Metsätieteen aikakauskirja 2026-26007
Tutkimusartikkeli
https://doi.org/10.14214/ma.26007
http://www.metsatieteenaikakauskirja.fi
ISSN 2489-3188
Suomen Metsätieteellinen Seura

Pentti Niemistö[1] ja Saija Huuskonen[2]

Istutusrauduskoivikon vaihtoehtoiset harvennusohjelmat: tuotos ja taloudellinen kannattavuus

Niemistö P., Huuskonen S. (2026). Istutusrauduskoivikon vaihtoehtoiset harvennusohjelmat: tuotos ja taloudellinen kannattavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2026-26007. Tutkimusartikkeli. 26 s. https://doi.org/10.14214/ma.26007

Tiivistelmä
Pitkäaikaisten kestokokeiden perusteella tarkasteltiin istutetun rauduskoivikon (*Betula pendula* Roth) harvennusohjelmien vaikutusta vaneritukin ja kuitupuun tuotokseen sekä kasvatuksen taloudelliseen kannattavuuteen 2, 3 ja 5 % korkokannoilla. Tarkastelu alkoi keskimäärin 20 vuoden iässä ja kattoi 30 vuoden jakson ensiharvennuksesta kiertoajan loppuun. Vertailussa oli seitsemän harvennusohjelmaa: kaksi voimakasta, yksi voimakas, lievä+voimakas, kaksi keskivahvaa, keskivahva+lievä, yksi tai kaksi lievää harvennusta sekä harventamaton koivikko. Korkein ainespuun tuotos 50 vuoden kiertoajalla (360 m^3 ha^{-1}) saavutettiin ohjelmassa, jossa ensiharvennus oli keskivahva ja toinen harvennus lievä. Tällöin harvennuksessa jäävän puuston pohjapinta-ala oli 60–65 % harventamattoman puuston pohjapinta-alasta. Tuotos oli pienin (313 m^3 ha^{-1}) kaksi kertaa voimakkaasti harvennetussa puustossa. Tukkikokoisen puun ($d_{1.3}$ > 18 cm) tuotos oli suurin (190 m^3 ha^{-1}) yhden voimakkaan harvennuksen ohjelmassa ja pienin (122 m^3 ha^{-1}) harventamattomassa koivikossa. Laatuvähennykset huomioiden vaneritukin tuotos oli voimakkaasti harvennetuissa koivikoissa noin 95 m^3 ha^{-1} ja harventamattomissa alle puolet tästä. Kannattavuusvertailussa 50 vuoden kiertoaika oli edullisempi kuin 45 vuotta lukuun ottamatta voimakkaasti harvennettuja koivikoita 5 % korkokannalla. Ilman laatuvähennystä voimakkaiden ja keskivahvojen harvennusten kannattavuuksissa ei ollut eroa, mutta lievä harventaminen ja harventamaton kannattivat huonommin. Laatuvähennykset huomioiden kannattavimmat ohjelmat olivat yksi voimakas tai lievä+voimakas harvennus, jotka edistivät koivujen kasvua kiertoajan lopulla. Ainespuun tuotos oli peltomailla hieman korkeampi kuin metsämailla, mutta huonompi laatu tasoitti kannattavuuseron. Riittävän varhainen ensiharvennus on tärkeä rauduskoivikossa, koska latvuksiltaan elinvoimaista puustoa on mahdollista harventaa voimakkaasti myös myöhemmin.

Avainsanat *Betula pendula*; ainespuu; harvennusvoimakkuus; korkokanta; puuntuotos; tukkivähennys; vaneritukki
Yhteystiedot [1]Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Seinäjoki ; [2]Metsähallitus, Metsätalous Oy, Helsinki
Sähköposti ext.pentti.niemisto@luke.fi
Hyväksytty 5.11.2026

1 Johdanto

Lehtipuiden ja sekametsien kasvatuksen suosio on lisääntynyt verrattuna puhtaisiin havupuustoihin mm. ilmaston muutoksen sekä metsäluonnon monimuotoisuuden ja virkistyskäytön vuoksi (Felton ym. 2016; Huuskonen ym. 2021). Lisäksi lehtipuut laajentavat ja monipuolistavat raaka-ainepohjaa erilaisille puutuotteille. Myös metsien terveydentila herättää huolta etenkin kuusella, joka voi kärsiä esimerkiksi kuivuudesta ja juurikääpä- tai kirjanpainajatuhoista (Uotila ym. 2020; Sutela ja Ylioja 2025). Viljavilla kivennäismailla varteenotettavin kuusen vaihtoehto tai lehtisekapuu on rauduskoivu (*Betula pendula* Roth) boreaalisella ilmastovyöhykkeellä Fennoskandiassa ja Venäjällä Uralin länsipuolella lukuun ottamatta alueiden pohjoisimpia ja vuoristoisia osia (Kuusela 1990; Kellomäki 2005), ja merkittävä se on myös Baltiassa (Mustonen 2016). Suometsissä ja muilla veden vaivaamilla ja myös karummilla ja pohjoisemmilla alueilla hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.) on tärkein lehtipuuvaihtoehto (Koivisto 1959; Niemistö 2013), mutta sen viljely on osoittautunut kannattamattomaksi rauduskoivua heikomman kasvun ja laadun vuoksi tai tarpeettomaksi voimakkaan luontaisen uudistumisen takia (Niemistö 2008; Hytönen ym. 2014).

Puhdas rauduskoivikko tai vahvasti koivuvaltainen metsä ei pärjää puuntuotoksessa vastaavien kasvupaikkojen havupuustoille, mutta kiertoajan mittaan vähenevänä sekapuuna se ei vähennä tai voi jopa lisätä puuntuotosta (Mielikäinen 1980, 1981; Ekö 1985; Fahlvik ym. 2011). Agestamin (1985) mukaan koivu sekapuuna alentaa kuusikon tuotosta, mutta ruotsalaisissa tutkimuksissa ei ole aina eroteltu hies- ja rauduskoivuja toisistaan. Hieskoivun tuotos jää alhaisemmaksi kuin rauduskoivun (Koivisto 1959; Raulo 1981; Hytönen ym. 2014). Koivutukin hinta on Suomessa noin 25 % alempi verrattuna havutukkeihin (Luonnonvarakeskus 2023) aiheuttaen sen, että puhtaan rauduskoivikon kasvatus kannattaa havupuustoa heikommin, ja hieskoivun kasvatus vielä huonommin. Laskennallinen kannattavuus ei ole kuitenkaan ainut peruste puulajivalinnalle. Kuusen tuhoriskien ohella koivikon kasvatuksen perusteina voivat olla esimerkiksi maisema, monimuotoisuus tai virkistyskäyttö.

