittaava tekijä taimikoissa ja siksi on hyvä tarkastella lehtipuustoa myös omana kokonaisuutenaan logistisen regression avulla. Taulukosta 3 on huomattavissa, että lehtipuun pituudella on suuri vaikutus riskiin. Pituuden vedonlyöntisuhde 2,1959

on pienempi kuin koko aineiston kattavassa mallissa, mutta se on edelleen huomattavasti suurempi kuin muiden muuttujien saama vedonlyöntisuhde.

Muuttuja	p-arvo	vedonlyöntisuhde	95 % luottamusväli	
runkoluku (lp)	0,224	1,0001	1,0000	1,0001
läpimitta (lp)	0,089	0,6646	0,4153	1,0636
pituus (lp)	0,005	2,1959	1,2699	3,7971
kontrolli	0,373	1,6341	0,5547	4,8140

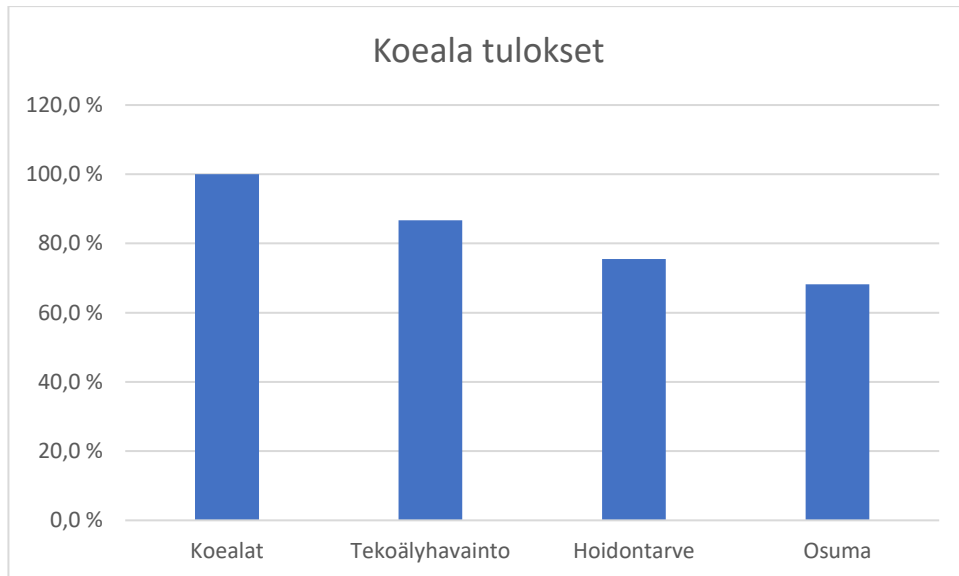
Taulukko 3. Logistisen regressioanalyysin tulokset, kun muuttujina lehtipuuston mittaustulokset. (Korhonen.)

Lehtipuuston pituudella on tässä mallissa tilastollisesti merkitsevä taso p-arvolla 0,005. Useilla kohteilla, joilla oli tarve taimikonhoitotöille, lehtipuusto oli joko kasvatettavan puuston mittaista tai pidempää. Kasvatettava puusto on voimakkaan varjostuksen kohteena ja lehtipuuston oksisto häiritsi taimien kasvua.

