



HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUS-METSÄTIETEELLINEN TIEDEKUNTA

Pienaukko- ja osittaishakkuiden vaikutus jäävän puuston kasvuun

Roosa Hartikainen
Pro Gradu tutkielma
Helsingin yliopisto
Metsätieteiden maisteriohjelma
Metsien ekologia ja käyttö
15.05.2022

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma
Tekijä/Författare – Author Roosa Hartikainen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Pienaukko- ja osittaishakkuiden vaikutus jäävän puuston kasvuun		
Oppiaine /Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö		
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterin tutkielma	Aika/Datum – Month and year toukokuu 2022	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 42
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Viime vuosikymmeninä metsien käytön kestävyys on noussut puheenaiheeksi ja kritiikki avohakkuita kohtaan on kasvanut. Tavoitteena on löytää tapa, jolla hyödyntää metsävaroja kestävästi ja samalla turvata taloudellinen kannattavuus. Yhtenä potentiaalisena vaihtoehtona on pidetty metsän jatkuvapeitteistä kasvatusta. Tällöin avohakkuita ei tehdä, vaan hakkuut voidaan toteuttaa esimerkiksi pienaukko- tai osittaishakkuilla. Kyseiset hakkuutavat voidaan myös yhdistää häiriödynamiikkapohjaiseen metsänhoitoon, missä jäljitellään kullekin paikalle tyypillisiä luonnostaan esiintyviä häiriöitä.</p> <p>Tämän tutkielman aineisto on kerätty osana suurempaa DISTDYN -häiriödynamiikkahanketta, missä seurattiin luontaisia häiriöitä jäljittelevien hakkuiden vaikutusta muun muassa metsän rakenteeseen, lajistoon sekä puuston kuolleisuuteen. Tutkimusalueet sijaitsivat mäntyvaltaisella Ruunaan alueella Pohjois-Karjalassa ja kuusivaltaisella Isojärven alueella Keski-Suomessa. Tässä gradututkielmassa selvitettiin aukkojen ympärille jäävän puuston kasvureaktioita hakkuiden seurauksena.</p> <p>Molemmilla tutkimuskohteilla puiden kasvureaktio oli suurinta aukon reunalla ja laski aukosta pois päin mentäessä. Ruunaalla kasvu jäi huomattavasti maltillisemmaksi kuin Isojärvellä, johtuen paikan heikommasta puuntuotoskyvystä. Puutason tilastollisissa analyysissä merkitseviksi tekijöiksi kasvun kannalta nousivat etäisyys aukosta, puulaji, puun pohjapinta-ala ensimmäisessä mittauksessa, pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi sekä kasvupaikkatyyppi. Aukon koolla tai hakkuiden voimakkuudella ei ollut tilastollista merkitystä. Metsikkötason tarkastelussa aineisto muodostui koealojen summa- ja keskiarvotunnuksista. Tilastollisesti merkittäviä tekijöitä kasvun selittäjinä olivat puuston hehtaarikohtainen tilavuus alussa, metsikön ikä, sekä pääpuulaji. Myöskään metsikkötason tarkastelussa ei aukon koko tai hakkuiden voimakkuus noussut merkitseväksi selittäjäksi.</p> <p>Pienaukko- ja osittaishakkuiden reuna-alueilla puiden kasvu nopeutui. Vaikutus kuitenkin pienenee etäisyyden kasvaessa aukon reunasta. Lisää tutkimustyötä tarvitaan, jotta voidaan paremmin arvioida kasvureaktioita eri maaperä- ja kasvupaikkatyypeillä, sekä saada tietoa tuhoriskeistä tai aukon koon merkityksestä. Tämän tutkielman perusteella osittais- ja pienaukkohakkuut ovat potentiaalinen tapa lisätä ja suojella luonnon monimuotoisuutta, mutta myös turvata taloudellinen kestävyys.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords pienaukkohakkuu, osittaishakkuu, jatkuva kasvatus, luontainen häiriödynamiikka, järeyskasvu		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis - ethesis.helsinki.fi		

Sisällys

1. JOHDANTO	3
1.1. Metsän kasvatusta ja metsänhoidon nykytilanne	3
1.2. Tavoitteet ja hypoteesit	5
2. TAUSTAKIRJALLISUUS	6
2.1. Aiempi tutkimustieto	6
2.2. Metsien luontainen häiriödynamiikka	8
2.3. Pienaukko- ja osittaishakkuut	9
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	10
3.1. Tutkimusalueet	10
3.1.1. Isojärvi	11
3.1.2. Ruunaa	12
3.3. Metsänkäsittely	14
3.4. Hakkuutavat	15
3.5. Mittaukset	16
3.6. Aineiston analysointi	19
4. TULOKSET	21
4.1. Metsikkötason tarkastelu	21
4.2. Puutason tarkastelu	25
4.2.1. Isojärvi	25
4.2.2. Ruunaa	27
4.2.3. Mallin luominen	29
5. TULOSTEN TARKASTELU	33
7. LÄHTEET	38

1. JOHDANTO

1.1. Metsän kasvatusta ja metsänhoidon nykytilanne

Viime vuosikymmeninä kiinnostus luonnonvarojen kestäväseen käyttöön on kasvanut merkittävästi. Ilmastonmuutoksen, maankäytön muuttumisen sekä kasvavan väestön myötä luonnonvarojen runsas tai jopa liiallinen käyttö on johtanut paikoittaiseen biodiversiteettikatoon (European Parliament 2020). Tästä seurauksena myös metsien käytön kestävyys on noussut puheen aiheeksi ja kritiikki avohakkuuta kohtaan on kasvanut (Bliss 2000). Tämän myötä kiinnostus jatkuvaan kasvatukseen ja ekosysteemipohjaiseen metsänhoitoon on lisääntynyt ja tavoitteena on löytää ratkaisu, jossa otetaan huomioon niin ekologinen kuin ekonominen kestävyys (Peterson & Anderson 2009). Jatkovapeitteisessä metsänhoidossa avohakkuuta ei tehdä, vaan hakkuut toteutetaan esimerkiksi pienaukko- tai poimintahakkuina (Luonnonvarakeskus 2016). Tällöin metsä pysyy maisema- ja metsikkötasolla peitteisenä ja puustoltaan eri-ikäisenä (Luonnonvarakeskus 2016).

Jatkuva kasvatusta nähdään yleisesti ekologisesti kestävämpänä vaihtoehtona perinteisille avohakkuille, sillä se tukee biodiversiteetin säilymistä lisäämällä ekosysteemien heterogeenisyyttä ja sitä myötä resilienssiä (Bliss 2000, Kuuluvainen 2002, Jokela ym. 2019). Myös vesistöihin kohdistuva kiintoainekuormitus on vähäisempää jatkovapeitteisessä metsänkasvatuksessa, koska puusto pidättää ravinteita ja kiintoainesta (Tapio 2019). Näin myös ekosysteemipalveluiden ylläpitäminen ja saatavuus paranevat. Avohakkuiden välttäminen tukee niin ikään hiilen sidonnan jatkuvuutta, sillä laaja-alaiset hakkuut voivat muuttaa kohteen hiilen lähteeksi jopa kymmenen vuoden ajaksi (Pregitzer & Euskirchen 2004). Tämä johtuu mm. hajotustoiminnan kiihtymisen aiheuttamasta

hengityksen kasvusta ja vastaavasti ekosysteemin nettotuotannon laskusta (Pregitzer & Euskirchen 2004).

Metsän jatkuva kasvatus voidaan yhdistää myös häiriödynamiikkoihin perustuvaan metsänhoitoon (NDE), missä menetelmät perustuvat metsässä luontaisesti esiintyvien häiriöiden jäljittelyyn. Häiriöt voivat vaihdella yksittäisten puiden kuolemista aina suuriin alueisiin, muodostaen rakenteeltaan, lajistoltaan sekä iältään vaihtelevan metsikkökokonaisuuden (Kuuluvainen 2012). Häiriöitä jäljittelyssä metsänhoidossa hakkuumenetelmiä ovat poiminta-, pienaukko- ja osittaishakkuut, jotka jäljittävät eri asteisia tuhoja. Häiriöpohjaisen metsänhoidon on todettu olevan ekologisesti suotuisampi vaihtoehto perinteisille avohakkuille (Peura ym. 2017), mutta vaikutukset jäävän puuston kasvuun ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Etenkin pohjoisella pallonpuoliskolla aiheeseen liittyviä tutkimuksia ei ole, vaan tämä kyseinen gradututkielma on ensimmäinen laatuaan. Jotta voidaan löytää niin ekologisesti kuin taloudellisesti kannattava toimintamalli, on puiden kasvureaktioihin myös perehdyttävä huolellisesti. Fennoskandian luonnontilaisissa metsissä esiintyvät tuhot ovat usein asteeltaan pieniä tai keskikokoisia (Kuuluvainen & Aakala 2011), eli pienaukko- ja osittaishakkuut voisivat olla hyvin vartenotettava vaihtoehto metsänhoitotoimenpiteitä suunniteltaessa. Aihe on siksi hyvin ajankohtainen ja paikallisesti merkittävä.

Puiden kasvuun vaikuttavia tekijöitä on useita, ja syy-seuraussuhteet eivät aina ole yksiselitteisiä. Pääasiassa puut tarvitsevat kasvuunsa tarpeeksi valoa, vettä sekä ravinteita. Niiden saatavuuteen vaikuttaa esimerkiksi kasvuympäristö, kilpailu sekä puun fysiologiset tekijät (Mina ym. 2017, Cienciala ym. 2016). Etenkin puiden koolla, iällä sekä puuston tiheydellä on huomattu olevan suuri vaikutus kasvuun. Nuoremmat puut reagoivat voimakkaammin vapautuneisiin resursseihin verrattuna kookkaampiin ja vanhempiin yksilöihin (Juodvalkis ym. 2005). Toisaalta kookkaalla puulla

prosentuaalisesti pienikin lisäys läpimitassa näkyy suurena pohjapinta-alan kasvuna. Tiheässä metsässä kilpailu on kovempaa, mikä yleisesti heikentää kasvua (Alam ym. 2017, Mina ym. 2017, Cienciala ym. 2016). Myös maaperän C/N suhde on tärkeässä roolissa, sillä se vaikuttaa merkittävästi mm. maaperän pH-arvoon ja sitä kautta ravinteiden kiertoon (Cienciala ym. 2016). Merkittäviä tekijöitä kasvun kannalta ovat myös kasvupaikka, ympäristö, topografia ja ilmasto, mutta niiden vaikutuksen on arvioitu olevan pienempiä verrattuna aiemmin mainittuihin muuttujiin (Alam ym. 2017, Cienciala ym. 2016). Puulajilla voidaan niin ikään olettaa olevan vaikutusta kasvun tasoon. VMI 10 mittauksissa kangasmailla kuusen pohjapinta-alan kasvu oli keskimääräisesti suurempaa verrattuna muihin puulajeihin (Salminen ym. 2013). Männyllä kasvu oli seuraavaksi suurinta (Salminen ym. 2013). Lehtipuita ei eroteltu, vaan ne käsiteltiin yhtenä ryhmänä, jolloin kasvu jäi myös huomattavasti vaatimattomammaksi (Salminen ym. 2013).

1.2. Tavoitteet ja hypoteesit

Häiriödynamiikkapohjaiseen metsänhoitoon liittyvät tutkimukset ovat keskittyneet paljolti ekologiseen monimuotoisuuteen sekä puiden uudistumiseen aukkokohdissa. Jäävän puuston kasvureaktioiden ja niihin vaikuttavien tekijöiden tutkiminen on jäänyt vähemmälle huomiolle, joten aiempaa tutkimustietoa aiheesta löytyy niukasti. Tämän gradututkielman tavoitteena on tuottaa tietoa, miten jäävä puusto reagoi kasvullisesti (cm^2 ja m^3) pienaukko- sekä osittaishakkuisiin. Lisäksi halutaan selvittää, miten etäisyys aukon reunasta, aukon koko, puulaji, kasvupaikka, pituusboniteettiluokka, ilmansuunta, jäävän puuston pohjapinta-ala sekä tilavuus vaikuttavat kasvureaktioon. Tarkasteltavat kohteet ovat joko kuusi- tai mäntyvaltaisia metsiköitä.

Hypoteesit ovat seuraavat

1. Aukon reunalla olevat puut hyödyntävät vapautuneet resurssit järeytymiseen ja pituuskasvuun.
2. Kasvun suuruus heikkenee aukon reunalta sisemmäksi metsään mentäessä, johtuen mm. valon määrän vähentymisestä sekä kilpailun lisääntymisestä.
3. Kasvureaktio on maltillisempi jo kookkailla puilla, joiden kiivaimman kasvun vaihe on jo ohi.
4. Kuusivaltaisissa metsiköissä kasvu on merkittävämpää verrattuna mäntyvaltaisiin kohteisiin

2. TAUSTAKIRJALLISUUS

2.1. Aiempi tutkimustieto

Aiempaa tutkimustietoa osittais- ja pienaukkohakkuiden vaikutuksesta jäävän puuston kasvuun on hyvin vähän. Suuri osa aiemmista tutkimuksista on keskittynyt taimettumiseen aukkohakkuiden jälkeen tai niiden vaikutuksesta esimerkiksi tuholaisien esiintymiseen. Joitakin artikkeleita aiheeseen liittyen kuitenkin löytyy.

Prévost ym. (2009) 10 vuotta kestäneessä tutkimuksessa tutkittiin puuston kasvua ja kuolleisuutta osittaishakkuiden jälkeen. Hakuut toteutettiin siten, että puustosta poistettiin joko 35% tai 65% alkuperäisestä volyymista. Huomattiin, että jäävän puuston pohjapinta-alan kasvu oli taloudellisesti merkittävää verrattuna hakkaamattomaan kontrollialueeseen. Käsitettä 'taloudellisesti merkittävä' ei kuitenkaan avattu, joten epäselväksi jäi, mihin tulosta verrattiin. Tutkimus toteutettiin Quebecissä noin 60-

vuotiaassa haapa-havupuu sekametsässä. Kuusi ja mänty reagoivat lehtipuita voimakkaammin hakkuisiin.