Rauduskoivikon kasvatusvaihtoehtojen kannattavuudesta on tehty niukasti tutkimuksia, koska tietopohja niiden kasvusta ja tuotoksesta on ollut kapea, etenkin viljelykoivikoiden osalta. Oikarinen (1983) on julkaissut istutuskoivujen kasvatusmallit (kasvu ja tuotostaulukot), jotka perustuivat hyvin suppeaan aineistoon, koska tuohon aikaan oli löydettävissä vain 11 pienialaista 1930- ja 1950-luvuilla istutettua rauduskoivikkoa. Äskettäin on julkaistu selvästi laajempaan aineistoon perustuvat metsikkötason kasvumallit istutetuille rauduskoivikoille (Lee ym. 2024). Niiden perusteella on optimoitu rauduskoivikon kasvatuksen kannattavuutta Motti-ohjelmistolla ja laadittu uudet harvennusmallit (Tapio 2024), joiden mukaan rauduskoivikko tulee ensiharventaa noin 14 m valtapituudessa, kun pohjapinta-ala on ylittänyt 15 m^2 ha^{-1}, jolloin tavoitepohjapinta-ala harvennuksen jälkeen on 10 m^2 ha^{-1}. Toista harvennusta suositellaan noin 10 vuotta myöhemmin, noin 20 m valtapituudessa, kun pohjapinta-ala on ylittänyt 21,5 m^2 ha^{-1} ja tavoitepohjapinta-ala on silloin 12,5 m^2 ha^{-1}.

Cameron ym. (1995), Hynynen ym. (2010) ja Dubois ym. (2020, 2021) ovat arvioineet erilaisten kasvatusvaihtoehtojen kannattavuutta rauduskoivikoissa ja todenneet voimakkaat harvennukset kannattaviksi, koska runkojen suurempi järeys ja parempi laatu kohottavat yksikköhintaa. Niemistön (2008) mukaan kaksi tai kolme harvennuskertaa harvennusmallien mukaan ovat yhtä kannattavia 2–4 prosentin korkokannoilla, mutta harventamattomuus alentaa kannattavuutta selvästi.

Rauduskoivun kasvatuksen kannattavuutta on tutkittu myös 2-jaksoissa koivu-kuusi sekametsissä (Carlsson 1990, 1995; Valkonen 2000; Valkonen ja Valsta 2000). Tulosten mukaan rauduskoivikko kannattaa kasvattaa täystiheänä ja kannattavuus parani ainakin kasvatustiheyteen 1000 kpl ha^{-1} saakka. Niemistön ym. (2024) mukaan rauduskoivikon väljennys tai poistaminen

kuusialikasvoksen päältä onnistuu nykyisillä hakkuukoneilla riittävän kustannustehokkaasti ja liiaksi kuusia vaurioittamatta. Voimakkaasti harvennettuun verrattuna tiheämmän koivikon alikasvoskuuset kasvavat hitaammin (Niemistö ja Poutiainen 2004), mutta koivujen latvukset jäävät kapeammiksi ja siten korjuuvaurioita syntyy vähemmän (Niemistö ym. 2012).

Rauduskoivun jalostusta ja istutusta alettiin kehittää 1960-luvulla (Raulo 1978, 1979) ja istutusmäärissä on sen jälkeen ollut kaksi huippukautta: paljasjuurisilla taimilla 1971–1977 ja pottitaimilla 1985–2002. Tämän jälkeen istutusmäärät ovat olleet 2500–4000 hehtaaria vuodessa, kun huippukausina istutettiin useina vuosina 10 000–15 000 ha. Koivunviljelyn huippukaudet ajoittuvat pellonmetsityksen tukijaksoihin, mutta samaan aikaan on koivua istutettu runsaimmin myös metsämaille. Viljelytilastojen mukaan onnistuneita istutuskoivikoita voidaan arvioida olevan Suomessa tällä hetkellä 250 000 ha ja niistä arviolta 40 % on viljelty entisille peltomaille (Niemistö 2008). Valtakunnan metsien 12. inventoinnin (2014–2018) mukaan onnistuneita istutuskoivikoita oli em. tilastoa enemmän 306 000 ha (Korhonen ym. 2021; Räty 2021). 1970-luvulla istutetut rauduskoivikot, noin 40 000 ha, ovat jo uudistuskypsiä tai päätehakattu. Viime vuosina rauduskoivun istutusala on ollut noin 3400 ha vuodessa (Kulju ym. 2023), ja taimien kysynnän perusteella se on kasvussa.

Ruotsissa kiinnostus rauduskoivun kasvatukseen on lisääntynyt viime vuosina (Dahlgren Lindman ym. 2024), osittain metsänjalostuksen ansiosta (Liziniewicz ym. 2022) ja tarpeesta yhteensovittaa metsän eri käyttömuotoja ja saada metsistä entistä monimuotoisempia (Felton ym. 2024). Ruotsissa rauduskoivun taimituotanto oli vuosina 2015–2020 keskimäärin 1,4 miljoonaa tainta, mutta vuonna 2024 jo 3,8 miljoonaa tainta vuodessa (Skogsstyrelsen 2025). Ruotsissa koivua käytetään tällä hetkellä lähinnä paperi- ja selluteollisuuden raaka-aineena (Dahlgren Lindman 2022). Rauduskoivua käytetään vaneri- ja viiluteollisuudessa sekä Suomessa että Baltian maissa.

Rauduskoivun jalostuksen tavoitteet on saavutettu vaihtelevasti. Kasvun lisäys on ollut 1–31 % ja poikaoksien määrä on vähentynyt 16 % sekä haaraisuus 7 % (Haapanen 2024). Nykyinen jalostusmateriaali ja metsänviljelyketju lisäävät tuotosta, lyhentävät kiertoaikaa ja parantavat kannattavuutta verrattuna tämän tutkimusten istutuskoivikoihin (Liziniewicz ym. 2022; Lee ym. 2026). Oikarisen (1983) kasvu- ja tuotostaulukoiden jälkeen nuorten istutuskoivikoiden kasvusta on raportoitu alustavia tuloksia noin 30 ikävuoteen saakka (Niemistö 1995b, 1996, 1997, 2002; Siipilehto 1998), mutta laajempaan koeaineistoon perustuvat koko kiertoajan kattavat kasvututkimukset on tehty vasta 2020-luvulla. Puustotason kasvumallit (Lee ym. 2023) perustuvat em. tutkimuksissa käytettyihin pitkäaikaisiin harvennus- ja istutustiheyskokeisiin 1970-luvun koivuviljelyksillä ja toisaalta 1980-luvulla perustettuihin metsänjalostuskokeisiin. Niemistö ja Huuskonen (2025) ovat julkaisseet tulokset erilaisten harvennusohjelmien vaikutuksista viljelykoivikon kasvuun, kehitykseen ja hiilensidontaan em. harvennuskokeisiin perustuen. Tämä tutkimus on jatkoa jälkimmäiselle tutkimuksella keskittyen istutuskoivikoiden tukki- ja kuitupuun tuotokseen ja kasvatuksen kannattavuuteen, kun noudatetaan Suomessa vallitsevia kantohintoja (Luonnonvarakeskus 2023) ja koivupuutavaran mitta- ja laatuvaatimuksia (Niemistö ja Hallikainen 2021).

