

Paikkatietojärjestelmät, tekoäly ja koneoppiminen luonnonsuojelun tukena

Sanja Kaan

LuK-tutkielma 790351A

Maantieteen tutkinto-ohjelma

Oulun yliopisto

10.5.2025

Tiivistelmä

Tässä kandidaatin tutkielmassa tarkastelin paikkatietojärjestelmien (GIS), tekoälyn ja koneoppimisen merkitystä ja mahdollisuuksia luonnonsuojelussa. Tutkielma on tehty kirjallisuuskatsauksena, jossa kävin läpi mitä GIS, tekoäly sekä tekoälyn alalaji koneoppiminen tarkoittavat. Kävin läpi, miten niitä käytetään hyödyksi luonnonsuojelussa ja annan esimerkkejä etenkin metsien suojelusta sekä tulvariskien mallintamisesta. Lisäksi esittelin, millaisia haasteita niiden käytössä kohdataan. Työssäni halusin selvittää miten näiden teknologioiden yhdistäminen voi parantaa ympäristön tilan seurantaa, suojelutoimien suunnittelua ja riskialueiden kartoittamista.

Aihe on ajankohtainen, sillä ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöt, kuten tulvat lisääntyvät ja luonnon ekosysteemit ovat haavoittuvaisempia. Samaan aikaan ihmistoiminta, kuten metsien hakkuut voivat aiheuttaa yhä suurempaa painetta luonnolle, sen monimuotoisuudelle ja ekosysteemeille, joten on tärkeää osata mallintaa ja analysoida dataa, jota luonnosta ja sen tilasta saadaan ja käyttää sitä hyödyksi.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että GIS, tekoäly sekä koneoppiminen tarjoavat yhdessä monipuolisia ja tehokkaita työkaluja luonnonsuojeluun. Ne mahdollistavat tarkan mallintamisen ja ennustamisen, mikä on tärkeä tuki suojelutoimille. Haasteina suurimpina nousi esiin datan puutteellisuus tai saatavuus sekä koulutuksen ja rahoituksen puute, jotka rajoittavat teknologia täyden hyödyntämisen. Tulevaisuudessa, kun teknologia kehittyy edelleen, on odotettavissa entistä tehokkaampia ja älykkäämpiä ratkaisuja luonnonsuojelun tueksi.

Sisältö

Johdanto.....	4
1. Paikkatietojärjestelmät (GIS)	5
1.1 Mitä on paikkatieto?	6
2. Tekoäly ja koneoppiminen	6
3. Esimerkkejä luonnonsuojelutoimista	8
3.1 Esimerkkejä metsiensuojelusta	10
3.2 Esimerkkejä tulva-alueiden ennustamisesta	11
4. Ilmastonmuutos ja luonnonsuojelu.....	13
5. Haasteita	14
6. Kehittämisen kohteita.....	17
7. Johtopäätökset	18
Lähdeluettelo	21

Johdanto

Maantieteelliset käsitteet ja fyysiset kartat ovat olleet olemassa ajan alusta asti, koska kaikki ihmistoiminta tapahtuu maantieteellisessä kontekstissa (Wieczorek & Delmerico 2009: 167). Paikkatietojärjestelmät ja tietojenkäsittelyn työkalut ovat nousseet keskeiseen asemaan ympäristönsuojelussa, sillä ne mahdollistavat suuren tietomäärän analysoinnin, hyödyntämisen ja visualisoinnin ongelmien ratkomiseen (Esri). Ilmastonmuutoksen ja muiden ympäristöhaasteiden myötä ympäristönsuojelu vaatii yhä tarkempaa ja reaaliaikaisempaa tietoa ja tässä teknologia voi auttaa.

Tässä tutkielmassa tarkastelen kirjallisuuskatsauksena, miten paikkatietojärjestelmät, tekoäly sekä koneoppiminen ovat apuna tukemassa luonnonsuojelua. Aihe käsittelee teknologian ja etenkin paikkatiedon merkitystä luonnonsuojelussa. Tutkielman pohjana ovat tieteelliset artikkelit, tutkimukset, kirjat sekä aiheeseen sopivat nettisivut, joiden avulla selvitan, mitä paikkatietojärjestelmät ja tekoäly sekä koneoppiminen ovat ja miten niitä hyödynnetään luonnonsuojelussa sekä millä tavoin ilmastonmuutos vaikuttaa luonnonsuojeluun. Tutkielmani konteksti on luonnonsuojelun ja teknologian yhdistäminen.

Tutkielmassani keskityn kahteen kysymykseen. Ensimmäkin tarkastelen, millä tavoin paikkatietojärjestelmät, tekoäly ja koneoppiminen tukevat ympäristönsuojelua. Tarkastelen sitä etenkin metsien suojelun sekä tulvariskien mallintamisen ja ennustamisen näkökulmasta. Esimerkiksi häviävää metsäaluetta voidaan tunnistaa satelliittikuvien avulla (Reusing 2000), kun taas paikkatietoa ja koneoppimista yhdistämällä voidaan ennustaa tulvia ja niiden keskeisiä ennustetekijöitä (Motta, de Castro Neto, & Sarmiento 2021). Toiseksi pohdin, mitkä ovat suurimmat haasteet paikkatietojärjestelmien ja tekoälyn tai koneoppimisen hyödyntämisessä luonnonsuojelun saralla. Vaikka teknologia kehittyy nopeasti, sen käyttöön liittyy myös ongelmia, kuten laadukkaan datan saatavuus tai sen digitalisointi (Sipe 2003; Wieczorek ym. 2009) sekä koulutuksen ja rahoituksen puute (Göçmen & Ventura 2010).

Tutkielmani tavoitteena on hahmottaa, millä tavoin teknologia tukee luonnonsuojelua. Tulevaisuudessa paikkatietojärjestelmien, tekoälyn ja koneoppimisen yhdistelmät voivat muuttaa luonnonsuojelun kenttää, mutta se edellyttää myös uudenlaista ajattelua. Pitäisi varmistaa, että teknologian tarjoamat mahdollisuudet tuottavat kestäviä ja tehokkaita ratkaisuja luonnonsuojeluun ja ilmastonmuutoksen torjumiseksi.

1. Paikkatietojärjestelmät (GIS)

Maantiede on oleellinen osa kaikkia ihmistoimintoja, sillä lähes kaikilla toiminnoilla, päätteillä ja päätöksillä on maantieteellinen ulottuvuus (Wieczorek & Delmerico 2009: 169). Maantieteelliset tiedot liittyvät eri osiin maapallon tilallisia osa-alueita, kuten biosfääriin, litosfääriin, ilmakehään ja hydrosfääriin ja tämän vuoksi maantieteelliset tiedot ovat monidimensionaalisia, eli ne sisältävät useita eri näkökulmia ja ulottuvuuksia (Wieczorek ym. 2009: 169). He kertovat, että maantieteellisille tiedoille on ominaista, että ne ovat monidimensionaalisia, eli sijainti vaatii jonkinlaisen tilallisen viitteen, kuten x, y -koordinaatit tai leveys- ja pituusasteet. Nämä maantieteelliset tiedot voidaan tallentaa ja niitä voidaan analysoida paikkatietojärjestelmissä monin eri tavoin.

Geographic information system(s), eli tuttavallisemmin GIS tarkoittaa paikkatietojärjestelmiä, joiden avulla voidaan tuottaa, hallita, analysoida ja esittää paikkatietoa (Esri). Yksi tunnetuimmista paikkatietosovelluksista on Esrin kehittämä ArcGIS. Esri on johtava paikkatietoteknologian tarjoaja ja heidän ohjelmistonsa ovat laajalti käytössä eri puolilla maailmaa (Esri). Esrin verkkosivuilla kerrotaan, että paikkatietoanalyysia ja kartoitusta hyödynnetään lähes kaikilla tieteenaloilla ja ne ovatkin olennainen osa nykyaikaista tiedettä. GIS halutaan kuitenkin erottaa muista tietokoneistetuista järjestelmistä, kuten taulukkolaskenta- ja tekstinkäsittelyohjelmista sekä tietokantojen hallintajärjestelmistä, sillä GIS käsittelee ja hallinnoi spatiaalista tietoa, eli paikkasidonnaista tietoa, kuten karttoja, kuvia ja muita sijaintiin perustuvaa tietoa, jotka viittaavat tarkasti tiettyihin paikkoihin maapallolla (Zhu 2024:3). GIS pohjautuu monien eri tieteenalojen käsitteisiin ja ideoihin (kuten kartografiaan, maantieteeseen, tietojenkäsittelytieteeseen, maanmittaukseen, tilastotieteeseen sekä kaukokartoitukseen) jotka ovat vähitellen yhdistyneet uudeksi tieteenalaksi, paikkatietotieteeksi, GIScience (Zhu 2024:4). GIScience siis tutkii tieteellisesti keskeisiä kysymyksiä, jotka liittyvät paikkatiedon keräämiseen, käsittelyyn, hallintaan ja käyttöön sekä se tutkii, miten GIS-teknologia vaikuttaa yhteiskuntaan ja miten yhteiskunta puolestaan vaikuttaa GIS-teknologiaan (Zhu 2024: 4), mutta siihen emme tässä perehdy tätä syvemmin.