## 8 Pohdinta

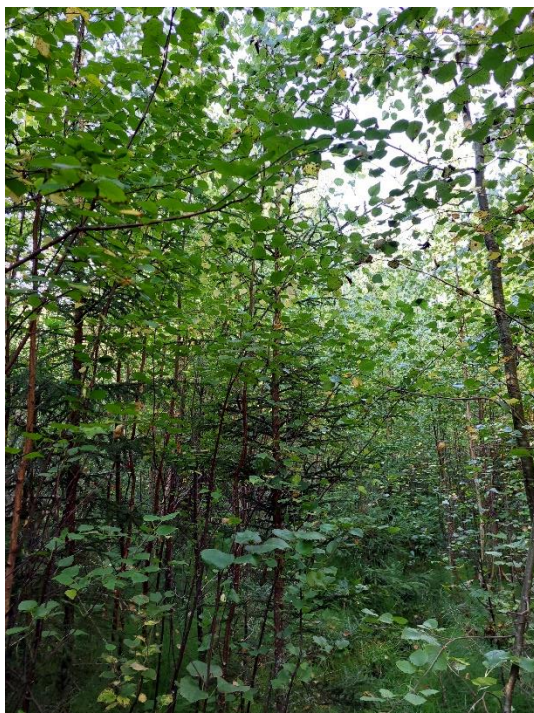
### 8.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa havaittiin, että 286 koealasta 75,5 % oli hoidon tarpeessa, kun taas tekoälyn tekemiä havaintoja oli 86,7 % koealoista. Havainto ja todellinen tarve oli lopulta 68,2 % koealoista. Kuten myös taulukosta 3 on huomattavissa, varmojen havaintojen kattavuus on huomattavasti pienempi kuin mitä havainnot kokonaisuudessa kattavat. On kuitenkin hyvä tarkastella mitkä tekijät vaikuttavat pitävän havainnon syntymiseen.



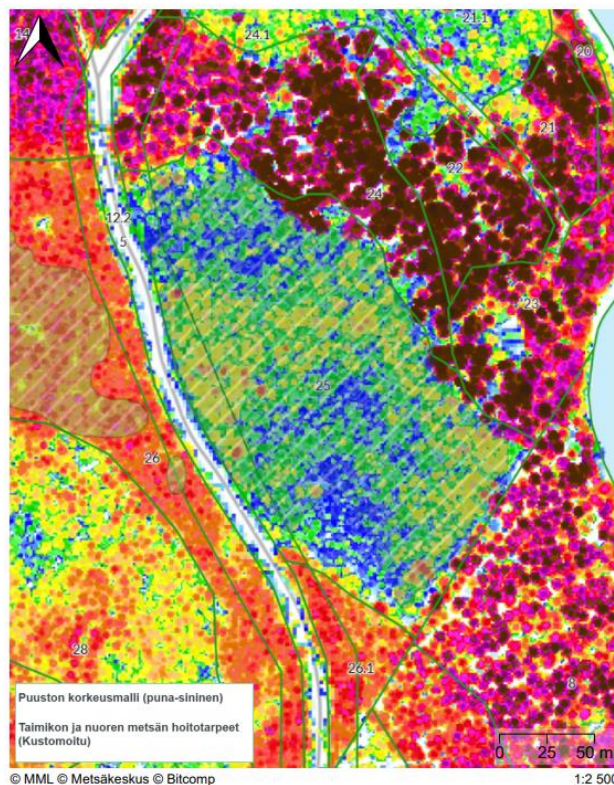
Kuvio 1. Maastotiedonkeruun tulokset koealoittain taimikonhoitotarpeesta.

Kuten jo kohdassa 7.1 voitiin huomata, niin lehtipuuston pituuden kasvaessa riski pitävän havainnon muodostumiseen kasvaa eniten. Runkoluku ei kuitenkaan näyttäisi vaikuttavan hoidon tarpeeseen muodostumiseen vedonlyöntisuhteen arvon ollessa noin 1. Taimikonhoidon tarpeen suuruutta voidaan kuitenkin pitää suoraan verrannollisena lehtipuuston määrään ja siten sen aiheuttamaan haittaan kasvatettavalle puustolle. Haittavaikutukset kasvavat siis pituuden lisääntyessä.