Koivurunkojen laatuominaisuuksia Suomessa on tutkittu monipuolisesti. Niemistön ym. (1997) mukaan peltomaille istutetut rauduskoivut ovat laadultaan samaa tasoa kuin Heiskasen (1957, 1966) tutkimat luontaisesti syntyneet rauduskoivut, mutta metsämailla istutuskoivujen laatu on useimpien laatutunnusten osalta noin 15 % parempi. Niemistön ja Hallikaisen (2021) mukaan vaneritukin ja myös ainespuun saantoon tehtävä laatuvähennys on istutuskoivuilla selvästi suurempi kuin havupuilla, etenkin pienikokoisilla tukkipuilla ja peltomailla suurempi kuin metsämailla. Oksikkuuden kannalta riittävä tiheys rauduskoivutaimikossa on 1600 kpl ha^{-1} lukuun ottamatta kaikkein viljavimpia peltoja ja lehtomaisia kasvupaikkoja (Niemistö 1995b, Mäkinen ym. 2003). Heräjärvi on tutkinut markkinoille tulevien koivutukkien teknisiä ominaisuuksia

sahateollisuudessa (2001) ja oksaisuutta (2002). Kilpeläisen ym. (2011) tutkimuksessa koivikon harvennushakkuussa poistettavista tukkikokoisista puista lähes 60 % luokiteltiin runkovikojen vuoksi kuitupuiksi, kun kasvatettavilla puilla vastaava osuus oli 35 %. Istutuskoivun värivikaisuutta ja lahoisuutta ovat tutkineet Hallaksela ja Niemistö (1998) ja pystykarsinnan vaikutuksia Kannisto ja Heräjärvi (2006) sekä Niemistö ym. (2019a, 2019b). Em. tutkimusten perusteella puutavaralajien tuotosta ja kasvatusvaihtoehtojen kannattavuutta ei pidä vertailla koivurunkojen laatua huomioimatta.

Aiempiin tutkimuksiin ja käytännön kokemuksiin perustuen rauduskoivun suositeltu istutustiheys on Suomessa 1600 kpl ha^{-1}, jolloin taimikonharvennusta ei useinkaan tarvita, koska istutettu rauduskoivu on kasvussaan ylivoimainen luontaisiin kilpailijoihin nähden. Istutustaimien koko on kuitenkin viime vuosina pienentynyt (Pikkarainen 2021; Luoranen 2026), mutta etenkin mättäille istutettujen pikkutaimien kasvu on nopeaa, joten kilpailevan pintakasvillisuuden torjuntatarve ei näytä lisääntyvän. Tähänastisten suositusten mukaan ensiharvennuksen ajankohta on koivikon tiheydestä riippuen 12–15 metrin valtapituusvaiheessa, eli noin 17–22 vuoden iässä ja toinen harvennus 10 vuotta myöhemmin (Niemistö 2008; Hynynen ym. 2010; Tapio 2024).

Tämän työn tavoitteena on tarkastella tukin ja kuitupuun tuotosta ja kasvatuksen kannattavuutta eri voimakkuuksilla harvennetuissa istutusrauduskoivikoissa ja vertailla kiertoaikojen taloudellista edullisuutta. Samalla tutkitaan puuntuotoksen ja kannattavuuden riippuvuutta kasvupaikan viljavuudesta ja puuston teknisestä laadusta pelto- ja metsämailla. Tuloksia voidaan käyttää metsäkäsittelyn vaihtoehtojen vertailuun ja metsänhoitosuositusten tarkentamiseen rauduskoivikoiden kasvatuksessa.

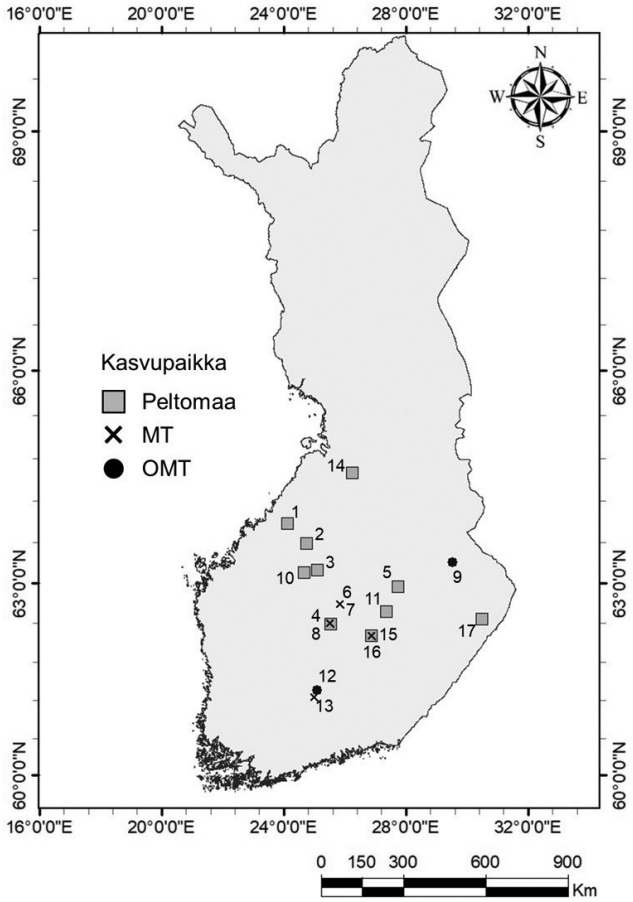
2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koemetsiköt

Tutkimusaineisto koostuu 17 koemetsiköstä Suomen eteläpuoliskossa (Kuva 1). Nämä Luonnonvarakeskuksen harvennuskokeet perustettiin 1980–90-luvuilla ensiharvennusvaiheessa olleisiin keskimäärin 20-vuotiaisiin istutuskoivikoihin. Alun perin 172 koealan puusto on mitattu pieniä poikkeamia lukuun ottamatta 7 kertaa viiden vuoden välein keskimäärin 50 vuoden ikään saakka (Taulukko 1). Aineisto on kuvattu yksityiskohtaisemmin julkaisuissa Niemistö (1997) ja Niemistö ja Huuskonen (2025).

2.2 Mittaukset

Koealojen puut mitattiin tutkimusjakson alussa ennen ensiharvennusta 16–23 vuoden ikäisinä. Mittaukset toistettiin samanlaisina useimmiten kuusi kertaa viiden vuoden jaksoissa lukuun ottamatta lyhyempää tutkimusjaksoa kolmessa kokeessa ja viimeistä mittausjaksoa, joka oli viidessä kokeessa 4 vuotta ja yhdessä 6 vuotta (Taulukko 1). Koealojen kaikista puista mitattiin suunta ja etäisyys keskipisteestä ja rinnankorkeusläpimitta ($d_{1,3}$, mm) koealan keskipisteen suunnassa ja kotisuorasti sitä vastaan sekä todettiin puulaji ja puustoryhmä (jäävä, harvennuksessa poistettava, kuollut). Koepuiksi valittiin jokaiselta koealalta noin 40 tervettä ja rungoltaan haaratonta istutuskoivua siten, että puun todennäköisyys tulla valituksi oli suoraan verrannollinen sen poikkileikkauksen pinta-alaan 1,3 metrin korkeudella. Koepuista mitattiin puun pituus (h, dm), elävän latvuksen alaraja (lr, dm) ja läpimitat 6,0 metrin korkeudelta ($d_{6,0}$, mm). Samat koepuut mitattiin uusintamittauksissa. Harvennuksissa koepuumäärä pieneni, mutta pysyi riittävänä (>10 kpl/koeala), joten uusia koepuita ei valittu.



