

KUOLLUT PUU LUONNONTILAISISSA METSISSÄ
VALTION MAILLA LAPISSA

Mäkitalo Lauri

Opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

2024

Metsätalous
Metsätalousinsinööri (AMK)

Tekijä	Lauri Mäkitalo	Vuosi	2024
Ohjaaja	Jussi Soppela		
Toimeksiantaja	Metsähallitus Metsätalous Oy		
Työn nimi	Kuollut puu luonnontilaisissa metsissä valtion mailla Lapissa		
Sivumäärä	56 + 1		

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuolleen puun määrän vaihtelua sekä siihen vaikuttavien tekijöiden vaikutusta luonnontilaisissa ja senkaltaisissa metsissä Metsähallituksen mailla Lapissa. Kuolleen puun kokonaisuusmäärä lisäksi tutkittiin kuolleen pystypuun ja kuolleen maapuun määrän vaihtelua. Aineiston kuviot olivat 11 Lapin kunnan alueella.

Aineisto poimittiin Metsähallituksen alue-ekologisen verkoston ajantasaistamiseen sisältyvästä inventointiaineistosta. Opinnäytetyössä keskityttiin aineiston aarnimetsiin ja vanhoihin luonnonsukessioihin. Tutkimuksessa käytetyn aineiston kokonaispinta-ala oli 3474 hehtaaria, joka jakaantui 886:lle eri kuviolle. Aineiston puuston keski-ikä oli 183 vuotta. Kuvioiden kasvupaikkajakauma vastasi VMI:n raportin kasvupaikkajakaumaa. Aineiston kuvioista noin kolmasosalla oli merkkejä aikaisemmista metsäpaloista. Kuivista kankaista oli palaneita hieman yli puolet, kuivahkoista noin puolet ja tuoreista vähän yli viidesosa. Lehtomaisilta kankailta ei löytynyt lainkaan merkkejä metsäpaloista.

Kuollutta puuta oli keskimäärin 23 kuutiometriä hehtaarilla. Kuolleen puun määrä vaihteli aineistossa 0–194 kuutiometriä hehtaarilla. Suomen kansallisen metsästrategian tavoitteeseen kymmenen kuutiometriä hehtaarilla päästiin 91 prosentilla kuvioista. Suojelukohteille esitetyn tavoitteen 30 kuutiometriä hehtaarilla tavoitteen ylitti viidesosa kuvioista.

Kuollutta pystypuuta oli 9,7 kuutiometriä hehtaarilla ja kuollutta maapuuta 13,3 kuutiometriä hehtaarilla. Tutkimuksen tulokset viittasivat siihen, että metsäpalot, puulajivaltaisuus ja elävän puuston määrä ovat tärkeitä selittäjiä kuolleen puun määrälle Lapissa. Kuvioilla, joilla tavattiin metsäpalon merkkejä, oli enemmän kuollutta puuta kuin palamattomilla kuvioilla. Kuusivaltaisilta kuvioilta löydettiin eniten kuollutta maapuuta ja mäntyvaltaisilta kuollutta pystypuuta. Tutkimuksessa tehtyjen analyysien perusteella aineiston muuttujilla pystyttiin selittämään kuitenkin vain pieni osa kuolleen puun määrän kokonaisvaihtelusta.

Avainsanat

aarnimetsä, lahopuu, Lappi, metsäpalo

Forestry
Forestry Engineer

Author	Lauri Mäkitalo	Year	2024
Supervisor	Jussi Soppela		
Commissioned by	Metsähallitus Metsätalous Oy		
Title	Deadwood in natural forests on state land in Lapland		
Number of pages	56 + 1		

In this thesis, the variation in the amount of dead wood and the effect of the factors influencing it were investigated in natural and similar forests on the forest areas managed by Metsähallitus in Lapland. In addition to the total amount of dead wood, the variation in the amount of dead vertical wood and dead ground wood was studied. The forest compartments of the data situated in 11 Lapland municipalities.

The material was comprised of the inventory material included in the updating of Metsähallitus' regional ecological network. The thesis focused on primary forests and old natural successions. The total area of the material used in the study was 3474 hectares, which was divided into 886 different compartments. The average age of the trees in the data was 183 years. The site type distribution of the compartments corresponded to the site type distribution in the National Forest Inventory report. About a third of the compartments in the data had signs of previous forest fires. A little more than half of the xeric heath forests were burnt, about half of the sub-xeric sites and a little more than a fifth of the mesic heath forests. No signs of forest fires were found on the herb-rich heath forests.

There was an average of 23 cubic meters of deadwood per hectare. The amount of deadwood in the data ranged from 0 to 194 cubic meters per hectare. The goal of ten cubic meters per hectare of Finland's National Forest Strategy was reached with 91 percent of the compartments. The goal of 30 cubic meters per hectare presented for protected areas was exceeded by one-fifth of the compartments.

There was 9.7 cubic meters of dead standing wood per hectare and 13.3 cubic meters of dead ground wood per hectare. The results of the study indicated that forest fires, the abundance of tree species and the number of living trees are important explanations for the number of dead trees in Lapland. Compartments with signs of forest fires had more dead wood than unburned compartments. Most of the dead ground wood and the pine-dominant dead vertical wood were found in spruce-dominant patterns. However, based on the analyses carried out in the study, the data variables were able to explain only a small part of the total variation in the amount of deadwood.

Keywords primeval forest, decayed wood, Lapland, forest fires

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	KUOLLEEN PUUN MERKITYS METSÄEKOSYSTEEMISSÄ	8
2.1	Kuolleen puun määritelmä	8
2.2	Kuolleen puun hiilivarastot ja eliöt	10
2.3	Luonnon häiriöt	14
2.4	Kuolleen puun määrä	16
2.4.1	Suomessa	16
2.4.2	Maailmalla	18
3	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	20
3.1	Tutkimusalue ja kriteerit	20
3.2	Aineiston mitatut arvot	23
3.3	Mittausmenetelmät	25
3.4	Aineiston tilastollinen käsittely	26
4	TULOKSET	28
4.1	Kuolleen puun määrä	28
4.2	Lämpösumman vaikutus	30
4.3	Kasvupaikan vaikutus	31
4.4	Puulajivaltaisuuden vaikutus	34
4.5	Erirakenteisuuden vaikutus	34
4.6	Metsäpalojen vaikutus	35
4.7	Luonnontilaiset ja senkaltaiset metsät	38
4.7.1	Aarnimetsät	38
4.7.2	Vanhat luonnonsukessiot	40
4.8	Regressioanalyysit eri tekijöiden vaikutuksista	42
4.9	Tulosten tarkastelu	45
5	POHDINTA	48
	LÄHTEET	53
	LIITE	57

1 JOHDANTO

Ravinteiden kiertokulku on edellytys elämälle. Biomateriaalin hajoamisen ja uudelleen käyttämisen ketju on prosessi, joka ylläpitää elämää maapallolla. Kuollut puuainekes on tärkeä osa metsän hiilen ja ravinteiden kiertokulussa. Lahoava puu luovuttaa hajotessaan ravinteita muille kasvaville eliöille. Lahopuuhun on kiinnitetty enemmän huomiota luontokadon seurauksena. Vanhojen metsien suojelemisen yksi tärkeimmistä kriteereistä on lahopuun määrä.

Metsätalous on iso osa Suomen taloutta, mikä tarkoittaa sitä, että puuta myös hakataan paljon. Puuta viedään pois metsästä, joten metsien kiertokulussa olevat ravinteet vähenevät. Puut kyllä selviävät ja metsät kasvavat uudestaan uutena sukupolvena, mutta nykyiset hakkuut vaikuttavat enemmän metsän muihin eliöihin. Kuolleen puun määrän väheneminen Suomen metsissä uhkaa muiden metsissä elävien eliöiden olemassaoloa. Lahoava puu on erityisen tärkeä osa boreaalisen metsän biologista ja monirakenteista monimuotoisuutta. Lahopuu on tärkeä elinympäristö 800 kuoriaislajille Suomessa ja hyvin tärkeä myös muille selkärangattomille. Iso osa uhanalaisista eliöistä elää lahopuissa. (Sippola, Siitonen & Kallio 1998, 204.)

Uusimmat vuonna 2022 päätökseen saadut mittaukset eli VMI-raportit näyttävät, että kuolleen puun määrä on ollut Suomessa pienessä nousussa sitten 2016 vuoden mittauksen (Luonnonvarakeskus 2023). Kuollutta puuta on silti vaalittava ja lisättävä, koska Suomen luonto kärsii luontokadosta. Kuolleen puun määrää lisäämällä vahvistetaan metsien biodiversiteettiä ja hidastetaan luontokatoa. EU-komissio on asettanut Suomelle uudet ennallistamisasetukset, jotka asettavat tavoitteet luontokadon pysäyttämiseksi.

Opinnäytetyön aineisto on koostettu Metsähallituksen suorittamasta alue-ekologien alueiden inventointiaineistosta, jota on kerätty jo muutaman vuoden ajan. Opinnäytetyöhön valittu inventointiaineisto sisältää tutkimusta varten tärkeän lahopuun määrän kuvioilla. Opinnäytetyössä käytetty aineisto on kerätty vuosina 2021–2023.

Metsähallituksen tavoitteena on rajata ekologisesti arvokkaita alueita pois metsätalouden piiristä. Metsähallitus on asettanut uudet tavoitteet lahopuun määrälle

omissa metsissään. Lahopuutavoite pitkällä aikavälillä on metsän käyttötarkoituksen mukaan 10–30 kuutiometriä hehtaarilla. Tämä opinnäytetyö tuo Metsähallitukselle tärkeää tietoa lahopuun määrästä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. (Kaukonen. ym 2024, 10–11.)

Lahopuuta säästetään talousmetsissä lähinnä vapaaehtoisesti. Laki vaatii ainoastaan metsälain (1996/1093 § 10) määrittelemien erityisen tärkeiden elinympäristöissä säästämän kuollutta puuta. Metsänomistajia ohjataan säästämään lahopuuta erilaisten suositusten, ohjelmien ja metsäsertifiointien (PEFC ja FSC) avulla. PEFC- ja FSC-sertifioinnit vaativat jättämään säästöpuuta, joista syntyy lahopuuta tulevaisuudessa sekä jo alueella olevien lahopuiden jättämistä. Suomen kansallisen metsästrategian tavoite on kymmenen kuutiometriä hehtaarilla. (Saaristo, Pasanen & Arnkil 2023, 10, 20.)

Lahopuu ja sen merkitys metsien ekologialle on hyvin ajankohtainen asia. Tämän työn tavoitteena oli selvittää, miten lahopuun määrä vaihtelee luonnontilaisissa ja niiden kaltaisissa metsissä Lapissa. Opinnäytetyössä tutkittiin Metsähallituksen Lapin alueen alue-ekologisen verkoston ajantasaistamiseen sisältyvän aineiston inventoinnissa tarkastettujen kuvioiden kuolleen puun määrän vaihtelua. Työssä tutkittiin metsäkuvioita, jotka luokiteltiin inventoinnissa aarnimetsiksi tai vanhoiksi luonnonsukessioiksi. Metsäluokkia käsiteltiin pääosin yhtenä aineistona. Tutkimuksessa selitettiin inventoitujen kuvioiden kuolleen puun määrän vaihtelua kuvioiden kasvupaikalla, elävän puuston määrällä, puuston iällä, puulajivaltaisuu-della, lämpösummalla ja metsän erirakenteisuudella sekä kuvioiden metsäpalo-historialla.

Tutkimus oli kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus. Sen avulla voitiin tehdä yleisluonteisia johtopäätöksiä aineistosta ja ennustaa lopputuloksia. Aineistosta tuotettiin tilastollinen analyysi, jossa tarkasteltiin lahopuun määrään vaikuttavien tekijöiden vaikutusta regressioanalyyseillä. Opinnäytetyössä haen vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Miten kuolleen puun määrä vaihtelee luonnontilaisissa ja senkaltaisissa metsissä Lapissa?
- Miten metsikkökuvioiden elävän puuston määrä, puulajivaltaisuus tai kasvupaikka vaikuttavat kuolleen puun määrään?

- Miten metsikkökuvioiden puuston erirakenteisuus tai puuston ikä vaikuttavat kuolleen puun määrään?
- Miten metsikkökuvioiden metsäpalohistoria tai lämpösumma vaikuttavat kuolleen puun määrään?

2 KUOLLEEN PUUN MERKITYS METSÄEKOSYSTEEMISSÄ

2.1 Kuolleen puun määritelmä

Lahopuu on kuollut puunrunko tai sen osa, joka koostuu joko kovasta vasta kuolleesta puusta tai pitkälle lahonneesta puusta (Maa- ja metsätalousministeriö 2024). Kuolleen havupuun merkkejä ovat kuusella kuoren irtoaminen ja männyllä kaikkien elävien neulasten menettäminen. Kuollut lehtipuu ei kasvata enää uusia lehtiä. (Metsähallitus 2023.) Elävä puu muuttuu lahopuuksi, kun siihen ovat iskeytyneet lahottajat, jotka muuttavat puuta kemiallisesti ja/tai fysikaalisesti. Puiden lahottajia ovat lahottajasienet, jotka hajottavat puun kuollutta rakennetta. (Kärkkäinen 2007, 324.)

Suomen puulajeista koivu ja kuusi ovat laholle alttiimpia kuin mänty, mutta tämä riippuu kuitenkin hyvin paljon olosuhteista ja lahottajasta. Puita lahottavat erilaiset sienet, jotka käyttävät puuta ravinnokseen. (Metsähallitus 2023.) Yleisin lahottaja Suomessa on maannousema eli juurikäpä, kun huomioidaan, että se voi levitä jokaiseen kasvatettavaan kotimaiseen puulajiin lukuun ottamatta haapaa. Haapakin voi joissain erikoistapauksissa altistua juurikäävälle. Haapa on muutoin kaikista alttein laholle kaikista eri puulajeista. (Kärkkäinen 2007, 333.)

Kasvunopeutta pidetään edistävänä tekijänä lahon esiintymiselle. Voidaan siis todeta, että lahoa tavataan enemmän ravinteikkaimmilla ja nopeakasvuisilla paikoilla kuin karuimmilla. Syynä tälle pidetään, että juurikäpä suosii hyväkasvuisia puita ja nopeakasvuisilla paikoilla harvennetaan useammin. Laho syntyy satunnaisten tekijöiden kautta. Todennäköisyys lahon saamiseen lisääntyy ikääntymisen kautta. Nuorilla puilla saattaa olla vanhoja parempi vastustuskyky. (Kärkkäinen 2007, 333–335.)

Vaurioiden kautta leviävä laho on monimutkainen prosessi, johon liittyy bioottisia ja abioottisia tekijöitä. Haavan syntyessä kuori rikkoutuu ja poistuu, mikä vaikuttaa puun solujen fysiologiseen tilaan. Sen jälkeen puuainekseen vaikuttavat siihen iskeytyvät lahottajasienet tai bakteerit. Olosuhteet voivat muuttua lahottajasienille suotuisiksi. Bakteerit voivat estää lahottajasienen iskeytymisen haavaan, mutta ne voivat myös toimia typen lähteenä lahottajalle, josta on muuten puussa pulaa. Bakteerien ja lahottajasienien tulojärjestyksellä on myös merkitystä. Nämä

ovat kuitenkin tilastollisia säännönmukaisuuksia, ja ne eivät tee lahon etenemisen kiertokulusta helposti ennustettavaa. (Kärkkäinen 2007, 336–337.)

Lahottajat voidaan usein jakaa kolmeen ryhmään: valko-, rusko- ja katkolahottajiin. Suurin osa lahottajasienistä, kuten valko- ja ruskolahottajat kuuluvat kantasieniin (Basidiomycetes). Valko- ja ruskolahottajia pidetään hyvin tehokkaina lahottajina. Ruskolahottajia esiintyy yleensä havupuissa ja valkolahottajia lehtipuissa. Syynä tälle pidetään hemiselluloosan koostumuksen eroa. Katkolahottajat ovat hyvin hitaita lahottajia verrattuna valko- ja ruskolahottajiin, mutta katkolahottajien erikoisuutena pidetään niiden kykyä toimia sekä erittäin märässä että kuivassa ympäristössä. Lahottajasienet tarvitsevat yleensä märän ympäristön toimiakseen ja voivat luoda sellaisen itse siirtämällä vettä sienirihmastonsa avulla märemmästä osasta puuta kuivempaan. Kuivaan puuhun syntyvä laho voidaan todeta lisääntyneen vesimäärän perusteella. (Kärkkäinen 2007, 324–326.)

Suomessa noin 20–25 prosenttia (4 000–5 000) metsälajeista on riippuvaisia lahoppuusta. Talousmetsien lahoppuu ei vastaa luonnonmetsien lahoppuun järeyttä ja laatua. Suomessa järeästä maapuusta ja kuolleista lehtipuista riippuvaiset lajit ovat vähentyneet sekä useampi luokiteltu uhanalaisiksi. Kuolleet pystypuut ovat tärkeitä elinympäristöjä monelle selkärangattomalle eläimelle, sienelle ja linnulle. Useat epifyyttijäkelät elävät pelkästään keloilla (kuvio 1) tai puupötkelöillä. Monelle lintulajille kuolleet pystypuut toimivat tärkeänä ravinto- tai pesäpuuna. Uhanalaiselle lajeille tärkeitä tekijöitä ovat lahoppuun laatu ja määrä sekä se, onko jo sitä aikaisemmin esiintynyt. (Kuuluvainen ym. 2004, 271–272.)



Kuvio 1. Männyn kuollut pystypuu eli kelo

Vaateliaimmat eliöt Etelä- Suomen aarniometsissä vaativat varjoisan ja kostean pienilmaston, kun taas osa eliöistä pärjää harvemmassa metsikössä, jos lahoppuuta on tarpeeksi tarjolla. Pohjois-Suomen kangasmetsissä elävät eliöt ovat enemmän riippuvaisia metsien lahoppuuresursseista kuin kosteasta ja varjoisasta pienilmastosta. (Kaukonen ym. 2023, 18.) Vanhojen metsien lahoppuun osuus koko puuston tilavuudesta on yleensä 15–30 prosenttia. Suurin osa lahoppuun tilavuudesta koostuu 20–39 senttimetrin paksuisista puista. (Kuuluvainen ym. 2004, 273.)