Myös Deal & Tappeiner (2000) tutkivat, neljän kasvukauden ajan osittaishakkuiden vaikutusta jäävän puuston kasvuun. Huomion arvoista oli, että osittaishakkuissa jäävän puuston läpimitan kasvun huomattiin olevan merkittävästi suurempaa verrattuna hakkaamattomiin kontrollikohteisiin. Merkittävyyttä ei määritelty, joten käsite jäi melko subjektiiviselle tasolle. Kasvu korreloi positiivisesti hakkuiden voimakkuuden kanssa. Tutkimus toteutettiin Alaskassa, kuusi- ja lännenhemlokkivaltaisissa metsiköissä. Kuusen kasvun huomattiin olevan hieman suurempaa verrattuna lännenhemlockiin, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkittävä.

Gendreau-Berthiaume ym (2012) toteuttivat osittaishakkuista koskevan tutkimuksen Quebecissä Kanadassa. Tutkimusalueella puusto oli havu- ja lehtipuu sekametsää. Osittaishakkuin käsitellyillä alueilla jäävän puuston kasvu oli tilastollisesti merkittävää. Vertailukohtaa ei kerrottu. Voimakkaimmin pohjapinta-ala kasvoi koivuilla ja kuusilla, haapa ja pihta reagoivat maltillisemmin. Tutkimuksessa verrattiin myös eroavaisuuksia luonnollisten häiriöiden ja osittaishakkuiden kasvujen välillä, jotta voitiin selvittää, kuinka lähelle todenmukaista häiriötä ihmisen tekemillä hakkuilla voidaan päästä. Osittaishakkuukohteilla puuston pohjapinta-alan kasvu oli huomattavasti suurempaa verrattuna luonnollisesti syntyneiden laikkujen ympäristöön.

Aiempi tutkimustieto puoltaa siis hypoteesia, jonka mukaan aukolla on tilastollisesti merkitsevä vaikutus reunoille jäävän puuston kasvuun. Puulajien välillä voidaan odottaa olevan eroja, tämä on huomattu myös perinteisten harvennusten kohdalla. Juodvalkis ym. (2005) kirjallisuuskatsauksessa huomattiin, että lehtipuut, kuten haapa, koivu, saarni ja tammi, reagoivat voimakkaimmin latvuksen kasvulla, kun taas merkittävin järeytyminen

ilmeni kuusivaltaisissa metsiköissä. Mäntymetsissä järeyskasvu oli heikointa (Juodvalkis ym. 2005). Hypoteesin olettamus kuusen voimakkaimmasta kasvureaktiosta saa näin ollen tukea. Vastoin aiempaa olettamusta, myös varttuneempien puiden on huomattu hyötyvän hakkuiden aiheuttamasta kilpailun vähenemisestä (Prévost ym. 2009, Thorpe & Thomas 2007), joten metsikön ikä ei välttämättä ole ratkaiseva tekijä.

Edellä mainittujen tutkimusten vertailukelpoisuus keskenään, ja tämän työn kanssa, on kuitenkin heikko, johtuen muun muassa siitä, ettei missään tutkimuksessa kerrottu esimerkiksi aukkojen kokoa, kasvupaikkaa tai läpimitan mittauskorkeutta. Myös monet käsitteet jäivät hyvin subjektiivisiksi eikä tarkkaa määrittystä löytynyt. Näin ollen aiempaa tutkimustietoa voidaan pitää vain suuntaa antavana.

2.2 Metsien luontainen häiriödynamiikka

Häiriöt ovat tapahtumia, jotka muokkaavat paikalla olevaa ekosysteemiä tappamalla puita ja vapauttamalla kasvutilaa sekä muuttamalla kasvuolosuhteita. Häiriöiden voimakkuus, mittakaava sekä toistuvuus voivat vaihdella suurestikin (Davis ym. 2013, Kuuluvainen 2012). Häiriöitä ovat esimerkiksi lumi- ja tuulituhot, eläinten aiheuttamat vahingot, tuholaisinvaasiot sekä metsäpalot (Davis ym. 2013, Kuuluvainen 2012). Yksittäisten puiden kuolema on hyvin pienialainen häiriö, jolla on vain vähän vaikutusta ympäröivään metsään. Yleistä on, että pienialaiset häiriöt esiintyvät laajoja häiriöitä useammin (Kuuluvainen 2012). Tällaiset useasti toistuvat pienet häiriöt edesauttavat suknessiota ja näin ylläpitävät metsän heterogeenistä rakennetta ja monimuotoisuutta (Kuuluvainen 2012, Kuuluvainen 2002). Suuremmat häiriöt, kuten myrskytuhot, vaikuttavat merkittävämmiin ekosysteemin energia- ja ravinnevirtoihin. Myös lajisuhteet saattavat muuttua uuden kilpailuasetelman myötä (Davis ym. 2013).

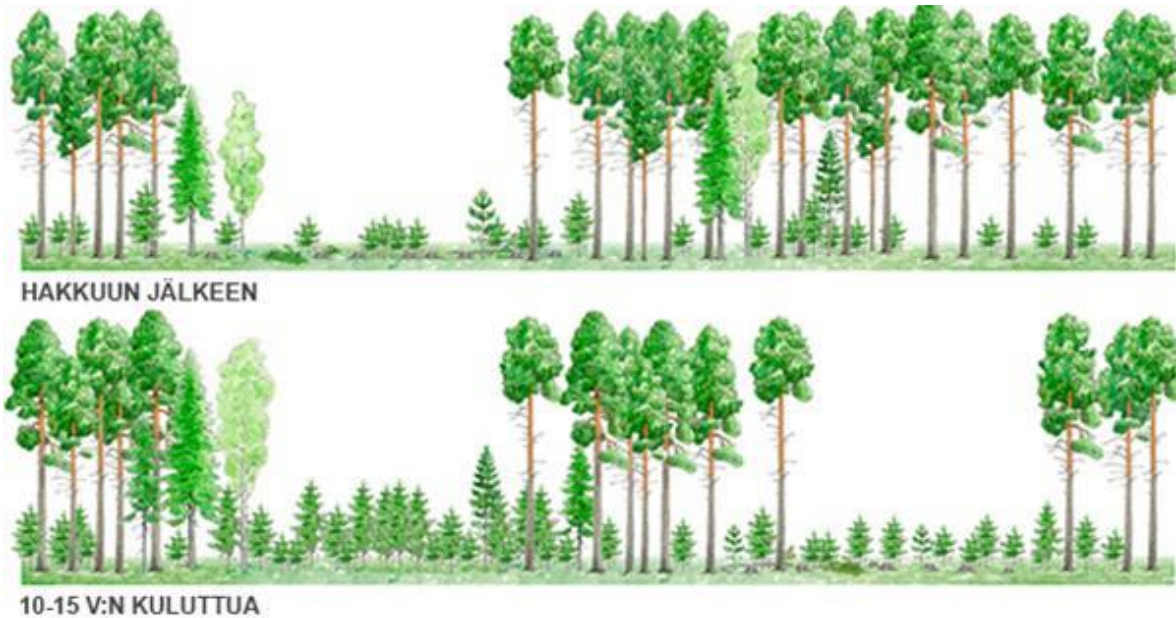
Kun metsänhoidossa jäljitellään luontaisesti esiintyviä häiriöitä, on tärkeää perehtyä kyseisen paikan ekologiaan ja ominaisuuksiin, jotta osataan valita oikeat toimenpiteet. Muutoin mm. uudistumistulos voi jäädä heikoksi ja tuhojen määrä kasvaa (Kuuluvainen 2002). Bergeron & Harvey (1996) korostavat, että tiukkoja sääntöjä ja yleistyksiä tulisi tällaisessa metsänhoidossa välttää ja keskittyä sen sijaan joustavaan ja kohteeseen sopivaan hoitotapaan. Samalla toimenpiteitä tulisi tarkastella myös maisematasolla, jotta voidaan luoda pitkällä tähtäimellä tuottavia, ekologisesti toimivia ja monimuotoisia kokonaisuuksia (Bergeron & Harvey, 1996). Tavoitteena ei myöskään ole täysin kopioida metsän luonnollista häiriödynamiikkaa, vaan tutkimuksen avulla löytää malleja ja toimintatapoja, jotka tukevat ekologista kestävyyttä ja monimuotoisuutta ylläpitäen metsänhoidon taloudellista kannattavuutta (Bergeron ym. 1999).

2.3. Pienaukko- ja osittaishakkuut

Pienaukko- ja osittaishakkuut ovat tapa pitää yllä metsän eri-ikäisrakennetta ja jatkuvaa kasvatusta. Pienaukkohakkuut vastaavat pienialaisia avohakkuuta, joissa pinta-ala on alle 0,3 hehtaaria (Metsänhoidon suositukset, Metsän uudistuminen ja kasvatustapojen jatkuvassa kasvatuksessa). Niiden tarkoituksena on luoda metsikköön rakenne, joka muistuttaa luonnontilaista metsää ja siellä luontaisesti esiintyviä pienialaisia häiriöitä (Jokela ym. 2019). Osittaishakkuut ovat niin ikään aukkohakkuuta, mutta ne ovat pinta-alaltaan suurempia, vastaten näin hieman laajempaa häiriötä.

Hakkuut tulisi toteuttaa pääasiassa varttuneeseen puustoon siten, että aukkojen väliin jäävät puustokaistaleet eivät jää liian kapeiksi. Kapeat puustokaistaleet ovat alttiimpia tuulituhoille ja näin saattavat haitata puuston kehitystä. Aukot tulisi myös jättää niin sanotusti liehuvareunaisiksi, eli reunametsää harvennetaan tarvittaessa. Tämä vähentää

juuristokilpailua, mikä taas mahdollistaa alikasvoksen paremman kasvun. (Metsänhoidon suositukset, Metsän uudistuminen ja kasvatus jatkuvassa kasvatuksessa)



Kuva 1. Hahmotelma pienaukkohakkuiden toiminnasta. Oikein suunniteltuna hakkuut luovat maisematasolla eri-ikäisen metsikkökokonaisuuden, joka tukee lajimonimuotoisuuden ylläpitämistä. (Kuva: Metsäforest, Poimintahakkuut ja pienaukkohakkuut)

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

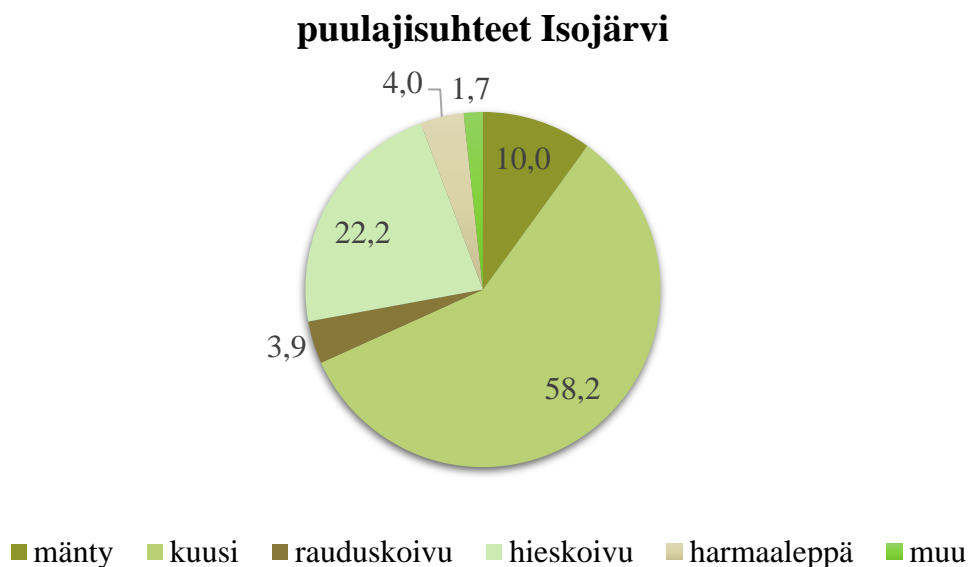
Tämän gradutyön materiaali on kerätty osana laajempaa ”Metsien luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvat käsittelymallit” (DISTDYN) -koejärjestelyä. Aineisto kerättiin vuosina 2009 ja 2019 Pohjois-Karjalassa Ruunaalla sekä Keski-Suomessa Isojärvellä. Molemmissa kohteissa hakkuut toteutettiin poiminta-, pieniauikko-, osittais- sekä avohakkuina. Kyseisessä hankkeessa tutkittiin jäävän puuston kasvun lisäksi mm. aukkojen taimettumista sekä tuulituhoja, mutta ne jätettiin tämän gradutyön ulkopuolelle.

3.1. Tutkimusalueet

3.1.1. Isojärvi

Isojärven tutkimusalue sijaitsee Kuhmoisissa Isojärven kansallispuiston vieressä ja kuuluu eteläboreaaliseen ilmastovyöhykkeeseen. Kasvillisuusvyöhykkeeltään alue on III-vyöhykettä. Vuoden keskilämpötila on noin +4 astetta ja sadanta 550-700 mm välillä. Kasvukauden pituus on noin 155-175 vrk ja tehoisa lämpösumma noin 1100-1300 vuorokausiastetta (°Cvrk). (Kersalo & Pirinen 2009)

Koealojen kasvupaikkatyypit vaihtelivat lehtomaisten, tuoreiden ja kuivahkojen kankaiden välillä. Lehtomaisten kankaiden osuus oli 20%, tuoreiden kankaiden 55% ja kuivahkojen kankaiden 25%. Lajistoltaan Isojärvi on kuusivaltaista, muita merkittäviä puulajeja ovat hieskoivu ja mänty. Puulajisuhteet kuvastavat hyvin Isojärven ravinteikasta ympäristöä.



Kuva 2. Puulajisuhteet (%) Isojärvellä

Koealoja Isojärvellä oli yhteensä 20 kpl, joista 16 kpl oli pienaukkohakkuita ja 4 kpl osittaishakkuita. Pienaukkojen pinta-alan keskiarvo oli 0,13 hehtaaria ja osittaishakkuilla vastaavasti 0,22 hehtaaria.

Koemetsiköiden ikä vaihteli 60 ja 121 vuoden välillä. Mediaani ikä metsiköillä oli 73 vuotta. Puuston pohjapinta-ala hehtaaria kohden oli lähtöhetkellä keskimäärin 25,5 m².

Tilavuuden vastaava luku oli 243,2 m³.