Kuva 1. Koemetsiköiden sijainti maa- ja kasvupaikkaluokittain, numerointi taulukossa 1.

Taulukko 1. Istutusrauduskoivikoiden harvennuskokeet ja niiden puusto ennen harvennusta tutkimusjakson alussa. Koemetsiköt 859 ja 860 oli käsitelty osittain ja koemetsiköt 835 ja 841 kokonaan lievillä varhaisilla harvennuksilla noin viisi vuotta ennen kokeen perustamista.

Koe	Lämpösumma d.d.	Maaluokka	Pituusboniteetti H_{50}, m	Ikä v	Tutkimusjakso v	Koealoja kpl	Puusto ennen ensiharvennusta Runkoluku kpl ha^{-1}	Valtapituus m	Runkotilavuus m^3 ha^{-1}
1:832	1106	pelto	26,3	22	30	6	1362	13,3	68,7
2:833	1115	pelto	27,2	21	30	8	1907	19,6	118,5
3:834	1205	pelto	27,5	19	30	12	1459	15,0	88,7
4:835	1187	MT	27,4	23	30	14	966	14,3	102,8
5:836	1302	pelto	30,0	20	25	6	1693	19,8	142,9
6:837	1211	MT	28,0	22	30	15	1745	17,9	115,9
7:838	1211	MT	26,6	23	30	8	1971	15,1	91,8
8:839	1187	pelto	30,4	16	30	12	2028	13,3	69,0
9:840	1159	OMT	27,5	20	30	8	2163	19,2	122,2
10:841	1132	pelto	27,2	22	29	8	1042	12,0	72,0
11:842	1262	pelto	27,7	20	29	12	2152	17,5	101,7
12:845	1262	OMT	26,9	22	29	10	1760	13,6	75,8
13:846	1262	MT	24,9	23	29	13	2148	14,1	83,6
14:857	1106	pelto	23,3	22	24	10	2110	15,8	74,7
15:859	1219	pelto	29,9	17	30	10	1544	15,0	88,6
16:860	1219	MT	29,1	17	30	15	1582	12,2	67,8
17:867	1192	pelto	25,5	17	26	5	2747	15,1	86,9
Koko aineisto			27,2	20,4	29	172	1745	15,3	91,6

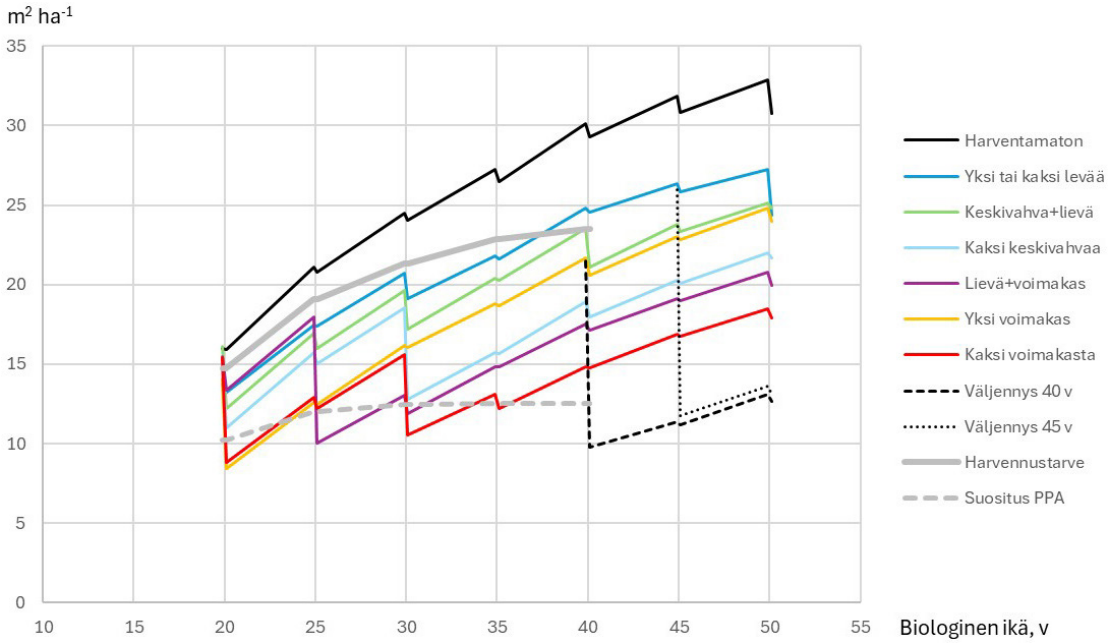
2.3 Puu- ja koealatason laskenta

Puustotunnukset laskettiin puutason mittauksista KPL-ohjelmalla (Heinonen 1994). Koepuiden perusteella estimoitiin lukupuille pituudet ja latvusrajat pituuskäyriltä koealoittain ja mittauskerroittain (Näslund 1936). Koepuiden tilavuudet (v, dm^3) ja runkokäyrät estimoitiin Laasasenahon (1982) malleilla käyttäen mitattuja tunnuksia $d_{1.3}$, $d_{6,0}$ ja h. Lukupuiden tilavuudet saatiin koepuiden rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvilta tasoituskäyriltä Heinosen (1994) kuvaamalla tavalla koealoittain ja mittauskerroittain. Koealoittain puista summattiin pohjapinta-alat (G, $m^2\ ha^{-1}$) ja tilavuudet (V, $m^3\ ha^{-1}$). Valtapituutena (H_{dom}) käytettiin sadan paksuimman puun keskipituutta hehtaarilla.

2.4 Käsittelyt

Koejärjestely sisälsi seitsemän erilaista ensiharvennuksen ja useimmiten toisen harvennuksen muodostamaa harvennusohjelmaa (Kuva 2). Harvennusvoimakkuus määritettiin koemetsiköittäin harventamattomien koealojen elossa olevien puiden pohjapinta-alan perusteella (taso 100 %). Ensiharvennukset tehtiin kolmelle tasolle: lievä (80 %), keskivahva (65 %) ja voimakas (50 %). Osa lievästi harvennetuista harvennettiin jo 5 vuotta ensiharvennuksen jälkeen voimakkaasti (40 %). Muuten toinen harvennus tehtiin 10 vuotta ensiharvennuksen jälkeen, jolloin pohjapinta-alatasot olivat: voimakas (35 %), keskivahva (50 %) ja lievä (60 %). Harvennusohjelmaan ”Yksi tai kaksi lievää” yhdistettiin kaksi erilaista harvennusohjelmaa, koska havaintojen lukumäärä erikseen ei olisi riittänyt tilastolliseen tarkasteluun. Harvennusohjelmat olivat:

- Kaksi voimakasta (50 % => 35 %)
- Yksi voimakas (50 %)
- Lievä+voimakas (80 % => 40 %)
- Kaksi keskivahvaa (65 % => 50 %)
- Keskivahva+lievä (65 % => 60 %)
- Yksi tai kaksi lievää (80 % tai 80 % => 70 %)
- Harventamaton (100 %)



Kuva 2. Puuston pohjapinta-alan keskimääräinen kehitys tutkimusaineistossa (H_{50} keskiarvo 27,2 m) harvennusohjelmittain 30 vuoden kuluessa ensiharvennuksen jälkeen (Niemistö ja Huuskonen 2025: kokonaispuusto jokaisen 5-vuotisjakon lopussa ja elävä puusto seuraavan jakson alussa). Kuvassa on esitetty myös nykyiset harvennusmallit; harvennustarve ja suositus-PPA 3 % korolla Etelä-Suomen OMT- ja MT-rauduskoivikoiden keskiarvona (Tapio 2024), kun iänmukainen pituuskehitys on laskettu pituusboniteeteille MT = 25 m ja OMT = 29 m (Lee ym. 2025).