Kuva 3. Mittauskohteella nro. 43 lehtipuusto varjosti havupuun taimia paikoin hyvin voimakkaasti. (Korhonen)

Useilla kohteilla kohteilla tarve taimikonhoidolle oli ilmeinen varjostavan lehtipuuston takia kuten kuvan 3 tilanteessa. Kuvioille ei erikseen määritelty, onko toimenpiteiden toteuttaminen liian aikaista, oikealla aikaa tai myöhässä. Aineiston keruun aikana kävi kuitenkin selväksi, että isolla osalla kohteista taimikonhoito on selvästi myöhässä. Rästikohteiden valikoituminen voi osaltaan olla satumaa, mutta tekoälyn selvästi reagoi pidempään ja selvästi erottuvaan lehtipuumassaan, voidaan myös varmistua, että ohjelma löytää aidosti hoitotoimenpiteitä vaativia kohteita.



Kuva 4. Tekoälyhavainnon lisäksi on syytä hyödyntää myös muita kaukokartoitusaineistoja kuten puuston korkeusmallia. (Leafpoint.fi)

Vastaavasti Heiden tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että jo toteutetuissa taimikonhoitokohteissa tekoälyhavainnoja oli vain 50 % työmaista. Tekoälyhavainnon omaavilla kohteilla poistuma oli keskimääräisesti 43 866 runkoa hehtaarilla, kun taas muilla kohteilla 15 201 runkoa hehtaarilla. Puuston järeystietoa ei voitu käyttää tutkimuksessa. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää

tekoälyhavaintojen hyödynnettävyyttä taimikonhoitotöiden hinnoittelussa vaikeusluokkaperusteisen hintamatriisin avulla, johon sen myös todettiin soveltuvan joissain määrin. Hinnoittelutyön helpottamiseen havainnot eivät kuitenkaan tuo lisäarvoa. (Heide. 2024. 28-36.)

Toisin kuin Heiden tutkimus näytti, että poistuman määrä vaikuttaisi tekoälyhavainnon muodostumiseen, niin tässä tutkimuksella itse runkoluvulla ei näyttäisi olevan niin suurta merkitystä. Toisaalta kuten tutkimuksessa nousi esille, että suuressa osassa kohteista taimikonhoito on kiireellinen ja myös poistettava puusto huomattavan pitkää, niin puuston tiheys ei välttämättä kuitenkaan ole niin suuri, vaikka kohteilla selvästi oli tarvetta taimikonhoitoon. Jos oletetaan Heiden tutkimuksen kohteiden olevan tehty metsänhoidonsuositusten mukaisesti ajallaan, niin kyseisillä kohteilla lehtipuusto ei ole ehtinyt saavuttaa niin vallitsevaa asemaa kuin hoitamattomilla kohteilla.

Johtopäätöksenä voidaan siis tehdä, että tekoälyhavainnot osuvat kohteille, joissa lehtipuuston määrä on suuri joko runkoluvulla vertailtuna tai sitten pituusmitan avulla. Havainnot ovat siis hyödynnettävissä myös käytännön markkinointityöhön, mutta vastaavasti ei voida myöskään olettaa, ettei taimikonhoitoa tarvitse tehdä ilman havaintoa olevalle kohteelle.

Tekoälyhavaintojen lisäksi on hyvä käyttää myös muita kaukokartoitusaineistoja sekä olemassa olevaa omaa metsävaratietoa, joiden avulla voidaan varmistua mahdollisen taimikonhoitokohteen puustosta ja todellisesta tilanteesta. Kuvan 4 tilanteesta voidaan huomata, että keskellä olevalla kuviolla 25 on tekoälyhavainto koko kuvion alueella. Lisäksi toisena karttatasona oleva puuston korkeusmalli kertoo puuston olevan jo varttunutta t2 kehitysluokan taimikkoa, joten pitävän havainnon syntyminen on todennäköisempää.