Taulukko 1. Isojärven koeala- ja metsikkökohtaiset puustotiedot.

Paikka	Metsikkö	Ikä	G(m²/ha)	V(m³/ha)	H₁₀₀	H_{dom}	Sp_{dom}	Kasvupaikka
Isojärvi	40.2	72	27	249,5	30,6	25	ku	MT
Isojärvi	40.3	73	25	255,5	30,6	25	ku	MT
Isojärvi	41.1	86	40	482,3	30,6	28	ku	MT
Isojärvi	65.1	59	20	169,2	27,3	21	mä	VT
Isojärvi	65.2	60	21	178,2	27,3	21	mä	VT
Isojärvi	73.1	76	24	221,2	28,5	24	ku	OMT
Isojärvi	73.3	78	26	264,5	28,5	24	ku	OMT
Isojärvi	73.5	80	28	302,6	28,5	24	ku	OMT
Isojärvi	77.2	86	31	311,7	26,4	24	ku	MT
Isojärvi	77.3	87	31	319,2	26,4	24	ku	MT
Isojärvi	89.1	60	21	183,3	30,7	22	ku	MT
Isojärvi	89.2	61	24	215,4	30,7	22	ku	MT
Isojärvi	100.3	121	31	307,2	25,1	28	ku	MT
Isojärvi	115.2	74	25	231,7	30,1	25	ku	MT
Isojärvi	117.5	62	26	223,0	29	21	ku	MT
Isojärvi	117.6	63	23	200,5	29	21	ku	MT
Isojärvi	130.1	93	20	181,5	22,1	21	ku	CT
Isojärvi	148.1	72	21	174,5	24,5	21	mä	VT
Isojärvi	148.2	73	26	217,9	24,5	21	mä	VT
Isojärvi	151.2	67	20	175,3	27,5	21	ku	MT

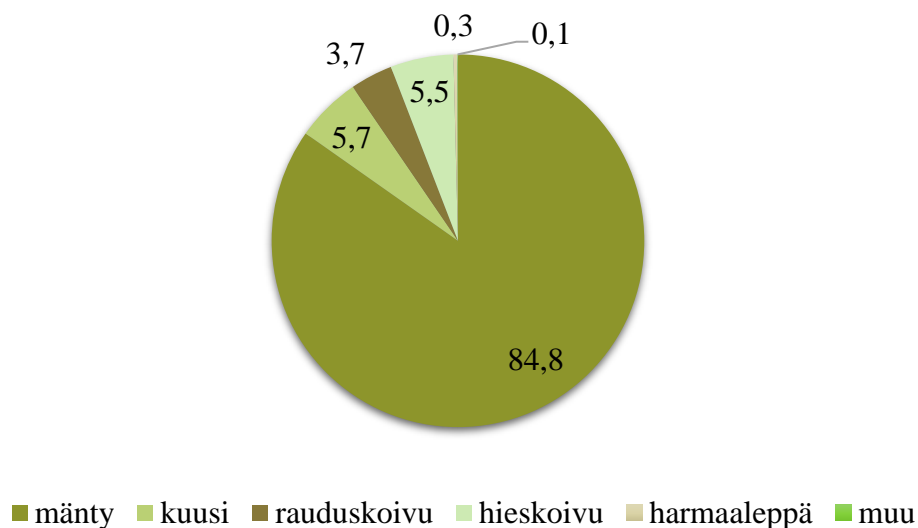
3.1.2. Ruunaa

Ruunaan tutkimusalue sijaitsee Pohjois-Karjalassa Ruunaan retkeilyalueella. Alue kuuluu keskiboreaaliseen ilmastovyöhykkeeseen ja V-kasvillisuusvyöhykkeeseen.

Vuotuinen keskilämpötila on noin +2-3 astetta ja sadanta 550-650mm. Kasvukauden pituus on noin 140-145 vrk ja tehoisa lämpösumma noin 1000-1200 vuorokausiastetta (°Cvrk). (Kersalo & Pirinen 2009)

Ruunaalla koealat sijoittuvat joko kuivahkolle tai kuivalle kankaalle. Kuivahkojen kankaiden osuus on 88% ja kuivien kankaiden 12%. Lajistoltaan Ruunaa on selkeästi mäntyvaltainen. Kuusta ja hieskoivua esiintyy myös jossain määrin, mutta niiden osuus jää kuitenkin melko pieneksi.

Puulajisuhteet Ruunaa



Kuva 3. Puulajisuhteet (%) Ruunaalla

Koemetsiköiden ikä vaihteli 98 ja 156 vuoden välillä, eli puusto oli huomattavasti iäkkäämpää verrattuna Isojärven puustoon. Mediaani ikä metsiköillä oli 120 vuotta. Puuston pohjapinta-ala hehtaaria kohden oli lähtöhetkellä keskimäärin 23,5 m². Tilavuuden vastaava luku oli 212,1 m³.

Taulukko 2. Ruunaan koeala- ja metsikkökohtaiset puustotiedot.

Paikka	Metsikkö	Ikä	G(m²/ha)	V(m³/ha)	H₁₀₀	H_{dom}	Sp_{dom}	Kasvupaikka
Ruunaa	4.11	143	34	318,8	20,8	24	mä	VT
Ruunaa	4.19	151	37	380,1	20,8	24	mä	VT
Ruunaa	25.2	135	23	233,3	21,3	24	mä	VT
Ruunaa	25.5	136	23	216,0	21,3	24	mä	VT
Ruunaa	25.11	138	28	269,1	21,3	24	mä	VT
Ruunaa	25.14	139	27	266,9	21,3	24	mä	VT
Ruunaa	30.11	120	21	192,7	20,3	22	mä	VT
Ruunaa	78.6	120	24	207,7	19,4	21	mä	VT
Ruunaa	79.5	100	20	165,3	21	21	mä	VT
Ruunaa	79.13	106	18	150,0	21	21	mä	VT
Ruunaa	81.5	111	23	194,0	22	23	mä	CT
Ruunaa	81.6	112	28	241,8	22	23	mä	CT
Ruunaa	111.7	156	24	237,3	21,1	25	mä	VT
Ruunaa	124.4	111	23	182,5	21	22	mä	VT
Ruunaa	124.6	113	19	145,9	21	22	mä	VT
Ruunaa	154.3	98	13	103,4	19,2	19	mä	VT
Ruunaa	154.9	104	14	100,5	19,2	19	mä	VT

3.3. Metsänkäsittely

Molemmat tutkimusalueet jaettiin kuuteen 100-200 hehtaarin lohkokoon, joissa käytettiin eri metsänkäsittelytapoja. Jokainen lohko koostui edelleen yksittäisistä metsikkökuvioista. Hakuut toteutettiin kahdella eri intensiteettitasolla, eli puustosta poistettiin joko 50% tai 90% alkuperäisestä volyymista. Käsittelyn voimakkuuden mukaan alue voitiin jakaa kahteen eri kokonaisuuteen, joista toinen puolisko on voimakkaammin käsitelty kuin toinen.

Käsiteltävät kuviot sekä säästöpuut/-puuryhmät nauhattiin ennen hakkuuta, jotta voitiin varmistua käsittelypinta-alan ja jätettävän puuston oikeasta määrästä. Myös jätettävät lahpuut merkittiin. Koealoja Ruunaalla oli yhteensä 17 kpl, joista 12 kpl on pienaukkoja ja 5 kpl osittaishakkuuta. Pienaukkojen keskipinta-ala oli 0,13 hehtaaria ja osittaishakkuilla vastaavasti 0,34 hehtaaria.

Tämän tutkielman aineiston keruussa kartoitettiin jokaisen kohteen kasvupaikkatyyppi, mutta maaperän ominaisuudet jätettiin huomioimatta. Tästä syystä maaperään liittyvien tekijöiden tarkempi käsittely jätetään pois.

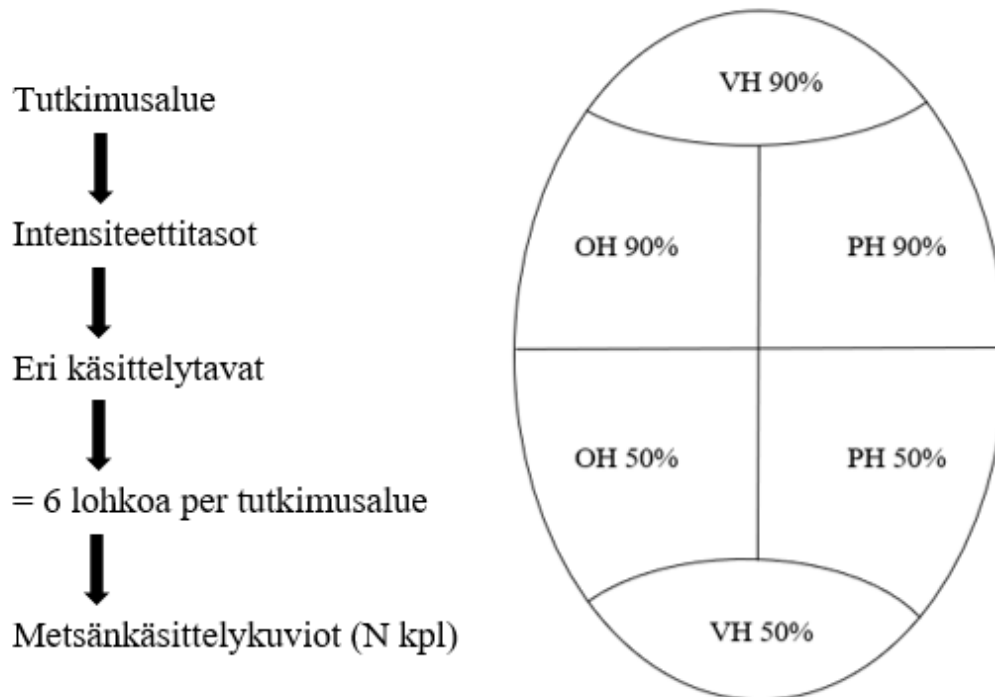
3.4. Hakkuutavat

Pienten häiriöiden vyöhykkeellä (PH) tehtiin pääasiassa pienaukkohakkuita (n. $\frac{3}{4}$) sekä poimintahakkuita (n. $\frac{1}{4}$). Käsittely vastaa luonnonmetsissä yksittäisten puiden tai pienten puuryhmien kuolemaa.

Osittaisten häiriöiden vyöhykkeellä (OH) käsittelymenetelmänä olivat osittaishakkuu (n. $\frac{3}{4}$) sekä pienaukkohakkuu (n. $\frac{1}{4}$). Luonnonmetsissä tämä vastaa puiden laikuttaista kuolemista esimerkiksi tuulituhon seurauksena.

Voimakkaiden häiriöiden vyöhykkeellä (VH) suoritettiin pääasiassa avohakkuita (n. $\frac{3}{4}$) sekä osittaishakkuita (n. $\frac{1}{4}$). Luonnossa tämä vastaa laaja-alaista tuhoa, jossa lähes kaikki puut kuolevat.

Jokaisen häiriötyypin mukainen käsittely toteutettiin kahdella intensiteettitasolla (90% ja 50%), jotka kuvaavat puuston hyödyntämistä. 90% hyödyntämistaso tarkoittaa, että säästöpuita jätetään 10% alkuperäisestä puustosta ja 50% hyödyntämistasolla puolet puustosta. Näin voitiin vertailla, miten ympäröivät hakkuut vaikuttavat tuloksiin.



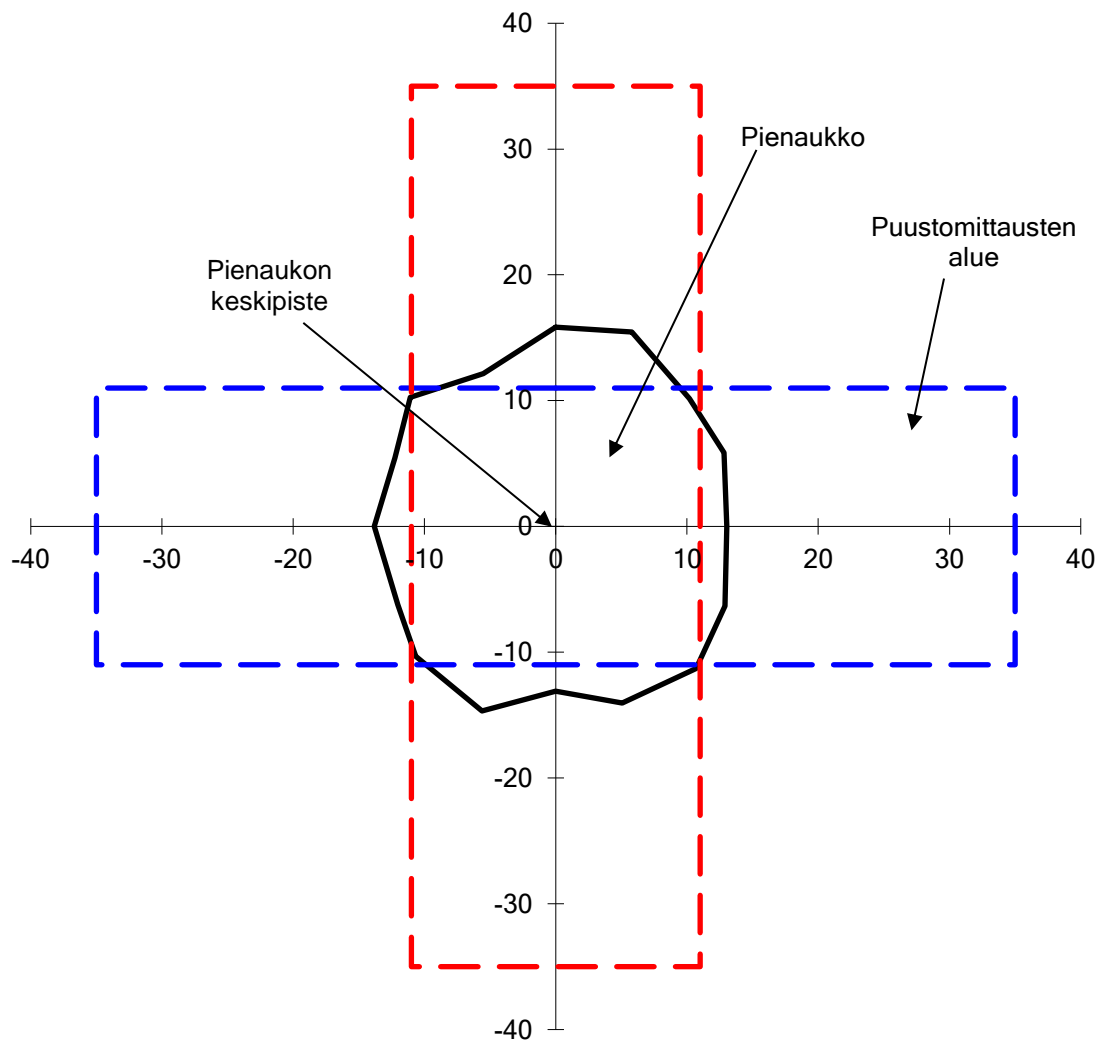
Kuva 4. Kaaviokuva tutkimusalueen jakautumisesta eri lohkoihin ja kahteen intensiteettialueeseen. VH=voimakas häiriö, OH=osittainen häiriö ja PH=pieni häiriö. Prosenttiosuudet 90% ja 50% kuvaavat puuston hyödyntämistasoa. Tavoitteena luoda maisematasolla vaihteleva kokonaisuus.