Harvennukset olivat alaharvennuksia, lukuun ottamatta 10 koealaa, joissa toinen harvennus 10 vuotta ensimmäisen jälkeen oli luonteeltaan varovainen yläharvennus, jossa poistettiin alle jääneiden pienten puiden lisäksi kaiken kokoisia puita, myös suurimpia valtapuita.

Em. harvennusohjelmia noudatettiin kokeiden ensimmäisen 20 vuoden ajan ja 33 koealalla (19 %) puuston annettiin kasvaa harventamatta. Osa eri harvennusohjelmin käsitellyistä koealoista (ei kuitenkaan Harventamaton ja Kaksi voimakasta) väljennettiin voimakkaasti 20 vuotta (19 kpl) tai 25 vuotta (18 kpl) ensiharvennuksen jälkeen. Näitä nimitetään jatkossa käsittelyinä ”Väljennys 40 v” ja ”Väljennys 45 v”.

Kokeita perustettaessa puuston ikä oli keskimäärin 20,4 ja vaihteluväli 16–23 vuotta (Taulukko 1). Boniteetti H_{50} koealoittain määritettiin Leen ym. (2024) pituusboniteettimallilla koko mittausjakson pituusmittausten keskiarvona. Koko koeala-aineistossa pituusboniteetin vaihteluväli oli 18,6–32,9 m. Perustamisvaiheessa puuston runkoluku vaihteli välillä 795–3072 kpl ha^{-1}. Neljää koemetsikköä oli käsitelty ennen kokeen perustamista lievin harvennuksin, joten niiden lähtöpuuston tiheys oli muita alempi. Koealoittain puuston valtapituus oli kokeiden perustamisvaiheessa 10,3–17,8 m, valtaläpimitta 11,7–18,9 cm ja elävän latvuksen alarajan korkeus 2,0–8,3 m.

2.5 Puuntuotoksen laskenta

Puuntuotos puutavaralajeittain laskettiin kahdella tavalla:

1 Potentiaalinen (laatuvikoja huomioimaton) vaneritukkitilavuus ja kuitupuutilavuus laskettiin suoraan rungon dimensioiden perusteella KPL-ohjelmalla (Heinonen 1994). Vaneritukin osuus maksimoitiin rungon dimensioiden perusteella Laasasenahon (1982) runkokäyriin perustuen. Vaneritukin latvaläpimitan minimi oli 18 cm ja pituuden minimi 3,1 m. Kuitupuupölkyn latvaläpimitan minimi oli 5,6 cm ja minimipituus 3,0 m.

2 Laatuvähennetty (laatuviat huomioon ottava) vaneritukin ja ainespuun tilavuus laskettiin puutasolla Niemistön ja Hallikaisen (2021) tukki- ja ainespuuvähennysmalleilla. Pölkkyjen minimimitat olivat samat kuin kohdassa 1 lukuun ottamatta kuitupuuta, joka katkottiin Suomessa vallitsevan nykykäytännön mukaisesti tasapituuteen 3.0 m. Tukkivähennykset tehtiin ennustamalla ensin rinnankorkeusläpimitaltaan yli 20 cm puun todennäköisyys olla vaneritukkipuu ko. julkaisun mallilla 1 (sadan satunnaistamisen keskiarvo > 0,5). Sen jälkeen kullekin vaneritukkipuille laskettiin laatuvähennetty tukkitilavuus mallilla 4 ja laatua huomioimaton tukkitilavuus mallilla 7, joiden avulla laskettiin jokaisen vaneripuun tukkivähennys-%. Lopullinen laatuvähennetty tukkiosan tilavuus kullekin vaneripuulle saatiin tekemällä em. prosentin mukainen vähennys KPL-laskennassa (Heinonen 1994) saatuun puun dimensioihin perustuvaan tukkiosan tilavuuteen. Laatuvähennetty ainespuutilavuus kaikille puille laskettiin vastaavalla tavalla mallien 4 ja 6 avulla. Kunkin puun laatuvähennetty kuitupuutilavuus saatiin laatuvähennetyn ainespuutilavuuden ja tukkiosan tilavuuden erotuksena.

Ensiharvennuskertymä luokiteltiin kokonaan kuitupuuksi molemmissa laskentatavoissa, koska vaneritukin mitat täyttäviä puita poistui hyvin harvoin ja satunnaisesti. Vaneritukin laatuvähennys tehtiin myöhemmissä harvennuksissa ja päätehakkuissa samoilla malleilla.

Laskentatapa 1 (potentiaalinen tuotos) vastaa koivurunkojen arvon maksimoivaa teoreettista puutavaralajijakaumaa, jossa laatuviat eivät vaikuta tukkien katkontaan ja kaikki muu kuitupuun mitat täyttävä runkopuu korjataan kuitupuuna. Laskentatapa 2 (laatuvähennetty tuotos) vastaa päätehakkuuta lähestyvien 1970-luvulla istutettujen, nykykäytännön mukaisesti harvennettujen ja toisaalta harventamattomien viljelykoivikoiden keskimääräistä laatua.

Taulukko 2. Koivupuutavaran kantohinnat (€ m^{-3}) hakkuutavoittain Keski- ja Itä-Suomessa vuosien 2017–2021 kuukausikeskiarvoina (Luonnonvarakeskus 2023; Tilastokeskus 2023).

	Vaneritukki	Kuitupuu	Pienenergiapuu
Ensiharvennus	34,12	13,05	0
Muu harvennus	40,04	16,28	
Päätehakkuu	47,85	18,95	

2.6 Kannattavuuden laskenta

Puunmyyntituloina (Taulukko 2) käytettiin vuosien 2017–2021 kuukausihintojen keskiarvoa hakkuutavoittain (ensiharvennus, muu harvennus ja päätehakkuu) Keski-Suomen, Savo-Karjalan ja Kymi-Savon hinta-alueilta, jotka edustivat tutkimusaluetta (Luonnonvarakeskus 2023). Kantohinnat deflatoitiin vuoden 2021 tasolle elinkustannusindeksin avulla (Tilastokeskus 2023).