2.2 Kuolleen puun hiilivarastot ja eliöt

Metsien hiilivarastot ovat tärkeä osa globaalia taistelua ilmastonmuutosta vastaan, missä liian suuret hiilipäästöt nopeuttavat ilmaston lämpenemistä. Suurin osa biomassasta pohjoisen alueen boreaalisissa metsissä syntyy puista (Sipola ym. 1998, 204). Metsät pystyvät sitomaan hiiltä ja sitä kautta myös kierrättämään sitä kuolleista eliöistä seuraaville kasvaville eliöille (Seedre 2013,

9). Kuolleen puun hiilivarastot ovat 8 prosenttia maailman metsien hiilivarastoista ja vastaavat 8,5 prosenttia ilmakehään sitoutuneesta hiilestä (Seibold ym. 2021, 77). Kuollut biomassa koostuu erikokoisista ja erilahoamisasteisista, vielä pystyssä olevista kuolleista puista ja maassa makaavista kuolleista maapuista. Myös kannot, kuolleet juuret ja oksat lasketaan kuolleeseen biomassaan. (Seibold ym. 2021, 77.) Metsien ekosysteemit sisältävät neljä erilaista hiilensidonnan kokonaisuutta: elävät kasvit, kuolleet kasvit, orgaaninen maaperä ja mineraali maaperä (Seedre 2009, 2). Kuollut puu ja sen hajoaminen ovat esimerkki juuri tämän tapahtumaketjun yhdestä osasta.

Metsien kuollut puubiomassa koostuu kuolleista lehdistä, kuolleista puista ja niiden juurista. Kuollut pystypuu hajoaa hitaammin kuin kuollut maapuu. Lehtipuu-lajit ovat yleensä nopeampia lahoamaan kuin havupuulajit. (Seedre 2009, 26.). Kuolleen puun hajoamisnopeutta säätelevät ilmasto ja hajottajaryhmät, kuten mikro-organismit ja hyönteiset (Seibold ym. 2021, 80). Myös monet kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti kuolleen biomassan hajoamisnopeuteen. Nämä ominaisuudet vaihtelevat kasvilajeittain ja niihin vaikuttavat myös alueen sijainti ja sen ilmasto.

Ilmaston muodostamat muuttujat, kuten lämpötila, kosteus ja alueen maaperän happipitoisuus ovat vaikuttavia tekijöitä. (Seedre 2009, 25–26.) Sateiden vaikutus on positiivinen kuolleen puun hajoamiselle korkeassa lämpötilassa ja negatiivisempi alhaisissa lämpötiloissa. Sateet vaikuttavat puiden ja ympäristön kosteuteen. (Seibold ym. 2021, 78.) Kuolleen puun hajoamisnopeus hidastuu, kun alue on kuiva, keskilämpötila laskee ja maaston korkeus nousee (Seedre 2009, 26). Kuivassa ympäristössä pystyvät toimimaan vain rajatut lahottajasienilajit, kuten katkolahottajat, joiden lahottamisnopeus on hyvin hidas. Keskilämpötilan nousu vaikuttaa myös kasvukauden pituuteen. Seiboldin ym. (2021,78) artikkeli osoittaa, että ilmaston lämmitessä puun lahoamisnopeus kiihtyy.

Boreaalisen alueen viileä ilmasto vaikuttaa alueen metsiin. Vuotuinen alhainen keskilämpötila ja lyhyet kasvukaudet hidastavat kuolleen biomassan hajoamista ja ravinteiden kiertoa. Suuri osa metsien hiilivarastoista riippuu kuolleen puun määrästä ja sen hajoamisnopeudesta. Pohjoisboreaalisisissa metsissä puun lahoaminen on hidasta. Puun lahoaminen voi kestää jopa 200 vuotta. Puun hidas

lahoaminen vaikuttaa merkittävästi metsän rakenteeseen, kasvuolosuhteisiin ja dynamiikkaan. (Tapio. 2020, 1–2.) Kuolleen puun määrä vaikuttaa myös metsäpalojen todennäköisyyteen. Mitä enemmän kuollutta puuta on, sitä enemmän on myös hyvin palavaa kuivaa puuainesta. (Seedre 2009, 26.)

Talousmetsien vähäinen järeän lahoppuun määrä on yksi merkittävimmistä syistä metsälajien uhanalaisuudelle. Eri puulajien uusien lahoppuiden jatkuva muodostuminen eli lahoppuujatkumo on tärkeää lahoppueliöstön ylläpitämiselle. Yksittäisen puun jatkuvan lahoamisen takia se on monelle eliölle vain tilapäinen elinympäristö. (Maa- ja metsätalousministeriö 2024.)

Puun lahoamisprosessi etenee vaiheittain. Jokaisessa vaiheessa puuta käyttävät ravinnokseen ja elinympäristönään erilaiset lajit. Ensimmäisessä vaiheessa puun kuollessa siihen iskeytyvät nilaa syövät kaarnakuoriaiset, kuten kirjanpainajat ja muut hyönteiset, jotka tuovat mukanaan erilaisia lahottajasieniä ja bakteereja. Kuoriaiset ja muut hyönteiset elävät puussa syöden puun nila- ja jälsikerroksen sekä puuhun iskeytyneiden lahottajasienien rihmastoja. Muutamat lajit käynnistävät puuaineen lahoamisen kaivamalla käytäviä tuoreeseen puuhun. (Kuuluvainen ym. 2004, 91–92.)

Noin vuoden jälkeen puun kuolemista alkaa toinen vaihe, jossa sekundääriset nilaa syövät lajit syövät puuhun jääneitä nilan rippeitä, muiden lajien purua ja sienirihmastoja syöviä lajeja. Sekundäärilajien mukana tulevat myös niiden peto- ja loislajit. Ensimmäiset kääpälajit alkavat kasvamaan puussa. Käävät ovat puun rungon pääasiallisia lahottajia. Käävät voivat elää samassa puussa vuosikymmeniä puun kuoltua. Noin parin vuoden jälkeen kolmas vaihe alkaa. Kolmannessa vaiheessa nilakerros on syöty ja puun kuori alkaa irtoilla puun rungosta. Sienetynyttä puuta ja kääpien itiöemiä ravintona käyttävät lajit asuttavat lahoppuun. (Kuuluvainen ym. 2004, 91–92.)

Noin 50 vuoden jälkeen puun kuolemasta alkaa viimeinen eli neljäs vaihe, jossa puuston elävä lajisto väistyy ja vaihtuu maaperälajistoon. Maassa elävät eliöt käyttävät sammaleen peittämiä ja pitkälle lahonneita runkoa (kuvio 2) suojanaan sekä saalistukseen. Tietyt lajit, kuten jotkin mykorritsasienet suosivat pitkälle lahonneita maarunkoja, koska niiden rungot pysyvät kosteina ja lämpöolosuhteet hyvin tasaisina. Kuolleen puun ravinteet siirtyvät mykorritsasienien avulla elävän

puuston käyttöön. Monet lajit seuraavat toisia lajeja lahopuihin. Kuolleen puun pääasiallinen lahottajalaji määrittää sen, mitä lajeja puuhun tulee. Monet vallitsevat lahottajalajit esiintyvät vasta, kun runko on lahonnut toisen lahottajalajin toimesta tarpeeksi pitkälle ja häviävät, kun runko on jo pitkälle lahonnut. (Kuuluvainen ym. 2004, 92–93.)



Kuvio 2. Vasemmalla sammalpeitteisiä kuolleita kuusen maapuita ja oikealla raihankeuhkojäkälää

Lahoavat maapuut muodostavat hyvän kasvupaikan kasveille, kuten puun taimille. Maapuut luovat olosuhteet, joissa valo- ja kosteusolosuhteet ovat sopivat taimien kasvuille. Pitkälle lahonneet maapuut ovat parhaita taimettumista varten. Vasta kaatuneilla maapuilla kestää kuusimetsissä noin 50 vuotta muuttua hyväksi kasvualustaksi taimille. Syynä voidaan pitää puun kuorta, joka estää taimettumista lahopuussa. Puun lahotessa puun kuori irtoaa sekä puun rakenne muuttuu pehmeäksi, mikä tekee siitä paremman alustan taimettumiselle. (Brassard & Chen 2006, 123.)

2.3 Luonnon häiriöt

Metsäpaloalueet (kuvio 3) tuottavat suuren määrän lahoppuuta, mikä vaikuttaa varsinkin metsien lahottajalajien lisääntymiseen. Nuoret paloalueet voivat toimia lyhytaikaisena, mutta tehokkaana lajien leviämiskeskuksena. Nuoret paloalueet sisältävät runsaan määrän lahoppuuta, joka voi toimia lahoppuutarastona ainakin noin 60–70 vuotta (Ylisirniö, Penttilä & Berglund 2008, 29, 38). Voimakkaan myrskyn seurauksena voi puustoa kaatua laajalla alalla. Mitä suurempi määrä puuta kaatuu metsässä, sitä alttiimpi se on tulevaisuudessa metsäpaloille. Myrskytuhoalueilla on yleensä yhteys hyönteisten ja sienten aiheuttamiin tuhoihin. Tällöin kuollutta puuta voi syntyä runsaasti useina vuosina. (Lindberg, Heikkilä & Vanha-Majamaa 2011, 69.)



Kuvio 3. Palokantoja voidaan pitää merkinä metsäpaloista

Kuolleen puun muodostuminen noudattaa useasti U-muotoista jakaumaa. Ennen metsäpaloa metsän kuolleen puun määrä voi olla hyvin vähäinen, koska suuri osa on lahonnut pois. Metsäpalon jälkeen metsään on syntynyt paljon uutta lahopuuta. Nuorissa sukessiometsissä kuollutta puuta voi olla hyvin paljon, koska kuollut puu on syntynyt aikaisemmin tapahtuneen metsäpalon ansiosta. Puuston vanhetessa kuolleen puun määrä vähenee, kunnes metsän oma puusto alkaa kuolemaan ja tuottamaan kuollutta puuta (kuvio 4). (Brassard & Chen 2006, 121.)



Kuvio 4. Luonnontilainen metsä (Lemmenjoen kansallispuisto)

Tehokas metsien hyödyntäminen ja luontaisten häiriöiden torjunta muuttavat metsien rakennetta. Luonnontilaisten ja talousmetsien häiriötekijöiden vaikutukset eroavat toisistaan. Luonnontilaisten metsien häiriöiden vaikutusala ja häiriöiden tapahtumisen aikavälit vaihtelevat, kun taas talousmetsien häiriöt eli hakkuut tuottavat hyvin samankokoisia alueita ja niiden toteutus tapahtuu säännöllisin aikavälein. (Kuuluvainen & Huhta 2008, 9–10.)

Luontaisissa kuusivaltaisissa metsissä voi tapahtua ajoittain metsäpaloja ja myrskytuhoja, jotka voivat olla hyvin laajoja sekä voimakkaita. Kuivien ilmastojaksojen aikana ja suotuisien palojaksojen aikana voivat kuusimetsiin syttyvät metsäpalot tappa useita kaikki metsän puut. Kosteilla kasvupaikoilla sijaitsevissa kuusimetsissä voimakkaita ja laajoja häiriöitä tapahtua melko harvoin. Voidaan puhua jopa

tuhansien vuosien väleistä. Timo Kuuluvaisen ym. (2008) suorittamassa tutkimuksessa todetaan, että kuolleen puun suuri määrä on yhteydessä elävän puuston määrään. (Kuuluvainen, Aakala, Wallenius, Berglund & Kauhanen 2008, 14–20.)

Metsäpalon tai myrskytuhon sattuessa elävän puuston määrä romahtaa ja kuollutta puuta voi muodostua jopa satoja kuutiometrejä hehtaarille. Uusi sukupolvi kehittyy pitkään häiriöiden tuottamista runsaasta lahopuusta. Ilman häiriöitä metsän lahopuu muodostuu yksittäisten puiden kuolleisuuden avulla. Kuolleisuus ei tapahdu tasaista vauhtia tai tasaisesti. Puuston puulajikoostumus, ikä ja kasvupaikka vaikuttavat puiden kuoleamisen nopeuteen. (Heikkilä, Hokkanen, Kotiaho & Päivinen 2008, 8.)

2.4 Kuolleen puun määrä

2.4.1 Suomessa

Suomessa voidaan nähdä eroja Etelä- ja Pohjois-Suomen kuolleen puun määrissä. Vaikuttavia tekijöitä ovat suojelualueiden määrä sekä ilmasto. Kuolleen puun määrä on melkein kaksinkertaistunut 1990-luvun lopun jälkeen Etelä-Suomen suojelualueilla kymmenestä kuutiometristä hehtaarilla lähes 20 kuutiometriin hehtaarilla. Puuntuotannon metsäalueilla määrä on noussut 2,7 kuutiometristä hehtaarilla 3,9 kuutiometriin hehtaarilla. (Korhonen ym. 2020, 16.)

Pohjois-Suomen alueella kuolleen puun kokonaismäärä on laskenut 24,6 kuutiometristä hehtaarilla 20,2 kuutiometriin hehtaarilla suojelualueilla sekä puuntuotannon metsäalueilla 7,6 kuutiometristä hehtaarilla 4,8 kuutiometriin hehtaarilla. Kuolleen puun määrän vähenemiseen Pohjois-Suomessa vaikuttavia tekijöitä voivat olla mittauskäytäntöjen kehittyminen ja havainnointikynnyksen nouseminen uusissa mittauksissa. Hakkuiden määrän nousun vaikutus vanhojen metsien määrän ja hakkuissa (kuvio 5) poistuva kuolleen puun määrä ovat myös merkittäviä tekijöitä kuolleen puun kokonaismäärän vähenemiseen. (Korhonen ym. 2020, 16–17.)



Kuvio 5. Talousmetsä avohakkuun jälkeen (Rovaniemi)

Todennäköisenä syynä ilmiöön voidaan pitää myös 2000-luvun alun suojelualueiden määrän lisääntymistä. Suojeluun siirtyi lahopuumäärältään keskimääräistä korkeampia puuntuotannon alueita. Suojeluun siirretyt vanhat puuntuotannon alueet olivat silti keskimäärin alhaisempia lahopuumäärältään kuin jo aiemmin suojellut metsäalueet. Kuolleen puun määrän pienentymiseen on vaikuttanut myös se, että Lapissa ei ole ollut laaja-alaisia tuhoja sitten vuonna 1982 tapahtuneen Mauri-myrskyn. Lahopuu on maatunut nopeammin kuin häiriöiden tuottamaa uutta lahopuuta on ehtinyt syntyä. Ilmaston lämpeneminen on tulevaisuudessa vaikuttava tekijä lahoamisnopeuteen. (Korhonen ym. 2020, 20–21.)

Pienetkin muutokset metsässä vaikuttavat lahopuun määrään. Suuria vaikuttajia lahopuun määrän syntymiseen ovat itsestään harventumiset, lumi- ja tuulituhot, sieni- ja hyönteistuhot, tulvat, myrskyt ja metsäpalot (Sippola ym. 1998, 211). Lahopuun määrään vaikuttavat kasvupaikan tuottavuus, häiriötekijöiden esiintyminen ja lahoamisnopeus. Etelä-Suomessa tuoreen kankaan vanhoissa kuusikoissa lahopuuta voi olla 90–120 kuutiometriä hehtaarilla. (Heikkilä ym. 2008, 10.)

2.4.2 Maailmalla

Boreaalinen vyöhyke kattaa 30 prosenttia Kanadan pinta-alasta. Sekametsät sisälsivät Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa huomattavasti enemmän lahoppuuta kuin havumetsät. (Pedlar, Pearce, Venier & McKenney 2002, 189.) Palaneissa sekametsissä oli puolestaan huomattavasti enemmän lahoppuuta kuin varttu-neissa tai avohakatuissa sekametsissä. Avohakkuun lahoppuumäärä oli kerätty kannoista ja maalahoista. Sekametsät ja haapametsät sisälsivät huomattavasti enemmän lahoppuuta kuin kuusimetsät. Sekametsissä lahoppuuta oli 131,5 kuutiometriä hehtaarilla ja kuusimetsissä 17,8 kuutiometriä hehtaarilla. (Pedlar ym. 2002, 191.)

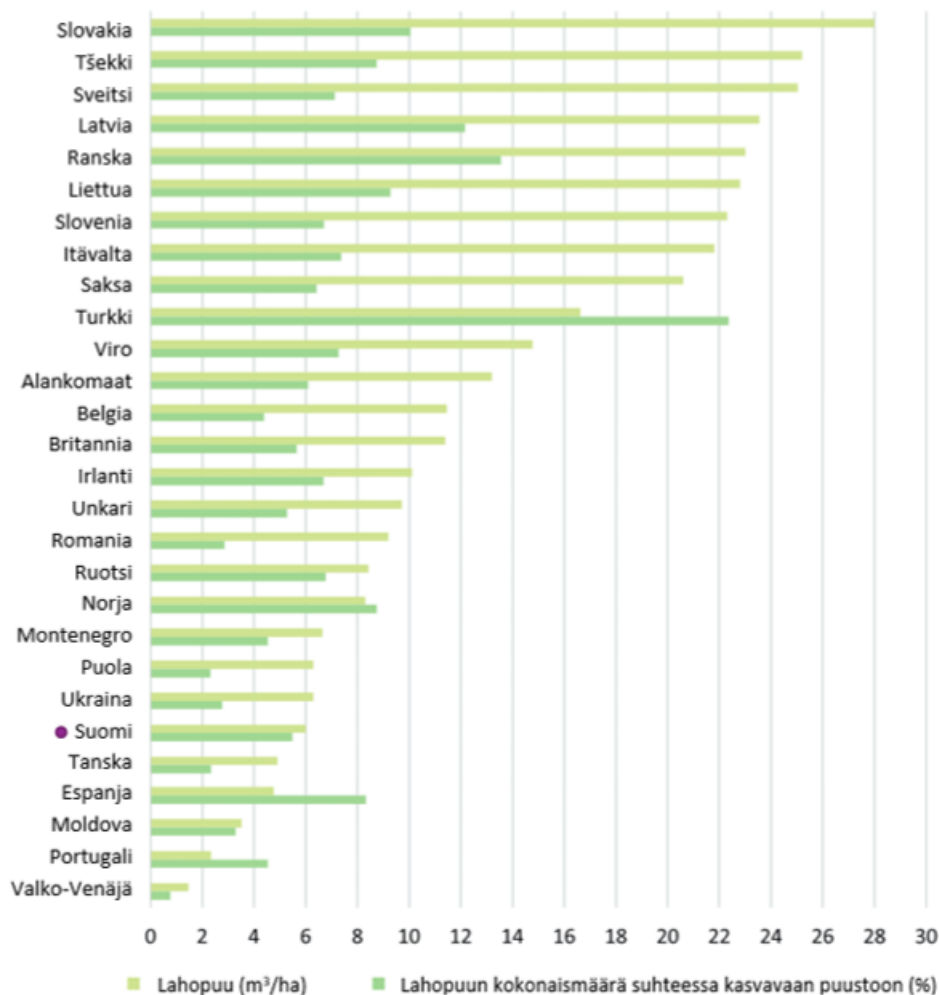
Tutkimuksessa mitattu Kanadan kuusimetsien lahoppuumäärä vastaa Pohjois-Suomen kuusimetsien lahoppuumäärää. Iso osa lahoppuusta Kanadassa koostui maalahoppuusta. Avohakkuukohteiden lahoppuumäärä vastasi yhtä kolmatta osaa metsäpallon kestäneen kohteen lahoppuumäärästä. (Pedlar ym. 2002, 193.)