3.5. Mittaukset

Kussakin hakkuutavassa koelamittaukset toteutettiin muodostamalla kaksi peruslinjaa, joista toinen oli itä-länsi suunnassa ja toinen etelä-pohjois suunnassa. Peruslinjoista muodostui x-y koordinaatisto, missä x kasvoi itään päin mentäessä ja y pohjoiseen mentäessä. Peruslinjojen sijoittelu riippui siitä, mitä hakkuutapaa käytettiin.

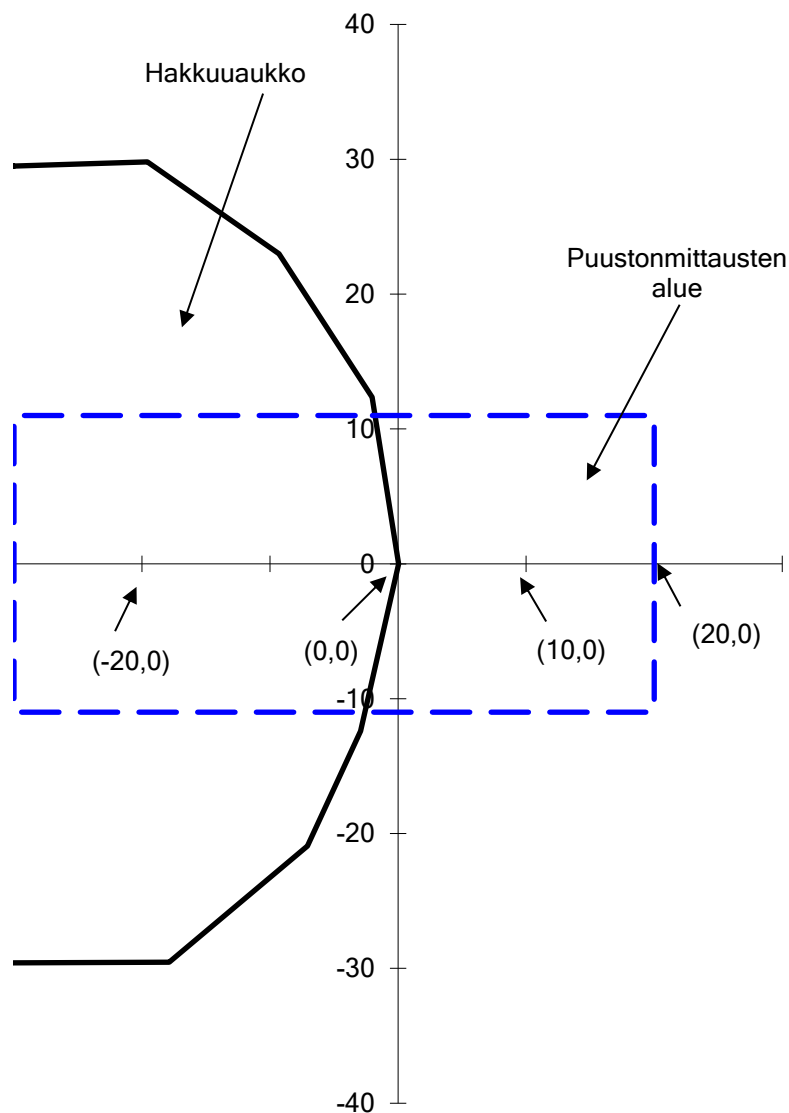
Pienaukkohakkuussa aukkojen koot vaihtelivat siten, että aukkoon mahtuvan ympyrän halkaisija vaihteli 10 metristä 30 metriin. Aukon muodoissa oli niin ikään eroavaisuuksia. Hakkuualue vaihettui liukuvasti reunametsään, eli aukkoon jätettiin säästöpuita ja vastaavasti reunametsää harvennettiin. Koealoja mitattiin metsiköstä 1-2 kappaletta,

riippuen siitä, montako kriteerit täyttävää kohtaa löytyi. Peruslinjojen koordinaattipiste $x=0, y=0$ sijoitettiin keskelle pienaukkoa. Kumpikin peruslinja kattoi pienaukon leveyden ja lisäksi ulottui aukon reunasta vähintään 10 metriä ulospäin kumpaankin suuntaan. Pienaukon reuna oli siinä kohdassa, missä peruslinja leikkasi lähimpien reunapuiden syntypisteiden välisen viivan. Alla oleva kuva auttaa hahmottamaan koelajärjestelyitä. Punaiselta ja siniseltä kaistaleelta mitattiin jokainen puuyksilö sekä koeputia. Aukossa olevia puita ei mitattu, tai ne poistettiin datan käsittelyvaiheessa, jos niitä oli sattunut mukaan mittaustuloksiin.



Kuva 5. Havainnollistava kuva pienaukon mittausrjestelyistä.

Osittaishakkuussa aukon halkaisija, eli aukkoon mahtuvan ympyrän halkaisija, vaihteli 40 metristä 60 metriin. Myös osittaishakkuuaukoissa reuna jätettiin heterogeeniseksi, eli aukko vaihettui liukuvasti reunametsäksi. Yhdestä metsiköstä valittiin mitattavaksi yksi osittaishakkuuaukko. Mitattava aukko valittiin niin, ettei koealan peruslinjat osuneet toiselle aukolle, puidenlukualueet pysyivät metsikön sisällä ja ettei häiritsevää reunavaikutusta esiintynyt. Myöskään suurta vaihtelua kasvupaikan tai puuston suhteen ei sallittu. Peruslinjan koordinaattipiste $x=0, y=0$ sijoitettiin kohtaan, missä peruslinja leikkasi osittaishakkuuaukon reunan.



Kuva 6. Havainnollistava kuva osittaishakkuuaukon mittausjärjestelyistä.

Koealamittauksissa kirjattiin ylös alue (esim. Isojärvi), kuvionumero, peruslinjan numero (1 tai 2), käsittelytapa- ja voimakkuus sekä kasvupaikka. Koealan kaikki läpimitaltaan vähintään 5 cm puut numeroitiin ja jokaisesta selvitettiin seuraavat asiat:

- x- ja y-koordinaatit
- puulaji (1=mänty, 2=kuusi, 3=rauduskoivu, 4=hieskoivu, 6=harmaaleppä, 10=muu)
- puuryhmä (1=elävä, 3=kuollut)
- läpimitta kahdesta suunnasta 1,3 m korkeudelta
- terveydentila

Lisäksi valittiin koepuita, joista mitattiin pituus. Koepuut valittiin edustamaan kooltaan koealan keskiarvoista puuta. Metsikkötasolla selvitettiin kunkin koemetsikön pituusboniteetti, jotta saatiin käsitys paikan puuntuotoskyvystä.

Koepuista saatujen tietojen perusteella luotiin pituusmalli, jonka avulla laskettiin jokaiselle mitatulle puulle pituus. Mallilla luodut pituudet, ja niistä johdetut tilavuudet, ovat kuitenkin teoreettisia, ja niitä voidaan hyödyntää vain karkeasti suuntaa antavina tuloksina, pääasiassa metsikkötason tulosten tarkastelussa.

3.6. Aineiston analysointi

Kerätystä aineistosta poistettiin jo ensimmäisellä mittaushetkellä kuolleiksi todetut puut sekä mittausten välillä kuolleet puut. Myöskään hakkuuaukkoon jätettyjä säästöpuita ei otettu mukaan laskentoihin, koska kiinnostuksen kohteena oli aukkoa ympäröivä puusto. Niin ikään selkeät mittaus- sekä kirjausvirheet, esimerkiksi negatiiviset kasvut,

poistettiin. Mittausajanjakson aikana mittauskynnyksen ($lpm > 5 \text{ cm}$) saavuttaneet puut laskettiin mukaan kasvun lisäykseen.

Datan siistiminen ja suurin osa laskennoista tehtiin Excelillä, mutta tilastollinen analysointi suoritettiin SPSS tilasto-ohjelmalla. Tilastollisten merkitsevyyksien selvittämisessä sekä mallien luomisessa käytettiin apuna lineaarista regressiomallia sekä lineaarista sekamallia. Tuloksia tarkasteltiin yksittäisten puiden sekä koko metsikön tasolla. Metsikkötason tulokset koostuvat koealojen summatunnuksista, eli muodostavat laajemman katsauksen aineistosta, yksikkönä neliometri (m^2) sekä kuutio (m^3). Puukohtainen tarkastelu keskittyi yksittäisten puuyksilöiden kasvuun, yksikkönä neliösenttimetri (cm^2) tai senttimetri (cm). Molemmissa tapauksissa selitettävänä muuttujana oli aukon ympärille jäävän puuston pohjapinta-alan sekä tilavuuden kasvu. Yksittäisten puiden tasolla selittävinä muuttujina olivat etäisyys aukosta (m), aukon koko (m^2), puun pohjapinta-ala alkuhetkellä (cm^2), ilmansuuna, puulaji, kasvupaikkatyyppi, metsikön tiheys sekä käsittelyn voimakkuus. Metsikkötason tarkastelussa selittäviä muuttujia ovat aukon koko (ha), puuston tiheys alkuhetkellä (kpl/ha), pääpuulaji, pituusboniteetti, kasvupaikkatyyppi, käsittelyn voimakkuus sekä puuston tilavuus alkuhetkellä.

Erillisen tarkastelun jälkeen Isojärven ja Ruunaan aineisto yhdistettiin ja tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena, niin puusto- kuin metsikkötasolla. Tällä tavoin oli mahdollista kasvattaa otoskokoa ja löytää riippuvuuksia, jotka pienemmällä ja homogeenisemmalla otoksella jäisivät mahdollisesti huomaamatta.

4. TULOKSET

4.1. Metsikkötason tarkastelu

Isojärvellä metsikkötasolla vuotuinen pohjapinta-alan kasvu oli keskiarvollisesti 0,8 m²/ha, vuotuinen tilavuuden kasvu 9,3 m³/ha ja läpimitan kasvu keskimäärin 2,5 mm vuodessa. Vuotuinen poistuma oli 0,07 m²/ha, eli kuolleisuuden merkitys jäi lopputuloksissa hyvin pieneksi, eikä sillä ollut vaikutusta kasvuun. Ilmansuuntien välillä ei myöskään ollut suurta eroa kasvun suhteen.

Taulukko 3. Tilavuuden kasvu ilmansuunnittain Isojärvellä.

ilmansuunta	S	N	W	E
iV/ha/yr	10,7	9,1	11,3	9,5

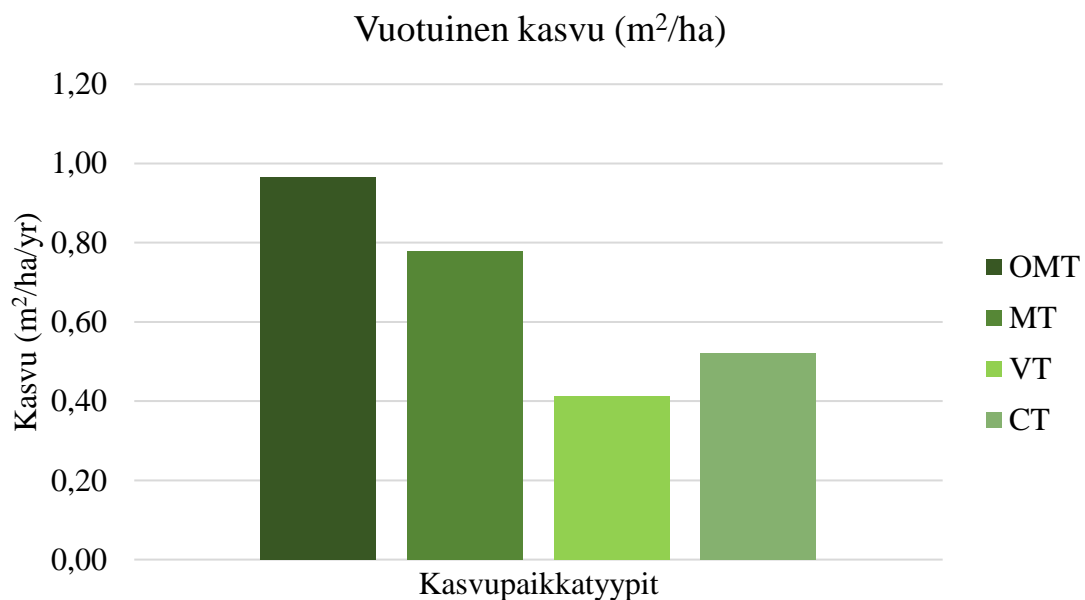
Ruunaalla metsikkötasolla vuotuinen pohjapinta-alan kasvu oli keskiarvollisesti 0,34 m²/ha, vuotuinen tilavuuden kasvu 4,4 m³/ha ja läpimitan kasvu 1,2 mm vuodessa. Vuotuinen poistuma oli 0,02 m²/ha, eli kuolleisuus oli käytännössä täysin merkityksetöntä kokonaiskasvun kannalta. Kuten Isojärvellä, myöskään Ruunaalla ei esiintynyt kasvussa merkittäviä eroja ilmansuuntien välillä.

