

Kokeilut metsätiedon käytön tehostamiseksi -hanke

Kirjanpainajan tuhojen tunnistaminen eri menetelmillä (kooste kirjallisuuden perusteella)

Kirjanpainaja-kaarnakuoriaista esiintyy luontaisesti kaikenlaisissa metsissä. Ongelmia muodostuu silloin, kun kirjanpainajien määrä runsastuu niin paljon, että ne aiheuttavat kuusia kuivattavia tuhoja. Hakkuuaukkojen reunaolosuhteet, tuulituhot, kuivuus ja lämpimät kesät ovat tyypillisiä syitä kirjanpainajatuhojen leviämiseen. Kuusi on herkkä kuivuudelle, kuivuusstressin ja kuusen puolustuskyvyn heikkenemisen välillä on selvä yhteys.

Kirjanpainaja aiheuttaa vuosittain arviolta 5-12 miljoonan euron taloudelliset tulonmenetykset metsänomistajille tukkikokoisen sahalajosteiksi menevät puu-aineksen siirtyessä paperin ja sellun raaka-aineeksi tai energiapuuksi.

Kirjanpainajatuhojen havaitseminen ja eteneminen:

- reiät puun kuoreessa ja ruskeaa purua (kuoriainen mennyt sisään runkoon)
- pihkavuodot (puu alkaa puolustautua iskeytymistä vastaan lisäämällä pihkan valuttamista)
- neulasten värimuutokset (kuoriaisten toukat syövät käytäviä ja estävät nestevirtauksen nilassa, puu alkaa kuivua)
- neulasten putoaminen (harsuuntuminen, kuivat neulaset putoavat)
- kaarnan irtoaminen (kuusi on kuivunut ja kuoriaiset ovat lähteneet jo muualle)

Varautuminen ja ennakointi:

- metsänomistajien tietoisuuden lisääminen: jatkuva tarkkailu koko kesän ajan!
- viranomaisten ja metsätoimijoiden yhteistyön kehittäminen
- talousmetsien oikea-aikainen ja oikeanlainen hoito ja käsittely
- kuusimetsien uudistaminen sekametsiksi
- Hämeen ilmastoturva-hankkeessa koostettu tietoa metsien riskeistä Hämeessä <https://www.mhy.fi/paijat-hame/ilmastoturvallisuuden-parantaminen-hameen-maaseudulle-hameen-ilmastoturva> ja esimerkiksi kirjanpainajaan varautumisesta <https://www.mhy.fi/wp-content/uploads/sites/42/2023/11/Kirjanpainaja.pdf>

Avoimet paikkatietoaineistot Avointa kaikkien käytettävissä olevaa paikkatietoaineistoa löytyy esimerkiksi maaperään, kasvillisuuteen, puustoon liittyen. Tietoa tuottavat mm. GTK, Luke, MML. Näitä eri aineistoja voidaan yhdistää karttatasoiksi, jolloin eri tekijöiden osuessa kohdalleen samalle alueelle ne voivat kuvata riskiä johonkin asiaan. Tässä tapauksessa on tutkittu kirjanpainajan riskialueita.

- Monilähteen valtakunnan metsien inventointi MVMI: kuvaavat estimaatteja puuston biomassasta puulajiryhmittäin ja puulajiositteittain (21 teemaa), puuston tilavuudesta puulajiryhmittäin ja puutavaralajeittain (13 teemaa), puuston iästä, keskiläpimitasta, pituudesta, pohjapinta-alasta, koko puuston ja lehtipuuston latvuspeitosta sekä kasvupaikasta, kasvupaikan päätyypistä ja maaluokasta
- Maaperäkartta: pintamaa kuvaa maalajia 0,4–0,9 metrin syvyydessä
- Korkeusmalli: kuvaa maaston korkeutta 2 × 2 m –resoluutiolla

Em. paikkatietoaineistoja yhdistämällä saadaan tarkkuudeltaan 20 m x 20 m ruudukko, jolta voidaan nähdä riskialueita kirjanpajajalle. Em. lupaavaa tulkintaa, vaatii vielä tarkentamista. Pienialaiset iskeymät, muutaman puun ryhmät vaikea havaita.