Nettotulojen nykyarvo (NNA) tarkasteltavalle kiertoajalle laskettiin koealoittain ensiharvennuksen ajankohtaan (kokeen perustamishetki keskimäärin 20 v:n iässä) harvennushakkuiden ja päätehakkuun kuitupuu- ja tukkikertymistä taulukon 2 mukaisilla kantohinnoilla. Päätehakkuuikänä käytettiin kokeiden kahden viimeisimmän mittauksen mukaisesti 45 ja 50 vuotta. Lyhyemmällä kiertoajalla ei 45 vuoden iässä tehtyä väljennystä luonnollisestikaan huomioitu. Näiden kahden kiertoajan kannattavuuden keskinäisessä vertailussa käytettiin käsittelykohtaisia keskiarvoja sisältäen sekä nettotulojen nykyarvon (NNA) että kiertoajan lopusta diskontatun paljaan maan arvon (PMA), joka ottaa huomioon kaikki tulevat kiertoajat.

Paljaan maan arvot (PMA) laskettiin Faustmanin (1849) päättymättömästi toistuvien kiertoaikojen kaavalla. Tulevien kiertoaikojen hakkuutulot saatiin diskonttaamalla kunkin harvennusohjelman nettotulojen nykyarvo 20 vuoden iästä istutusajankohtaan. Vastaavat rauduskoivikon uudistamiskustannukset (Saksa ym. 2021) olivat: kääntömätästys (479 € ha^{-1}), istutus 1600 kpl ha^{-1} (886 € ha^{-1}) ja neljä vuotta istutuksen jälkeen tehtävä varhaisperkaus (500 € ha^{-1}), joka diskontattiin uudistamishetkeen. Perkaus tarvitaan koivikon uudistamisen jälkeen syntyvän vesakon takia. Harvennusohjelmia ja kiertoaikoja verrattiin kolmella korkotasolla 2 %, 3 % ja 5 %. Koron noustessa Faustmanin kaavalla voidaan saada tuleville kiertoajoille negatiivisia paljaan maan arvoja, jolloin PMA = 0 €.

2.7 Tilastollinen analyysi

Harvennusohjelman, maaluokan (pelto- tai metsämaa), yläharvennuksen ja varttuneen puuston väljennyksen vaikutuksia puutavaralajien tuotokseen ja nettotulojen nykyarvoon analysoitiin lineaarisilla sekamallilla (Mixed Linear, SPSS 29). Sillä voidaan huomioida aineiston hierarkkinen rakenne, jossa selittäviä tekijöitä on usealla tasolla (tässä tutkimuksessa koeala ja koemetsikkö). Satunnaismuuttujana malleissa oli koemetsikkö ja kiinteän osan kovariaattina valtapituusboniteetti H_{50} (Lee ym. 2024). Analyysissä käytettiin seuraavaa mallia:

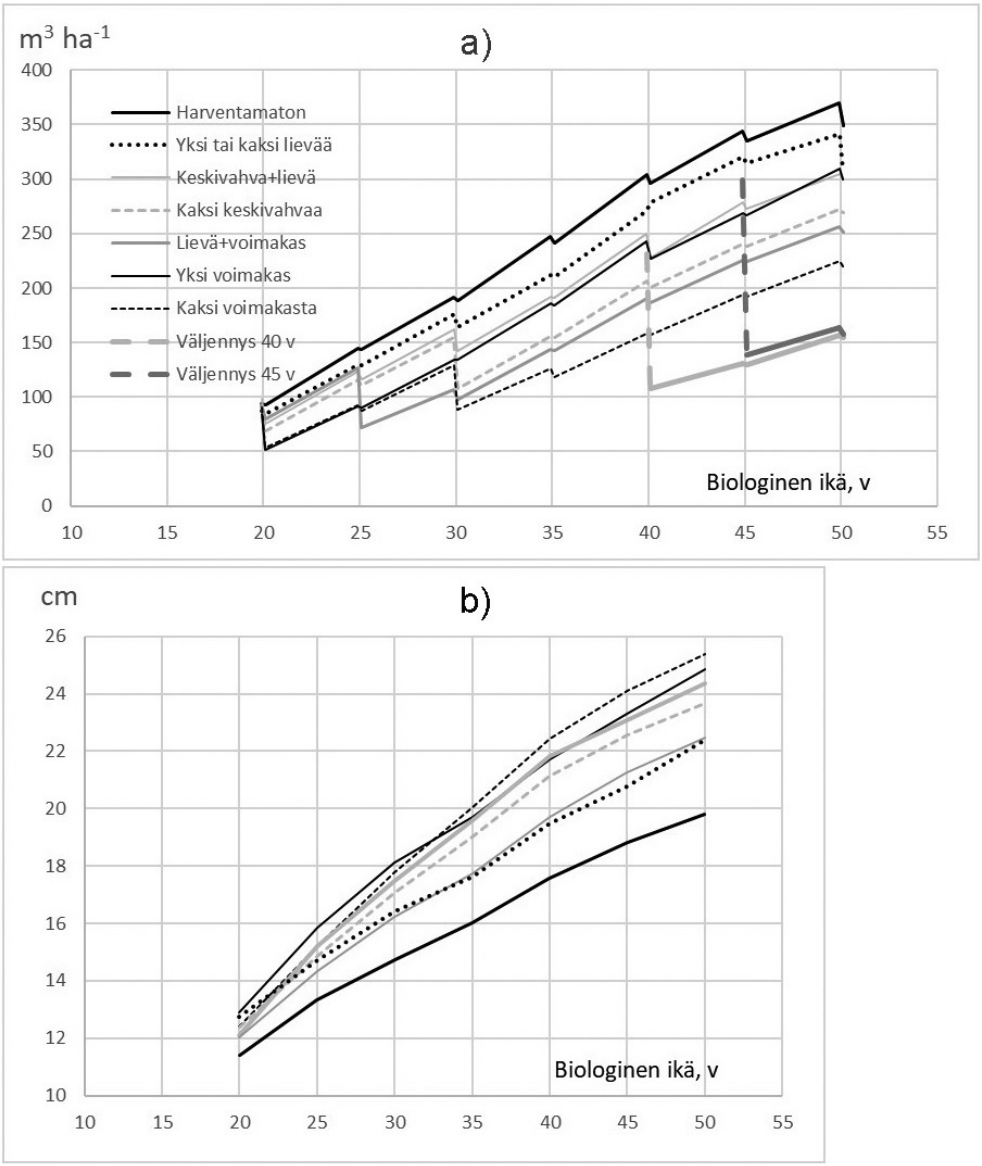
$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Harvennusohjelma_{ij} + \beta_2 Maaluokka_i + \beta_3 Väljennys_{ij} + \beta_4 Harvennustapa_{ij} + \sum\left(\beta_n X_{ij}\right) + \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

jossa Y_{ij} on selitettävä tuotos- tai kannattavuusmuuttuja koealalla j koemetsikössä i. β_1–β_4 ja β_n ovat kiinteiden selittäjien kertoimia, X kovariaatin H_{50} (m) tai sen muunnoksen arvo, μ satunnaisvaikutus (metsikkö) ja ε on satunnaisvirhe.

3 Tulokset

3.1 Puuston tilavuuden ja läpimitan kehitys

Elävän puuston runkotilavuus saavutti ilman harvennuksia 50 vuoden iässä 350 m^3 ha^{-1}, mutta puuston pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta jäi tuolloin alle 20 senttimetriin (Kuva 3). Kahden voimakkaan harvennuksen ohjelmassa puuston määrä tutkimusjakson lopussa 50 vuoden iässä oli vastaavasti 225 m^3 ha^{-1} ja keskiläpimitta hieman yli 25 cm.