Taulukko 4. Tilavuuden kasvu ilmansuunnittain Ruunaalla

ilmansuunta	S	N	W	E
iV/ha/yr	4,7	4,2	4,2	4,7

Molemmissa kohteissa kasvu oli merkittäväntä kuusilla, männyillä sekä rauduskoivuilla. Erona tosin, että Ruunaalla rauduskoivun kasvu ylitti hieman männyn keskiarvoisen kasvun, kun taas Isojärvellä tilanne oli päinvastainen.

Puuston tilavuuden kokonaiskasvu erosi hieman eri kasvupaikkatyyppien välillä. Kasvu oli suurinta ravinnerikkaalla lehtomaisella kankaalla, laskien aina karumpaan kasvupaikkaan siirryttäessä. Poikkeuksena kuiva kangas, jossa vuotuinen hehtaarikohtainen kasvu ylitti kuivahkon kankaan.



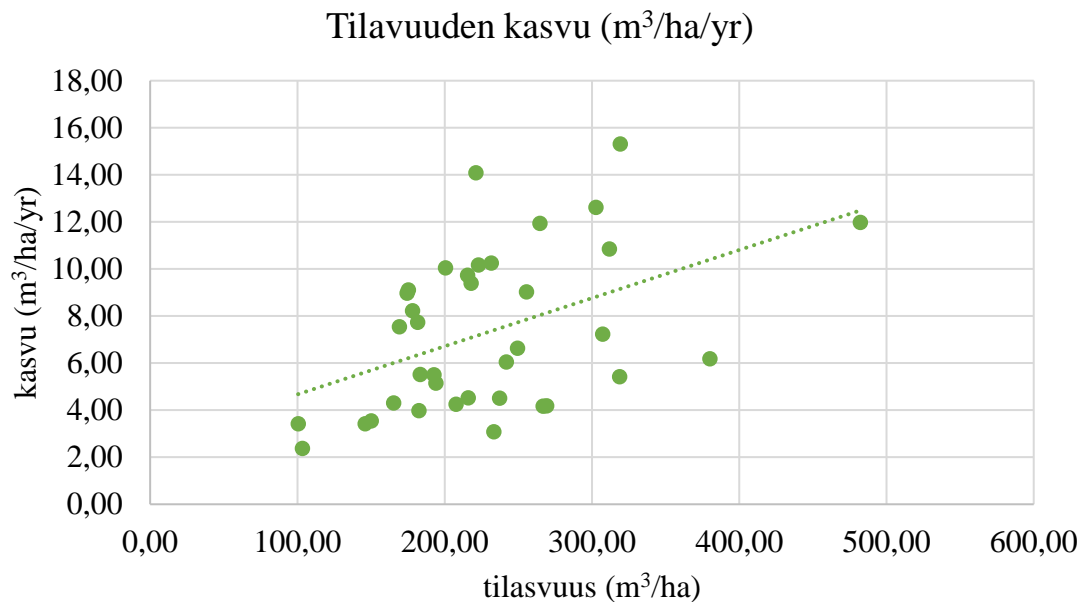
Kuva 7. Puuston vuotuinen kasvu kasvupaikkatyypeittäin. Isojärven ja Ruunaan aineistot yhdistettynä.

Tilastollista analysointia varten Isojärven ja Ruunaan koelohjen data yhdistettiin, sillä muutoin N jäi niin pieneksi, että tilastollisia merkitsevyyksiä oli vaikea löytää. Etenkin Ruunaalla data oli kasvupaikkatyyppien sekä pituusboniteettiluokkien osalta melko homogeenistä.

Aineisto analysoitiin SPSS:llä lineaarisen sekamallin avulla. Aukon koolla ei ollut tilastollista merkitystä ympäröivän metsän kasvuun, $p > 0,05$. Hakkuiden intensiteetti

vaikutti kasvuun siten, että 90% koealoilla kasvu oli hieman suurempaa verrattuna 50% aloihin, mutta tilastollisesti merkitys jäi mitättömäksi ($p>0,05$). Myös pituusboniteetin vaikutus jäi tilastollisesti merkityksettömälle tasolle ($p>0,05$), johtuen luultavasti boniteettiluokkien melko pienestä hajonnasta.

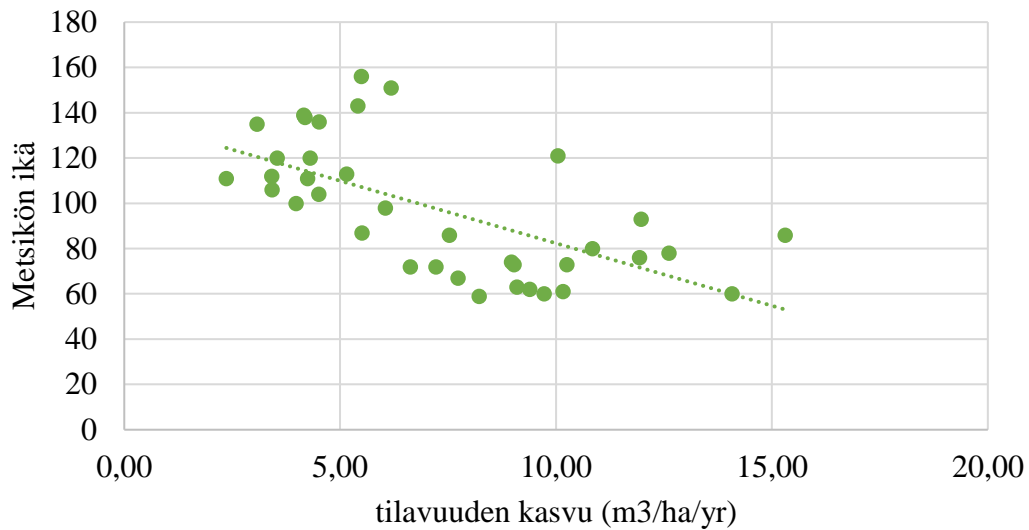
Tilastollisesti merkittäviä kasvuun vaikuttavia tekijöitä olivat puuston hehtaariohtainen tilavuus alussa ($p<0,05$), metsikön ikä ($p<0,05$) sekä pääpuulaji ($p<0,05$). Puuston suuri tilavuus ensimmäisessä mittauksessa on selkeästi sidoksissa suurempaan kasvuun.



Kuva 8. Hehtaariohtaisen lähtötilavuuden vaikutus kasvuun. Tilavuuden ja kasvun välillä oli positiivinen korrelaatio. Kookkaammilla puilla pienikin kasvun lisäys on tilavuuden kannalta merkittävämpää verrattuna pienikokoisiin yksilöihin. Tästä huolimatta pienet yksilöt järeytyvät usein suhteessa enemmän ja nopeammin.

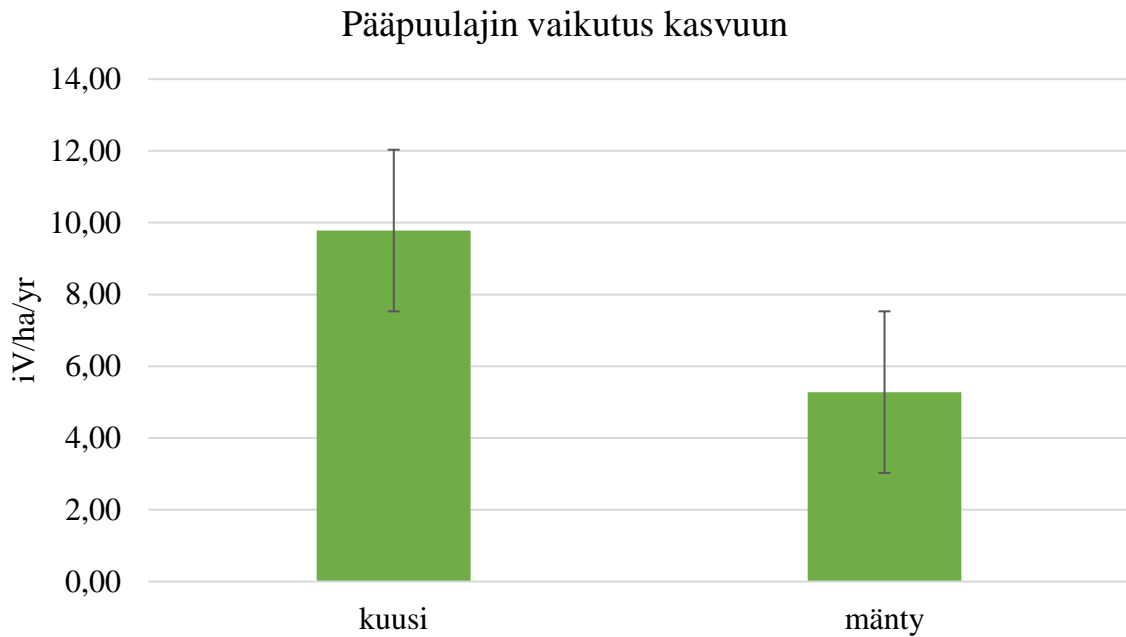
Metsikön ikä vaikutti laskevasti kasvuun. Aineistossa olevien metsiköiden keskiarvoinen ikä vaihteli 59 ja 156 vuoden välillä, joten eroja saatiin selkeästi esille. Huomion arvoista on kuitenkin se, että Ruunaalla, missä koemetsiköt olivat huomattavasti varttuneempia, myös kasvupaikat olivat karumpia.

Metsikön iän vaikutus kasvuun



Kuva 9. Metsikön iän suhde puuston tilavuuskasvuun. Metsikön vuotuinen tilavuuskasvu laskee iän noustessa.

Kuusivaltaisissa metsiköissä vuotuinen tilavuuden kasvu oli suurempaa, verrattuna mäntyvaltaisiin metsiin. Tämä tukee hypoteesia, jonka mukaan kuusi reagoisi kasvullisesti voimakkaammin vapautuneisiin resursseihin. On kuitenkin syytä huomioida, että kuusivaltaisissa metsissä puusto oli melko sekapuustoista, eli sisälsi myös runsaasti lehtipuita, kun taas mäntyvaltaisissa metsiköissä mänty oli hyvin dominoivassa asemassa.



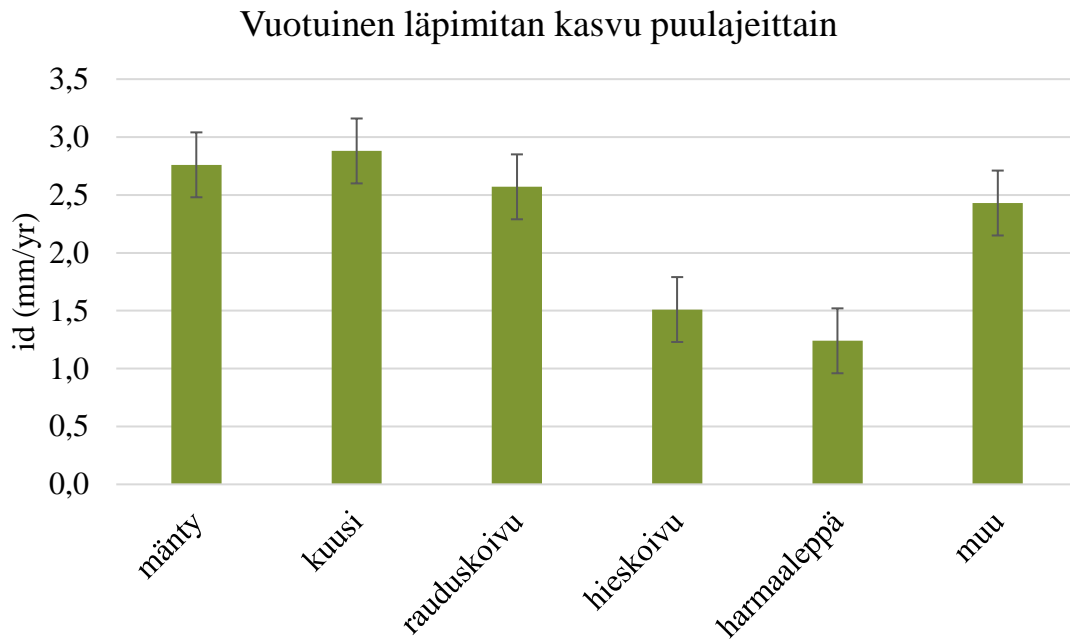
Kuva 10. Pääpuulajin vaikutus vuotuiseseen tilavuuskasvuun. Kuusivaltaisissa metsiköissä kasvu oli 54% suurempaa verrattuna mäntyvaltaisiin metsiköihin.

4.2. Puutason tarkastelu

Isojärven ja Ruunaan aineistoja tarkasteltiin ensin erikseen, jotta voitaisiin nähdä aluekohtaiset eroavaisuudet. Lopullinen mallin sovittaminen tehtiin kuitenkin koko aineistolle, jotta otoskokoa saatiin kasvatettua ja näin tuotua tilastollisia merkitsevyyksiä paremmin esille.