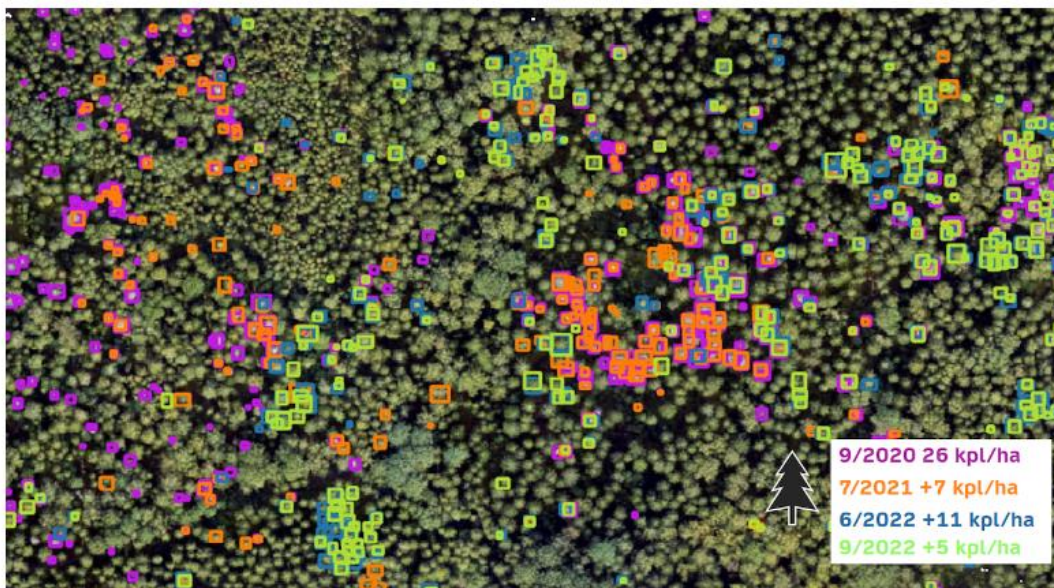
Puun kunnan mittaaminen dronella Kirjanpajajaiskeymän vaikutuksesta kuusen neulasten väri muuttuu vihreästä keltaiseksi, punaiseksi ja lopuksi harmaaksi, mikä voidaan havaita metsän yläpuolella lentävään droneen kiinnitetyllä kameralla. Tarkimmat mittaukset saatiin hyperspektrikameroilla, jotka tuottivat puiden latvuksista senttitarkkoja hyperspektrikuvia. Uudet syväoppivat tekoälymenetelmät pystyvät tunnistamaan puulajit ja löytämään terveet, kuolleet ja värioireiset puut jopa tavallisista värikuvista.

Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus on kehittänyt tekoälymenetelmän, joka etsii dronekuvilta yksittäiset kuusipuut, ja luokittelee ne terveisiin, heikentyneisiin ja kuolleisiin. Dronekuvien yhdistäminen tekoälyyn mahdollistaa laajoillekin alueille skaalautuvan, päästöttömän dronepohjaisen metsän terveyden seurannan.

Vapaasti maksuttomassa käytössä olevat **Sentinel-1 ja 2 -satelliittikuvat** [Sentinel Hub EO Browser \(sentinel-hub.com\)](https://sentinel-hub.com) soveltuvat hyvin tuhojen tunnistukseen silloin, kun tuhoja on metsässä jo runsaasti. Niiltä ei pystytä tunnistamaan kirjanpajajatuhojen alkuvaihetta, jossa kuolleet ja sairaat puut esiintyvät hajallaan yksittäisinä puina metsän alueella. Sekä satelliitti- että dronekuvauksella on siis omat tehtävänsä kirjanpajajatuhojen seurannassa.

Kaukokartoitus- ja laserkeilausmenetelmillä (dronella, helikopterilla, lentokoneella kuvattu) voidaan erottaa kirjanpajajan asuttamat metsiköt terveistä jopa 70–80 % tarkkuudella, jos kohteista on havaintoaineisto ennen tuhoa (kuvien vertailu). Luotettavuutta voidaan parantaa puusto-, kasvupaikka- ja topografiatiedoilla.