Vienansalossa Venäjän Karjalan alueella tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin lahoppuun määrän vaihtelua ja laatua sekä tutkittujen alueiden kivennäismaaperää. Tutkitut alueet koostuivat vanhoista luonnontilaisista mäntyvaltaisista metsistä. Lahoppuun määrän kokonaismäärän keskiarvo oli 69,5 kuutiometriä hehtaarilla ja vaihteli 22,2 kuutiometrillä hehtaarilla 158,7 kuutiometriin hehtaarilla. Kuolleen pystypuun keskimääräinen määrä oli 26,9 kuutiometriä hehtaarilla. Kuolleen maapuun keskimääräinen määrä oli 42,7 kuutiometriä hehtaarilla. Kuolleen puun määrän ja elävän puuston määrän väliltä ei löydetty korrelaatiota. (Karjalainen & Kuuluvainen 2002, 149, 162.)

Novgorodin alueella Venäjällä tehdyssä tutkimuksessa mitattiin lahoppuuta keskimäärin 40 kuutiometriä hehtaarilla. Tutkitut alueet koostuivat havupuuvältaisten metsien lisäksi haapa- ja leppävaltaisista metsistä. Mitattujen lahoppuiden suurimmat määrät löytyvät haapavältaisista (85 m³/ha) ja leppävaltaisista (65 m³/ha) metsistä. Vähiten lahoppuuta löytyi mäntyvaltaisista metsistä (29 m³/ha). Tutkimuksessa päätettiin metsän iän vaikuttavan lahoppuuston määrään. Nuorissa metsissä lahoppuuta oli 21 kuutiometriä hehtaarilla, kun taas hakkuukypsissä ja yli-ikäisissä metsissä määrä oli 51 kuutiometriä hehtaarilla. (Shorohova & Tetiukhin 2004, 141.) Sama ilmiö havaittiin eri mäntylajeilla Espanjassa, Venäjällä

ja Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa verrattaessa lahopuun määrää nuorissa, keski-ikäisissä ja iältään uudistuskypsissä metsissä (Herrero, Krankina, Monleon & Bravo 2014, 57).

Euroopassa kuolleen puun määrä vaihtelee voimakkaasti eri maiden välillä. Forest Europe 2020 raportissa (2020) verrataan 28 Euroopan maan vuonna 2015 ilmoitettujen kuolleen puun määriä (kuvio 6). Kuolleen puun määrä vaihteli 28 kuutiometrin hehtaarilla (Slovakia) ja 2,3 kuutiometrin hehtaarilla (Portugali) välillä. Suomen kuolleen puun määrä oli kuudenneksi alhaisin. Kuolleen puun määrä on kasvanut joka puolella Eurooppaa paitsi itäisessä Keski-Euroopassa. (Raši 2020, 125.)



Kuvio 6. Lahopuun määrä (m³/ha) ja sen kokonaismäärä suhteessa elävän puustoon määrään 28:ssa Euroopan valtiossa vuonna 2015 (Raši 2020, 126)

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Tutkimusalue ja kriteerit

Opinnäytetyön aineisto on peräisin Metsähallituksen alue-ekologisten verkoston ajantasaistamiseen sisältyvästä inventointiaineistosta. Alueita on inventoitu alue-ekologisen suunnittelun pohjalta, jossa tavoitteena on turvata luontaisen eliölajiston säilyminen metsäalueilla. Tämä tehdään tarkastelemalla suojelualueiden ja metsätalousalueiden luontokohteiden muodostamaa verkostoa yhtenä kokonaisuutena sekä turvaamalla lajiston säilymisen ja liikkumisen edellytyksiä. (Kaukonen 2024, 14.) Aineiston ovat keränneet Metsähallituksen työntekijät ja harjoittelijat. Aineistot on kerätty vuosien 2021 ja 2023 välisenä aikana. Alue-ekologisten alueiden inventoinnissa tarkastettavien kuvioiden rajausvalinnat:

- kohde on metsämaalla
- puuston ikä on yli 100 vuotta
- maaston korkeus on alle 320 metriä merenpinnan yläpuolella (mpy) (etelä- ja länsirinteet) tai alle 280 metriä mpy (pohjois- ja itärinteet)
- lämpösumma yli 700 d.d.
- alkuperäisen puustokuvion koko on yli 0,5 hehtaaria
- Metsähallituksen tietokannassa ei ole merkkejä suoritetusta hakkuusta

Alkuperäinen opinnäytetyöhön valittujen kuvioiden määrä oli 5324. Opinnäytetyön keskittyessä lahopuun määrään tiivistin aineistoa keskittymään tutkimuksen kannalta tärkeisiin kuvioihin. Luontokohteiksi hyväksytyt kuviot luokiteltiin erilaisien kriteerien avulla. Tässä opinnäytetyössä tarkastelin aarnimetsä ja vanha luonnonsuknessio luontokoodin saaneita kohteita, koska niiden määrittämisessä metsiköiden luonnontilaisuus on tärkeä kriteeri. Tässä työssä aarnimetsä tarkoittaa samaa kuin aarniometsä. Rajauksien jälkeen kuvioita oli yhteensä 886 kappaletta ja niiden kokonaispinta-ala oli 3474 hehtaaria. Tutkitun aineiston kuvioista 60 prosenttia oli aarnimetsiä ja 40 prosenttia oli vanhoja luonnonsuknessioita. Aarnimetsiä oli 534 metsikkökuvioita (2152 ha) ja vanhoja luonnonsuknessioita oli 352 metsikkökuvioita (1321 ha).

Luonnontilaisten ja senkaltaisten metsien elävä puusto on tilajakaumaltaan satunnainen, kooltaan vaihtelevaa ja puuston latvusto on yleisesti kerroksellinen (Metsähallitus 2020). Metsässä on luontainen puulajikoostumus ja ikärakenne sekä luontaiset uudistumisprosessit. Lisäksi siellä esiintyy kuollutta puuta. Ihmisen mahdollisesta toiminnasta, kuten hakkuista on pitkä aika, ja ne eivät ole vaikuttaneet puuston luontaiseen rakenteeseen, vaikka ne tuottavat osaltaan erirakenteisuuden piirteitä. Mahdollisten hakattujen metsien lajikoostumus ja prosessit ovat palautuneet luonnollisiksi. (Syrjänen, Korhonen, Punttila & Siitonen 2024, 13.) Vallitseva puusto on iältään vanhaa, vähintään metsätaloudellisen uudistuksen saavuttanutta, ja edellisen puusukupolven puita löytyy siellä täällä (Korhonen ym. 2017, 77).

Aarnimetsät määritellään vanhoiksi metsiksi, jotka ovat selvästi ylittäneet uudistuskypsyyden. Metsiköt ovat erityyppisiä, ja niiden puusto on useasti luonnontilassa. Puusto on kerroksellista sekä vaihtelevan kokoista ja ikäistä. Vanhojen puiden ja runkojen päällä kasvaa paljon päällyskasvillisuutta. Lahovikaista ja kuollutta puuta on yleensä runsaasti. Eriasteisesti lahonneita maapuita löytyy runsaasti. Tähän luokkaan kuuluvat myös metsät, joihin on vaikuttanut niiden uudistuskypsyydvaiheessa jokin luonnollinen häiriötekijä, kuten myrskytuhot ja metsäpalot. Luokkaan sisältyvät myrskytuhojen sekä metsäpalojen jälkeen luontaisesti uudistuneet taimikot ja nuoret metsät, joissa ei ole korjattu tuhojen aiheuttamia kuolleita puita pois. Maankohoamisen jälkeen merestä syntyneet uudet luonnontilaiset maakuviot kuuluvat myös tähän luokkaan. (Kaukonen ym. 2024, 18.)

Aarnimetsien yhtenä tärkeimpänä kriteerinä oli lahopuun määrä sekä ikä, joka oli keskiboreaalisella vyöhykkeellä yli 140 vuotta ja pohjoisboreaalisella vyöhykkeellä yli 160 vuotta. Vanhan luonnonsukcession luokkaan päädyttiin, jos metsikkö vastasi aarnimetsikön kriteerejä, mutta sisälsi liian vähän lahopuuta. Kuolleen puun määrään luetaan läpimitaltaan yli kymmenen senttimetrin kuolleet pysty- ja maapuut. Tuoreet tuulenkaadot eivät riitä täyttämään edellä mainittuja kuolleen puuston vähimmäismääriä, ellei kohteella ole muuta luontaisen lahopuujatkumon muodostamaa vanhempaa maapuita. Kriteerit eivät myöskään täyty

kohteilla, joiden lahoppuusta yli 75 prosenttia on kertaluontoisen häiriön seurauksena syntynyttä. (Metsähallitus 2020.)

Metsähallituksen asettamien kriteerien mukaan kuollutta puuta pitää olla tietyn verran, jotta se luokitellaan aarnimetsäksi. Kuollutta puuta on elävän puuston tilavuuteen suhteutettuna keskiboreaalaisella vyöhykkeellä 15 prosenttia tai enemmän ja kaikissa tapauksissa vähintään 15 kuutiometriä hehtaarilla, kun taas pohjoisboreaalaisella vyöhykkeellä kuollutta puuta on elävän puuston tilavuuteen suhteutettuna oltava 20 prosenttia tai enemmän ja kaikissa tapauksissa vähintään 20 kuutiometriä hehtaarilla. (Metsähallitus 2020.)

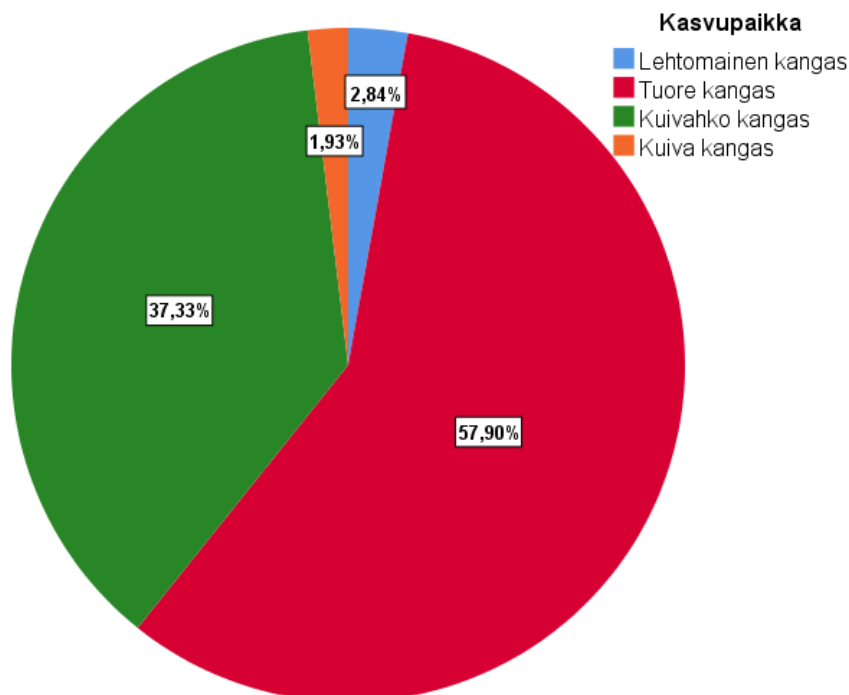
Tähän työhön valitut kuviot sijaitsevat Metsähallituksen Lapin alueella: tarkemmin katsottuna keskiboreaalisen Lapin kolmion ja Pohjanmaan alueilla sekä pohjoisboreaalisen Koillismaan, Metsä-Lapin ja Peräpohjolan alueilla. Suurin osa oli pohjoisboreaalaisella Peräpohjolan alueella. Tutkimuksessa käytetyn aineiston kuviot sijoittuivat 11:sta eri Lapin kuntaan (taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkitun aineiston kuvioiden jakaantuminen eri kuntiin

Kunta	Kuvioita, kpl	Pinta-ala, ha
Rovaniemi	100	333,89
Kemijärvi	1	1,82
Pello	100	348,54
Ylitornio	21	48,98
Muonio	39	157,66
Kolari	83	347,59
Kittilä	201	804,04
Sodankylä	166	651,93
Pelkosenniemi	25	173,09
Savukoski	106	478,12
Salla	42	126,61

3.2 Aineiston mitatut arvot

Kuvioden kasvupaikkaluokka tarkastettiin maastossa. Tarkasteltavan aineiston kasvupaikoista valtaosa oli tuoreen ja kuivahkon kankaan kasvupaikkoja (kuvio 7). Lehtoja tai karukkokankaita ei aineistossa ollut.



Kuvio 7. Aineiston kokonaispinta-alan (3474 ha) jakaantuminen eri kasvupaikkaluokkiin (%)

Kuvioilta tarkastettiin elävän puuston määrä ja puuston ikä vertaamalla tietokannan antamaa puuston määrää mittajaan omaan arvioon maastossa. Tarvittaessa ikä varmistettiin kairaamalla. Puuston määrä määritettiin maastossa relaskooppikoealoilta.

Puulajivaltaisuutta arvioitiin valtapuuston pääpuulajin prosenttimäärän mukaan. Määriteltäviä puulajivaltaisuus luokkia oli yhteensä seitsemän. Tutkimuksessa käytetystä aineistosta löytyy viisi eri luokkaa:

- 1=männikkö
- 2=mäntysekametsä (männyn osuus 50–80 %)
- 3=kuusikko
- 4=kuusisekametsä (kuusen osuus 50–80 %)

- 7=lehtisekametsä (lehtipuuston osuus 50–80 %)

Tutkimuksesta poisjääneistä luokista (5=koivikko ja 6=haavikko) ei löytynyt havaintoja. Puuston erirakenteisuus luokiteltiin sen esiintymisen suhteellisenä osuutena kuvion pinta-alasta.

Taulukossa 2 on esitetty, miten puulajivaltaisuudet jakaantuvat eri kasvupaikoille tässä aineistossa. Suurin osa kuvioista oli sekapuustoisia metsiä. Kuvioiden kasvupaikkajakauma vastasi VMI:n esittämää kasvupaikkajakaumaa (Luonnonvarakeskus 2024).

Taulukko 2. Aineiston (886 kuviota) jakaantuminen eri kasvupaikka- ja puulajivaltaisuusluokkiin

Kasvupaikka	Puulajivaltaisuus					Yhteensä
	Männikkö	Mänty-sekametsä	Kuusikko	Kuusi-sekametsä	Lehti-sekametsä	
Lehtomainen kangas	0	0	1	16	2	19
Tuore kangas	14	155	25	322	4	520
Kuivahko kangas	63	199	1	68	0	331
Kuiva kangas	10	4	0	2	0	16
Yhteensä	87	358	27	408	6	886

Kuvioilta inventoitiin myös vanhojen metsäpalojen jälkiä. Metsiköistä mitattiin palokorojen ja palokantojen kappalemäärä hehtaarilla. Tärkeänä kriteerinä palokoroille ja palokannoille oli järeyys. Palokantojen piti olla ainakin 20 senttimetriä läpimitaltaan. Lämpösumma saatiin aineistoon Metsähallituksen järjestelmästä. Lämpösumma oli keskimäärin 796 d.d. ja se vaihteli aineistossa välillä 700–1000 d.d.

Aineiston kuvioilta määritettiin kuolleen puun jakaantumista kuvaava lahoppuujatkumo. Lahoppuujatkumon tavoitteena on kuvata miten paljon eri lahoamisasteisia

lahopuita metsikkökuviot sisältävät (Pasanen, Siitonen, Yläne & Saaristo 2022, 8). Lahopuujuokkumoo on jaettu kolmeen eri luokkaan:

1. Eri-ikäistä lahoppuustoa runsaasti suhteessa kasvupaikan puuntuotoskykyyn. Vähintään noin kolmasosa maapuurungoista on pitkälle lahonneita, vähintään noin kolmasosa keskilafoja ja korkeintaan noin kolmasosa vielä kovia, melko äskettäin kuolleita.
2. Eri-ikäistä lahoppuustoa jonkin verran. Myös kohteet, joissa on runsaasti tuoretta tai lahoasteeltaan samanlaista lahoppuustoa (> 75 %) kuuluvat tähän luokkaan. Kuolleen pystypuuston ja kovien maapuiden lisäksi vähintään noin kolmasosa kuolleesta puustosta on pitemmälle lahonneita (keskilahoja ja pitkälle lahonneita) maapuita.
3. Lahoppuustoa on niukasti tai ei lainkaan. Valtaosa kuolleista puista on joko kuollutta pystypuustoa tai kovia maapuita, vanhempia maapuita korkeintaan yksitellen.

Kuviolla saattoi myös olla merkkejä vanhoista hakkuista, jotka eivät löytyneet tietokannasta. Näissä tapauksissa mittaaaja arvioi hakkuiden aiheuttamaa vaikutusta luontoon ja luonnon kykyä palautua. Hakkuun jälkiä sisältävistä kuvioista mitattiin mahdollisten kantojen lukumäärä ja arvioitiin tapahtuneiden hakkuiden tapahtumavuosi tarkastelemalla hakattujen puiden kantoja. Jos hakkuiden katsottiin vaikuttavan liikaa puuston rakenteeseen ja luonnonmukaisuuteen, kuvio rajattiin pois aineistosta. Aarnimetsikön määrittelyyn kuuluu, että läpimitaltaan yli kymmenen senttimetrin hakkuukantoja sallitaan enintään 30 kappaletta hehtaarella.

3.3 Mittausmenetelmät

Lahoppuun määrä mitattiin kahdella eri mittaustavalla: linjoittaisella relaskoopikoeala-arvioinnilla ja tarkennetulla silmävaraisella arvioinnilla. Metsähallituksen keräämässä aineistossa lahoppuun määrään inventointiin käytetyt ohjeet perustuvat Tapio Oy:n (Pasanen ym. 2022) laatimaan lahoppuun mittausmenetelmäselvitykseen.

Linjoittaisessa relaskoopikoeala-arvioinnissa valittujen koealojen kohdalla mitataan kuolleen puun tilavuus valitsemalla relaskoopin hahlon väliin mahtuvien yli

kymmenen senttimetriä rinnankorkeusläpimitaltaan olevat kuolleen puun rungot. Koealat sijoitetaan suunnilleen yhdensuuntaisille linjoille, ja koealojen välinen etäisyys linjalla mitataan askelmitalla. Tällä voidaan varmistaa, että kuviolle sijoitettujen koealat kattavat systemaattisesti koko kuvion sekä varmistaa myös satunnaisen koealaotannan kuviolla. (Pasanen ym. 2022, 9.)