Kuva 5. Kohteelle oli tekoälyhavainto taimikonhoidosta, vaikka kuvio oli hoidettu edellisenä vuonna. (Paavo Korhonen)

Virheelliset havainnot johtuivat osalla kohteista todennäköisesti sekapuustoisuutta lisäävistä lehtipuista, jotka oli jätetty aikaisemmissa hoitotoimenpiteissä. Kuvan 5 tilanteessa puolestaan kuvion pääpuulajina on rauduskoivu, joten on oletettavaa että havainto kuviolla säilyy myös tulevaisuudessa. Ohjelma selvästi reagoi lehtipuustoon eikä sen tarvitse olla kovin yhtenäistä havainnon muodostumiseksi.

Vastaavasti osalla kuvioista, joilla tekoälyhavainto ei kattanut koko aluetta, lehtipuustoa ei ollut koko koealalla tai sen välittömässä ympäristössä. Alueet olivat usein suurempien kuvioiden reunoilla tai keskellä kuviota, missä kasvupaikkatyyppi ja vesitalouden tilanne muuttuivat muusta kuviosta poikkeaviksi, jolloin vesominen ei ole niin voimakasta.

Maataloudessa on koko EU:n alueella hyödynnetty vuodesta 2023 alkaen satelliittiseurantaa, jolla tarkkaillaan maatalouden eri toimenpiteiden toteuttamista peltolohkoilla. Seurannan tarkoituksena on valvoa maatalouteen haettujen peltotukien mukaisten viljelytoimien toteutumista tukiehtojen mukaisesti. Valvonnan tehostamiseksi seurantajärjestelmä hyödyntää myös tekoälyä, joka vertaa Sentinel satelliittien ottamia kuvia peltolohkoille ilmoitettuihin tietoihin.

(Ruokavirasto. 2025.) Tekoälyn tekemät havainnot ja niiden luotettavuus eivät ole aukottomia myöskään maataloudessa.

ProAgrian mukaan satelliittiseurannassa on ollut vaikeuksia erityisesti laidunnuksen ja kasvustojen niittojen toteutumisten seurannassa. Virheelliset tulkinnat ovat joissain tapauksissa olleet seurausta epämääräisistä rikkakasvikasvustoista peltolohkoilla, lohkon pienestä koosta tai myös kuvausajankohdasta. Esimerkiksi pilvinen sää on voinut aiheuttaa tilanteen, ettei lohkolta ole saatu ajantasaista kuvaa tiettyyn kasvuajankohtaan oikean havainnon muodostumiseksi. (ProAgria. 2025.)

Kuten maatalouden satelliittiseurannassa, niin myös taimikonhoidon tarpeen tunnistamisessa käytetään Sentinel satelliittien ottamia kuvia. Yksi mahdollinen virhetulkintojen muodostumisen syy voi olla peltoseurannan tavoin, että kuvaushetkellä taimikosta ei ole saatu tarpeeksi selkeää kuvaa, jotta taimikonhoitotarve erottuisi. Taimikoissa tapahtuvat muutokset eivät kuitenkaan ole yhtä nopeita kuin peltolohkojen kasvustoissa tapahtuvat muutokset, jotka voivat olla havaittavissa päivittäin. Satelliitit ottavat jatkuvasti uutta kuvaa maan pinnasta ja olennaisinta on, että mitä kuvaa tulkinnoissa lopulta käytetään.

## 8.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuus perustuu kriittiseen ja arvioivaan työotteeseen. Työn edetessä on tärkeä toistaa useaan kertaan peruskysymyksiä eli mitä, miksi ja miten asiat tutkimuksessa tehdään. Arviointiin kuuluu myös tulosten ja tutkimuksessa ilmenneiden ongelmien suhteuttaminen toisiinsa sekä kuinka hyvin valitut menetelmät ovat soveltuneet halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Vaikka tutkimus toteutettaisiin uudestaan samoilla menetelmillä ja järjestelyillä, niin tulokset ovat riippuvaisia myös ajasta, paikasta sekä toteuttajasta, eikä tuloksia siten voida pitää absoluuttisena totuutena. (Saaranen-Kauppinen. & Puusniekka. 2006.)