1.1 Mitä on paikkatieto?

Spatial Data eli paikkatieto tarkoittaa havaintojen ja niiden ominaisuuksien kuvaamista maantieteellisessä tilassa tietyllä hetkellä tai ajanjaksolla (Zhu 2024: 3). Hänen kirjassaan kerrotaan maantieteellisen tilan viittaavan alueeseen, jossa havainnot liittyvät maapallon pinnan tiettyihin sijainteihin. Nämä sijainnit määrittellään paikkatiedon mittauskehysellä, joka kuvaa niiden spatiaalisia suhteita (kuten läheisyyden, yhteyden ja suunnan) todellisessa maailmassa (Zhu 2024: 3–4). Paikkatiedon mittauskehys on koordinaatistojärjestelmä, joka määrittää pallomaiset tai tasokoordinaatit, korkeuden, suunnan ja muut tilan mittausominaisuudet tavoilla, jotka ottavat huomioon maapallon monimutkaisen muodon (Zhu 2024: 3–4). GIS tarjoaa välineet spatiaalisten tietojen luomiseen, muokkaamiseen, hallintaan, analysointiin ja visualisointiin (Lloyd 2010: 1).

Spatial Data Analysis, eli paikkatiedon analyysi on työkalu, joka antaa GIS-järjestelmälle kyvyn käsitellä ja tulkita tilallisia ilmiöitä, joiden avulla käyttäjät voivat havaita malleja, yhteyksiä ja muutoksia esimerkiksi ympäristössä tai taloudessa eri aikoina ja alueilla. (Zhu 2024: 7–8). GIS sisältää joukon analyysityökaluja, joilla voi esimerkiksi mitata etäisyyksiä, tarkastella alueiden päällekkäisyyksiä, analysoida maaston muotoja tai tutkia liikenneverkostoja ja näitä työkaluja voidaan hyödyntää myös erilaisten mallien rakentamiseen ja rajoitteiden määrittelyyn, esimerkiksi ympäristövaikutusten arvioinnissa tai kaupunkisuunnittelussa (Zhu 2024: 7–8). Kuva-analyysitoimintoja käytetään kaukokartoituskuvien, kuten ilmakuvien ja satelliittikuvien tulkintaan ja tietojen poimimiseen (Zhu 2024:11). Hänen mukaansa kuvat ovat keskeisiä tietolähteitä erityisesti ympäristö- ja kestävän kehityksen tutkimuksessa, sillä ne tarjoavat laajan ja ajantasaisen näkymän maankäytöstä, kasvillisuudesta ja muista luonnonilmiöistä.

2. Tekoäly ja koneoppiminen

Kun GIS-järjestelmät yhdistetään tekoälyyn, voidaan niitä yhdessä hyödyntää laajemmin luonnonsuojelun saralla. Artificial Intelligence, (AI) eli tekoäly on nykyään läsnä lähes kaikilla elämäalueilla, älypuhelimista taiteeseen ja liikenteeseen. Digitaaliset avustajat ovat myös tekoälyn tulosta, Siri (Apple), Alexa (Amazon) ja Cortana (Microsoft), jotka voivat suorittaa erilaisia tehtäviä kuten aikataulujen tarkistamista, verkkohakuja ja monia muita toimintoja

(Johns 2022: 3). Tekoäly on kehittynyt huimasti viime vuosien aikana, ja siitä onkin tullut työkalu monilla aloilla. Se on nopeasti kehittyvä tekniikan ala, jonka perimmäisenä tavoitteena on rakentaa koneita, jotka kykenevät toimimaan ja ajattelemaan ihmisten tavoin (Kumar 2013; Shivaprakash ym. 2022). Tekoäly on älykkyyttä, jonka ihmiset luovat soveltamalla erilaisia tieteellisiä ja teknisiä tekniikoita (Kumar 2013: 3). Tekoälyyn kuuluu mallien etsintä, tulevaisuuden ennustaminen ja poikkeavuuksien havaitseminen ja tekoälyn laskennalliset, teknologiset ja tutkimukselliset läpimurrot ovatkin edistäneet sen soveltamista monilla aloilla, kuten luonnonsuojelussa (Shivaprakash ym. 2022: 1). Metsien hallinnassa tarvitaan teknologian apua, erityisesti kun hallitukset pyrkivät saavuttamaan ilmastotavoitteitaan, sillä tekoäly voi täyttää perinteisten menetelmien puutteet ja nopeuttaa metsien hallintaa ja suojelua (Shivaprakash ym. 2022: 1). Vielä monilla alueilla, kuten joissain paikoissa Intiassa, metsäviranomaiset käyttävät paljon kynää ja paperia metsäinventointien tekemiseen ja tällaiset perinteiset menetelmät ovat hitaita, ja niitä voi olla vaikea hyödyntää kokonaisvaltaisesti (Shivaprakash ym. 2022: 2). Metsät peittävät noin 30 % maapallon pinta-alasta ja ovat tärkeimpiä maapallon ekosysteemejä, jotka ylläpitävät 90 % maapallon biodiversiteetistä mutta ne kohtaavat kuitenkin suuria haasteita ja uhkia, kuten hakkuita, maatalouden laajentumisesta sekä kaupungistumisesta aiheutuvia ongelmia, jotka nopeuttavat metsien heikkenemistä (Shivaprakash ym. 2022: 2).

Koneoppiminen (machine learning, ML) on yksi tekoälyn alalaji ja se onkin erityisen hyödyllinen menetelmä, sillä sen avulla tietokone oppii tekemään tarkempia ennusteita ja päätöksiä aiemman kokemuksen eli datan perusteella (Zhou 2021: 2). Koneoppimisessa algoritmeja käytetään mallien rakentamiseen datasta ja tätä prosessia kutsutaan oppimiseksi tai koulutukseksi (Zhou 2021: 1). Koneoppimisen ydinajatus on algoritmien kehittäminen, jotka tunnistavat kaavoja ja rakentavat malleja datasta ilman, että niitä tarvitsee ohjelmoida erikseen jokaista tehtävää varten (Zhou 2021: 1). Koneoppiminen on kehittyvä osa laskennallisia algoritmeja, jotka on suunniteltu jäljittelemään ihmisen omaa älykkyyttä oppimalla asioita ympäristöstään (El Naqa & Murphy 2015). Kun koneoppimisalgoritmille syötetään esimerkkidataa, se voi oppia tekemään ennusteita uusista tilanteista: esimerkiksi algoritmi, joka arvioi, onko vesimeloni kypsä värin perusteella (Zhou 2021: 3). Eli tekoäly pystyy oppimaan ja tekemään itsenäisiä ennusteita tai päätöksiä annetun datan perusteella (Kufel ym. 2023: 3).

Koneoppimisen päätyypit ovat valvottu ja valvomaton oppiminen, mutta ne eroavat merkittävästi toisistaan sekä datan käsittelyssä että oppimisprosessissa (Kufel ym. 2023: 4). Valvotussa koneoppimisessa mallia opetetaan käyttämällä tietoja, joissa on sekä syöte- että tulostiedot, ja tämä auttaa mallia oppimaan, miten syöte ja tulos liittyvät toisiinsa, jolloin se voi tehdä ennusteita tai luokituksia uusista tietojoukoista, joita se ei ole ennen nähnyt (Kufel ym. 2023: 4). Valvomaton koneoppiminen taas käyttää merkittömää dataa, jossa ei ole etukäteen määriteltyjä vastauksia tai tuloksia, sen sijaan, että malli tekisi ennusteita tai luokittelisi tietoja, se etsii yhteisiä piirteitä ja ryhmittelee tiedot niiden perusteella (Kufel ym. 2023: 4). He tiivistävät, että valvottu oppiminen on hyödyllistä, kun tiedetään, mitä etsitään, kun taas valvomaton oppiminen auttaa löytämään piileviä malleja ilman valmiita vastauksia.