Tarkennetussa silmävaraisessa arvioinnissa kuvion kaikki lahopuut voidaan havaita kulkemalla suunnilleen yhdensuuntaisia linjoja edestakaisin kuvion läpi. Havaittujen lahopuiden lukumäärä lasketaan läpimittaluokittain. Puiden läpimittaa ei mitata yksilöllisesti, mutta tarkkuutta lisätään tekemällä tarkistusmittauksia. Kuolneiden pystypuiden ja maapuiden kappalemäärät kuviolla arvioidaan kymmenen senttimetrin läpimittaluokittain: 20–29 senttimetriä, 30–39 senttimetriä, 40–49 senttimetriä ja niin edelleen. Tilavuus lasketaan käyttäen läpimittaluokkien kappalemäärää ja luokan keskimääräistä rungon tilavuutta. Esimerkiksi läpimitaltaan luokan 20–29 senttimetrin keskimääräinen runko on 25 senttimetriä ja sen tilavuus noin 0,5 kuutiota. Lopullisessa tilavuuslaskennassa kuitenkin käytetään kunkin luokan keskimääräisen puun Laasasenahon (1982, 41) rinnankorkeusläpimittaan perustuvia tarkempia tilavuuksia. (Pasanen ym. 2022, 8)

Korjauskertoimia käyttämällä pystytään arvioimaan inventoimatta jääneen pinta-alan vaikutusta lahopuun kokonaistilavuuteen. Silmävaraista mittaamenetelmää käytäessä kuolleen pystypuun ja maapuun tilavuuksien mittaamiseen, Metsähallituksen lomakkeessa (liite 1) käytetään korjauskertoimena inventoinnin kattavuutta ja korjattua tilavuutta. Inventoija ei inventoi kaikissa tapauksissa koko kuviota, ja tällöin inventoija tekee arvion inventoidusta pinta-alaprosentista.

3.4 Aineiston tilastollinen käsittely

Aineiston käsittely suoritettiin SPSS-ohjelmistolla, jonka avulla muodostettiin aineistosta kuvioita ja taulukoita sekä askeltava regressioanalyysi. Osa aineistoon kerätyistä muuttujista muutettiin luokkamuotoon, jotta analysointi saatiin paremmin tehdyksi. Kuvioissa esitettiin hajontalukuna keskiarvon keskivirhe. Regressiokerroin kertoo, kuinka monen yksikön verran selitettävän muuttujan ennustettu arvo muuttuu, kun selittävä muuttuja kasvaa yhden yksikön (Kaakinen & Ellonen 2024).

Regressioanalyysissä selitettäviä muuttujia olivat kuolleen puun kokonaismäärä, kuolleen pystypuun määrä ja kuolleen maapuun määrä. Selittävinä jatkuvina muuttujina käytettiin elävän puuston kokonaismäärää, puuston ikää, puuston erirakenteisuutta ja kuvion lämpösummaa. Osasta luokkamuuttujista tehtiin dummy-muuttujia, joita käytettiin malleissa selittävinä muuttujina. Metsäpalo dummy-muuttujassa oli kaksi arvoa: metsäpalo-dummy ja Ei metsäpaloa-dummy. Neljästä kasvupaikkaluokasta muodostettiin vain kolme dummy-muuttujaa samalla periaatteella, jotta vältettiin usean keskenään korreloivan muuttujan aiheuttamat multikollineaarisuus-ongelmat (Lehtomainen-dummy, tuore-dummy ja kuivahko-dummy). Vastaavasti puulajivaltaisuudesta tehtiin kuusivaltainen-dummy ja mäntyvaltainen-dummy.

4 TULOKSET

4.1 Kuolleen puun määrä

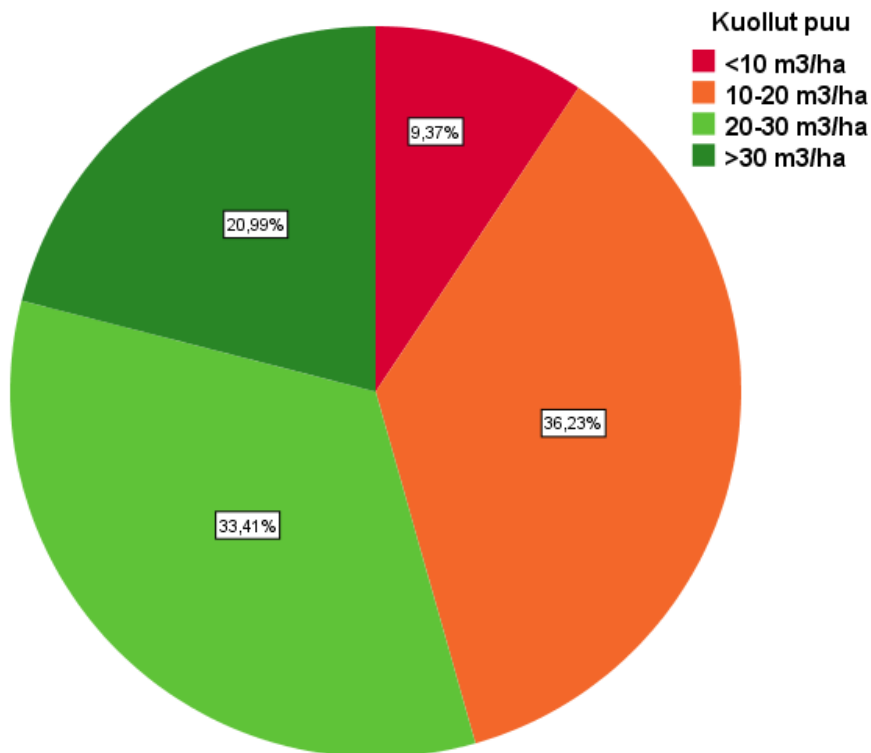
Aineistoa tutkittaessa voitiin vertailla kuvioiden kuolleen puun määrää elävän puuston määrään. Taulukosta 3 voidaan nähdä, että kuolleen puun määrä vastasi keskimäärin 16,6 prosenttia koko puustosta. Kuollutta pystypuuta oli keskimäärin 9,73 kuutiometriä hehtaarilla, joka vastasi keskimäärin 7,92 prosenttia pystypuun kokonaismäärästä (taulukko 3). Elävän puuston määrä oli keskimäärin 114,22 kuutiometriä hehtaarilla.

Taulukko 3. Elävän, kuolleen puun ja puuston biomassan arvoja

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskiarvon keskivirhe
Elävä puusto, m3/ha	12,00	280,00	114,22	1,30
Kuollut pystypuu, m3/ha	0,00	113,00	9,73	0,26
Kuollut maapuu, m3/ha	0,00	119,00	13,27	0,43
Kuollut puu yhteensä, m3/ha	0,00	194,00	23,00	0,54
Pystypuut yhteensä, m3/ha	14,00	307,00	123,95	1,40
Kuollut pystypuu, %	0,00	53,05	7,92	0,16
Elävä ja kuollut puu yhteensä, m3/ha	17,00	377,00	137,22	1,52
Kuollut puu yhteensä, %	0,00	69,61	16,60	0,27

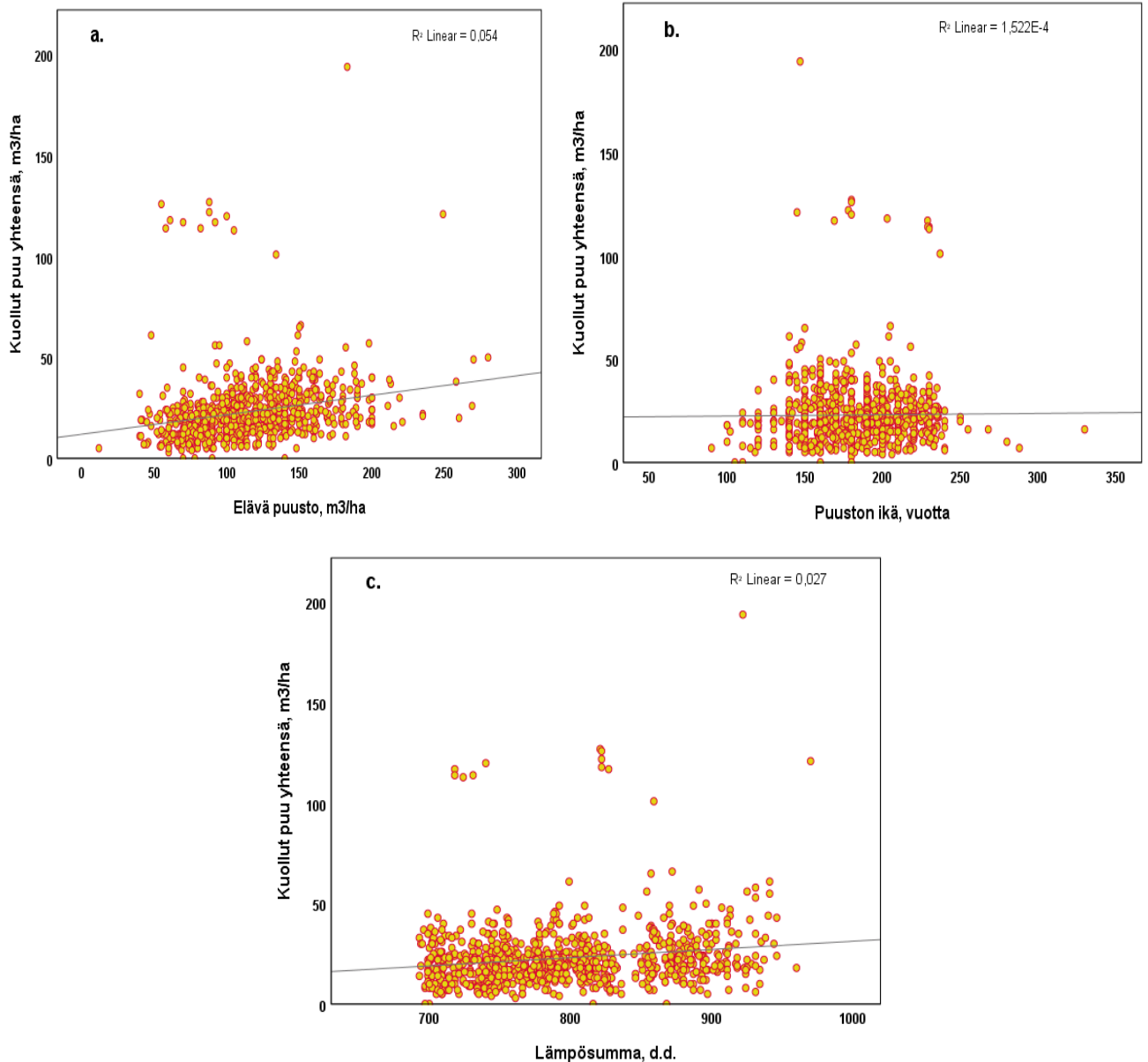
Kuviossa 8 esitetään tutkitun aineiston kuvioiden jakaantuminen Metsähallitus Metsätalous Oy:n ympäristöoppaassa (Metsähallitus 2023) esitetyn monimuotoisuuden asteikon lahoppuuluokkiin. Suojelukohteille esitetyn tavoitteen 30 kuutiometriä hehtaarilla ylitti 20,99 prosenttia kuvioista (696 ha). Ekologisten yhteyksille ja tukialueille esitettyyn tavoitteeseen ylsi 54,4 prosenttia kuvioista (1236 ha). Luokassa 10–20 kuutiometriä hehtaarilla oli 36,23 prosenttia kuvioista

(1200 ha). Muille monikäyttömetsille asetetusta tavoitteesta kymmenen kuutiometriä hehtaarilla jäätin 9,37 prosentilla kuvioista (224 ha).



Kuvio 8. Kuvioiden jakaantuminen eri kuolleen puun määrän tavoiteluokkiin

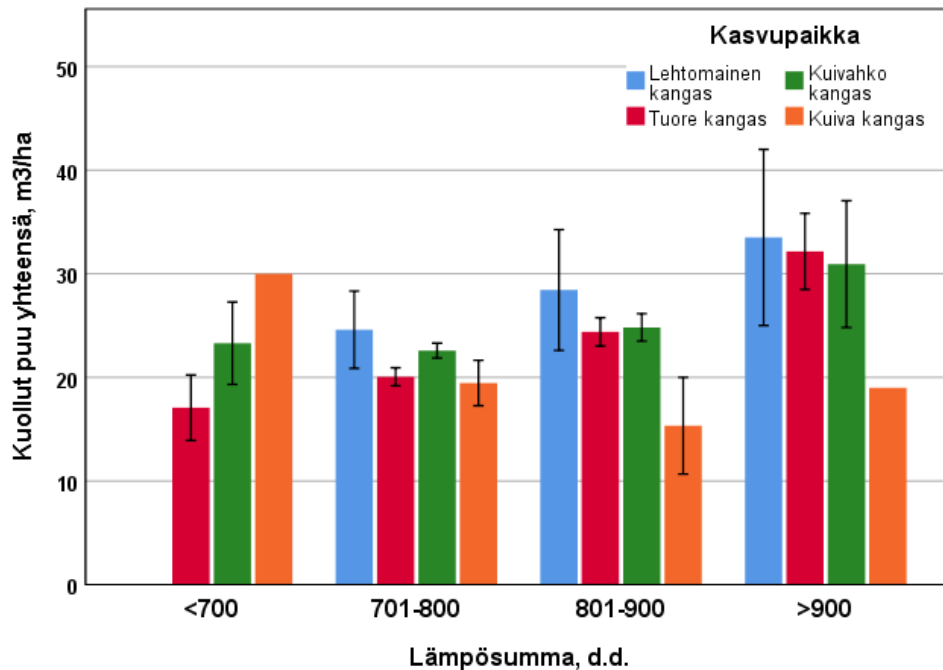
Mitä enemmän elävää puustoa oli metsikkökuvioilla, sitä enemmän oli kuollutta puuta. Näiden tekijöiden välinen riippuvuus oli kuitenkin melko heikko. Elävän puuston ja kuolleen puuston määrän välinen yhteys on kuvattu kuvassa 9a. Kuolleen puun määrän ja puuston iän välillä ei ollut havaittavissa riippuvuutta (kuvio 9b).



Kuvio 9. Kuolleen puun määrän riippuvuus elävän puuston määrästä (a), puuston iästä (b) ja lämpösommasta (c)

4.2 Lämpösomman vaikutus

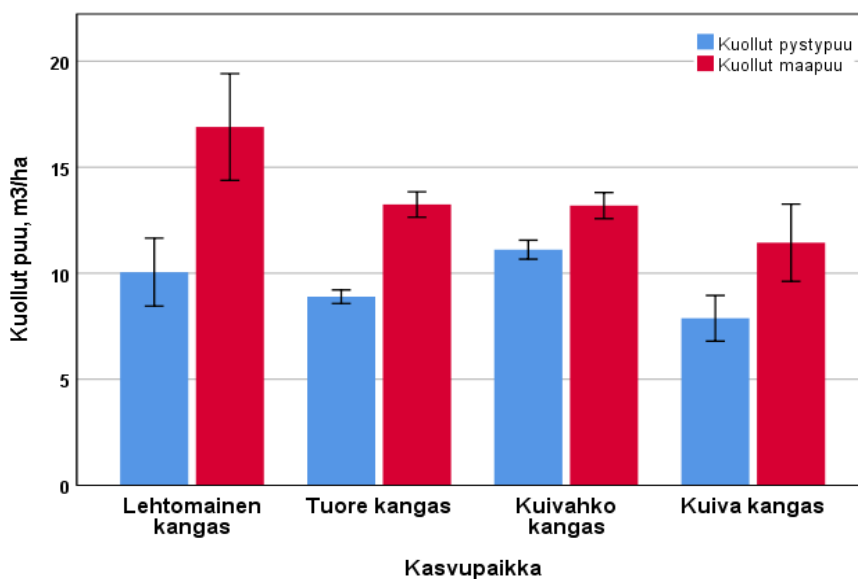
Lämpösomman vaikutus kuolleen puun määrään oli lievästi positiivinen, mutta riippuvuus oli heikko (kuvio 9c). Kun kuolleen puun määrää tarkasteltiin lämpösommaluokittain havaittiin suurin määrä lahoppua yli 900 d.d. luokassa (31,43 m³/ha) ja pienin alle 700 d.d. luokassa (20,20 m³/ha). Kasvupaikkojen välillä oli myös eroja (kuvio 10). Eniten kuollutta puuta oli keskimäärin lehtomaisella kankaalla ja vähiten kuivilla kankailla.



Kuvio 10. Kuolleen puun määrä lämpösummaluokittain eri kasvupaikoilla

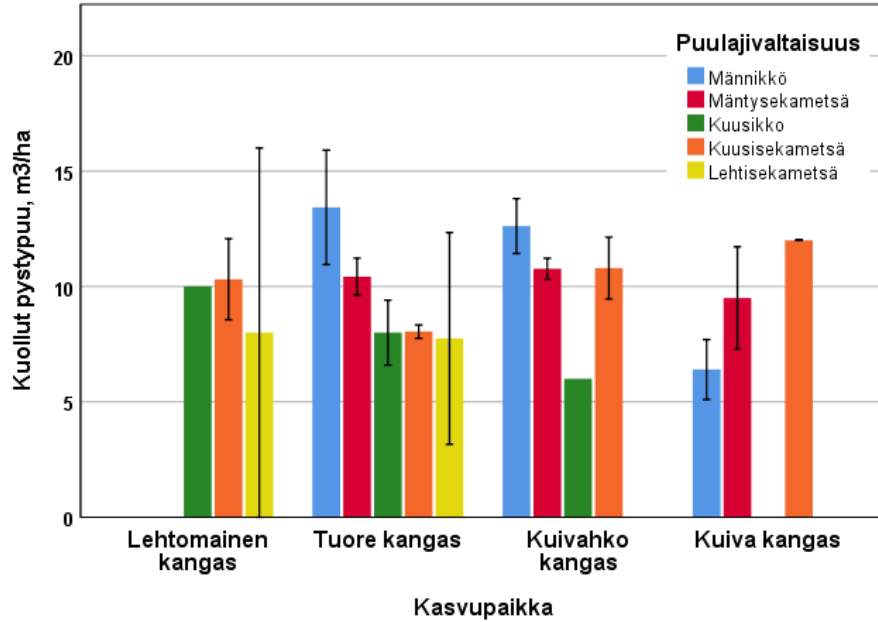
4.3 Kasvupaikan vaikutus

Kasvupaikan rehevyys vaikutti kuolleen maapuun määrään positiivisesti (kuvio 11). Kasvupaikan vaikutus kuolleeseen pystypuuhun ei ollut merkittävä. Eniten kuollutta pystypuuta (kuvio 11) keskimäärin oli kuivahkoilla kankailla (11,11 m³/ha) ja vähiten kuivilla kasvupaikoilla (7,88 m³/ha).