Tutkimuksen otos on laajuudeltaan 146 ha, jota voidaan pitää varsin kattavana. Mitattujen kuvioiden koko vaihteli 0,5 ha jopa 14 hehtaariin, joten kuvioiden välille ja myös niiden sisälle mahtui hyvin vaihtelua, joka tekee tuloksista paremmin käytäntöön sovellettavia. Tutkimus antaa hyvän pohjatiedon siitä, millaiset kohteet ohjelman avulla seuloutuvat ja saavat kuviotietoon merkinnän taimikonhoitotarpeesta, mikä myös oli yksi tutkimuksen alullepanevista kysymyksistä.

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena, eikä sen tuloksia siten voida pitää absoluuttisena totuutena. Tutkimusaineisto oli pinta-alaltaan suhteellisen laaja ja siten tutkimuksen tuloksia voidaan pitää alueellisesti suuntaa antavina ja niitä voidaan osin hyödyntää ohjeistuksessa karttatason tulkinnessa.

### **8.3 Jatkotutkimustarpeet**

Uusia työkaluja kehittämällä metsäalan ammattilaisten käyttöön voidaan tehdä työskentelystä sujuvaa ja myös samalla parantaa tehokkuutta. Samalla pystytään vastaamaan myös paremmin muuttuvan toimintaympäristön vaatimuksiin ja metsänomistajien toiveisiin.

Tekoälyn ja sen tuottamien havaintojen kehittyessä yhä paremmiksi yksi jatkotutkimuskohde voisi olla, että voitaisiinko sen avulla alkaa toteuttamaan taimikonhoitoja kohdennetusti juuri niille osille taimikkoa, joissa tarve selkeästi on. Kuviointiin perustuvassa metsätaloudessa koko käsiteltävä kuvio saa yleensä kauttaaltaan saman käsittelyn, ellei syystä tai toisesta osaa kuviosta haluta jättää käsittelemättä.

Taimikonhoidon kohdentaminen sitä tarvitseville osille taimikkoa olisi mahdollisesti myös taloudellisesti kannattavaa. Hinnoittelu taimikonhoitotöissä on yleensä hehtaarihintaan perustuva, jolloin metsänomistaja maksaa koko kuvion käsittelystä, vaikka jokin osa siitä ei käsittelyä välttämättä tarvitsikaan. Ylimääräisten kustannusten välttäminen on olennainen osa metsätalouden kannattavuuden näkökulmasta.

Tekoälyn käytön leviäminen on alkanut vasta viimeisten vuosien aikana ja sen käyttö myös metsätaloudessa on uutta. Tekoälyn käyttö tulee yleistymään jatkossa yhä laajemmin, joten sen käyttöä ja käytännön hyödynnettävyyttä on tärkeää tutkia sovellusten jatkokehityksen kannalta. Käytännön tutkimuksella voidaan myös kaventaa tekoälyn käyttöön liittyviä ennakkoluuloja ja siten myös helpottaa uuden teknologian parempaa hyödynnettävyyttä.