3. Esimerkkejä luonnonsuojelutoimista

Ihmiskokona on kasvanut huomattavasti viime vuosikymmenien aikana, vuonna 1872 väkiluku oli noin 1,2 miljardia ja vuonna 2019 se on ollut jo 7,4 miljardia ja tämän takia maan tarve on kasvanut merkittävästi, joka taas on luonut ongelmia luonnonsuojelulle (Fang ym. 2019: 5). Ympäristövirastot käyttävät GIS-pohjaisia ympäristöhallintaohjelmistoja esimerkiksi suojelutoimien toteuttamiseen, omaisuuden valvontaan reaaliajassa, lupien myöntämiseen sekä tiedottamiseen (Esri). Ympäristöhallintaohjelmien käyttöä suositellaan esimerkiksi järjestöille ja kunnille, sillä maantieteellisen lähestymistavan käyttö auttaa seuraamaan ympäristön terveyttä, tukemaan ympäristöoikeudenmukaisuutta ja tunnistamaan saastelähteitä, mikä taas auttaa pitämään paikallisen luonnon hyvässä kunnossa ja elinvoimaisena ja auttaa keskittymään ongelma-kohtiin (Esri). Ilmastonmuutos tuo luonnonsuojelulle lisäksi aivan uudenlaisen haasteen ja tutkimuksien perusteella näyttää, että nykyiset suojelukäytännöt eivät enää riitä, (Titley ym. 2021; Milad ym. 2011) vaan tarvitaan paljon suurempaa rajat ylittävää yhteistyötä paikallisyhteisöiltä, luonnonsuojelujärjestöiltä ja hallituksilta, kuin mitä nykyään se on (Titley ym. 2021: 6)

GIS:iä on hyödynnetty Kreetan saaren maanpeitteen muutoksien ja maankäytön soveltuvuuden tarkasteluun (Elhag 2011: 11). Maanpeitteen muutosten seuraaminen on tärkeää, jotta voidaan ymmärtää, miten poliittiset päätökset, sääntelytoimet ja maankäytön muutokset liittyvät toisiinsa (Elhag 2011). Koska maanpeitteen muutoksilla on suuri rooli suojelusuunnitelmissa, tutkimusalueella haluttiin käyttää kustannustehokkaita

etähavainnointitekniikoita, jotka seuraavat muutoksia eri aikaväleillä, sillä tämän pitäisi tukea parempia suojelupäätöksiä ja varmistaa että alueita hoidetaan kestävästi (Elhag 2011: 1). Kreetalla luonnonsuojelu ja biodiversiteetin suojelu ovat keskeisessä osassa hoitosuunnitelmissa sellaisilla alueilla, joissa kasvillisuus on vähentynyt, sillä seuraava todennäköinen vaihe olisi biodiversiteetin menetys (Elhag 2011: 15–16).

Salametsästys on vakava uhka keskeisten lajien ja kokonaisiin ekosysteemeihin suuntautuvan suojelun kannalta (Fang ym 2016). Jalka- eli kävelypatrollit ovat monissa maissa yleisin käytetty lähestymistapa salametsästyksen estämiseksi, nämä partioinnit eivät usein hyödynnä rajoitettuja resursseja parhaalla mahdollisella tavalla (Fang ym 2016). Tämän tilanteen korjaamiseksi luotiin PAWS. Protection Assistant for Wildlife Security (PAWS), on tietojenkäsittelytieteilijöiden, suojelututkijoiden ja kahden kansalaisjärjestön, Pantheran ja Rimban yhteinen hanke (Fang ym. 2017). Etelä-Kalifornian yliopisto kehitti algoritmin, joka testattiin ensimmäisen kerran kenttäolosuhteissa Ugandan Queen Elizabethin kansallispuistossa 2014 (AI4SDGs). PAWS on järjestelmä, jossa tekoäly auttaa suojeluviranomaisia suunnittelemaan metsänvartijoiden partiointireittejä luonnonrikosten ehkäisemiseksi ja se osoittaaakin kuinka tekoäly ja koneoppiminen voivat merkittävästi tukea luonnonsuojeluviranomaisia salametsästyksen torjunnassa. (Fang ym. 2017).

Salametsästäjien käyttäytymisen ennustamiseen PAWS integroi koneoppimista, peliteoreettista päättelyä ja reittisuunnittelua, eli se oppii salametsästäjien käyttäytymismallit kerätyn rikosdatan perusteella ja luo satunnaistetun partiointistrategian, joka ehdottaa partiointireittejä ja niiden todennäköisyyksiä (AI4SDGs). Sivuston mukaan ennustamalla minne salametsästäjät iskevät seuraavaksi, PAWS parantaa suojelun tehokkuutta ja suojelee uhanalaisia lajeja, sillä hankkeen tavoitteena on tukea YK:n kestävän kehityksen tavoitteita suojelemalla villieläimiä ja maapallon ekosysteemejä. Partioinnin suunnittelijat ovat todenneet, että PAWS:in tuottamat reitit muistuttavat hyvin pitkälti ihmissuunnittelijan laatimia reittejä ja tämä on lupaava merkki siitä, että PAWS voi tarjota toteuttamiskelpoisia reittiehdotuksia ja helpottaa merkittävästi partioinnin suunnittelun työlästä prosessia, mikä aikanaan helpottaisi etenkin salametsästyksen ehkäisemistä (Fang ym. 2017).

3.1 Esimerkkejä metsiensuojelusta

Global Forest Watch (GFW) on hyvä esimerkki, kuinka paikkatietojärjestelmiä voidaan hyödyntää luonnonsuojelun edistämässä ja metsien suojelussa. GFW on verkkopohjainen paikkatietojärjestelmä, joka tarjoaa kattavaa ja ajantasaista dataa eri puolilla maailmaa olevien metsien tilasta ja niiden muutoksista. (Global Forest Watch) Järjestelmän avulla voi tarkastella laajoja metsäalueita ja niiden tilaa helposti ja nopeasti, hyödyntäen kehittyntä teknologiaa, kuten satelliittikuvia ja pilvipalveluja (Global Forest Watch). GFW-tuottama data on päivittäin käytössä hallituksilla, yrityksillä, kansalaisjärjestöillä, toimittajilla ja tavallisilla ihmisillä, jotka välittävät paikallisista metsistä (Global Forest Watch). GFW tarjoaa käyttäjilleen työkaluja, joiden avulla metsien tilaa ja sen muutoksia voidaan tarkastella eri aikaväleillä ja lisäksi tieto esitetään selkeillä karttakuvilla, jotka tekevät metsien muutosten seuraamisesta ja ymmärtämisestä helpompaa (Global Forest Watch). Kartat auttavat näkemään, miten metsät ovat tuhoutuneet, kasvaneet tai elpyneet eri alueilla ja ne näyttävät, kuinka nopeasti ja laajasti muutoksia on tapahtunut (Global Forest Watch). GFW:n avulla on mahdollista seurata metsien tilan muutoksia lähes reaaliaikaisesti, mikä mahdollistaa nopean reagoinnin alueellisiin ja globaaleihin metsäkatoon liittyviin kysymyksiin.