Kuva 3. Istutuskoivikon runkotilavuuden (a) ja pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan (b) kehitys eri harvennusohjelmissa 30 vuoden aikana puuston ensiharvennuksen jälkeen. Runkotilavuuden käyrät kuvaavat viiden vuoden välein mitattua kokonaispuustoa (sisältää elävän ja mittausjaksolla kuolleen puuston) ja kasvamaan jäänyttä elävää puustoa. Keskiläpimitta on laskettu elävälle kasvatettavalle puustolle ilman myöhäistä väljennystä.

Taulukko 3. Viljelykoivikon harvennusohjelmien ainespuun tuotosta selittävien kovarianssianalyysien tulokset 50 vuoden kiertoajalla: AP_{50pot} = potentiaalinen ainespuun tuotos, $AP_{50väh}$ = laatuvähennetty ainespuun tuotos, VT_{50pot} = potentiaalinen vaneritukin tuotos ja $\%VT_{50väh}$ = vaneritukin laatuvähennetyn tuotoksen %-osuus potentiaalisesta tukkituotoksesta (df = 117).

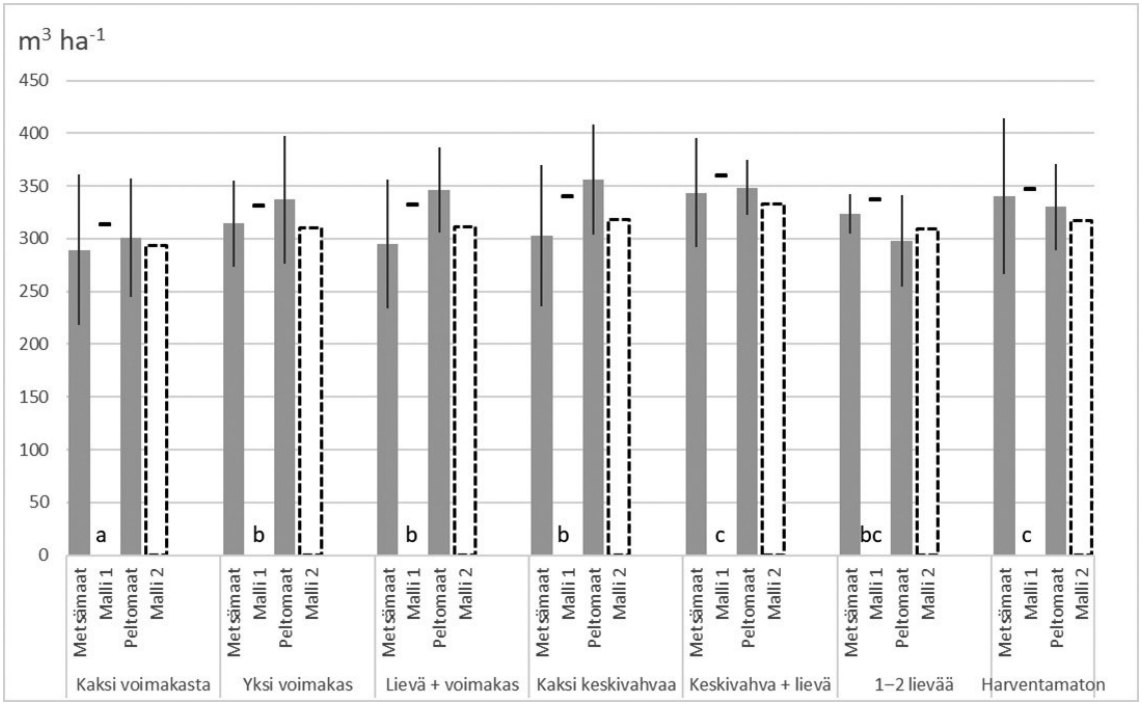
		Mallin numero ja selitettävä puuntuotosmuuttuja, $m^3\ ha^{-1}$							
		Malli 1 AP_{50pot} $R^2 = 0,45$		Malli 2 $AP_{50väh}$ $R^2 = 0,46$		Malli 3 VT_{50pot} $R^2 = 0,60$		Malli 4 $\%VT_{50väh}$ $R^2 = 0,71$	
		F	p-arvo	F	p-arvo	F	p-arvo	F	p-arvo
Kiinteät selittäjät									
b_0	Vakio	7,8	0,006	5,2	0,024	20,5	<0,001	18,2	<0,001
b_1	Harvennusohjelma	6,1	<0,001	5,2	<0,001	12,0	<0,001	41,3	<0,001
b_2	Maaluokka	6,4	0,013	7,0	<0,001	13,6	<0,001	32,6	<0,001
b_3	Myöhäinen väljennys					2,2	0,110	5,6	0,005
b_4	H_{50}	5,5	0,020	3,2	0,075	53,2	<0,001	14,9	<0,001
b_5	$\ln(H_{50})$	7,8	0,006	5,1	0,026			18,2	<0,001
	Maaluokka × H_{50}	6,8	0,010	7,3	0,008	12,1	<0,001		
	Maaluokka × ei harv.*	16.3	<0,001	13.7	<0,001				
	Kovariaatin kerroin	$H_{50metsä}$	–66,6		–46,0		21,2		–16,7
		$H_{50pelto}$	–77,9		–56,9		7,7		–16,7
		$\ln(H_{50})$	2309		1749				494
Satunnaisparametrit		Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe
δ^2	Koemetsikkö	1143	505	929	401	1037	440	28,7	14,7
δ^2_e	Jäännöshajonta	762	97	711	88	817	106	55,8	7,0