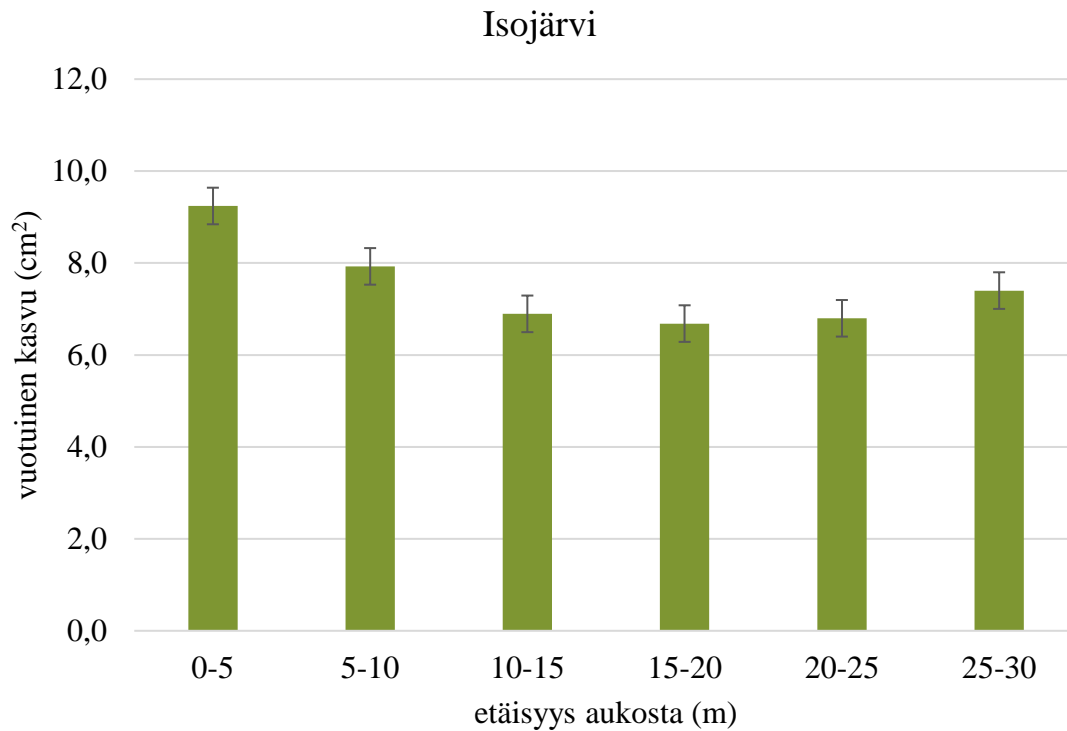
4.2.1. Isojärvi

Vuotuinen läpimitan kasvu vaihteli hieman eri puulajien välillä. Kuusen keskimääräinen kasvu oli suurinta, ollen noin 2,9 mm vuodessa. Männyn vuotuinen kasvu oli 2,8 mm ja rauduskoivun 2,6 mm. Hieskoivu ja harmaaleppä poikkesivat selkeästi kasvussaan jääden molemmat alle 1,5 mm/vuosi.



Kuva 11. Keskiarvoinen läpimitan vuotuinen kasvu puulajeittain Isojärvellä.

Puukohtaisessa tarkastelussa huomataan, että kasvu oli voimakkainta 0-10 m aukon reunasta. Korrelaatio etäisyyden ja kasvun välillä oli -0,12, eli jokseenkin heikkoa. Yhden muuttujan lineaarisella regressiomallilla voitiin kuitenkin huomata, että etäisyys yksinään oli tilastollisesti merkittävä tekijä kasvun kuvaamisessa ($p < 0,05$), mutta selitysaste jäi pelkästään tämän muuttujan kanssa matalaksi ($r^2 = 0,012$).



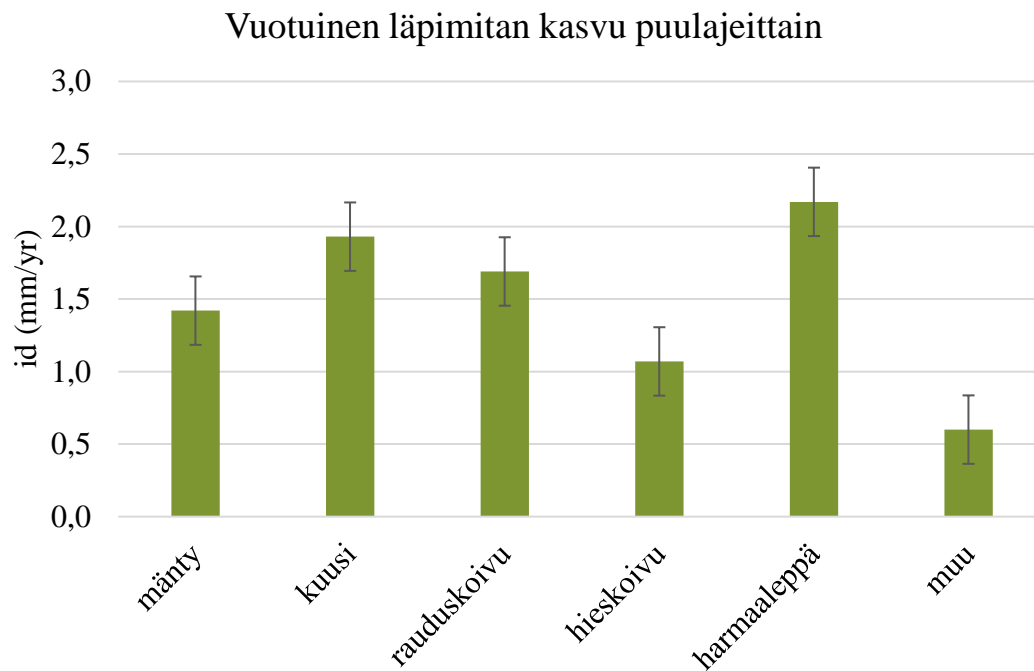
Kuva 12. Vuotuinen pohjapinta-alan kasvu suhteessa etäisyyteen aukon reunasta.

Muita tutkittavia muuttujia olivat kasvupaikka, pituusboniteetti, puulaji, aukon koko, pohjapinta-ala sekä pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi. Muuttujien merkitsevyyttä tarkasteltiin SPSS:ssä lineaarisen sekamallin avulla. Aukon koolla, kasvupaikalla tai pituusboniteetilla ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta ($p > 0,05$), mutta puun pohjapinta-ala, etäisyys aukosta sekä puulaji olivat tilastollisesti merkittäviä selittäjiä puukohtaisessa kasvussa ($p < 0,001$).

4.2.2. Ruunaa

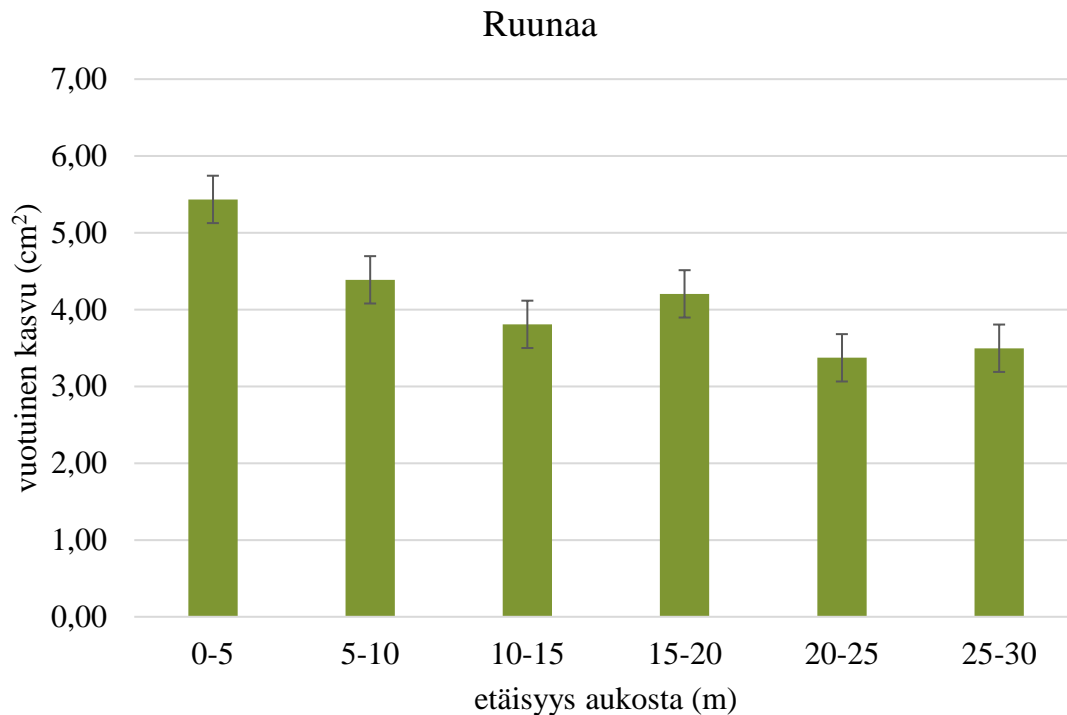
Ruunaalla puulajien välisessä kasvussa oli huomattavissa selkeämpiä eroja verrattuna Isojärveen. Harmaalepän vuotuinen kasvu, 2,2 mm, oli selkeästi suurinta. Tulosta tosin saattaa vääristää harmaalepän hyvin vähäinen osuus koko puustosta (yhteensä 6kpl) eli kyseessä on luultavasti ollut pieni esiintymä otollisella kasvupaikalla. Muutoin suurin

läpimitan kasvu on nähtävissä kuusella, keskimäärin 1,9 mm vuodessa. Rauduskoivulla kasvu oli 1,7 mm/vuosi ja mänyllä 1,4 mm/vuosi. Hieskoivun kasvu jäi vaatimattomimmaksi, ollen vain noin 1,1 mm vuodessa.



Kuva 13. Keskiarvollinen läpimitan vuotuinen kasvu puulajeittain Ruunaalla.

Ruunaalla kasvu heikkeni melko nopeasti aukosta poispäin mentäessä. Korrelaatio etäisyyden ja kasvun välillä oli negatiivista, joskin kerroin jäi melko pieneksi, ollen vain -0,16. Yhden muuttujan lineaarisen regressiomallin avulla voitiin kuitenkin todeta etäisyyden olevan tilastollisesti merkittävä tekijä kasvun taustalla ($p < 0,001$), vaikkakin selitysaste jäi hyvin matalaksi ($r^2=0,27$).



Kuva 14. Vuotuinen pohjapinta-alan kasvu suhteessa etäisyyteen aukon reunasta.

Isojärven tavoin myös Ruunaalla muita tutkittavia muuttujia olivat kasvupaikka, pituusboniteetti, puulaji, aukon koko, pohjapinta-ala sekä pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi. Linearisella sekamallilla huomattiin, että aukon koko, kasvupaikka sekä pituusboniteetti jäivät niin ikään tilastollisesti merkityksettömälle tasolle ($p > 0,05$). Merkittäviä tekijöitä kasvun taustalla olivat puun pohjapinta-ala, pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi, etäisyys aukosta sekä puulaji ($p < 0,001$). Tulokset olivat siis Isojärven kanssa yhteneviä.

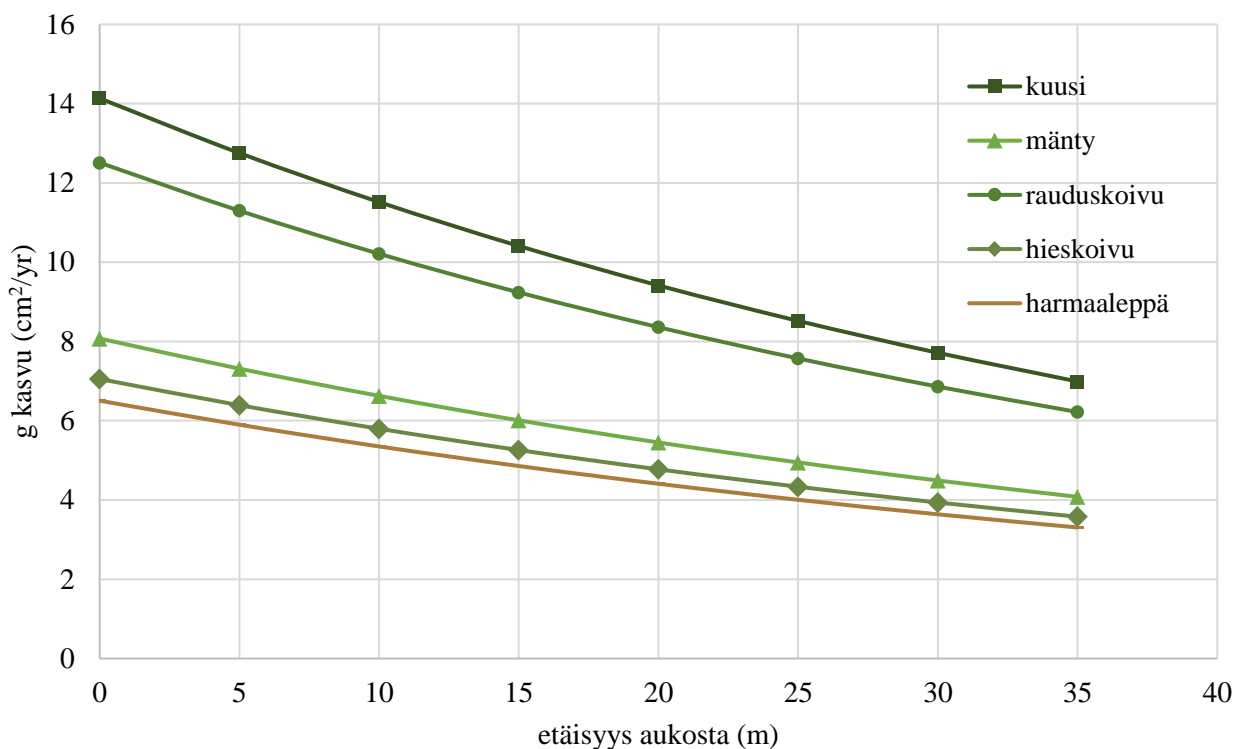
4.2.3. Mallin luominen

Erillisen tarkastelun jälkeen Isojärven ja Ruunaan aineisto yhdistettiin ja tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena. Tällä tavoin oli mahdollista kasvattaa otoskokoa ja löytää merkitsevyyksiä, jotka pienemmällä ja homogeenisemmalla otoksella jäisivät mahdollisesti huomaamatta.

Selittävinä muuttujina olivat edelleen puun etäisyys aukosta, aukon koko, pituusboniteetti, kasvupaikka, pohjapinta-ala ensimmäisessä mittauksessa sekä pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi. Aukon koko ja pituusboniteetti jäivät tilastollisesti merkityksettömälle tasolle, $p > 0,05$. Vaihtelu aukon koossa ja boniteettiluokissa oli aineiston sisällä verrattain pientä, joten tämä saattaa osaltaan selittää, miksi niiden merkitys jäi hyvin vähäiseksi.