GIS-teknologian avulla on mahdollista seurata metsien häviämistä ja rapistumista yhdistämällä analogista ja digitaalista dataa eri luonnonvarahallinnan ja ympäristönsuojelun hankkeista (Reusing 2000). Etähavainnointitekniikoita sekä GIS:iä yhdessä on hyödynnetty Etiopiassa metsäkadon seuraamiseen. Satelliittikuvien ja ilmakuvien avulla suoritettujen analyysien ovat paljastaneet, että luonnolliset metsät ovat vähentyneet merkittävästi jo ennen 2000-lukua (Reusing 2000). Vuonna 1970 metsät peittivät 4,75 % Etiopian pinta-alasta, mutta 15 vuotta myöhemmin jäljellä oli vain 0,20 %. Metsäkadon vuosittainen tahti oli silloin 163 600 hehtaaria (Reusing 2000). Etiopian metsien rapistuminen on ollut vuonna 2000 tiiviisti yhteydessä maan nopeaan väestönkasvuun, jonka myötä myös maa-alueiden kysyntä erityisesti asumiseen ja maataloustuotannon käyttöön kasvoi (Reusing 2000). Global Forest Watchin nettisivujen mukaan vuonna 2020 Etiopiassa oli 15,5 miljoonaa hehtaaria luonnonmetsää, joka kattoi silloin yli 14 % sen maapinta-alasta, mutta vuonna 2023 Etiopia menetti melkein 79 tuhatta hehtaaria luonnonmetsää, mikä vastaa 32,5 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä (Global Forest Watch).

Droneseed on yhdysvaltalainen yritys, joka käyttää Drooneja apunaan uudelleenmetsityksessä (Shivaprakash 2022; DoodleLabs). Drooni (drone) on kauko-ohjattava miehittämätön ilma-alus (Kotimaisten kielten keskus), jota on käytetty apuna tuhoutuneiden

metsien uudelleenmetsityksessä, jolloin dronit kartoittavat sopivia olosuhteita ja tiputtavat puiden siemeniä alueelle (Shivaprakash 2022: 6). Metsäpalot polttivat vuonna 2024 Yhdysvalloissa yli 8,1 miljoonaa eekkeriä metsää ja tämän metsäkadon hälyttävää kiihtymistä pahentaa se, että yhä useammat näistä metsäpaloista ovat tuhonneet metsien siemenlähteet, jättäen jälkeensä tuhoutuneita ekosysteemejä, jotka eivät voi toipua ilman ihmisen puuttumista asiaan (Canary, 2024). Perinteiseen istutukseen verrattuna tämä dronien käyttäminen nopeuttaa työtä ja kattaa lisäksi laajemman alueen sekä mahdollistaa metsityksen tilan nopean seurannan ja mittaamisen (Shivaprakash ym. 2022: 6).

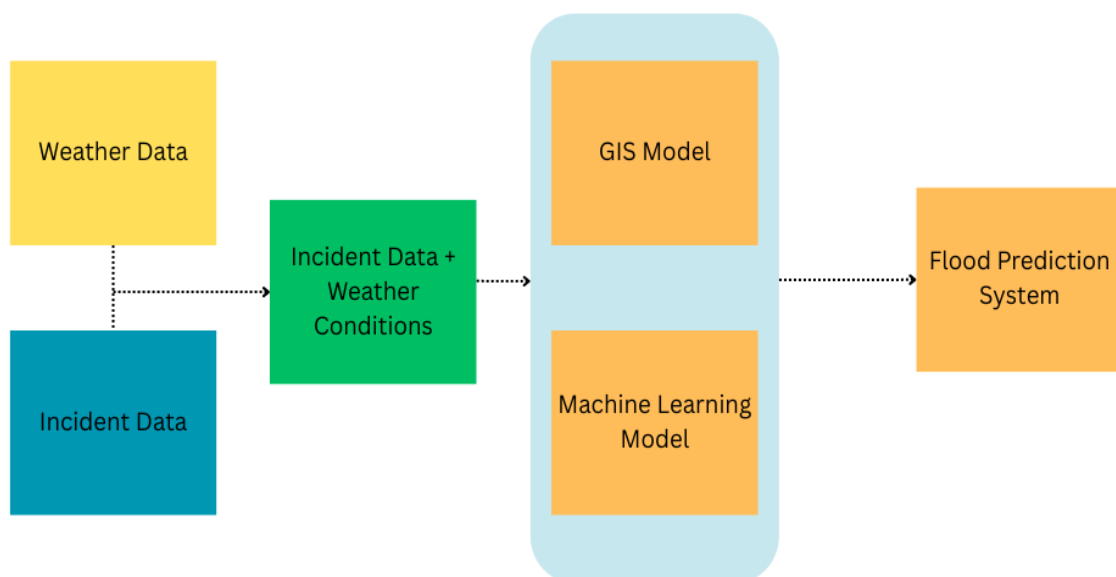
Metsäkadon ja laittomien hakkuiden haasteiden ratkaisemiseen Rainforest Connection-yritys käyttää vanhoja, matkapuhelimia, jotka saavat virtansa aurinkoenergiasta ja asentavat ne puiden latvoihin tallentamaan moottorisahan ääniä metsistä (Shivaprakash ym. 2022: 5). Nämä äänitallenteet lähtevät matkapuhelintorneihin ja tukiasemaan, jossa Googlen tekoäly- ja koneoppimiskirjasto, TensorFlow, tunnistaa ja erottelee moottorisahan äänen muista metsän normaaleista äänistä ja kun ääni on tunnistettu, tieto äänestä ja antureiden sijaintitiedoista lähetetään metsänhoitajille, jotta he voivat ryhtyä toimenpiteisiin ja estää laittomat metsien hakkuut (Shivaprakash ym. 2022: 5). Rainforest Connectionin nettisivuilla kerrotaan, että he ovat onnistuneet valvomaan ja suojelemaan jo 115 suojelualuetta, 736,200 hehtaaria maata on valvonnan alla, 37 maata on ollut mukana projektissa tähän mennessä ja 587 matkapuhelinta on otettu käyttöön valvomaan alueita (Rainforest Connection).

3.2 Esimerkkejä tulva-alueiden ennustamisesta

Tulvat aiheuttavat luonnonkatastrofeista eniten tuhoa ja niiden määrä on vain kasvanut huomattavasti viime vuosikymmeninä (Motta, de Castro Neto & Sarmiento 2021: 1). Heidän mukaansa ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöiden ennustettavuus on heikentynyt, mikä on pakottanut riskienhallintatapoja kehittymään ja mukautumaan uusiin haasteisiin. Perinteiset menetelmät, kuten historiallisten tietojen analysointi, eivät enää riitä, vaan nykyaikaiset paikkatietojärjestelmät (GIS) ja kehittyneet laskennalliset mallit ovat tulleet välttämättömiksi tulvariskien ennustamisessa ja hallinnassa (Motta ym. 2021: 1). Tutkimusten mukaan koneoppimismallit pystyvät ennustamaan tulvia tarkasti jopa pelkän historiallisen datan perusteella, ilman että tarvitaan syvällistä tietoa tulvailmiöiden fysikaalisista prosesseista (Motta, ym. 2021: 2). Heidän mukaansa perinteisiin tilastollisiin malleihin verrattuna

koneoppimismallit ovat tarkempia mutta myös nopeampia kehittää, sillä ne vaativat vain vähän syöttötietoa. He toteavatkin, että tämä tekee koneoppimisesta erityisen hyödyllisen sellaisilla alueilla, joilla tarkkaa ympäristödataa ei ole helposti saatavilla, mutta tulvariskien ennustaminen on silti tärkeää.

Motta ym. (2021) kertovat että käyttivät omassa tutkimuksessaan paikkatietojärjestelmää (GIS) tunnistamaan tilastollisesti merkittäviä alueellisia klustereita. Esrin sivuilla kerrotaan kartoitusklusterien olevan työkaluja, jotka analysoivat tilastollisesti merkittäviä kuumia ja kylmiä pisteitä (hot-spot, cold-spot) sekä alueellisia poikkeamia. Motta ym. (2021: 9) pystyivät tutkimuksessaan määrittämään, mitkä kohdekaupungin alueet olivat alttiimpia tulville (hot-spot) ja mitkä alueet olivat vähemmän alttiita (cold-spot). He kertovat kuinka Hot Spot-analyysiä on ennenkin käytetty tulvamallinnuksessa paikallisten haavoittuvuuksien tunnistamiseen ja alueellisen vaihtelun analysointiin, mutta vaikka analyysi tuo esiin hyödyllisiä spatiaalisia kuvioita ja koneoppimismallit pystyvät löytämään kaavoja ennustaakseen tulevia tapahtumia, kumpikaan menetelmä ei yksinään riitä kattavan tulvaennustusjärjestelmän rakentamiseen. Omassa tutkimuksessaan he yhdistivät nämä kaksi menetelmää, koneoppimismallin sekä GIS:in Hot Spot analyysimallin. Kuvassa 1 on havainnoinnut Motan ym. (2021: 3) tutkimuksessa käytettyä tulvien ennustusjärjestelmän dataputkea. Dataputki on kaavio, jossa kuvataan menetelmää, jolla otetaan data eri tietolähteistä, joka muunnetaan sopivaan muotoon ja siirretään analysoitavaksi (Stryker 2024).