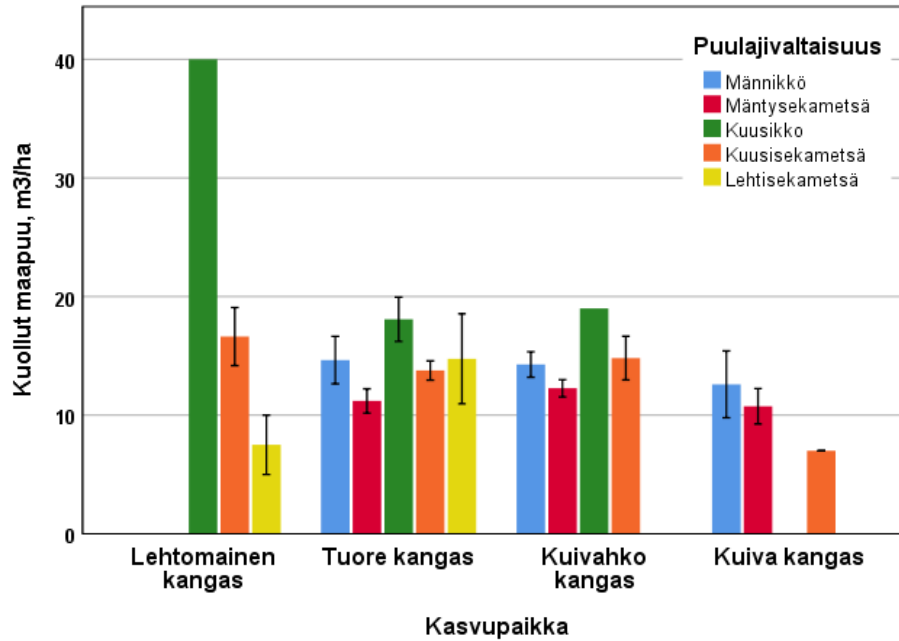
Kuvio 11. Kuolleen pysty- ja maapuun määrän keskiarvo (\pm keskiarvon keski-
virhe) eri kasvupaikoilla

Kuollutta pystypuuta oli eniten tuoreen kankaan männiköissä (13,43 m³/ha) ja vähiten kuivahkon kankaan kuusikoissa (6,00 m³/ha). Tarkasteltavia kuivahkon kankaan kuusikkoja oli vain yksi kuvio, joten tulos ei ole luotettava (kuvio 12).



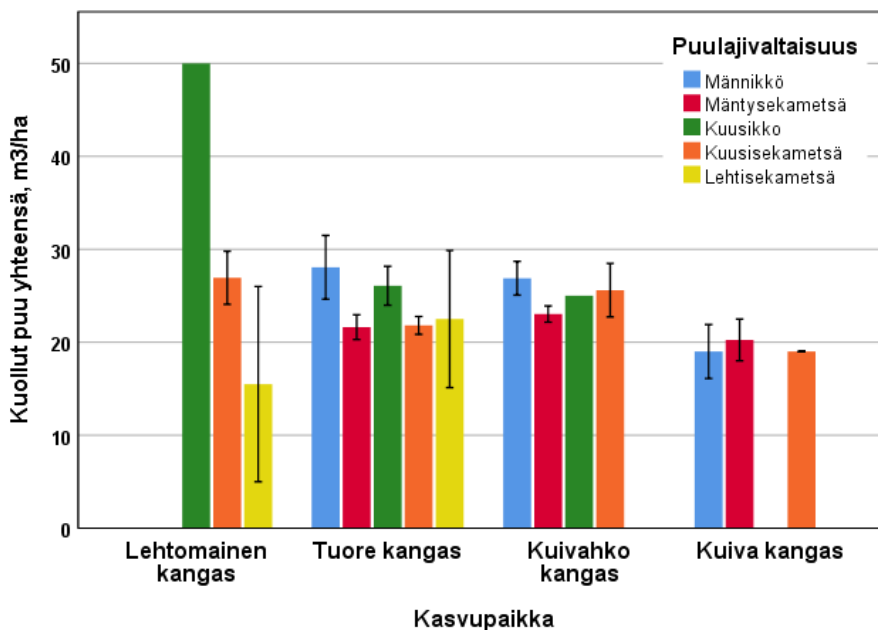
Kuvio 12. Kuolleen pystypuun keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) puulajivaltaisuusluokittain eri kasvupaikoilla

Lehtomaisen kankaan kuusikon suureen kuolleen maapuun määrään (kuvio 13) syynä oli yhden ainoan kuvion (taulukko 2) poikkeuksellisen korkea arvo. Eniten kuollutta maapuuta oli tuoreen kankaan kuusikoissa (18,08 m³/ha). Tuoreen kankaan kuusikon kuolleen maapuun määrää on luotettava tulos.



Kuvio 13. Kuolleen maapuun keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) puulajivaltaisuusluokittain eri kasvupaikoilla

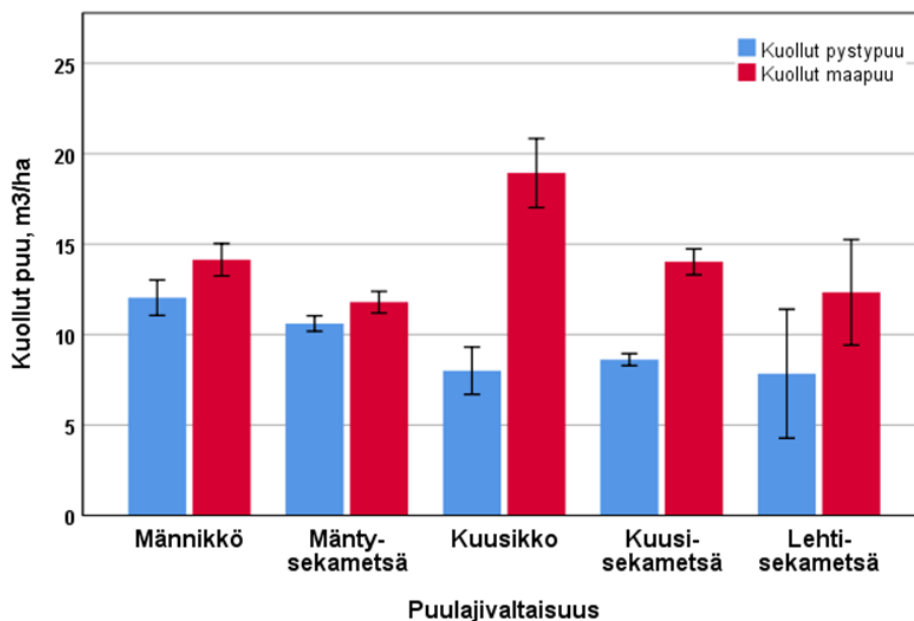
Kuolleen puun kokonaismäärä oli suurin lehtomaisilla kankailla (26,94 m³/ha) ja pienin kuivilla kasvupaikoilla (19,31 m³/ha) (kuvio 14). Tuoreella kankailla kokonaismäärä oli 22,13 kuutiometriä hehtaarilla ja kuivahkoilla kankailla 24,30 kuutiometriä hehtaarilla.



Kuvio 14. Kuolleen puun kokonaismäärän keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) puulajivaltaisuusluokittain eri kasvupaikoilla

4.4 Puulajivaltaisuuuden vaikutus

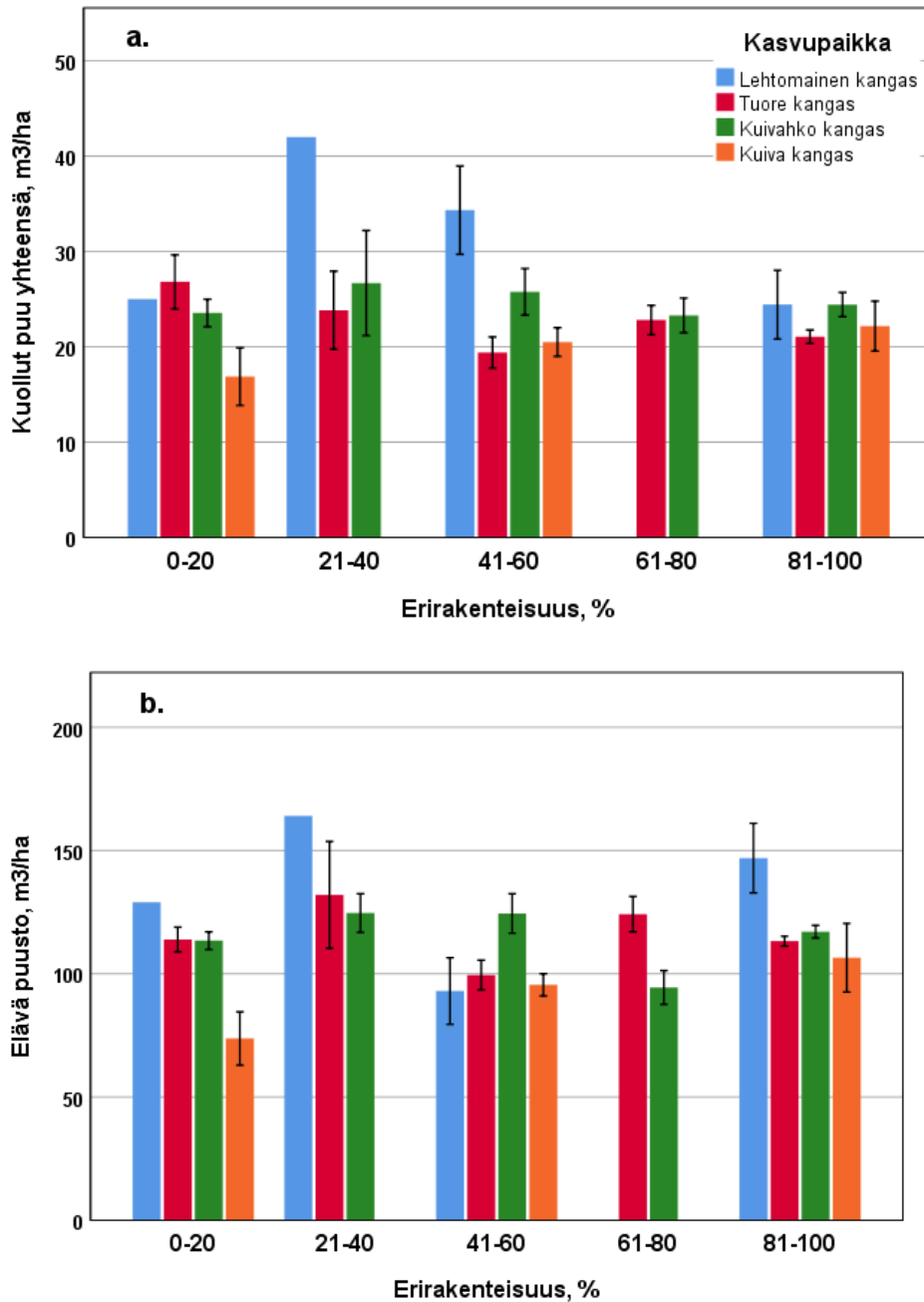
Puulajivaltaisuuuden vaikutus ei ollut samanlainen kuolleella pysty- ja maapuulla (kuvio 15). Männiköt olivat suotuisampia kuolleelle pystypuulle (12,03 m³/ha) kuin lehtisekametsät (7,83 m³/ha). Kuollutta maapuuta oli enemmän kuusivaltaisilla kuvioilla (18,93 m³/ha) ja vähiten mäntysekametsissä (11,79 m³/ha).



Kuvio 15. Kuolleen pysty- ja maapuun määrän keskiarvo (\pm keskiarvon keski-
virhe) puulajivaltaisuusluokittain

4.5 Eirakenteisuuden vaikutus

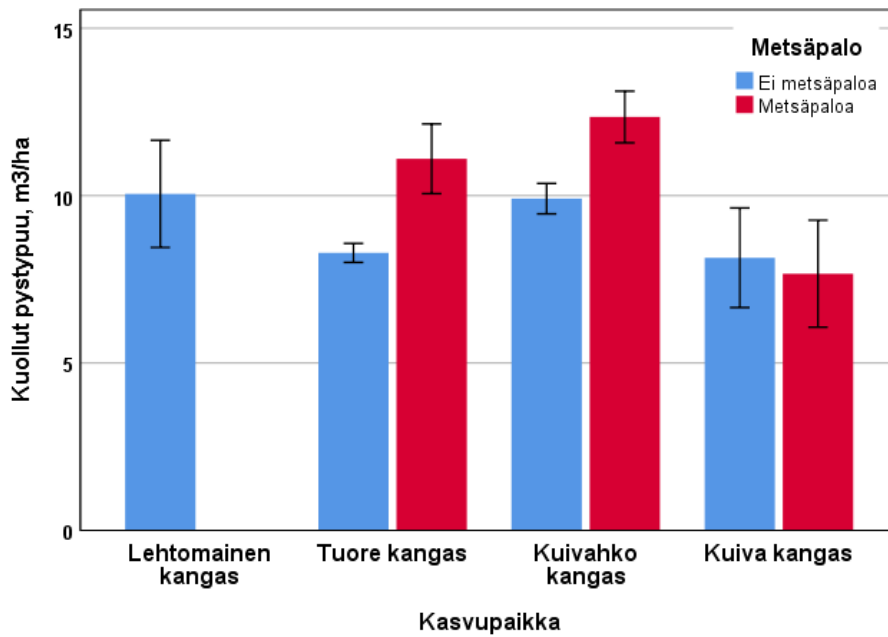
Keskimäärin kuollutta puuta yhteensä oli eniten 21–40 prosenttia erirakenteisuus-
luokassa (26,61 m³/ha) ja vähiten luokassa 81–100 prosenttia (22,24 m³/ha) (kuvio 16a).
Myös elävän puuston määrä oli korkein 21–40 prosenttia erirakenteisuusluokassa (128,26 m³/ha).
Vähiten elävää puustoa oli luokassa 41–60 prosenttia (107,52 m³/ha) (kuvio 16b).



Kuvio 16. Kuolleen puun (a) ja elävän puuston määrän (b) keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) eri kasvupaikoilla erirakenteisuusluokittain

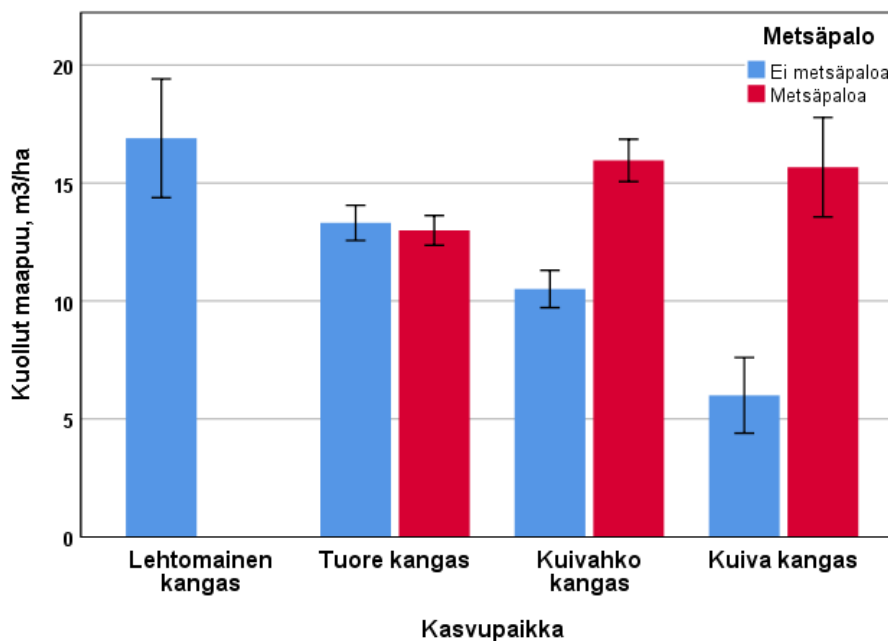
4.6 Metsäpalojen vaikutus

Koko aineiston kuvioista 32 prosentilla oli merkkejä aikaisemmista metsäpaloista. Kuivista kankaista oli palaneita 56 prosenttia, kuivahkoista 49 prosenttia ja tuoreista 22 prosenttia. Kuollutta pystypuuta ilmeni vähemmän kuvioilla, joilla ei ollut merkkejä metsäpalosta (8,80 m³/ha) kuin palaneilla kuvioilla (11,71 m³/ha) (kuva 17).



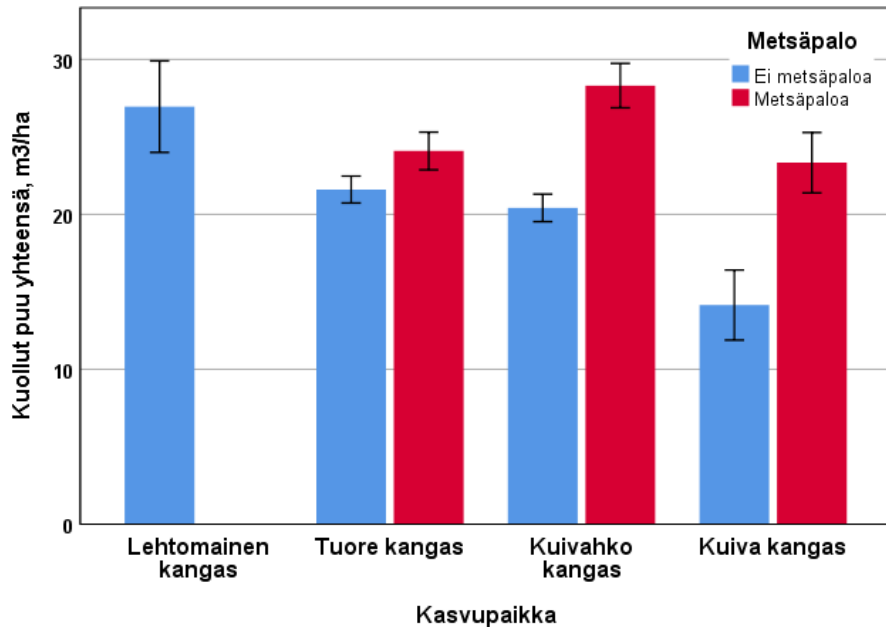
Kuvio 17. Kuolleen pystypuun keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) metsäpaloluokittain (Metsäpalo/Ei metsäpaloa)

Kuollutta maapuuta tarkastellessa nähtiin, että metsäpalon vaikutus oli suurempi mitä kuivempi kasvupaikka on kyseessä (kuva 18). Maapuun määrä myös laski ei palaneilla kuvioilla mitä kuivempi kasvupaikka oli. Tuoreella kankaalla kuolleen maapuun määrässä ei ollut suurta eroa palaneiden (12,99 m³/ha) ja ei palaneiden (13,31 m³/ha) kuvioiden välillä.