Itä-Suomen yliopiston tuottaman **kirjanpajajatuhojen riskimallin** avulla voidaan tulevaisuudessa ennustaa, missä päin Suomea on suurin riski kirjanpajajan aiheuttamille laajoille puustotuhoille. Aluksi testikäyttöön tuleva malli perustuu avoimiin paikkatietoaineistoihin ja hankkeessa kerättyyn maastodataan.



Kirjanpajajatuhoja on monitoroitu keskuspuistossa kaukokartoituksen keinoin. Kuvassa näkyy kuolleiden puiden tilanne eri vuosina. Kuva: Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus

Eri menetelmiä etsiä ja tulkita kirjanpainajan iskeytymistä

- 1) Kenttätyö kävellen metsässä ja havainnoiden silmämääräisesti: hidasta, ennakkotyö sähköisistä riskikartoista työpöydän ääressä potentiaalisista alueista. Silmin pystyy tunnistamaan vain jo ruskettuvat tai kuolleet/kuivuneet kuuset. Ei laajoja kartoituksia: vain paikalliset, pistemäiset alueet havainnoitavissa.
- 2) Dronella ja perinteisellä kameralla ilman väärävärivärikuvantulkintoja: ennakkotyö sähköisistä riskikartoista työpöydän ääressä. Summittain ei kannata lähteä metsään, kuvista tunnistetaan vain jo ruskettuvat tai kuolleet/kuivuneet kuuset. Soveltuu laajemmille alueille ”yleiskuvan” luomiseen tuhotilanteesta, ei anna tarkkaa tietoa yksittäisistä puista.
- 3) Drone puna-viher-sini-kameralla (RGB-kamera) ei ole riittävä näkemään alkuvaiheen tuhoja, joka on kriittinen vaihe, jolla puu voidaan vielä pelastaa jalostavalle teollisuudelle. Soveltuu laajemmille alueille ”yleiskuvan” luomiseen tuhotilanteesta, ei anna tarkkaa tietoa yksittäisistä puista.
- 4) Multispektrinen dronekuva yhdistettynä pienemmän resoluution satelliittidataan (Sentinel2 10x 10 m ruutu) antaa myös lupaavia tuloksia lähes 90 % tarkkuudella. Soveltuu laajemmille alueille ”yleiskuvan” luomiseen tuhotilanteesta, ei anna tarkkaa tietoa yksittäisistä puista.
- 5) Multispektri- tai hyperspektrikamera dronessa + tekoälytulkinta on paras vaihtoehto tuhon varhaiseen havaitsemiseen. Sopii metsikkö- ja puutasolle, tätä voidaan tarkentaa tarvittaessa maastotyöllä.

Tutkimuksessa arvioitiin syväoppimismenetelmien käyttöä kirjanpainajan tartuttamien puiden tunnistamisessa ja luokittelussa. RGB-, multispektri- ja hyperspektrikuvien vertailun lisäksi tutkimuksessa arvioitiin erilaisten 2D- ja 3D-konvoluutioverkkojen, sekä VGG16- ja ViT-mallien soveltuvuutta eri kuvatyypeille puiden terveyden luokittelussa. Luokittelijoiden saavuttamia tuloksia verrattiin myös kuvantunnistuksessa suosittuun YOLO-verkkoon. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös eri menetelmiä datasetin laajentamiseen ja mallien hyperparametrien optimointiin.

Multi- ja hyperspektrikuvien käyttö on lupaava menetelmä puiden terveystilan luokittelussa ja voi mahdollistaa tuholoistartuntojen varhaisen havaitsemisen. Tutkimuksen vähäisen datan vuoksi tartuntojen varhaista havaitsemista ei voitu toteuttaa luotettavasti, mutta tämä on kiinnostava tutkimuskohde tulevaisuuden kehitystä ajatellen. Tulokset kannustavat kehittämään ja soveltamaan multi- ja hyperspektrikuvantamista tuholoistartuntojen tarkastelussa, mikä voi olla merkittävä tekijä metsän täsmähoitossa ja laajojen metsätuhojen ehkäisyssä jatkuvan teknologisen kehityksen myötä.