Kuva 1. Tulvien ennustusjärjestelmän dataputki. (Piiirretty Motta ym. 2021: 3 mukaan.

Säätiedoilla (weather data) ja onnettomuustiedoilla (incident data) koneoppimismalleja (machine learning model) koulutettiin luokitelemaan tulvien esiintymistä kaupungissa ja GIS-mallia (GIS model) käytettiin tilastollisesti merkitsevien alueellisten klustereiden tunnistamiseen. Kun molemmat mallit yhdistetään, muodostavat ne tulvien ennustejärjestelmän (flood prediction system) joka tarjoaa ennusteita mahdollisista tulvavaaroista alueella (Motta, ym. 2021: 3).

Topografisia tietoja käyttämällä voidaan tehdä yksityiskohtaisia tulvasimulaatioita ja tulvakartoituksia, kuten Puno ym. (2022) tekivät. Topografia tarkoittaa maanpinnan muotojen ja maiseman tutkimusta (Markoski 2018). Maastonmuotojen ymmärtäminen on tärkeää kartoituksissa. Puno ym. (2022: 5) tutkimuksessa maanpinnan korkeustietojen perusteella ennustettiin paikkatietojärjestelmän, minne vesi leviäisi tulvan aikana Valencian kaupungissa, Filippiineillä. Tutkimuksessa käytetyt mallit toimivat paikkatietojärjestelmässä (ArcGIS) mallilajennusten avulla. Puno ym. (2022:) painottavat kustannustehokkaan mallin tärkeyttä tutkimuksissa, sillä siten viranomaiset ja järjestöt voivat paremmin hallita kaupunkitulvariskien vähentämiseen ja hallintaan liittyviä hankkeita sekä kansallisella että paikallisella tasolla.

4. Ilmastonmuutos ja luonnonsuojelu

Globaali ilmastonmuutos käynnistää ympäristökriisien ketjureaktion, joihin kuuluu esimerkiksi kuumat helleaallot Euroopan poikki, Grönlannin jääpeitteen nopeutuneen sulamisen sekä koralliriuttojen valkaisuilmiot, jotka tuhoavat suurta valliriuttaa (Wang ym. 2024:2). Maapallon pinta-alan ekosysteemeistä noin 75 % sekä jopa 66 % merialueista kärsivät ihmisen toiminnan negatiivisista vaikutuksista (Bongaarts 2019). Lisäksi hän kertoo kuinka 25 % maapallon lajeista ovat uhanalaisia ja sukupuuton partaalla. Näiden globaalien haasteiden ratkaiseminen edellyttää nopeaa ja tehokasta toimintaa jokaiselta valtiolta, päättäjältä ja toimijalta.

Ilmastonmuutos vaikuttaa metsiin, niiden lajistoon ja elinympäristöihin, mikä tuo haasteita suojelutoimille, sillä metsät ja niiden ekosysteemit, erityisesti Keski-Euroopassa, ovat alttiita ilmastonmuutoksen vaikutuksille, kuten lämpötilan nousulle ja äärimmäisille sääilmiöille, kuten kuivuudelle ja myrskyille (Milad ym. 2011: 830, 833). Nämä tekijät voivat muuttaa metsissä elävien lajien elinolosuhteita ja elinalueita ja etenkin jotkin puulajit voivat siirtyä korkeammille leveysasteille, parempiin olosuhteisiin (Milad ym. 2011: 832). He

huomauttavat kuitenkin, että lajien liikkuminen voi olla hidasta ja vaikeutuu maankäytön ja maiseman pirstoutumisen myötä, joka lisää sukupuuton riskiä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset osuvat etenkin maihin, joilla on heikommat taloudelliset ja poliittiset resurssit luonnonsuojelutoimien toteuttamiseen (Titley ym. 2021:1). Tällaisissa tilanteissa korostuu etenkin tarve tehokkaille mutta vähän dataa vaatimille koneoppimismalleille, kuten Motan ym, (2021) artikkelissa mainitaan. Monissa kehittyvissä maissa, joissa on heikompi hallinto ja vähemmän taloudellisia resursseja, on vaarana, että lajien elinympäristöt tuhoutuvat ilman riittäviä suojelutoimia (Titley 2021:1).

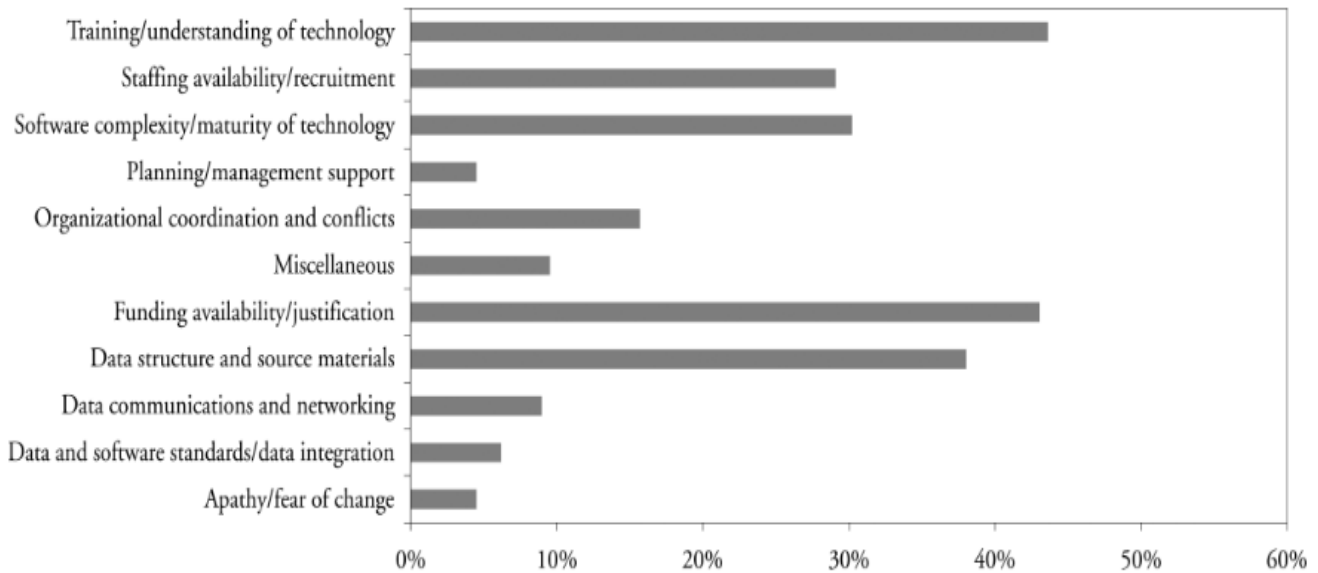
5. Haasteita

Luonnonsuojelu on ala, jolla paikkatietojärjestelmät ja tekoäly tarjoavat valtavia mahdollisuuksia, erityisesti metsien suojelun ja tulvien ennustamisen ja kartoittamisen saralla, kuten aiemmin olen käynyt läpi. Nämä teknologiat voivat todella auttaa ympäristön ja ekosysteemien suojelussa tai suojelun suunnittelussa ja vaara-alueiden kartoittamisessa, mutta niiden käyttö ei ole aivan vaivaton. Tässä osassa käyn läpi, millaisia haasteita GIS:n, koneoppimisen ja tekoälyn käyttö voi luonnonsuojelussa tuoda mukanaan.

Luonnonsuojelun haasteita on sekä käsitteellisiä että käytännöllisiä (Bertin, 2008: 141, 142). Bertin (2008: 141) mukaan käsitteellisiä kysymyksiä luonnonsuojelussa ovat muun muassa se, kuinka paljon resursseja tulisi käyttää lajien suojeluun alueilla, kun ilmasto muuttuu niille epäedulliseksi ja toisaalta, kuinka hallinnoijien tulisi reagoida alueille saapuvien lajimäärien kasvamiseen ilmastonmuutoksen myötä. Käytännön haasteita luonnonsuojelussa ovat esimerkiksi se, kuinka suojella harvinaisia lajeja ilmastonmuutoksen edessä ja miten estää ei-toivottujen lajien leviäminen (Bertin 2008: 142). Vaikeuksia esiintyy myös suojelutavoitteiden määrittelyssä, sillä ekosysteemien dynamiikan huomioiminen tai sivuuttaminen johtaa erilaisiin riskianalyysiin ja tuloksiin (Milad ym 2011: 840).