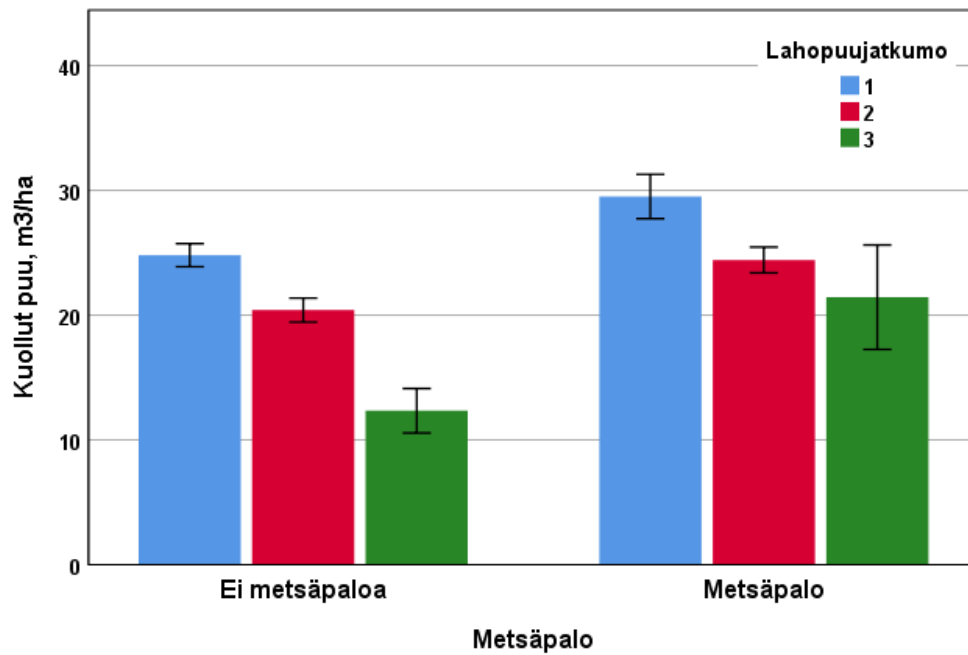
Kuvio 18. Kuolleen maapuun keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) metsäpaloluokittain (Metsäpalo/Ei metsäpaloa)

Metsäpalolla oli positiivinen vaikutus kuolleen puun kokonaismäärään (kuva 19). Kuollutta puuta oli eniten enemmän metsäpalon sisältävissä kuvioissa (26,48 m³/ha) kuin kuvioissa, joissa ei ollut metsäpaloa (21,35 m³/ha). Lehtomaisilta kankailta ei löytynyt lainkaan palokantoja tai palokoroja (kuvio 19).



Kuvio 19. Kuolleen puun yhteismäärän keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) metsäpaloluokittain (Metsäpalo/Ei metsäpaloa)

Palaneilla kuvioilla lahoppujatsumoluokka yksi (kuvio 20) sisälsi eniten kuollutta puuta (29,50 m³/ha). Vähiten palamattomilla kuvioilla kuollutta puuta sisälsi lahoppujatsumoluokka kolme (12,34 m³/ha). Luokka yksi sisälsi 42,7 prosenttia kuvioista, luokka kaksi 51,6 prosenttia ja luokka kolme 5,7 prosenttia metsikkökuvioista. Palamattomilla kuvioilla luokassa yksi oli 34,5 prosenttia, luokassa kaksi oli 58,3 prosenttia ja luokassa kolme oli 7,2 prosenttia.

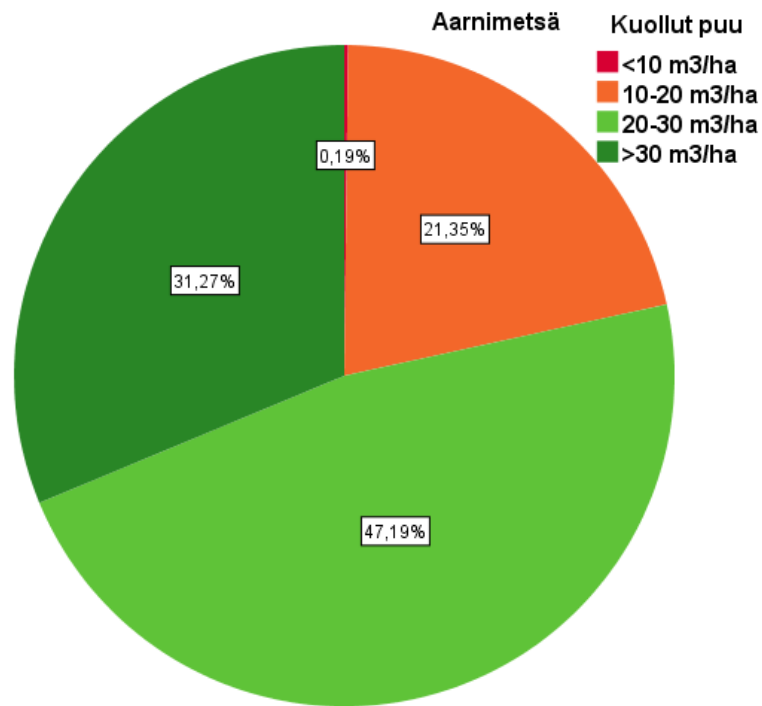


Kuvio 20. Kuolleen puun määrä eri lahopuujuokumoluokissa palaneilla ja palamattomilla kuvioilla

4.7 Luonnontilaiset ja senkaltaiset metsät

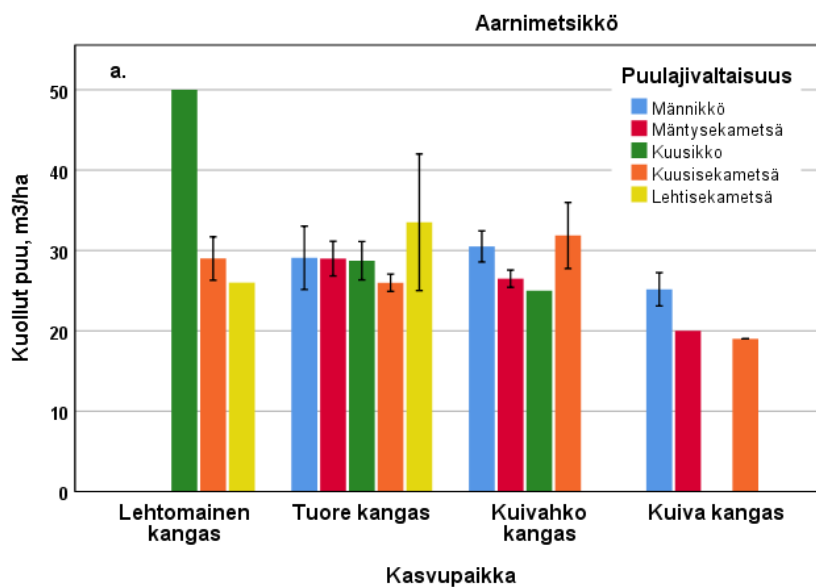
4.7.1 Aarnimetsät

Aarnimetsien keski-ikä oli 185 vuotta (vaihteluväli 100–330 vuotta). Suurin osa aarnimetsiksi luokitelluista kuvioista sisälsi ainakin 20 kuutiometriä hehtaarilla kuollutta puuta (kuvio 21). Kuollutta puuta oli yli 30 kuutiometriä hehtaarilla 31,27 prosentilla aarnimetsäkuvioista. Keskimäärin kuollutta puuta oli aarnimetsissä 27,6 kuutiometriä hehtaarilla.



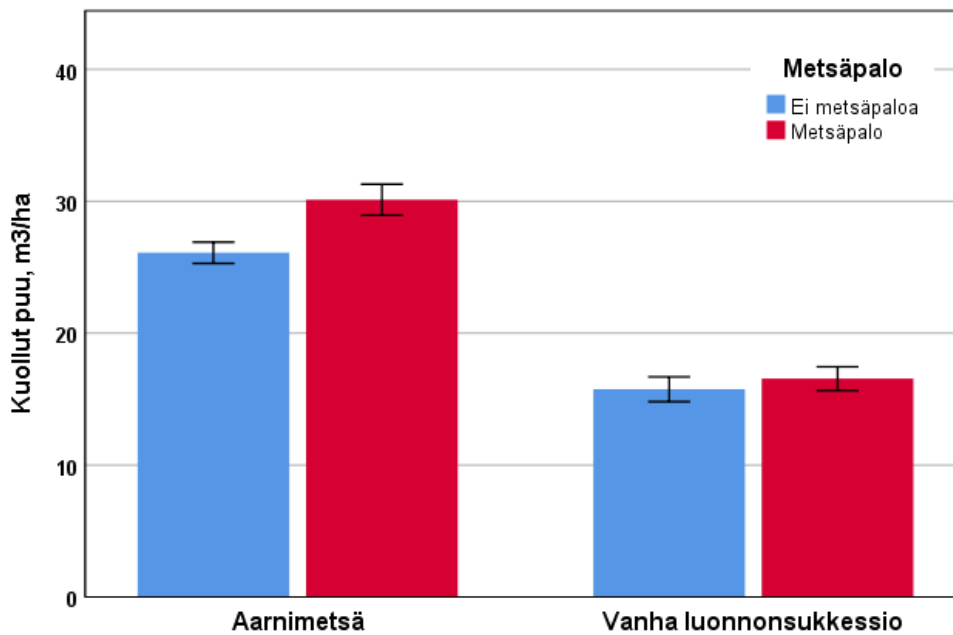
Kuvio 21. Aarnimetsäkuvioiden jakaantuminen eri kuolleen puun määrän tavoite-
luokkiin

Aiemmin todetun (kuviot 13, 14) lehtomaisen kankaan kuusikon (kuvio 22) suureen kuolleen maapuun määrään (50 m³/ha) syynä oli yhden ainoan kuvion (taulukko 2) poikkeuksellisen korkea arvo. Toiseksi eniten kuollutta puuta aarnimetsissä oli tuoreen kankaan lehtisekametsissä (33,5 m³/ha).



Kuvio 22. Aarnimetsien kuolleen puun kokonaismäärän keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) puulajivaltaisuusluokittain eri kasvupaikoilla.

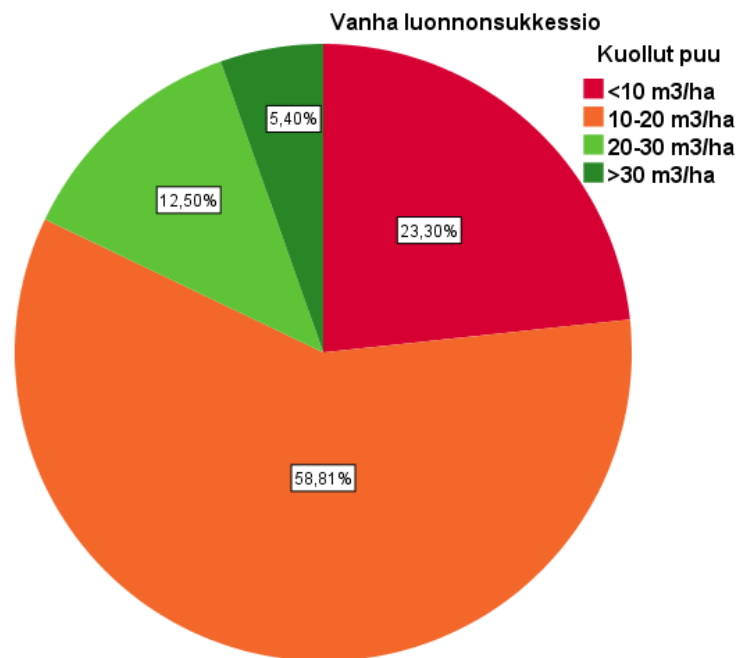
Aarnimetsistä metsäpalon merkkejä oli 39 prosentilla kuvioista. Vanhoissa luonnonsukessioissa merkkejä löytyi 22 prosentilla kuvioista. Metsäpalon vaikutus kuolleen puun määrään (m^3/ha) oli vähäinen vanhoissa luonnonsukessioissa. Aarnimetsissä kuollutta puuta oli keskimäärin neljä kuutiometriä hehtaarilla enemmän palaneilla kuvioilla kuin palamattomilla (kuvio 23).



Kuvio 23. Metsäpalon vaikutus kuolleen puun kokonaismäärä (m^3/ha) aarnimetsissä ja vanhoissa luonnonsukessiossa

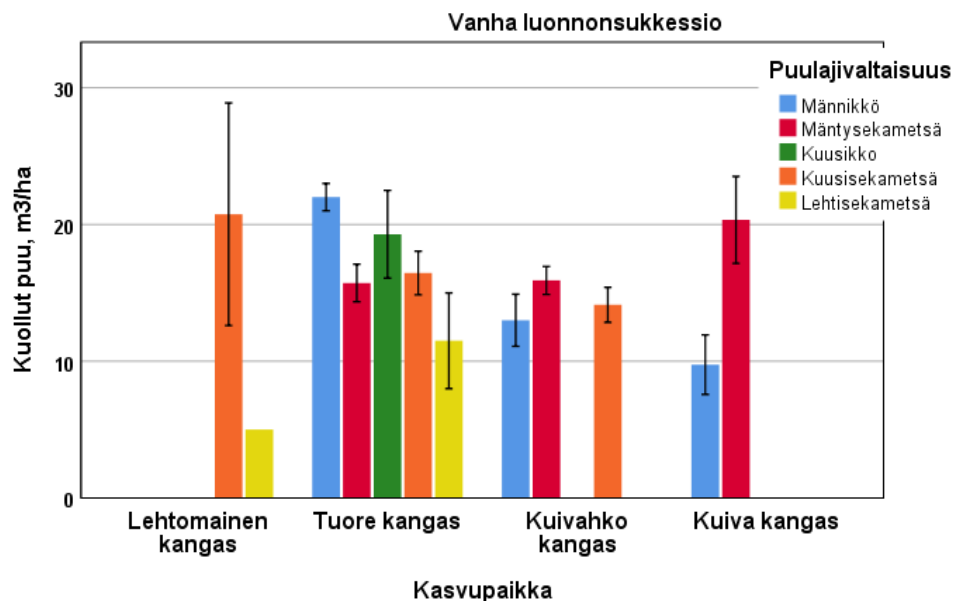
4.7.2 Vanhat luonnonsukessiot

Vanhojen luonnonsukessioiden keski-ikä oli 181 vuotta (vaihteluväli 90–288 vuotta). Keskimäärin kuollutta puuta oli vanhoissa luonnonsukessioissa 15,9 kuutiometriä hehtaarilla. Vanhan luonnonsukession kuvioista valtaosassa oli kuollutta puuta alle 20 kuutiometriä hehtaarilla (kuvio 24). Kuollutta puuta keskimäärin yli 30 kuutiometriä hehtaarilla sisältäviä kuvioita oli vähiten. Vanhoista luonnonsukessioista 58,81 prosenttia oli luokassa 10–20 kuutiometriä hehtaarilla.



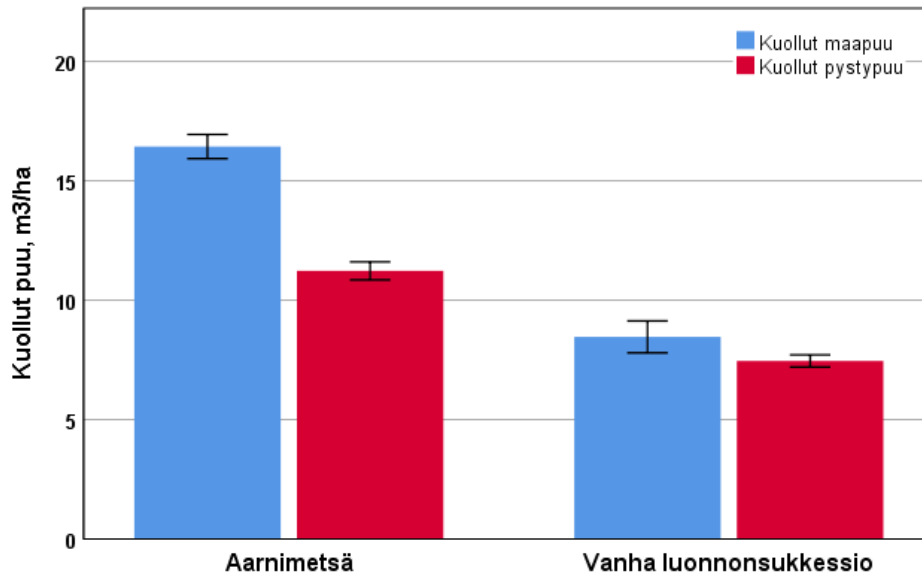
Kuvio 24. Vanhan luonnonsukessiokuvioiden jakaantuminen eri kuolleen puun määrän tavoiteluokkiin

Eniten kuollutta puuta vanhoissa luonnonsukessioissa (kuvio 25) oli tuoreen kankaan männiköissä (22 m³/ha), joita aineistossa oli vain kaksi kuviota. Toiseksi eniten kuollutta puuta oli kuivan kankaan mäntysekametsissä (20,33 m³/ha). Vähiten kuollutta puuta oli lehtomaisen kankaan lehtisekametsissä (5,00 m³/ha).



Kuvio 25. vanhojen luonnonsukessioiden kuolleen puun kokonaismäärän keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) puulajivaltaisuusluokittain eri kasvupaikoilla

Kuolleen pystypuun ja kuolleen maapuun ero oli pienempi vanhoissa luonnonsuknessioissa kuin aarnimetsissä (kuvio 26). Kuollutta pystypuuta oli keskimäärin aarnimetsissä 11,2 kuutiometriä hehtaarilla ja vanhoissa luonnonsuknessioissa 7,5 kuutiometriä hehtaarilla. Vastaavasti kuollutta maapuuta oli keskimäärin aarnimetsissä 16,4 kuutiometriä hehtaarilla ja vanhoissa luonnonsuknessioissa 8,5 kuutiometriä hehtaarilla.