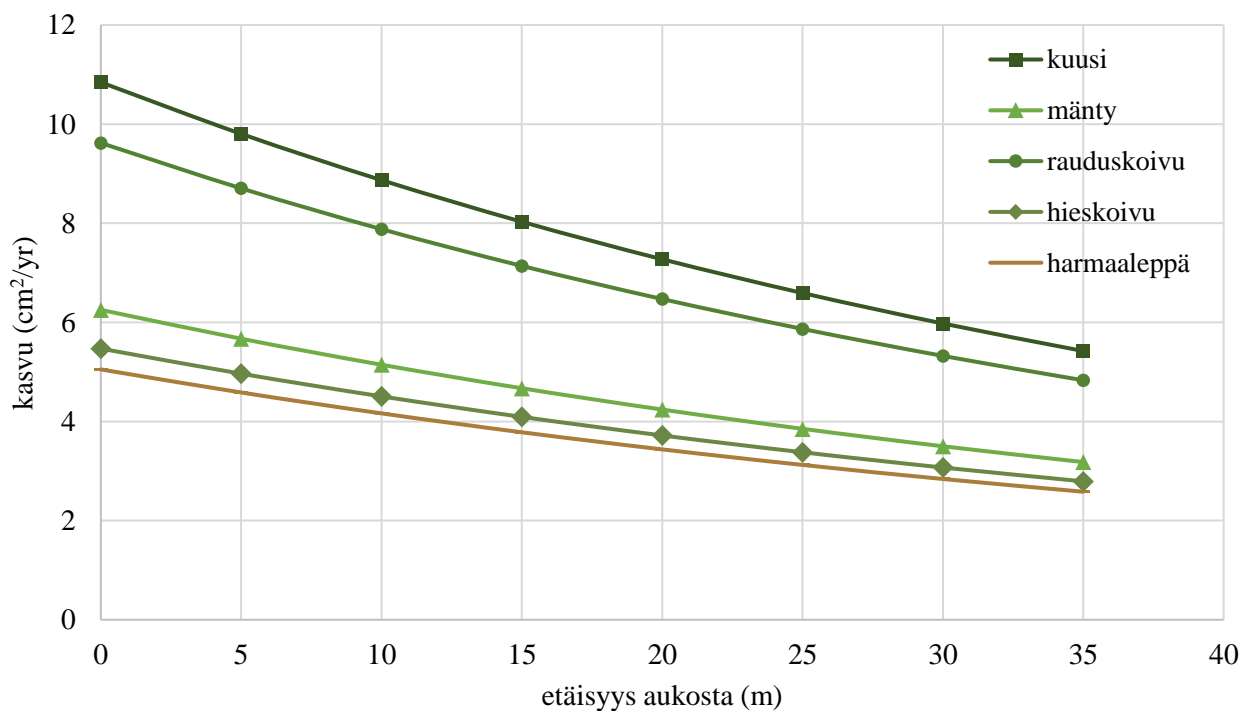
Tilastollisesti erittäin merkitseviä tekijöitä olivat edelleen pohjapinta-ala, pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi, etäisyys aukosta sekä puulaji, kaikilla muuttujilla $p < 0,05$. Ruunaan ja Isojärven aineiston yhdistämisen ansiosta myös kasvupaikka nousi merkitseväksi tekijäksi. Jokaiselle kasvupaikalle ja puulajille laskettiin oma kerroin, joka lisättiin malliin. Lehtomaisella ja tuoreella kankaalla kasvu oli oletettavasti suurempaa verrattuna kuivahkoon ja kuivaan kankaaseen. Hieman alun olettamuksesta poiketen, kuivalla kankaalla kasvu oli hieman suurempaa verrattuna kuivahkoon. Alla olevista kuvaajista käy ilmi kasvujen eroavaisuudet sekä kasvun gradientti etäisyyden funktiona. Jokaisella kasvupaikalla kuusen ja rauduskoivun kasvu hidastui nopeimmiten aukosta pois päin mentäessä. Männyllä, hieskoivulla ja harmaalepällä kasvu oli lähtökohtaisesti maltillisempaa, mutta myös kasvun laskeminen etäisyyden funktiona tapahtui hitaammin.

OMT



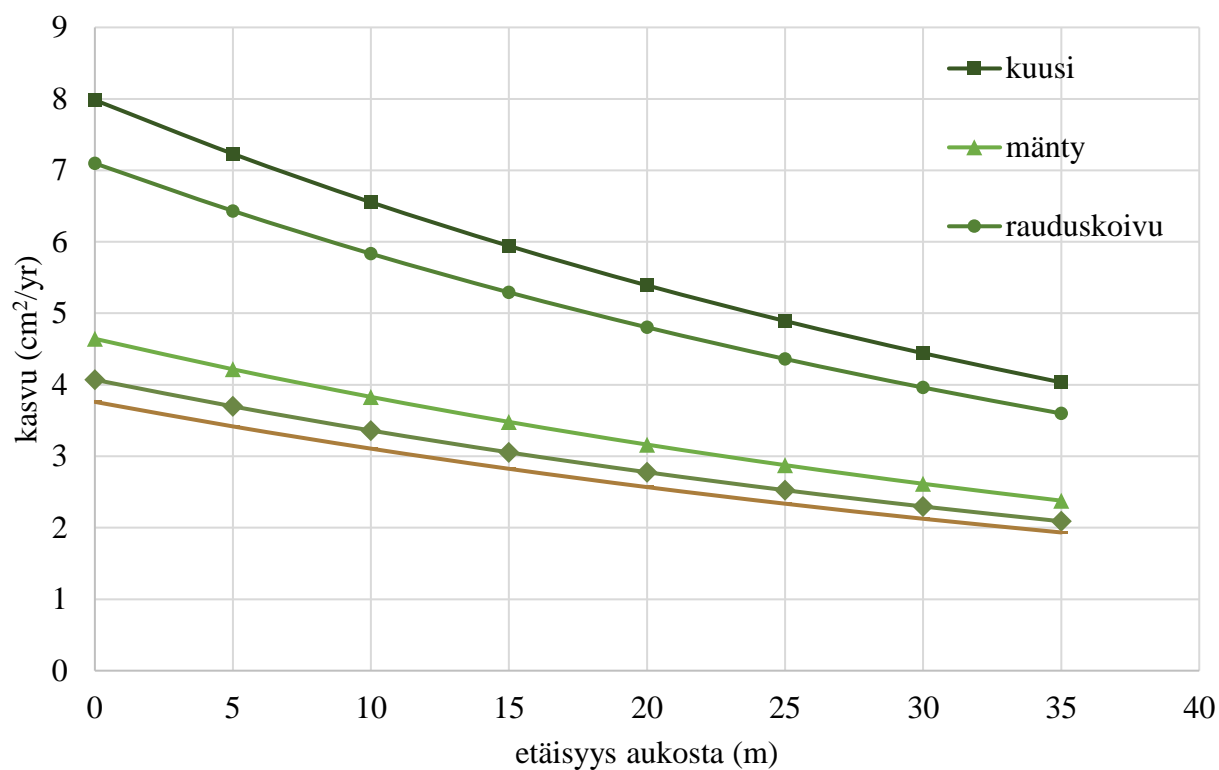
Kuva 15a. Puuston pohjapinta-alan kasvu suhteessa etäisyyteen aukon reunasta lehtomaisella kankaalla

MT



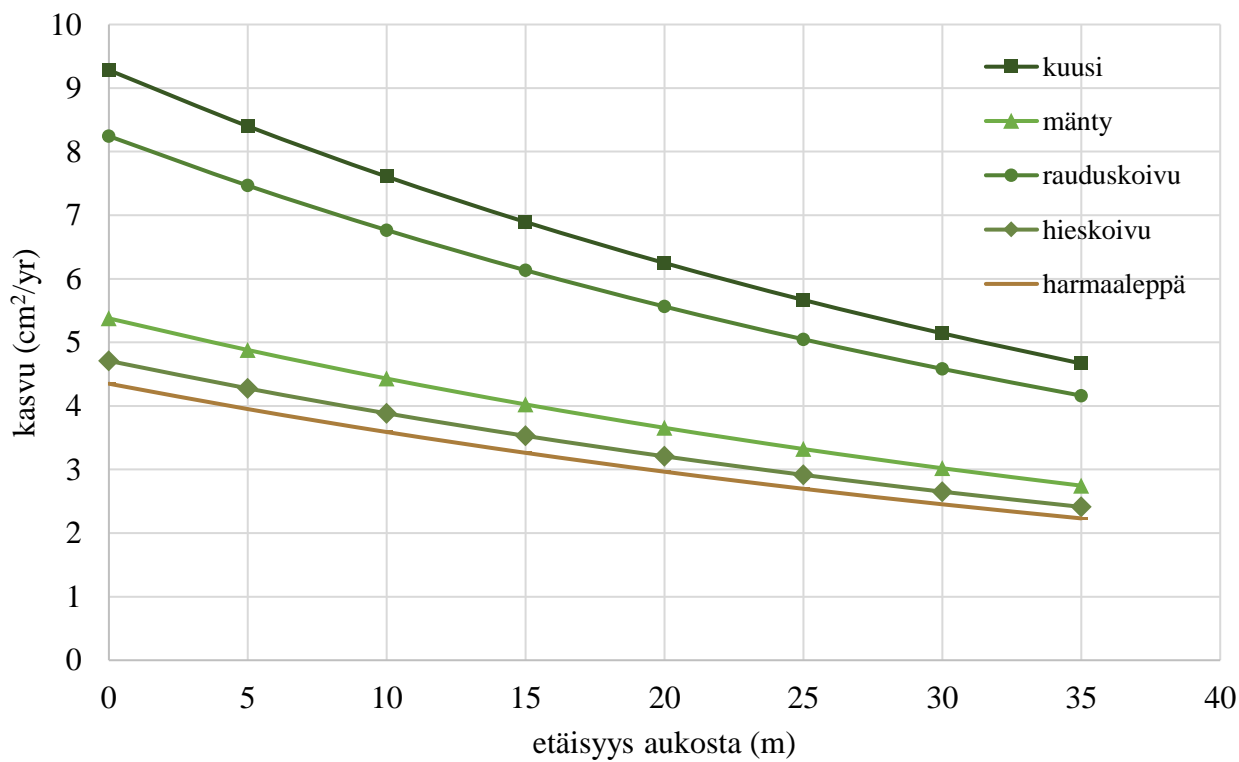
Kuva 15b. Puuston pohjapinta-alan kasvu suhteessa etäisyyteen aukon reunasta tuoreella kankaalla.

VT



Kuva 15c. Puuston pohjapinta-alan kasvu suhteessa etäisyyteen aukon reunasta kuivahkolla kankaalla.

CT



Kuva 15d. Puuston pohjapinta-alan kasvu suhteessa etäisyyteen aukon reunasta kuivalla kankaalla

Taulukko 5. Puutason tuloksista luodun mallin parametrit. Koska selittävänä muuttujana on $\ln(g)$, eli pohjapinta-alan luonnollinen logaritmi, on tulokseen lisättävä korjaustekijä $Sf^{2/2}$.

puulaji	estimaatti	kasvupaikka	estimaatti	muut parametrit	estimaatti
mänty	-0,32	omt	0,18	etäisyys	-0,0185
kuusi	0,192	mt	-0,06	g	-0,00063
rauduskoivu	0,084	vt	-0,343	$\ln(g)$	0,93
hieskoivu	-0,441	ct	-0,203	vakio (intercept)	-3,03
harmaaleppä	-0,523	kvk	0	$Sf^{2/2}$	0,204
muu	0				

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimusaineiston ensimmäiset mittaukset tehtiin vuosina 2009-2013 ja seurantamittaukset tehtiin kaikkialla vuonna 2019. Tarkastelujakson kasvukausien määrä vaihteli siis kuuden ja kymmenen välillä. Tästä syystä kasvua tarkasteltiin vuotuisena keskiarvona. Lämpimitan ja pohjapinta-alan kasvu oli Isojärvellä huomattavasti suurempaa verrattuna Ruunaaseen, mikä oli oletettavissa kasvupaikkatyyppien jakauman perusteella. Isojärvellä suurin osa koealoista sijoittui tuoreelle kankaalle, kun taas Ruunaalla noin 71% aloista oli kuivahkoa kangasta. Tämä näkyi myös puulajisuhteissa, Ruunaalla puuston ollessa pääasiassa mäntyvaltaista ja Isojärvellä kuusivaltaista, joskin melko sekapuustoista.

Puulajilla oli selkeä tilastollinen vaikutus niin metsikkö kuin puutasolla. Lajien välillä kasvu oli suurinta kuusella ja rauduskoivulla, männyn kasvu jäi hieman vaatimattomammalle tasolle. Saadut tulokset ovat kuusen osalta yhteneväisiä Salminen ym. (2013) valtakunnan metsien inventointiin perustuneen katsauksen kanssa, mutta erona oli, että VMI 10:n mukaan männyn kasvu oli merkittävämpää verrattuna

lehtipuihin. Eroa voi selittää se, että tässä gradutyössä miltei kaikki lehtipuut kasvoivat ravinteikkaalla kasvupaikalla Isojärvellä, kun taas valtaosa männyistä sijaitti Ruunaalla, missä kasvuolot olivat lämpösummasta lähtien heikkommat. Lisäksi valtakunnan metsien inventoinnissa kaikki lehtipuut käsiteltiin yhtenä ryhmänä, mutta tässä tutkimuksessa lehtipuulajit jaettiin omiin luokkiinsa. Tämä antoi hieman yksityiskohtaisempaa tietoa puulajien välisistä kasvuista, mutta kuten jo aiemmin on käynyt ilmi, suurin osa koealoista sijaitti tuoreen tai kuivahkon kankaan alueella. Muiden kasvupaikkojen edustus jäi siis hyvin pieneksi.

Metsikkötason tarkastelussa kasvupaikalla ei ollut tilastollista merkitsevyyttä tilavuuskasvuun. Myös pituusboniteetin selitysaste jäi matalaksi. Tulos oli yllättävä, mutta toisaalta sitä selittää pieni N sekä vähäinen vaihtelu pituusboniteettiluokissa. Puutason tarkastelussa pituusboniteetti jäi niin ikään tilastollisesti merkityksettömälle tasolle, mutta kasvupaikan selitysaste nousi tilastollisesti merkittävään rooliin. Kun aineistoa tarkastellaan puukohtaisella tasolla, myös N kasvaa ja näin ollen selkeämpiä syyseuraus suhteita on mahdollista löytää. Kasvu oli oletetusti suurinta lehtomaisella kankaalla ja laski aina karummalle kasvupaikalle mentäessä. Poikkeuksena oli, että kuivan kankaan kasvu ylitti kuivahkon kankaan. Tuloksia saattaa vääristää se, että aineiston jakauma oli varsin epätasapainoinen: kuivalta kankaalta oli vain kaksi koealaa, kun taas kuivahkolta kankaalta oli kaikkiaan 16. Sattumalla on siis varmasti ollut suuri vaikutus.