Göçmen & Ventura (2010, 176) tuovat esiin, kuinka ilman asianmukaista koulutusta GIS:n täysimittainen hyödyntäminen on vaikeaa ja koulutuksen puute rajoittaa GIS:n käyttöä ja estää monimutkaisempien analyysien ja mallinnusten tekemisen. He myös tuovat esiin, kuinka ohjelmistojen ja teknologian nopeat muutokset voivat tehdä vaikeaksi pysyä mukana kehityksessä. Kuvassa 2 (Göçmen & Ventura 2010) on tehty koonti kyselyn tuloksista, jonka he tuottivat vuonna 2007. Kysely toteutettiin verkkokyselynä ja siihen

kutsuttiin vastaamaan 1192 henkilöä Wisconsinin suunnittelutoimistoissa työskenteleviä ammattilaisia, jotka käyttävät työssään paikkatietojärjestelmiä. Kuvan havainnot perustuvat 265 henkilön vastauksiin.



Kuva 2. Prosenttiosuus vastaajista, jotka pitivät kutakin kategoriala kolmena tärkeimpänä esteenä GIS:n käytölle suunnittelussa omissa virastoissaan. (Göçmen & Ventura 2010: 176).

Voimme huomata kuvasta, että tämän kyselyn vastaajien kesken kolme suurinta estettä GIS:n käytölle ovat koulutus/tekniikan ymmärrys ($\approx 43\%$ vastanneista), rahoituksen saatavuus/oikeutus sen käyttöön (43%) sekä tietorakenne ja lähdemateriaalit ($\approx 38\%$). Vastaajat eivät olleet kovin tietoisia paikkatietoteknologioiden mahdollisuuksista tilan analysoinnissa, suunnitelmien arvioinnissa ja mallinnuksessa. Sen sijaan he käyttivät paikkatietoteknologiaita pääasiassa rutiinitöihin, kuten karttojen tekemiseen ja tiedon hakemiseen, eivätkä tehokkaampiin sovelluksiin (Göçmen & Ventura 2010: 176). Kyselyyn vastanneista 11% mainitsi ohjelmistojen monimutkaisuuden olevan syynä vaikeuksille pysyä mukana nopeissa ja jatkuvissa ohjelmistopäivityksissä. Rahoituksen puute voi myös estää pääsyn tarpeellisiin koulutuksiin, ohjelmistoihin ja laitteistoihin tai koulutettuun henkilökuntaan (Göçmen & Ventura 2010: 177).

Yksi ongelmista GIS:in kanssa työskentelyssä liittyy datan keräämiseen ja sen saatavuuteen. Vaikka digitaalista dataa saattaa olla saatavilla, siihen voi liittyä luottamuksellisuuteen, kansalliseen turvallisuuteen ja muihin esteisiin liittyviä ongelmia, jotka

vaikuttavat sen käyttöä (Sipe 2003:3). GIS-käyttäjät kohtaavat ongelmia sekä kehittyneissä että kehittyvissä maissa, joissa on vaikeaa löytää rahaa uuden datan keräämiseen ja paperikarttojen muuttamiseen digitaaliseksi (Sipe 2003; Wieczorek ym. 2009). Datan vanheneminen, sen raportoimatta jääminen teknisten ongelmien vuoksi tai tietojen huono tarkkuus on myös ongelma, raportoi Sipe (2003: 4). Hän antaa esimerkkinä säätiedot, jotka kerätään säätutkimusasemilta, jotka voivat olla epätäydellisiä tai vanhentuneita ja tämä tekee niiden luotettavuudesta hataraa, etenkin silloin kun tarvitaan tarkkoja tietoja, kuten esimerkiksi interpoloinnissa ja extrapoloinnissa, sillä jos tiedoissa on suuria vaihteluita eikä data ole tarkkaa voivat ne johtaa epätarkkoihin tuloksiin (Sipe 2003). GIS:ssä on myös tärkeää ottaa huomioon, miten koordinaattijärjestelmät vaikuttavat datan tarkkuuteen, huomauttavat Wieczorek ym. (2009: 170). Polygonien ulkonäössä voi olla vääristymiä koon ja muodon suhteen ja jos on suoritettava tarkkoja mittauksia tai analyyseja, tulee käyttää projisoitua koordinaattijärjestelmää, joka ylläpitävät korkeaa paikannustarkkuutta (Wieczorek ym. 2009: 170).

Tulva-alueiden mallintamisen ongelmina on tietyissä tapauksissa ollut mallien herkkyyks, joka voi johtaa virheellisiin positiivisiin tuloksiin hot-spot analyysissa (Motta ym. 2021: 12) mutta he kertovat, että sitä pystytään koulutetulla käyttäjäkunnalla hallitsemaan, eikä sen pitäisi olla suuri ongelma käytössä. GIS:ssä käytettävä tietomäärä voi myös kasvaa hyvin suureksi, mikä tekee datan käsittelystä monimutkaista (Wieczorek ym. 2009: 170). He erottelevat kaksi päätyyppiä, joilla GIS-dataa yleensä tallennetaan, vektori- ja rasterimuodot. Vektoritiedot tallentavat tarkan sijainnin, kuten pisteet, viivat ja alueet, kun taas rasteritiedot ovat kuvia, jotka koostuvat pikseleistä ja tämän takia rasterin tarkkuus voi vaihdella, riippuen siitä, kuinka suuria tai pieniä pikselit ovat (Wieczorek ym. 2009: 169).

Tekoäly voi mahdollisesti tuottaa odottamattomia negatiivisia seurauksia (Reynolds ym. 2025: 202). Huolta aiheuttaa, että suojelussa menetetään olennaisia taitoja, jos kenttätyöntekijät siirtyvät tekoälyn käyttöönottoon perinteisten menetelmien sijaan (Reynolds ym. 2025: 202). Lajien, ekosysteemien ja yhteisöjen asiantuntijoiden taidon ylläpitäminen on erittäin tärkeää luotettavan tekoälyteknologian luomiseksi, sillä suojeluasiantuntijoiden keräämät tiedot ovat välttämättömiä parempien mallien tuottamiseksi (Reynolds ym. 2025: 202). Tekoälykolonialismi on merkittävä huolenaihe tekoälyn käytössä luonnonsuojelussa, erityisesti sen vaikutuksista globaaliin etelään (Global South) (Reynolds ym. 2025: 202). Tekoälykolonialismissa datan kerääminen ja mallien kouluttaminen saattavat tapahtua

pääasiassa globaalissa pohjoisessa (Global North), vaikka se olisikin peräisin alueilta, joilla on köyhemmät resurssit ja rajallinen pääsy teknologioihin (Reynolds ym. 2025: 202).

Tällainen käytäntö voi johtaa siihen, että tekoälymallit, jotka on koulutettu pohjoisessa, antavat suosituksia ja ohjeita siitä, miten globaalinen etelän pitäisi hallita maata ja resursseja (Reynolds ym. 2025: 202). Tämä voi luoda eräänlaisen digitaalisen vallankumouksen, jossa suojelutoimet ja luonnonvarojen hallinta määräytyvät pohjoisen kehittäjien ja suurten teknologia-alan yritysten toimesta ilman, että otetaan huomioon paikallisia olosuhteita, kulttuuria tai alkuperäiskansojen oikeuksia (Reynolds ym. 2025: 202). Tekoälykolonialismi voi myös rajoittaa globaaliin etelään asukkaiden mahdollisuuksia omaksua ja kehittää omia teknologioitaan ja strategioitaan luonnonsuojelussa ja siksi onkin tärkeää, että tekoälyn käyttöönottoa suojelussa tarkastellaan myös kriittisesti ja että alueet saavat mahdollisuuden osallistua tekoälyn kehittämiseen ja sen käytön ohjaamiseen omilla alueillaan (Reynolds ym. 2025: 202). Vaikka tekoälymalleja rakennetaan suojelun tehostamiseksi hyvillä aikomuksilla, on tärkeää muistaa, että niitä voivat käyttää myös huonot toimijat (Reynolds ym. 2025: 203). Esimerkiksi suojelutoimissa käytettävää kuva- ja äänidataa, joita käytetään uhanalaisten tai suojeltujen lajien seuraamiseen, voivat joutua salakuljettajien tai hallitusten käyttöön, jolloin niitä voitaisiin käyttää jopa valvomaan ihmisten liikkeitä (Reynolds ym. 2025: 203). Tekoälyn kehittäminen kohtaa myös muita haasteita, ja yksi suurimmista on se, että oikeanlaisiin koulutusdatoihin ei aina pääse käsiksi perusteella (Kufel ym. 2023: 17). Datan merkitseminen tunnisteilla käsin on kallista, vie paljon aikaa ja siihen liittyy suuri virheriski, on siis tärkeää varmistaa, että tekoäly ja datan yhdistämismenetelmät ovat luotettavia ja ymmärrettäviä, mikä vaatii sääntöjä ja eettistä pohdintaa (Kufel ym. 2023: 17).