Kuvio 26. Kuolleen pystypuun ja kuolleen maapuun keskiarvo (\pm keskiarvon keskivirhe) aarnimetsissä ja vanhoissa luonnonsuknessioissa

4.8 Regressioanalyysit eri tekijöiden vaikutuksista

Regressioanalyysissä käytettiin aarnimetsien ja vanhojen luonnonsuknessioiden yhdistettyä aineistoa. Kuolleen puuston kokonaismäärän regressioanalyysiin valikoituivat seuraavat selittävät muuttujat: elävän puuston määrä, puuston ikä, lämpösumma, metsäpalo ja erirakenteisuus (taulukko 4).

Kaikkien muiden muuttujien vaikutus oli positiivinen paitsi erirakenteisuuden. Erirakenteisuuden kasvaessa kuolleen puun määrä laski, vaikkakin vaikutus oli pieni ($-0,028 \text{ m}^3/\text{ha}$). Metsäpalo oli ainoa mallin dummy-muuttujista, joka oli merkitsevä selittäjä. Sen vaikutus oli myös suurin kaikista muuttujista ($4,384 \text{ m}^3/\text{ha}$). Mallin selitysaste oli kokonaisuudessaan melko alhainen (8,7 %).

Taulukko 4. Askeltava regressioanalyysi eri tekijöiden vaikutuksesta kuolleen puun kokonaismäärään

	Regressiokerroin	t-arvo	Merkitsevyys (p)
Vakio	-16,206	-1,984	0,048
Elävä puusto	0,079	5,253	<0,001
Puuston ikä	0,049	2,768	0,006
Lämpösumma	0,027	3,063	0,002
Metsäpalo	4,384	3,858	<0,001
Erirakenteisuus	-0,028	-2,250	0,025
Selitysaste (R²)	0,087		
Korjattu (R²)	0,082		
F-testi	16,717		<0,001
Estimaatin keskivirhe	15,477		

Kuolleen pystypuun regressioanalyysin mukaan tulivat seuraavat selittävät muuttajat: elävän puuston määrä, lämpösumma, metsäpalo, erirakenteisuus ja männyvaltaisuus (taulukko 5). Myös tämän analyysin muuttujista ainoastaan erirakenteisuudella oli negatiivinen vaikutus (-0,027 m³/ha). Kaikista suurin vaikutus oli metsäpalo dummy-muuttujalla (1,958 m³/ha). Mallin selitysaste (13,3 %) oli parempi kuin kuolleen puun kokonaismäärän (taulukko 5), mutta se oli silti melko alhainen.

Taulukko 5. Askeltava regressioanalyysi eri tekijöiden vaikutuksesta kuolleen pystypuun määrään

	Regressiokerroin	t-arvo	Merkitsevyys (p)
Vakio	-4,976	-1,640	0,101
Elävä puusto	0,040	5,845	<0,001
Lämpösumma	0,013	3,344	0,001
Metsäpalo	1,958	3,581	<0,001
Erirakenteisuus	-0,027	-4,620	<0,001
Mäntyvaltaiset	1,281	2,509	0,012
Selitysaste (R²)	0,133		
Korjattu (R²)	0,129		
F-testi	27,104		<0,001
Estimaatin keskivirhe	7,130		

Kaikilla kuolleen maapuun regressioanalyysin valikoituneilla selittävillä muuttujilla oli positiivinen vaikutus, ja kaikista suuri vaikutus oli kuusivaltaisuuden dummy-muuttujalla (2,878 m³/ha). Metsäpalojen dummy-muuttujan vaikutus (2,727 m³/ha) oli lähes yhtä suuri kuin kuusivaltaisuuden. Analyysin selitysaste oli alhainen (3,8 %).

Taulukko 6. Askeltava regressioanalyysi eri tekijöiden vaikutuksesta kuolleen maapuun määrään

	Regressiokerroin	t-arvo	Merkitsevyys (p)
Vakio	0,374	0,118	0,906
Elävä puusto	0,045	4,002	<0,001
Puuston ikä	0,030	2,143	0,032
Kuusivaltaiset	2,878	3,299	0,001
Metsäpalot	2,727	2,870	0,004
Selitysaste (R²)	0,038		
Korjattu (R²)	0,034		
F-testi	8,775		<0,001
Estimaatin keskivirhe	12,433		

4.9 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa käytettiin Metsähallituksen aineistoa kuolleen puun määrän selvittämiseksi Lapin luonnontilaisissa tai senkaltaisissa metsissä. Aineisto oli kerätty vuosina 2021–2023. Tutkimuksessa käytetty aineisto koostui 886 metsikkökuvioista, joiden kokonaisala oli 3474 hehtaaria. Metsikkökuvioiden keski-ikä oli 183 vuotta. Kuvioilla oli keskimäärin elävää puustoa 114 kuutiometriä hehtaarilla. Kuolleen puun kokonaismäärän oli keskimäärin 23 kuutiometriä hehtaarilla. Kuollutta pystypuuta oli vastaavasti 9,73 kuutiometriä hehtaarilla ja maapuuta 13,27 kuutiometriä hehtaarilla.

Luonnonvarakeskuksen tekemässä VMI13 raportissa (Luonnonvarakeskus 2023) Pohjois-Suomen alueen kuolleen puun kokonaismäärä oli keskimäärin 7,9 kuutiometriä hehtaarilla. Pystypuuta oli 2,5 kuutiometriä hehtaarilla ja maapuuta 5,4 kuutiometriä hehtaarilla. Raportti koostuu metsämaasta eli myös talousmetsät ovat mukana, mikä vähentää raportin kuolleen puun määrää. Etelä-Suomessa tehdyssä tutkimuksessa (Siitonen 2001, 45) verrattiin vanhoja talousmetsiä, yli-ikäisiä talousmetsiä ja vanhoja luonnonmetsiä. Lahopuun määrän vaihtelusta saatiin tulokseksi, että vanhoissa luonnonmetsissä ($110 \text{ m}^3/\text{ha}$) oli lähes kymmenkertainen määrä lahopuuta kuin vanhoissa talousmetsissä ($11 \text{ m}^3/\text{ha}$). Yli-ikäisten talousmetsistä tulokseksi saatiin 17 kuutiometriä hehtaarilla. Kuolleen puun määrä vaihteli tässä tutkimuksessa välillä 0–194 kuutiometriä hehtaarilla.

Sippolan ym. (1998, 208) tutkimuksessa vanhojen metsien kuolleen puun määrä vaihteli 19–60 kuutiometriä hehtaarilla. Tutkimuksen alueet sijoituivat Suomen metsärajan alueelle Lapissa. Tässä opinnäytetyössä esitettyjen tulosten suuremman vaihtelun voi selittää alueiden sijainti. Suurin osa alueista oli huomattavasti etelämpänä kuin Sippolan ym. tutkimuksessa. Kuviossa 10 voidaan päätellä, että lämpösumman noustessa kuolleen puun määrä kasvaa eri kasvupaikoilla (katso myös kuvio 9c).

Kasvupaikat ovat Lapissa keskimäärin sitä kuivemmaksi, mitä pohjoisemmaksi liikutaan. Kuivilla ja kuivahkoilla kasvupaikoilla elävän puuston määrä laskee verrattuna rehevämpiin kasvupaikkoihin ja siten myös laskee kuolleen puun määrä (kuvio 14). Lämpösummalla oli positiivinen vaikutus kuolleen puun kokonaismäärään ja kuolleen pystypuun määrään regressioanalyysissä (taulukot 5 ja 6). Kasvupaikka ei sen sijaan ollut merkitsevä muuttuja yhdessäkään tämän tutkimuksen mallissa.

Metsäpalohistorialla oli suuri vaikutus kuolleen puun määrään tässä tutkimuksessa. Aineiston kuvioista 32 prosentilla oli merkkejä metsäpaloista. Kuolleen puun kokonaismäärän ja kuolleen pystypuun määrän analyyseissa metsäpalo-muuttuja oli kaikista merkitsevin (taulukko 5 ja 6). Itä-Suomessa Pohjois-Karjalan alueella tehdyssä tutkimuksessa (Rouvinen & Kuuluvainen 2001) tutkittiin kahden metsäpaloalueen kuolleen puun määriä. Tulokseksi saatiin vanhemmasta palo-alueelta kuolleen pystypuun määräksi 14 kuutiometriä hehtaarilla ja maapuun määräksi 43 kuutiometriä hehtaarilla. Nuoremmalla vuonna 1906 palaneella alueella saatiin kuolleelle pystypuulle 19 kuutiometriä hehtaarilla ja maapuulle 35 kuutiometriä hehtaarilla. (Rouvinen & Kuuluvainen 2001, 119.)

Tässä tutkimuksessa kuolleen pystypuun määrää vaihteli metsäpalohistorian mukaan siten, että palaneilla kuvioilla oli 11,71 kuutiometriä hehtaarilla ja palamattomilla 8,80 kuutiometriä hehtaarilla. Kuollutta maapuuta oli vastaavasti palaneilla kuvioilla 14,78 kuutiometriä hehtaarilla ja palamattomilla 12,55 kuutiometriä hehtaarilla. Metsäpalojen vaikutus näkyi aarnimetsien kuolleen puun määrässä, kun taas vanhojen luonnonsukkessioiden kuolleen puun määrään se ei vaikuttanut (kuvio 23).

Puuston kuusivaltaisuudella oli suurempi vaikutus kuin metsäpaloilla kuolleen maapuun määrään regressioanalyysissä (taulukko 6). Kuusivaltaisuuden vaikutuksen voi havaita myös kuvioista 15. Kuusivaltaisten metsiköiden suuri kuolleen maapuun määrä saattaa liittyä vanhojen lahojen kuusipuiden taipumukseen katkeamiselle ja kaatumiselle myrskyäkin kevyemmällä tuulilla tai lumen murtamina (Kuuluvainen ym. 2008, 19, Lännenpää ym. 2008, 151). Norokorven (1979, 24) mukaan Peräpohjolan vanhoista yli 150-vuotiaista kuusista 30 prosenttia oli laho-

vikaisia. Puuston mäntyvaltaisuus puolestaan selitti kuolleiden pystypuiden määrää merkitsevästi regressioanalyysissä (taulukko 6). Mäntykeloilla on taipumus pysyä pystyssä kelottumisen jälkeen pitkiä aikoja. Mäntykelot voivat pysyä pystyssä satoja vuosia suotuisissa olosuhteissa (Leikola 1969, 60). Niemelän, Walleniuksen & Kotirannan (2002, 94) mukaan männyt voivat elää ennen keloutumista 300–500-vuotiaiksi ja säilyä pystykeloina jopa 200–500 vuotta.

Erirakenteisuuden muuttujan vaikutus kaikkiin kuolleen puun kokonaismäärän ja kuolleen pystypuun määrään oli negatiivinen (taulukot 4 ja 5). Regressiokertoimet olivat kuitenkin todella pieniä, joten vaikutus jäi vähäiseksi. Kuolleeseen maapuuhun sillä ei ollut merkitsevää vaikutusta (taulukko 6). Kuvion 16 (a ja b) perusteella erirakenteisuudesta ei löytynyt selvää selitystä elävän puun sekä kuolleen puun kokonaismäärän vaihtelulle.

Puuston iän merkitsevälle vaikutukselle oli myös vaikeaa löytää selvää syytä (taulukot 4 ja 6). Kuvion 9b perusteella puuston iällä ja kuolleen puun määrällä ei näyttäisi olevan yhteyttä. Aarnimetsät ja luonnonsuknessiot eivät myöskään iältään eronneet toisistaan paljoa tässä opinnäytetyössä. Sen sijaan elävän puuston kokonaismäärän merkitsevä positiivinen vaikutus kuolleen puun määrään (taulukot 4, 5 ja 6) voidaan nähdä myös kuviosta 9a. Mitä enemmän elävää puus-toa kuviolla oli, sitä enemmän oli kuollutta puuta. Samanlaiseen lopputulokseen ovat päätyneet myös useat muut tutkimukset maailmalla (Brassard & Chen 2006) ja Suomessa muun muassa Sippola ym. (1998).

5 POHDINTA

Tutkimukseni tarkoituksena oli selvittää, miten lahopuun määrä vaihtelee luonnontilaisissa ja niiden kaltaisissa metsissä Lapissa. Tavoitteena oli myös selvittää miten metsikkö kuvion elävän puuston määrä, puulajivaltaisuus, kasvupaikka, puuston erirakenteisuus, puuston ikä, metsäpalohistoria tai lämpösumma vaikuttavat kuolleen puun määrään.

Opinnäytetyössä tutkittiin Metsähallituksen Lapin alueen alue-ekologisen verkoston ajantasaistamiseen sisältyvän aineiston inventoinnissa tarkastettujen kuvioiden kuolleen puun määrän vaihtelua. Aineisto oli kerätty vuosina 2021–2023. Tutkimuksessa käytetty aineisto koostui 886 metsikkökuvioista, joiden kokonaisalaksi tuli 3474 hehtaaria. Olin itse keräämässä aineistoa kesällä 2023 Rovaniemen alueella.

Tuloksia tarkastellessani havaitsin, että kuolleen puun määrä oli Lapissa tekemässäni tutkimuksessa keskimäärin huomattavasti suurempi kuin Luonnonvarakeskuksen tekemässä VMI- inventoinnissa. Isona syynä eroavaisuudelle voidaan todeta talousmetsien sisältyminen VMI-inventointiin, kun taas minun opinnäytetyöni aineisto koostui kokonaan luonnontilaisista ja senkaltaisista metsistä. Määrät olivat kuitenkin pienempiä kuin Lapin suojelualueilla tehdyissä tutkimuksissa. Todennäköisesti tämä johtui siitä, että työssäni käsiteltiin myös vanhoja luonnonsukessioita, joiden yksi määritelmä on vähäinen kuolleen puun määrä verrattuna elävään puustoon. Tutkimuksessani kuolleen puun määrä oli myös huomattavasti pienempi kuin Etelä-Suomen kuusikoissa, mutta yllättäen suurempi kuin esimerkiksi Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa. Kaiken kaikkiaan huomasin, että lahopuun määrä vaihtelee paljon joka paikassa.

Euroopan muihin maihin verrattuna Suomessa on vähän lahopuuta. Syynä voidaan pitää suurempaa elävän puuston määrää esimerkiksi Keski-Euroopassa verrattuna Suomeen. Sain myös itse opinnäytetyössä tulokseksi, että elävän puuston määrä lisäsi kuolleen puun määrää metsissä. Toisaalta Keski-Euroopan metsissä on myös enemmän lehtipuita, mitkä ovat lyhytikäisiä havupuihin verrattuna ja täten syntyä enemmän lahopuuta. Huomasin tämän ilmiön itsekini opiskeluaikani Tšekin vuonna 2023. Tšekin lahopuuta on Slovakian jälkeen eniten koko Euroopassa.

Tässä tutkimuksessa lehtipuuvaltaisia kuvioita oli vain kuusi kappaletta, joten luotettavia johtopäätöksiä ei voida muodostaa. Puulajivaltaisuudella ei ollut tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevää vaikutusta elävän puuston kokonaismäärään. Kuusivaltaisilla kuvioilla oli enemmän kuollutta maapuuta kuin mäntyvaltaisilla kuvioilla. Päättelin tämän johtuvan esimerkiksi siitä, että vanhat kuuset ovat yleensä lahovikaisia ja ne saattavat katketa voimakkaan tuulen tai lumikuorman vaikutuksesta. Kuusilla on myös pinnallinen juuristo, mikä myös tekee niistä herkkiä tuulituhoille.

Mäntyjen juuristo on syvempi. Kuolleet vanhat männyt keloutuvat, ja ne saattavat kuolleina pysyä pystyssä jopa 200–500 vuotta. Mäntyvaltaisuus olikin merkitsevä selittäjä kuolleen pystypuun määrälle. Kasvupaikan vaikutus jäi hyvin pieneksi. Syynä saattoi olla korrelaatio puulajivaltaisuuden kanssa. Kasvupaikkojen sisäinen vaihtelu on suuri. Tuoreet ja kuivahkot kankaat kattoivat 96 prosenttia kuvioista.

Oletukseni oli ennen tutkimustani, että puuston erirakenteisuus lisäisi merkittävästi kuolleen puun määrää. Erirakenteisuuden vaikutus oli jopa negatiivinen tekemissäni analyyseissa. Huomasin, että luonnon aiheuttamat häiriötekijät kuten metsäpalot vaikuttavat erirakenteisuutta enemmän kuolleen puun määrään. Ainakin voimakkaan metsäpalon jälkeen metsä kehittyy hyvin tasarakenteiseksi. Kuollutta puuta kuitenkin syntyy toki erirakenteisissa metsissäkin, kun vanhimmat ja heikoimmat puut kuolevat, mutta ilmiö on paljon hitaampi kuin metsäpalon aiheuttama puuston kuoleminen.

Tässä tutkimuksessa havaitsin usean eri muuttujien vaikuttavan kuolleen puun määrään. Metsäpalon vaikutus kuolleen puun määrään oli niistä merkittävin. Metsäpalo tai muu häiriö lisää hetkellisesti kuolleen puun määrää, mikä kuitenkin vähitellen lahoaa. Seuraava häiriö lisää taas kuolleen puun määrää metsikössä. Opin kirjallisuudesta, että kuolleen puun määrä noudattaa U:n muotoista käyrää. Vanhojen metsien kuolleen puun määrää laskee, ellei uusia häiriöitä tapahdu kuten metsäpaloja ja myrskyjä. Lapissa viimeisin voimakas myrsky oli Mauri-myrsky 44 vuotta sitten, ja metsäpalojen sammuttaminen on Suomessa tehokasta, mikä vähentää uuden kuolleen puun syntymisen mahdollisuuksia.

Ilmaston lämmetessä keskilämpötila nousee ja kuivuus kasvaa. Metsäpalot voivat tulla yleisimmiksi, mikä on ollut jo lisääntyvä ilmiö joka puolella maailmaa. Lisäksi erilaiset hyönteis- ja sienituhot, kuten kirjanpainajien sekä juurikääpien aiheuttamat tuhot voivat lisätä puiden kuolleisuutta ja lahopuun määrää tulevaisuudessa. Lämpenevä ilmasto kiihdyttää myös kuolleen puun hajoamisnopeutta. Lämpösumman lisääntymisen voidaan katsoa lisäävän elävän puuston määrää ja siten tulevaisuudessa lisäävän kuolleen puun määrää. Samaan tulokseen päädyin myös itse tämän tutkimuksen tulosten pohjalta. Lämpösumma vaikutti positiivisesti kuolleen puun määrään tutkituilla kuvioilla.

Tutkimusaineistoni oli laaja ja edustava otos Lapin luonnontilaisista ja senkaltaisista metsistä (886 metsikkökuvioista ja 3474 hehtaaria). Kuvioiden kasvupaikkajakauma vastasi erittäin hyvin VMI:n esittämää kasvupaikkajakaumaa (Luonnonvarakeskus 2024). Aineisto kerättiin kuvioittain alue-ekologisia alueiden määrittämistä varten, joten aineistoa ei ollut suunniteltu alun perin tutkimustarkoituksiin. Käytännön inventointiaineistoja voidaan tämän työn kokemusten perusteella käyttää hyväksi myös tutkimuksissa. Aineiston suuri koko antaa siihen paljon mahdollisuuksia.