## Lähteet

- Auvinen P., Pukkala T., & Vesa L. 1997 Metsän kartoitus. Helsinki: Hakapaino oy
- Copernicus – Europe’s eyes on Earth. 2024a. <https://www.copernicus.eu/fi/copernicus/copernicus-lyhyesti> 23.4.2024
- Copernicus - Europe’s eyes on Earth. 2024b. <https://www.copernicus.eu/fi/copernicus/infrastrukturi> 26.4.2024
- Euroopan parlamentti. 2023. Mitä tekoäly on ja mihin sitä käytetään? [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/9/story/20200827STO85804/20200827STO85804\\_fi.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/9/story/20200827STO85804/20200827STO85804_fi.pdf) 26.4.2024
- Heide M. 2024. Taimikonhoidon hinnoittelu metsätietotuotteiden avulla. Karelia ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma.
- Heikkilä. T. 2014. Tilastollinen tutkimus. Porvoo: Edita Publishing Oy
- Huuskonen S., Hynynen J., & Valkonen. 2014 Metsän kasvatusta – menetelmät ja kannattavuus. Helsinki: Metsäkustannus oy
- Kangas A., Päivinen R., Holopainen. & Maltamo M. 2011 Metsän mittaus ja kartoitus. Joensuu: Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto
- Anita Saaranen-Kauppinen & Anna Puusniekka. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere. Yhteiskuntatieteellinen tietovarasto. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/viit-tausohje.html> 28.4.2025
- Lamminsalo A. 2021 Predicting young forest thinning need using satellite image data. Tieto- ja viestintäteknikan koulutusohjelma. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Landsat Science. 2024a. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/timeline/> 22.4.2024
- Landsat Science. 2024b. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/> 22.4.2024
- Luonnonvarakeskus. 2024 Taimikonhoidon hyödyt selvitettiin VMI-aineistoihin perustuneessa skenaariotutkimuksessa <https://www.luke.fi/fi/taimikonhoidon-valtakunnalliset-hyodyt-selvitettiin-vmiaineistoihin-pohjautuneessa-skenaariotutkimuksessa> 25.3.2024
- Maanmittauslaitos. 2024 Laserkeilaus ja ilmakuvaukset <https://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus-ja-ilmakuvaus> 27.4.2024
- Maa- ja Metsätalousministeriö. 16.11.2023 Metkan tukitasot ja -ehdot on vahvistettu <https://mmm.fi/-/metkan-tukitasot-ja-ehdot-on-vahvistettu> 21.3.2024
- MathWorks. 2024. What is machine learning? <https://se.mathworks.com/discovery/machine-learning.html> 27.4.2024
- Metsäkeskus. 2024 <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsatalouden-tuet/kemera-tuet/tietoa-kemera-tuista> 21.3.2024
- Metsäkeskus. 27.6.2023 <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/taimikonhoitorastit-ovat-vahentyneet-merkittavasti> 22.3.2024
- ProAgria. 26.5.2025 [https://www.proagria.fi/uploads/ProAgria/Oulu/10\\_ERIK-HYVARI-Satelliittiseuranta-ja-luomu.pdf](https://www.proagria.fi/uploads/ProAgria/Oulu/10_ERIK-HYVARI-Satelliittiseuranta-ja-luomu.pdf)
- Ruokavirasto. 26.5.2025 <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/valvonta/satelliittiseuranta/>
- Saksa T., Miina J. & Uotila K. 2016 Taimikonhoito – tavoitteet, menetelmät ja kustannukset. Jyväskylä: Metsäkustannus

- Sentinel online. 2024a. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description> 26.4.2024
- Sentinel online. 2024b. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> 27.4.2024
- Suomen yrittäjät. 2023. Tekoälyn vallankumous. <https://www.yrittajat.fi/uutiset/tekoalyn-vallankumous/> 26.4.2024
- Talkkari A. & Lehmonen H. 2021 Metsävaratieto – Hankinta ja hyödyntäminen. Helsinki: Tapio palvelut Oy.
- Tietoarkisto. 2024. Logistinen regressio. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menestelmaopetus/kvanti/regressio/logistinen/> 13.3.2025
- Tilastokeskus. 2025. Tilastollinen merkitsevyys [https://stat.fi/meta/kas/til\\_merkitsevyy.html](https://stat.fi/meta/kas/til_merkitsevyy.html) 13.3.2025
- Tokola T., Holopainen M., Häme T., Heikkilä J. & Siipilehto J. Metsätieteen aikakauskirja. 2019 <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/article/10252>
- Äijälä. O., Koistinen. A., Sved. J., Vanhatalo. K. & Väisänen. P. 2014. Metsänhoito – Hyvät metsänhoidon suositukset. Helsinki: Metsäkustannus