6. Kehittämisen kohteita

Demissien ym (2024) tutkimuksen tavoitteena oli kehittää koneoppimis pohjaisia malleja, etenkin sellaisia, jotka paikallistavat tulville alttiit alueet arvioimalla tekijöitä, kuten maastonmuotoja, maankäyttöä ja historiallisia tulvatietoja. Tarkoituksena ei ollut pelkästään mallintaa jo tapahtuneita tulvia, vaan ennen kaikkea kehittää tulevaisuutta varten työkalu, joka auttaisi ennakoimaan riskejä ja suunnittelemaan tehokkaampia tapoja suojautua niiltä myöhemminkin (Demissie ym 2024). Motan ym (2021) tutkimuksen tapauksessa, tietoaisteihin liittyvistä rajoituksista huolimatta, heidän lähestymistapansa oli kykenevä

ennustamaan tulvia luotettavasti. Tämä viittaa siihen, että tällainen lähestymistapa voisi toimia myös muissa olosuhteissa. Kun käyttöön saadaan vielä tarkempaa ja laajempaa dataa, erityisesti korkearesoluutioisia karttoja tai vaikkapa useampia luotettavia säätietolähteitä, voidaan mallien tarkkuutta parantaa entisestään (Motta ym 2021). Koneoppiminen tarjoaa siis lupaavan keinon ottaa seuraava askel kohti ennakoivampaa ja paikallisesti tarkempaa tulvariskien hallintaa.

Ilmastonmuutoksen valossa staattisia suojelulähestymistapoja, jotka keskittyvät lajeihin ja elinympäristöihin, tulisi tarkastella ja hienosäätää, koska niiden tulisi ottaa nykyistä paremmin huomioon ilmastonmuutoksen dynaamiset vaikutukset (Milad ym 2011: 840). Staattiset suojelutavoitteet, jotka keskittyvät vain nykyisten lajien ja elinympäristöjen suojelemiseen, saattavat tulevaisuudessa olla riittämättömiä, koska ilmastonmuutos voi muuttaa lajien levinneisyyttä ja elinympäristöjen olosuhteita (Milad ym 2011: 840). He kertovat kuinka tulevaisuudessa tarvitaan uusia joustavampia suojelukonsepteja, jotka ottavat huomioon lajien liikkumisen ja ekologiset muutokset. Etenkin metsien suojelussa tulee yhdistää parhaimmat lähestymistavat, jotta ekosysteemit saadaan säilymään tuleville sukupolville (Milad ym 2011: 840).

7. Johtopäätökset

Kirjallisuuskatsaus osoittaa, että paikkatiedolla ja erityisesti GIS-teknologialla, koneoppimisella ja tekoälyllä on ollut ja tulee myös olemaan suuri rooli luonnonsuojelussa. GIS ei ole pelkkä karttatyökalu, vaan monipuolinen väline, jonka avulla voidaan tehdä analyyseja sekä päätöksiä. GIS yhdistää valtavan määrän tilallista ja ajallista dataa helposti hahmotettavaan muotoon (Esri, Zhu 2024). Suurin potentiaali syntyy silloin kun GIS yhdistetään koneoppimiseen ja tekoälyyn. Koneoppimisalgoritmien avulla voidaan tunnistaa ilmiöitä ja ennakoida tapahtumia, kuten tulvia myös silloin, kun tarkkaa fysikaalista ymmärrystä tai täydellistä dataa ei ole saatavilla (Motta ym. 2021). Tällainen nopea oppimiskyky tekee koneoppimisesta erityisen arvokasta esimerkiksi kehittyvissä maissa tai alueilla, joissa resurssit ovat rajalliset. Tutkimukset osoittivat, että vaikka käytettävissä oleva data oli paikoin rajallista, mallit toimivat silti tehokkaasti ja osoittivat suurta potentiaalia riskienhallinnan työkaluna (Motta ym 2021; Demissie ym. 2024).

Kirjallisuus nosti esiin myös useita esimerkkejä siitä, miten GIS ja tekoäly tukevat konkreettisia luonnonsuojelutoimia. Esimerkiksi Global Forest Watchin avulla pystytään

seuraamaan metsien tilaa lähes reaaliajassa (Global Forest Watch) ja droonitekniikkaa hyödynnettäessä uudelleenmetsitys on ollut huomattavasti nopeampaa ja tehokkaampaa teknologian ansiosta (Shivaprakash ym 2022). Lisäksi tekoälyä hyödyntävät järjestelmät, kuten Rainforest Connectionin moottorisahan ääniä tunnistavat puhelimet (Shivaprakash ym 2022), osoittavat, miten kekseliäät ratkaisuja voivat syntyä teknologian ja luonnonsuojelun risteyksessä. PAWS-järjestelmä on merkittävä edistysaskel salametsästyksen torjunnassa, sillä se yhdistää tekoälyn ja koneoppimisen suojelutoimien tueksi, sillä se voi ennustaa salametsästäjien käyttäytymistä ja luoda optimaalisia partiointireittejä (Fang ym. 2017; Fang ym. 2016). Tämä parantaa suojelun tehokkuutta ja tukee uhanalaisten lajien suojelemista. Tällaiset innovaatiot edistävät kestävä kehityksen tavoitteita ja voivat olla ratkaisevia luonnonrikosten ehkäisemisessä.

Ilmastonmuutoksen ja luonnonsuojelun yhteys on keskeinen teema luonnonsuojelussa. Ilmastonmuutoksen vaikutukset, kuten äärimmäiset sääilmiöt ja lämpötilan nousu, vaikuttavat suoraan ekosysteemeihin, lajistoon ja luonnon monimuotoisuuteen. Metsät, ovat alttiita lämpötilan nousulle ja äärimmäisille sääilmiöille ja ne muuttavatkin metsien ekosysteemejä (Milad ym. 2011). Luonnonsuojelun lähestymistapojen täytyy siis olla joustavia ja sopeuduttava ilmastonmuutoksen vaikutuksiin, ottaen kumminkin huomioon lajien liikkumiset ja ekosysteemien muutokset (Milad ym. 2011). Ilmastonmuutos ei tunne valtiorajoja ja se vaikuttaa maailmanlaajuisesti. Haasteet, kuten metsäkato vaativat kansainvälistä yhteistyötä (Titley ym. 2021; Milad ym. 2011).

Haasteitakin kuitenkin riittää. Koulutuksen ja resurssien puute rajoittaa monin paikoin GIS:n laajamittaista hyödyntämistä ja datan laatu sekä saatavuus voivat vaikuttaa negatiivisesti mallien toimivuuteen (Göçmen & Ventura 2010). Vaikka teknologia tarjoaa tehokkaita työkaluja, sen käyttö vaatii asiantuntemusta ja jatkuvaa kehittämistä. Motan ym. (2021) tutkimuksessa käytettyä hot spot-analyysissäkin voi tulla virheitä, kuten esimerkiksi virheelliset tulkinnat tai huonosti toimivat mallit voivat johtaa harhaanjohtaviin tuloksiin ja siten myös pahimmillaan huonoihin johtopäätöksiin. Tekoäly ei kuitenkaan saa korvaa perinteisiä suojelumenetelmiä, kuten koulutusta ja kenttätutkimusta, sillä se voi heikentää tulevaisuudessa uusien tekoälymallien kouluttamista (Reynolds ym. 2025). Tekoälyn väärinkäyttö voi aiheuttaa eettisiä ja oikeudenmukaisuuskysymyksiä, erityisesti kun teknologiaa käytetään valvontaan tai jopa ihmisoikeuksien loukkaamiseen (Reynolds ym. 2025). Tästä syystä on tärkeää, että suojelutoimien yhteydessä kehitetään tiukkoja sääntöjä ja valvontaa, jotta tekoälyn käyttö pysyy oikeudenmukaisena ja vastuullisena.