Kuolleen puun määrään voi liittyä mahdollisia mittauksien epätarkkuutta, joka voi vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. Tulosten luotettavuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon myös se, että tutkimuksen aineisto koostuu pääosin eri henkilöiden tekemistä mittauksista. Heidän arvionsa tietyistä muuttujista, kuten iästä voivat olla yksilöllisiä hyvistä ohjeista ja koulutuksista huolimatta. Tuloksissa voi siis näkyä inhimillisiä virheitä, epätarkkuuksia ja erilaisia näkemyksiä. Aineiston suuri koko pienentää kuitenkin mittauksessa tapahtuneiden virheiden vaikutusta. Työni tilastolliset analyysit osoittivat, että käyttämäni muuttujat selittivät vain pienen osan kuolleen puun määrän vaihtelusta. Tulosten yleistämiseen kannattaa siis suhtautua pienellä varauksella, vaikka toisaalta tulokset olivat loogisesti perusteltavissa. Aineiston keruuseen ei liittynyt eettisiä kysymyksiä.

Tutkimus on kehittänyt paljon näkemystäni kuolleen puun tärkeydestä metsissä. Tutkimus on laajentanut tietämystäni tutkimuksen toteutuksesta ja varsinkin tilastollisten menetelmien käytöstä. Oli mielenkiintoista oppia hakemaan lähdekirjallisuutta ja perehtyä niihin ajatuksella. Kuolleen puun syntymisen ja siihen liittyvien

tekijöiden vaikutuksen ymmärtäminen on mielestäni tärkeää metsäammattilaiselle tulevaisuudessa ja jo nykypäivänä.

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli lisätä Metsähallituksen tietämystä kuolleen puun määrästä ja siihen vaikuttavien tekijöiden merkityksestä. Inventoinnit jatkuvat taas tulevana kesän. Toivon, että työstäni on apua inventoinnin kehittämisessä. Aineiston keruuta voisi kuolleen puun inventointien osalta kehittää ottamalla aineiston keruuseen mukaan kuolleiden puiden puulajin määrittäminen. Kuolleiden puiden lahoamisnopeus on hyvin riippuvainen puulajista.

Jatkotutkimukset voisivat liittyä paikkatiedon hyödyntämiseen ja lahoppuun määrän dynamiikkaan. Ensimmäisenä ehdotan, että paikkatietomenetelmillä voisi tutkia esimerkiksi maaston korkeuden, rinteiden suunnan, topografian ja kosteusindeksin vaikutusta kuolleen puun määrään. Toisena ideana ehdotan, että kuolleen puun/lahoppuun määrän kehitystä inventoiduilla kuvioilla voisi mallittaa esimerkiksi lahoppuun lahoamisnopeuden ja puiden luontaisen kuolemisnopeuden avulla. Kolmas ehdotukseni on, että tekemäni tutkimuksen mallin sovelletaan Metsähallituksen hallinnoimille alueille muuallakin Suomessa.

Juuri nyt ajankohtaisena metsäkeskustelun aiheena on vanhojen metsien suojeleminen ja niiden määrittämisen kriteerit. Maaseudun Tulevaisuuden artikkelissa (Jokinen 2024) kerrottiin ministeriöiden eri kannoista koskien vanhojen metsien valintakriteerejä. Erimielisyyksiä on etenkin vallitsevan puuston keski-ikästä ja lahoppuun vähimmäismäärästä. Opinnäyteaineistoni avulla voitaisiin tutkia vanhojen metsien eri kriteerien vaikutusta mahdollisesti suojelemaan valittavien kohteiden määrään ja pinta-alaan Lapissa.

Kuolleen puun määrään Suomen metsissä on aloitettu panostamaan vuosi vuodelta aina paremmin. Kuollut puu ylläpitää todella suurta osaa metsien ekologiasta ja monimuotoisuudesta. Suuri osa metsistämme on talousmetsää, jonne ei ehdi syntyä tarpeeksi suurta määrää kuollutta puuta, jos siihen ei pyritä vaikuttamaan. Lahoavat puut tarjoavat ravintoa ja suojaa monelle metsän eliölle. Kuolleen puun ja sen määrään vaikuttavien tekijöiden vaikutuksen

ymmärtäminen on tärkeää, jotta Suomen metsät pysyisivät terveinä ja monimuotoisina.

LÄHTEET

Brassard, B. W. & Chen, H. Y. H. 2006. Stand Structural Dynamics of North American Boreal Forests. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 115–137. Viitattu 25.4.2024 <https://doi.org/10.1080/07352680500348857>.

Heikkilä, P., Hokkanen, M., Kotiaho, J. & Päivinen, J. 2008. Lahopuun määrän kehitys ennallistamisen jälkeen Koloveden ja Liesjärven kansallispuistoissa vuosina 2006–2156. *Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A* 174. Metsähallitus. Viitattu 8.5.2024 <https://julkaisut.metsa.fi/wp-content/uploads/sites/2/2012/06/a174.pdf>.

Herrero, C., Krankina, O., Monleon, V. J. & Bravo, F. 2014. Amount and distribution of coarse wood debris in pine ecosystems in north-western Spain, Russia and the United States. *iForest* 7: 53-60. Viitattu 16.5.2024 <https://doi.org/10.3832/ifor0644-007>.

Jokinen, A. 2024. Vanhojen metsien määrittelyyn ei löydy Suomessa sopua – kriteerit ovat joka tapauksessa tiukat. *MT Metsä* 15.5.2024. Viitattu 16.5.2024 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/e7d9fac8-5718-4378-bdb0-9e38e5434741>.

Kaakinen, M. & Ellonen, N. 2024. Regressioanalyysi. Teoksessa *Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 23.4.2024 <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/>.

Karjalainen, L. & Kuuluvainen, T. 2002. Amount and diversity of coarse woody debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 147–167. Viitattu 28.4.2024 <https://doi.org/10.14214/sf.555>.

Kaukonen, M., Thomssen, P.-M., Eskola, T., Herukka, I., Kallio, T., Karppinen, H., Karvonen, L., Korhonen, I. & Kuokkanen, P. (toim.) 2024. *Metsähallitus Metsätalous Oy:n ympäristöopas*. Viitattu: 10.4.2024 https://julkaisut.metsa.fi/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/mh_ymparistoopas.pdf.

Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M. & Viiri, H. 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 59/2017. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Viitattu 25.4.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-467-0>.

Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O. & Syrjänen, K. 2020. Metsien monimuotoisuudelle merkittävien rakennepiirteiden muutokset Suomessa vuosina 1980–2015. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020–10198. Tutkimusartikkeli. Viitattu 25.3.2024 <https://doi.org/10.14214/ma.10198>.

Kuuluvainen, T., Saaristo, L., Keto-Tokoi, P., Kostamo, J., Kuuluvainen, J., Kuusinen, M., Ollikainen, M. & Salpakivi-Salomaa, P. (toim.) 2004. *Metsän kätköissä – Suomen metsäluonnon monimuotoisuus*. Edita Publishing Oy. Helsinki. Viitattu 22.4.2024 <http://hdl.handle.net/10138/16508>.

Kuuluvainen, T., Aakala, T., Wallenius, T., Berglund, H. & Kauhanen, H. 2008. Pienialaisten häiriöiden merkitys luonnontilaisten kuusimetsien rakenteelle ja kehitykselle. Teoksessa H. Kauhanen, T. Kuuluvainen, A-L. Ylisirniö, & E. Huhta. 2008. Pohjoisen havumetsät – tutkimustuloksia ekologiseen metsänhoitoon. Metsäntutkimuslaitos, 14–21. Viitattu 20.4.2024 <http://urn.fi/urn:isbn:978-951-40-2107-7>.

Kuuluvainen, T. & Huhta, E. 2008. Ekologisesti kestävä metsänkäsittelyn perusteet. Teoksessa H. Kauhanen, T. Kuuluvainen, A-L. Ylisirniö, & E. Huhta. 2008. Pohjoisen havumetsät – tutkimustuloksia ekologiseen metsänhoitoon. Metsäntutkimuslaitos, 7–13. Viitattu 20.4.2024 <http://urn.fi/urn:isbn:978-951-40-2107-7>.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus Oy.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108: 1–74. Viitattu 10.4.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9>.

Leikola, M. 1969. Havaintoja männyn paksuuskasvun loppumisesta ja puiden keuloutumisesta Inarin Lapissa. *Silva Fennica* 3: 50–61. Viitattu 3.5.2024 <https://doi.org/10.14214/sf.a14572>.

Lindberg, H., Heikkilä, T, V. & Vanha-Majamaa, I. 2011. Suomen metsien paloainekset - kohti parempaa tulen hallintaa. Vantaa. Viitattu 12.3.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2294-4>.

Luonnonvarakeskus 2023. VMI2022 tulokset valmistuneet: Ylä-Lapissa suuri puuston ja kasvun lisäys. Viitattu 10.3.2024 <https://www.luke.fi/fi/seurannat/valtakunnan-metsien-inventointi-vmi/vmi2022-tulokset-valmistuneet-ylalapissa-suuri-puuston-ja-kasvun-lisays>.

Luonnonvarakeskus 2024. Kasvupaikat metsämaan kankailla ja soilla. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Viitattu 26.4.2024 https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__06%20Metsavarat/1.05_Kasvupaikat_metsamaan_kankailla_ja_soil.px/.

Lännenpää, A., Aakala, T., Kauhanen, H. & Kuuluvainen, T. 2008. Tree mortality agents in pristine Norway spruce forests in northern Fennoscandia. *Silva Fennica* 42(2): 151–163. Viitattu 5.5.2024 <https://doi.org/10.14214/sf.468>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2024. Lahopuun turvaaminen. Viitattu 14.4.2024 <https://metsanhoidonsuosituksat.fi/fi/toimenpiteet/lahopuun-turvaaminen>.

Metsähallitus 2020. Puustollisesti arvokkaiden luontokohteiden tunnistaminen – Luonnos. Versio 23.10.2020. Yksityinen arkisto.

Metsähallitus 2023. Lahopuu. Viitattu 24.3.2024 <https://www.metsa.fi/projekti/metsabiotalousn-ayteikkuna/lahopuu/>.

Metsälaki 12.12.1996/1093. Viitattu 26.5.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093#L3P10b>.

Niemelä, T., Wallenius, T. & Kotiranta, H. 2002. The kelo tree, a vanishing substrate of specified wood-inhabiting fungi. *Polish Botanical Journal* 47(2): 91–101. Viitattu 1.5.2024 https://www.researchgate.net/publication/234060692_The_kelo_tree_a_vanishing_substrate_of_specified_wood-inhabiting_fungi.

Norokorpi, Y. 1979. Old Norway spruce stands, amount of decay and decay-causing microbes in northern Finland. *Seloste: Peräpohjolan vanhat kuusikot, niiden lahoisuus ja lahottajat. Commun. Inst. For. Fenn.* 97 (6): 1—77. Viitattu 17.5.2024 <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171127>.

Pasanen, H., Siitonen, J., Yläne, M. & Saaristo, L. 2022. Selvitys lahopuuston yhtenäisestä arviointimenetelmästä metsäalan toimijoita varten. Tapion raportteja nro 49. Tapio Oy. Viitattu 10.4.2024 <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2022/04/Selvitys-lahopuun-arviointimenetelmasta.pdf>.

Pedlar, J. H., Pearce, J. L., Venier, L. A. & McKenney, D. W. 2002. Coarse woody debris in relation to disturbance and forest type in boreal Canada. *Forest Ecology and Management* 158: 189 – 194. Viitattu 5.4.2024 [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00711-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00711-8).

Raši, R. 2020. FOREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Viitattu 15.5.2024 https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf.

Rouvinen, S. & Kuuluvainen, T. 2001. Amount and spatial distribution of standing and downed dead trees in two areas of different fire history in a boreal Scots pine forest. – *Ecol. Bull.* 49: 115–127. Viitattu 12.5.2024 https://www.researchgate.net/publication/259798931_Amount_and_Spatial_Distribution_of_Standing_and_Downed_Dead_Trees_in_Two_Areas_of_Different_Fire_History_in_a_Boreal_Scots_Pine_Forest.

Saaristo, L., Pasanen, H. & Arnkil, N. 2023. Lahopuut ja luonnon monimuotoisuus. Tapion raportteja nro 56. Tapio Palvelut Oy. Viitattu 14.5.2024 <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:EU:d57aaaf8-a11c-4705-82dc-0cc661bca668>.

Seedre, M. 2009. Carbon dynamics of boreal mixedwoods in central Canada. A thesis for the Degree of Master of Science in Forestry. Faculty of Forestry and the Forest Environment Lakehead University. Viitattu 5.5.2024 https://www.researchgate.net/publication/303738611_Carbon_dynamics_of_boreal_mixedwoods_in_central_Canada.

Seedre, M. 2013. Disturbance effects on boreal forest ecosystem carbon dynamics. A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Forestry. Estonian University of Life Sciences. Tartu. Viitattu 10.5.2024 https://www.researchgate.net/publication/261061992_Disturbance_effects_on_boreal_forest_ecosystem_carbon_dynamics.

Seibold, S., Rammer, W., Hothorn, T., Seidl, R., Ulyshen, M. D., Lorz, J., Cadotte, M. W., Lindenmayer, D. B., Adhikari, Y. P., Aragón, R., Bae, S., Baldrian, P., Varandi H. B., Barlow, J., Bäessler, C., Beauchêne, J., Berenguer, E., Rodrigo, S., Birkemoe, B., Boros, G., Brandl, R., Brustel, H., Burton, B. J., Cakpo-Tossou, Y.

T., Castro, J., Cateau E., Cobb T. P., Farwig, N., Fernández, R. D., Firn, J., Gan, K. S., González, G., Gossner, M. M., Habel, J. C., Hébert, C., Heibl, C., Heikkala, O., Hamppu, A., Hamppu, C., Hjältén, J., Hotes, S., Kouki, J., Lachat, T., Liu, J., Liu, Y., Luo, Y-H., Macandog, D. M., Martina, P. E., Mukul, S. A., Nachin, B., Nisbet, K., O'Halloran, J., Oxbrough, A., Pandey, J. N., Pavlíček, T., Pawson, S. M., Rakotondranary, J. S., Ramanamanjato, J-B., Rossi, L., Schmidl, J., Schulze, M., Seaton, S., Stone, M. J., Stork, N. E Suran, B., Sverdrup-Thygeson, A., Thorn, S., Thyagarajan, G., Wardlaw, T. J., Weisser, W. W., Yoon, S., Zhang, N. & Müller, J. 2021. The contribution of insects to global forest deadwood decomposition. *Nature* 597, 77–81. Viitattu 24.4.2024 <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03740-8>.

Shorohova, E. & Tetiukhin, S. 2004. Natural disturbances and the amount of large trees, deciduous trees and coarse woody debris in the forests of Novgorod Region, Russia. *Ecol. Bull.* 51: 137–147. Viitattu 15.5.2024 https://www.researchgate.net/publication/259798693_Natural_Disturbances_and_the_Amount_of_Large_Trees_Deciduous_Trees_and_Coarse_Woody_Debris_in_the_Forests_of_Novgorod_Region_Russia#fullTextFileContent.

Siitonen, J. (toim.) 2001. Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 812. 25–53. Viitattu 4.5.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1787-0>.

Sippola, A-L., Siitonen, J. & Kallio, R. 1998. Amount and quality of coarse woody debris in natural and managed coniferous forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian journal of forest research* 13:204–214.

Syrjänen, K., Korhonen, K.T., Punntila, P. & Siitonen, J. 2024. Luonnontilaiset metsät ja vanhat metsät Suomessa: Euroopan komission ohjeet ja kansallinen tarkastelu. Viitattu 10.5.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5642-7>.

Tapio, K. 2020. Kuolleen puun lahoamisnopeus luonnontilaisessa pohjoisborealisessa metsässä. Pro gradu. Helsingin yliopisto. Viitattu 21.4.2024 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202010154287>.

Ylisirniö, A-L., Penttilä, R. & Berglund, H. 2008. Luontaisten häiriöiden ja hakkuiden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, esimerkkinä lahottajasienet. Teoksessa H. Kauhanen, T. Kuuluvainen, A-L. Ylisirniö & E. Huhta. 2008. Pohjoisen havumetsät – tutkimustuloksia ekologiseen metsänhoitoon. Metsäntutkimuslaitos, 29–38. Viitattu 10.5.2024 <http://urn.fi/urn:isbn:978-951-40-2107-7>.

LIITE

Liite 1. Maastolomake lahoppuun mittaamiseen tarkennetulla silmävaraisella arvioinnilla.

Maastolomake: Tarkennettu silmämääräinen arviointi																
Mittaaja																
Pvm.																
Kuvio/ kohde	Huomioita	Kuvion pinta-ala (ha)	Puulaji	Läpimitt a-luokka	Runkoja yhteensä		Lahoppu- jatkumo- luokka (1- 3)	Inventoi- nnin kattavuus (0- 100%)	Keskitila- vuus	Tilavuus läpimitta- luokittai- n	Tilavuus- puulajeit- tain m3 / ha	Tilavuus- puulajeit- tain, m3	Tilavuus- yhteensä m3 / ha	Tilavuus yhteensä , m3	Korjattu tilavuus, m3 / ha	Korjattu tilavuus, m3
					Maapuut	Pystypuut										
			Mänty	10-19 cm					0,129	0	#DIV/0!	0				
				20-29 cm					0,456	0						
				30-39 cm					0,985	0						
				40-49 cm					1,38	0						
				50-59 cm						0						
			Kuusi	10-19 cm					0,154	0	#DIV/0!	0				
				20-29 cm					0,571	0						
				30-39 cm					1,172	0						
				40-49 cm					2,053	0						
				50-59 cm						0						
			Koivu	10-19 cm					0,152	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!
				20-29 cm					0,524	0						
				30-39 cm					1,089	0						
				40-49 cm						0						
				50-59 cm						0						
			Muu lehtipuu	10-19 cm						0	#DIV/0!	0				
				20-29 cm						0						
				30-39 cm						0						
				40-49 cm						0						
				50-59 cm						0						
			Mänty	10-19 cm					0,129	0	#DIV/0!	0				
				20-29 cm					0,456	0						
				30-39 cm					0,985	0						
				40-49 cm					1,38	0						
				50-59 cm						0						
			Kuusi	10-19 cm					0,154	0	#DIV/0!	0				
				20-29 cm					0,571	0						
				30-39 cm					1,172	0						
				40-49 cm					2,053	0						