Yksi kiinnostuksen kohteista oli, vaikuttaako ilmansuunta kasvuun. Koealojen puuston seurannan kaistaleet jaottuivat etelä-, pohjois-, länsi- ja itäsuuntaisesti, ja näiden kaistaleiden vuotuisen kasvun keskiarvoja verrattiin keskenään. Ilmansuuntien väliltä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää eroavaisuutta ($p > 0,05$).

Tutkimuksen kohteena oli myös puuston kasvun gradientti aukon reunasta mitatun etäisyyden funktiona. Aineiston analysointi vahvisti hypoteesin, jonka mukaan kasvu on kiivainta aukon reunalla, ja laskee etäisyyden kasvaessa. Ruunaalla tämä tapahtui nopeammin verrattuna Isojärveen. Kullakin kasvupaikalla kuusen kasvu laskee nopeiten aukosta pois päin mentäessä. Myös rauduskoivun kasvu hidastui melko nopeasti etäisyyden kasvaessa. Puilla, joilla kasvu oli muutoinkin heikompaa, myös kasvun laskeminen tapahtui hitaammin aukon reunasta mitatun etäisyyden kasvaessa.

Aukon koolla ei ollut tilastollista merkitsevyyttä puuston kasvuun, eli hypoteesi, jonka mukaan kasvu korreloisi positiivisesti aukon koon mukaan, voidaan hylätä tämän tutkimuksen kohdalla. Otokoko oli 37, eli on myös mahdollista, että suuremmalla otoskoolla merkitsevyyksiä olisi mahdollista löytää.

Hakkuiden intensiteetti vaikutti vain vähäisessä määrin pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvuun. Hakkuuintensiteetiltään 90% koealoilla kasvu oli hieman voimakkaampaa verrattuna 50% koealoihin, mutta vaikutus jäi tilastollisesti merkityksettömälle tasolle niin metsikkö- kuin puustotasolla. Laajemmalla otannalla tämänkin muuttujan suhteen voisi siis olla mahdollista löytää merkitsevyyksiä, mutta tämän aineiston perusteella hakkuuvoimakkuudella ei ole vaikutusta puuston järeytymiseen.

Metsikkötasolla tilavuuden kasvua selittivät parhaiten puuston tilavuus (m^3/ha) ensimmäisessä mittauksessa, metsikön ikä sekä pääpuulaji. Tilavuuden kasvu korreloi positiivisesti lähtötilavuuden kanssa. Tämä ei kieli siitä, että kookkaammilla puilla kasvu olisi välttämättä kiivaampaa, vaan siitä, että kooltaan isolla puulla pienikin kasvun lisäys näyttäytyy suurena absoluuttisena kasvuna verrattuna huomattavasti pienempään puuhun.

Metsikön ikä vaikutti kasvuun laskevasti. Tämä tukee hypoteesia siitä, että aukkohakkuiden jälkeen varttuneemmat puut reagoivat kasvullisesti maltillisemmin

verrattuna nuorempiin yksilöihin. Tuloksiin saattoi kuitenkin vaikuttaa, että suurin osa iäkkäämmistä metsiköistä sijaitsi Ruunaalla, missä kasvupaikat olivat muutoinkin karuja ja kasvu pienempää. Puukohtaisessa tarkastelussa ei otettu huomioon puun ikää, koska sitä ei oltu erikseen mitattu. Yksittäisten puiden kohdalla tämä olisi voinut antaa vääristyneitä tuloksia, joten ikä jätettiin mallinnuksesta pois. Oletettavaa kuitenkin on, että nuoremmat puut reagoivat kasvullisesti voimakkaammin hakkuisiin, mikä käy ilmi metsikkötason tarkastelusta.

Poistuma jäi kaiken kaikkiaan hyvin matalalle tasolle, eikä sillä ollut merkitystä metsikön kasvuun ja kehitykseen. Hieman erikoista tosin oli, että Ruunaan ja Isojärven osittaihakkuualueilla ei ollut noin 10 vuoden mittausjakson aikana yhtäkään kuollutta puuta. Tämä voi tietysti pitää paikkansa, mutta herättää enemmän kysymyksiä mahdollisista mittausvirheistä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Saatujen tulosten perusteella pienaukko- ja osittaihakkuut vaikuttavat positiivisesti aukon reunalle jäävän puuston kasvuun. Vaikutus kuitenkin pienenee etäisyyden kasvaessa, joten jäljelle jäävän puuston harventaminen voi tulla myöhemmin kyseeseen. Aukon ympärille jääneen puuston kuolleisuus ei tässä tutkimuksessa vaikuttanut laskevasti kasvuun eikä muuttanut merkittävästi jäävän puuston rakennetta.

Eri kasvupaikkojen välillä trendi näyttäisi olevan hyvin samanlainen; kasvu on kiivainta lähellä aukkoa, mutta laskee melko nopeasti etäisyyden kasvaessa. Puulajien välillä näkyi hieman eroavaisuuksia kasvun ja etäisyyden suhteessa. Kuusella ja rauduskoivulla kasvun lasku tapahtui hieman muita puulajiryhmiä nopeammin. Tämä on toisaalta hyvin

loogista, koska näillä kahdella puulajilla kasvureaktiot olivat merkittävämpiä verrattuna muihin lajeihin.

Aukon koolla ei ollut merkitystä jäävän puuston kasvuun eikä kuolleisuuteen. Metsikkötasolla otos oli toisaalta melko pieni, eli otoskokoa kasvattamalla tässäkin voisi löytyä jonkinlaista eroavaisuutta. Tämän aineiston perusteella merkitseviä eroja suuntaan tai toiseen ei löytynyt.

Hieman yllättävää oli myös, ettei hakkuiden intensiteetti vaikuttanut jäävän puuston kasvuun. Pieniä eroja oli havaittavissa, mutta niiden selitysaste jäi tilastollisessa tarkastelussa alhaiseksi. Hakkuita harvoin toteutetaan niin, että 50% puustosta jätetään aukkoon, eli tämä oli lähinnä teoreettista tarkastelua.

Rajotteina tässä tutkielmassa oli puuston tarkemman iän (kairauksien) puuttuminen. Tieto maaperän ominaisuuksista olisi myös varmasti tuonut lisätarkkuutta malleihin. Rajoitteista huolimatta aineistoa analysoimalla saatiin luotua mallit, jotka kohtalaisesti kuvaavat ja ennustavat tapahtuneita ilmiöitä.

Kyseisestä käsillä olevasta tutkimusaiheesta on hyvin vähän aiempaa tietoa ja tutkimuksia saatavilla. Lisää tutkimustyötä tarvitaan, jotta voidaan paremmin arvioida kasvureaktioita eri maaperä- ja kasvupaikkatyypeillä, sekä saada laajemmin tietoa mahdollisesta kuolleisuuden lisääntymisestä tai aukon koon merkityksestä. Tämänhetkisen tiedon perusteella voidaan kuitenkin todeta, että osittais- ja pienaukkohakkuut ovat potentiaalinen tapa lisätä ja suojella luonnon monimuotoisuutta, mutta myös turvata taloudellinen kestävyys.

7. LÄHTEET

Alam S. A., Huang J., Stadt K. J., Comeau P. G., Dawson A., Gea-Izquierdo G., Aakala T., Hölttä T., Vesala T., Mäkelä A., Berninger F. (2017) Effects of competition, drought stress and photosynthetic productivity on the radial growth of white spruce in western Canada, *Frontiers in plant science* 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01915>

Bergeron, Y., Harvey, B. (1996) Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec, *Forest ecology and management* 92: 235-242. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03924-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03924-2)

Bergeron Y., Harvey B., Leduc A., Gauthier S. (1999) Forest management guidelines based on natural disturbance dynamics: Stand- and forest-level considerations, *Forestry chronicle* 75: 49-54. <https://doi.org/10.5558/tfc75049-1>

Bliss, C. John (2000), Public Perceptions of Clearcutting, *Journal of Forestry* 98: 4–9, doi: <https://doi.org/10.1093/jof/98.12.4>

Bourgeois L., Messier C., Brais S. (2004) Mountain maple and balsam fir early response to partial and clear-cut harvesting under aspen stands of northern Quebec, *Canadian journal of forest research* 34: 2049-2059, <https://doi.org/10.1139/x04-080>

Cienciala E., Russ R., Šantrůčková H., Altman J., Kopaček J., Hůnová I., Štěpánek P., Oulehle F., Tumajer J., Stáhl G. (2016) Discerning environmental factors affecting current tree growth in Central Europe, *The Science of the total environment* 573: 541-554. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.134>

Davis, F. & Moritz, M. (2013) Disturbance, Mechanisms of, *Encyclopedia of Biodiversity* 2: 562-567, <https://doi.org/10.1016/B0-12-226865-2/00074-2>

Deal R. L., Tappeiner J. C. (2002) The effects of partial cutting on stand structure and growth of western hemlock–Sitka spruce stands in southeast Alaska, *Forest ecology and management* 159: 173-186. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00727-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00727-1)

European Parliament, Biodiversity loss: what is causing it and why is it a concern? (2021) internet lähde

<<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20200109STO69929/biodiversity-loss-what-is-causing-it-and-why-is-it-a-concern>> (viitattu 26.1.2022)

Gendreau-Berthiaume B., Kneeshaw D. D., Harvey B. D. (2012) Effects of partial cutting and partial disturbance by wind and insects on stand composition, structure and growth in boreal mixedwoods, *Forestry: An International Journal of Forest Research* 85: 551–565. doi: <https://doi.org/10.1093/forestry/cps051>

Juodvalkis A., Kairiukstis L., Vasiliauskas R. (2005) Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania, *European journal of forest research* 124: 187-192. doi: [10.1007/s10342-005-0070-x](https://doi.org/10.1007/s10342-005-0070-x)

Jokela, J., Siitonen, J., Koivula, M. (2019) Short-term effects of selection, gap, patch and clear cutting on the beetle fauna in boreal spruce-dominated forests, *Forest ecology and management* 446: 29-37 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.027>

Kersalo J. & Pirinen P. (2009) Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteen raportteja 8, 185 s.

Koivula M., Kuuluvainen T., Hallman E., Kouki J., Siitonen J., Valkonen S. (2014) Forest management inspired by natural disturbance dynamics (DISTDYN) – a long-term research and development project in Finland, *Scandinavian journal of forest research* 29: 579-592. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.938110>

Kuuluvainen T. (2012) Häiriödynamiikkamalli talousmetsien käsittelyssä - Nykyinen tietämys ja soveltaminen Suomen oloihin

<<http://www.metla.fi/tiedotteet/2012/pdf/hairiodynamiikkamalli-talousmetsien-kasittelyssa.pdf>> (viitattu 29.10.2021)

Kuuluvainen T. (2002) Natural Variability of Forests as a Reference for Restoring and Managing Biological Diversity in Boreal Fennoscandia, *Silva fennica* 36: artikkelin id 552 <https://doi.org/10.14214/sf.552>

Kuuluvainen T. & Aakala T. (2011) Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification. *Silva Fennica* 45: 823–841. <https://doi.org/10.14214/sf.73>

Luonnonvarakeskus, Metsän jatkuvapeitteinen kasvatusta (2016) internet lähde

<<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsanhoito/metsan-jatkuva-kasvatusta>> (viitattu 29.10.2021)

Metsänhoidon suositukset, Metsän uudistuminen ja kasvatusta jatkuvassa kasvatuksessa, internet lähde <<https://metsanhoidonsuosituks.fi/fi/toimenpiteet/metsan-uudistuminen-ja-kasvatusta-jatkuvassa-kasvatuksessa/toteutus>> (viitattu 7.1.2022)

Metsäforest, Poimintahakkuut ja pienaukkohakkuut

<<https://www.metsaforest.com/fi/Metsanhoito/Pages/Poimintahakkuut-ja-pienaukkohakkuut.aspx>> (viitattu 18.3.2022)

Mina M, Huber M. O., Forrester D. L., Thürig E., Rohner B., Hector A. (2018) Multiple factors modulate tree growth complementarity in Central European mixed forests, *The Journal of ecology* 106: 1106-1119. <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1111/1365-2745.12846>

Peterson C. & Anderson P. (2009) Large-scale interdisciplinary experiments inform current and future forestry management options in the U.S. Pacific Northwest, *Forest Ecology and Management* 258: 409-414. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.12.029>

Pregitzer, K. S. & Euskirchen, E. S. (2004) Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology* 10: 2052-2077, <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1111/j.1365-2486.2004.00866.x>

Peura, M., Burgas, D., Eivynson, K., Repo A., Mönkkönen, M. (2017), Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia, *Biological conservation* 217: 104-112, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.018>

Prévost, M., Dumais, D., Pothier, D. (2009) Growth and mortality following partial cutting in a trembling aspen – conifer stand: results after 10 years, *Canadian journal of forest research* 40: 894-903 <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1139/X10-036>

Salminen, O., Hirvelä, H., Härkönen, K. (2013) Valtakunnan metsien 10. inventointiin perustuvat ainespuun alueelliset hakkuumahdollisuusarviot. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2013: 199–268, <https://doi.org/10.14214/ma.6024>, artikkeli id 6024

Tapio, *Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus* (päivitetty 9.12.2019) internet lähde <<https://tapio.fi/projektit/monipuoliset-metsanhoitomenetelmat-kayttoon-suometsissa/jatkuvapeitteinen-metsankasvatus/>> (viitattu 27.1.2022)

Thorpe H. C., Thomas S. C. (2007) Partial harvesting in the Canadian boreal: Success will depend on stand dynamic responses, *Forestry chronicle* 83: 319-325. <https://doi.org/10.5558/tfc83319-3>

Thomas S. C., Thorpe H. C., Caspersen J. P., Residual-tree growth responses to partial stand harvest in the black spruce (*Picea mariana*) boreal forest, Canadian journal of forest research 37: 1563-1571. <https://doi.org/10.1139/X07-148>

Zhou D., Zhao S. Q., Liu S., Oeding J. (2013) A meta-analysis on the impacts of partial cutting on forest structure and carbon storage. Biogeosciences 10: 3691-3703. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3691-2013>