Kaikista haasteista huolimatta tulevaisuus näyttää valoisalta. Teknologian kehitys avaa uusia mahdollisuuksia luonnonsuojelun tueksi. Näiden avulla voidaan rakentaa entistä tarkempia ja paremmin paikallisiin tarpeisiin sopivia työkaluja, jotka eivät pelkäästään seuraava muutoksia, vaan parhaimmassa tapauksessa voivat myös ennakoida niitä tarkasti. GIS ei ole pelkkä taustatyökalu vaan enemmänkin aktiivinen kumppani suojelutyössä, jonka avulla voidaan tehdä nopeampia ja tarkempia päätöksiä luonnon hyväksi.

Lähdeluettelo

- AI for Sustainable Development Goals (AI4SDGs) Think Tank. (n.d.) PAWS (Protection Assistant for Wildlife Security). AI4SDGs. Noudettu 7.5.2025, osoitteesta <https://ai-for-sdgs.academy/case/290>
- Bertin, R. (2008) Plant Phenology And Distribution In Relation To Recent Climate Change”. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 135(1), 126–46.
- Bongaarts, J. (2019) Population and Development Review, 45(3), 680–681. <https://doi.org/10.1111/padr.12283>
- Canary, G. (2024) How Mast is Restoring America’s Lost Forests. Mast Restoration. Haettu osoitteesta: <https://www.mastreforest.com/insights/restoring-americas-lost-forests>
- Demissie, Z., Rimal, P., Seyoum, W. M., Dutta, A. & Rimmington, G. (2024) Flood susceptibility mapping: Integrating machine learning and GIS for enhanced risk assessment. *Applied Computing and Geosciences*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2024.100183>
- DoodleLabs (n.d.) DroneSeed. Noudettu 3.5.2025 osoitteesta: <https://doodlelabs.com/case-studies/droneseed/>
- El Naqa, I. & Murphy, M.J. (2015) What Is Machine Learning? Teoksessa Machine Learning in Radiation Oncology. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1
- Elhag, M. (2011) Land Suitability for Afforestation and Nature Conservation Practices Using Remote Sensing & GIS Techniques. *The International Journal of Environmental Sciences*, 6(1), s. 11-17.
- Esri (n.d.) What is GIS? Geographic Information System Mapping Technology. Noudettu 12.2.2025 osoitteesta: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
- Fang, F., Ford, B., Yang, R., Tambe, M., & Lemieux, A. M. (2017) PAWS: Game Theory Based Protection Assistant for Wildlife Security. <https://doi.org/10.1002/9781119376866.ch10>
- Fang, F., Nguyen, T., Pickles, R., Lam, W. Clements, G., An, B., ...& Lemieux, A. (2016) Deploying PAWS: Field Optimization of the Protection Assistant for Wildlife Security. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 30:2. <https://doi.org/10.1609/aaai.v30i2.19070>
- Fang, F., Tambe, M., Dilkina, B. & Plumptre, A. (2019) Artificial Intelligence and Conservation. *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781108587792>

- Global Forest Watch. (n.d) About GFW. Global Forest Watch. Noudettu 17.3.2025 osoitteesta <https://www.globalforestwatch.org/about/>
- Göçmen, Z. A., & Ventura, S. J. (2010) Barriers to GIS Use in Planning. *Journal of the American Planning Association*, 76(2), s. 172–183. doi: 10.1080/01944360903585060
- Johns, A. (2022) Journey Towards A Synthetic Consciousness. Teoksessa Learning Outcomes Of Classroom Research.L' Ordine Nuovo Publication.
- Kotimaisten kielten keskus (2016) Vuoden sanapöiminnöt 2016. Noudettu 8.4.2025 osoitteesta: <https://kotus.fi/ajankohtaista/vuoden-sanapöiminnöt/vuoden-sanapöiminnöt-2016/#ah>
- Kufel, J., Bargieł-Łączek, K., Kocot, S., Koźlik, M., Bartnikowska, W., Janik, M., ...& Gruszczyńska, K. (2023). What Is Machine Learning, Artificial Neural Networks and Deep Learning? Examples of Practical Applications in Medicine. *Diagnostics*, 13(15), 2582. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152582>
- Kumar, E. (2013) Artificial Intelligence. I. K. International Pvt Ltd. Haettu 30.3.2025 osoitteesta: <https://www.google.com/books?hl=fi&lr=&id=rNmAY-RcGKYC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Artificial+Intelligence+Kumar&ots=tEvL-5r6Lp&sig=540n-bjz45-aPudxcx4PjTQMJBw>
- Lloyd, C. (2010). Spatial Data Analysis: An Introduction for GIS Users. OUP Oxford.
- Markoski, B. (2018) Basic Principles of Topography. Teoksessa B. Markoski (Toim.), Basic Principles of Topography, s. 1–24. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72147-7_1
- Milad, M., Schaich, H., Bürgi, M., & Konold, W. (2011) Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management*, 261(4), 829–843. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.038>
- Motta, M., de Castro Neto, M. & Sarmento, P. (2021) A mixed approach for urban flood prediction using Machine Learning and GIS. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102154>
- Puno, G., Puno, Rena C. & Maghuyop, I. (2022) Flood hazard simulation and mapping using digital elevation models with different resolutions. *Global Journal of*

- Environmental Science and Management*, 8(3), s. 339–352.
<http://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2022.03.04>
- Rainforest Connection (n.d.) Our Impact. Noudettu 12.4.2025 osoitteesta:
<https://rfcx.org/impact>
- Reusing, M. (2000) Change detection of natural high forests in Ethiopia using remote sensing and GIS techniques. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/229046625_Change_detection_of_natural_high_forests_in_Ethiopia_using_remote_sensing_and_GIS_techniques
- Reynolds, S., Beery, S., Burgess, N., Burgman, M., Butchart, S., Cooke, S., ...& Sutherland, W. (2025) The potential for AI to revolutionize conservation: A horizon scan. *Trends in Ecology & Evolution*, 40(2), 191–207.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2024.11.013>
- Shivaprakash, K., Swami, N., Mysorekar, S., Arora, R., Gangadharan, A., Vohra, K., ...& Kiesecker, J. M. (2022) Potential for Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) Applications in Biodiversity Conservation, Managing Forests, and Related Services in India. *Sustainability*, 14(12).
<https://doi.org/10.3390/su14127154>
- Sipe, N. G. (2003) Challenges in using geographic information systems (GIS) to understand and control malaria in Indonesia. *Malaria Journal*, 2(1), s. 36–36.
<https://doi.org/10.3390/su14127154>
- Stryker, C. (2024) What Is a Data Pipeline? IBM. Noudettu 12.4.2025, osoitteesta
<https://www.ibm.com/think/topics/data-pipeline>
- Titley, M., Butchart, S., Jones, V., Whittingham, M. & Willis, S. (2021) Global inequities and political borders challenge nature conservation under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(7). <https://doi.org/10.1073/pnas.2011204118>
- Wang, Z., Wang, T., Zhang, X., Wang, J., Yang, Y., Sun, Y., ...& Kuca, K. (2024) Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Science of The Total Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173377>
- Wieczorek, W. & Delmerico, A. (2009) Geographic information systems. *WIREs Computational Statistics*, 1(2). s. 167–186. <https://doi.org/10.1002/wics.21>
- Wilkinson, G. G. (1996) A review of current issues in the integration of GIS and remote sensing data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(1), 85–101.
<https://doi.org/10.1080/02693799608902068>
- Zhou, Z. (2021) Machine Learning. SpringerLink. Noudettu 20.3 2025, osoitteesta <https://link-springer-com.pc124152.oulu.fi:9443/book/10.1007/978-981-15-1967-3>
- Zhu, X. (2024) Geographical Information Systems: A Practical Approach. *Taylor & Francis*.
<https://doi.org/10.4324/9781003343226>