Koneoppiminen: Tekoäly pitää opettaa tunnistamaan erikseen laajoilla aineistoilla, tarkkuus paranee aineiston runsastumisen myötä.

Tulevaa metsätuhojen tunnistamisessa dronea hyödyntäen

Dronella lentämisen autonomia lisääntyy

- BVLOS - Näkökentän ulkopuolella tapahtuva lentäminen mahdollista (nyt lainsäädännön mukaan pitää olla näköyhteys droneen)
- Lentäminen metsän sisällä (miten pystytään liikkumaan puiden välissä turvallisesti)

Menetelmäkehitys

- Skaalautuvat dronemenetelmät kohti laaja-alaista analyysiä
- Tehokkaat menetelmät ”green attack” -vaiheen tunnistamiseen (vaihe jolloin kirjanpainaja on vasta iskeytynyt puuhun ja puu alkaa puolustatutua, tärkein vaihe torjunnassa)
- Big datan hyödyntäminen tekoälymallien kehittämisessä (tietoa kerätään hirvittävä määrä eri välineillä ja eri tilanteissa, miten se voitaisiin hyödyntää huomattavasti tehokkaammin)
- Nopea vaste, reaaliaikaisuus
- Laajempi soveltaminen metsätuhojen tunnistuksessa, esim. juurikäpää
- Satelliittien hyödyntäminen

Lähteitä

Kirjanpainaaja kuusikossa: ennakointi, hallinta ja torjunta

<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/kirjanpainajatuhon-torjuntaopas.pdf>

Helsingin Keskuspuiston kirjanpainajatuhojen kehittyminen, Maanmittauslaitoksen kaukokartoitustutkimus:

https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/fd05769e-1e6e-423a-8b1f-df5644942dbd?utm_source=mt-newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=mt-yleinen-viestipohja-2020

Puun kunnan mittaaminen dronilla

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/droonit-ja-tekoaly-metsan-kuntoselvityksen-apuna?publisherId=21481116&releaselid=69974993>

SpruceRisk-hanke 2021-23, Tapio, MK, Maanmittauslaitos, Luke <https://tapio.fi/projektit/sprucerisk/>

Kehitetään tehokkaita kaukokartoitusmenetelmiä (dronet, ESAn Sentinel-2 satelliittikuva-aineistot, maastolaserkeilaus) yksittäisten puiden ja metsän terveyden mittaamiseksi ja seuraamiseksi.

Turkulainen, Emma. Comparison of Deep Neural Networks in Classification of Spruce Trees Damaged by the Bark Beetle Using UAS RGB, Multi- and Hyperspectral Imagery. Aalto University. 2023. <http://urn.fi/aalto-202303262583>

Östersund, Madeleine. Monitoring bark beetle infestation using remote sensing. Master's Programme in Geoinformatics. Aalto University. 2022. <http://urn.fi/aalto-202210165925>

Junttila, S.; Näsi, R.; Koivumäki, N.; Imangholiloo, M.; Saarinen, N.; Raisio, J.; Holopainen, M.; Hyyppä, H.; Hyyppä, J.; Lyytikäinen-Saarenmaa, P.; et al. Multispectral Imagery Provides Benefits for Mapping Spruce Tree Decline Due to Bark Beetle Infestation When Acquired Late in the Season. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 909. <https://doi.org/10.3390/rs14040909>

Kanerva, H.; Honkavaara, E.; Näsi, R.; Hakala, T.; Junttila, S.; Karila, K.; Koivumäki, N.; Alves Oliveira, R.; Pelto-Arvo, M.; Pölönen, I.; et al. Estimating Tree Health Decline Caused by *Ips typographus* L. from UAS RGB Images Using a Deep One-Stage Object Detection Neural Network. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 6257. <https://doi.org/10.3390/rs14246257>

Tuviala, Johanna. Kirjanpainajatuhoriskin ennustaminen VMI-monilähdeinventointiaineistolla. Helsingin yliopisto. 2023. <http://hdl.handle.net/10138/358734>