*dummy-muuttuja harventamattomalle puustolle peltomailla

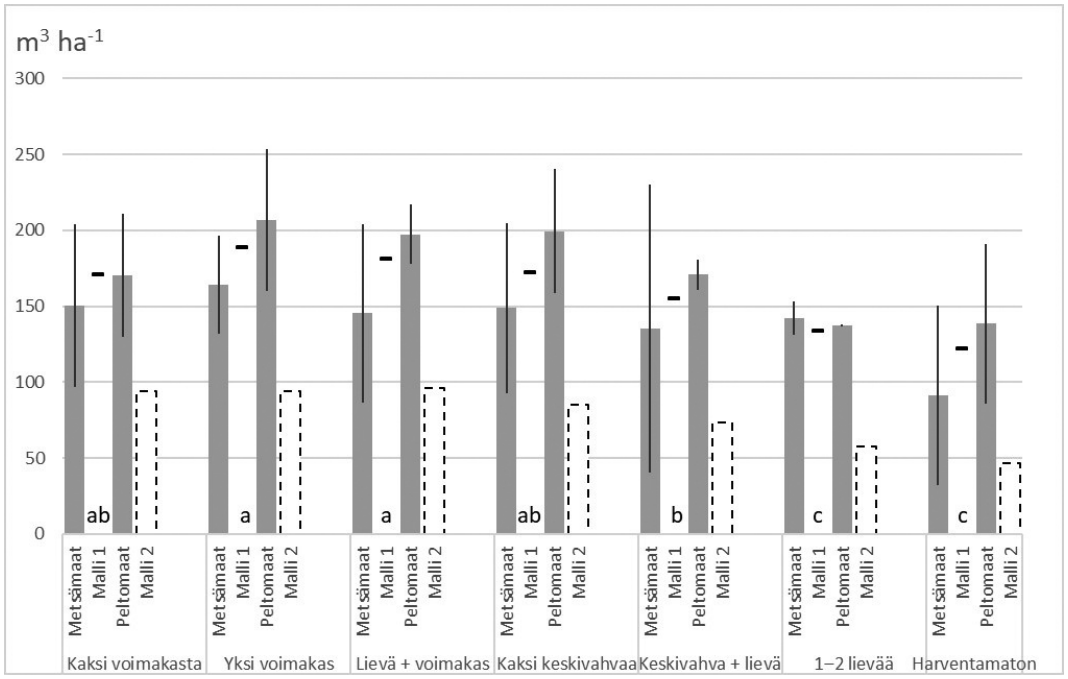
3.2 Puuntuotos 50 vuoden ikään mennessä

Potentiaalinen ainespuuntuotos tutkimusjakson loppuun mennessä oli käsittelykeskiarvojen perusteella 295–345 $m^3\ ha^{-1}$ lisääntyen voimakkaimmista harvennuksista lievempiin (Kuva 4). Korkein tuotos saavutettiin käsittelyssä ”Keskivahva+lievä”, jota lievemmin harvennetuissa ja harventamattomissa puustoissa tuotos jäi pienemmäksi puiden kuolemisen vuoksi. Kuolleisuus vähensi ainespuun tuotosta erityisesti harventamattomissa peltomaan koivikoissa (ks. Niemistö ja Huuskonen 2025). Mallissa 1 niitä koskevan dymmy-muuttujan mukaan ainespuuta 50 vuoden iässä saatiin 49 $m^3\ ha^{-1}$ vähemmän kuin harventamattomissa metsämaan koivikoissa. Metrin lisäys pituusboniteetissa lisäsi potentiaalista ainespuutuotosta aineiston karuimmilla kasvupaikoilla (H_{50} = 22 m) noin 30 $m^3\ ha^{-1}$ ja vastaavasti keskimääräisillä noin 20 ja viljavimmilla (H_{50} > 30 m) noin 10 kuutiota (Malli 1, Taulukko 3). Aineiston alimmilla boniteeteilla ainespuun potentiaalinen tuotos oli peltomailla 50–60 $m^3\ ha^{-1}$ vastaavia metsämaita korkeampi. Keskimääräisillä pituusboniteeteilla eroa ei ollut ja viljavimmilla metsämailla tuotos oli jopa korkeampi kuin peltomaiden vastaavilla boniteeteilla.

Laatuvähennetty ainespuutuotos 50 vuoden ikään mennessä oli käsittelykeskiarvojen perusteella 280–323 $m^3\ ha^{-1}$. Mallin 2 (Taulukko 3) mukaan se oli pienin käsittelyssä ”Kaksi voimakasta”, ja kohosi harvennusten lieventyessä tasolle 330 $m^3\ ha^{-1}$ käsittelyssä ”Keskivahva+lievä”. Sen sijaan lievä harventaminen ja harventamattomuus pienensivät ainespuutuotosta. Ainespuuvähennys oli 4–8 % potentiaalisesta tuotoksesta, voimakkaissa harvennuksissa pienempi kuin lievästi harvennetuissa ja harventamattomissa koivikoissa. Laatuvähennetyn ainespuutuotoksen ero pelto- ja metsämaiden välillä oli samaa luokkaa kuin potentiaalisessa tuotoksessa. Yläharvennuksella tai myöhäisillä väljennyksillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta ainespuutuotokseen.



Kuva 4. Koivikon ainespuutuotos 50 vuoden ikään mennessä harvennusohjelmittain ilman myöhäistä väljennystä. Harmaat pylväät kuvaavat potentiaalisen tuotoksen keskiarvoa ja pystyviivat sen keskihajontaa pelto- ja metsämailla. Merkintä ”–” tarkoittaa mallilla 1 laskettua potentiaalisen ainepuutuotoksen estimaattia ilman laatuvähennystä metsä- ja peltomaiden keskiarvona, kun pituusboniteetti H_{50} oli aineiston keskiarvon mukaisesti 27,2 m. Katkoviivalla rajatut pylväät tarkoittavat vastaavaa laatuvähennetyn ainespuutuotoksen estimaattia (Malli 2), kun potentiaalista tuotosta pienennettiin ainespuuvähennysmallilla (Niemistö ja Hallikainen 2021). Eri kirjaimin a–c merkittyjen käsittelyjen ero oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$ mallissa 1).



Kuva 5. Koivikon vaneritukin tuotos pelto- ja metsämailla 50 vuoden ikään mennessä ilman myöhäisiä väljennyksiä. Harmaat pylväät kuvaavat potentiaalisen tukkituotoksen keskiarvoa ja pystyviivat sen keskihajontaa pelto- ja metsämailla. Merkintä ”–” tarkoittaa mallilla 3 laskettua tukkikokoisen runkopuun tuotoksen estimaattia, kun pituusboniteetti H_{50} on aineiston keskiarvon mukaisesti 27,2 m. Katkoviivalla rajatut pylväät tarkoittavat vastaavasti mallilla 4 lasketun laatuvähennetyn vaneritukin tuotoksen estimaattia, kun käytettiin Niemistön ja Hallikaisen (2021) tukkivähennysmallia. Eri kirjaimin a–c merkittyjen käsittelyjen ero oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$ mallissa 3).

Runkojen dimensioihin perustuva potentiaalinen tukkituotos oli keskimääräisellä pituusboniteetilla korkein käsittelyssä ”Yksi voimakas”, 188 m^3 ha^{-1} 50 vuodessa (Malli 3 taulukossa 3, Kuva 5). Ero muihin voimakkaasti harvennettuihin puustoihin ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta harvennuskäsittelyn lieventyessä potentiaalinen tukkituotos pieneni johdonmukaisesti. Pituusboniteetin kohoaminen metrillä lisäsi potentiaalista tukkituotosta peltomailla 8 m^3 ha^{-1} ja metsämailla 21 m^3 ha^{-1}. Koivikon myöhäinen väljennys vähensi potentiaalista tukkituotosta, 40 vuoden iässä tehtynä noin 20 m^3 ha^{-1} ja 45 vuoden iässä tehtynä puolet vähemmän.

Laatuvähennetty vaneritukin tuotos oli keskimääräisellä pituusboniteetilla kaikissa voimakkaissa harvennusohjelmissa noin 95 m^3 ha^{-1} (Malli 4, Taulukko 3, Kuva 6). Harvennusten lieventyessä tukkituotos aleni siten, että harventamattomissa koivikoissa potentiaalinen tukkituotos oli keskimääräisellä boniteetilla 122 m^3 ha^{-1} ja laatuvähennetty tukkituotos vastaavasti vain 47 m^3 ha^{-1}. Pituusboniteetin kohoaminen metrillä lisäsi laatuvähennettyä tukkituotosta 5–10 m^3 ha^{-1}, karummilla kasvupaikoilla enemmän kuin viljavilla. Koivikon väljennys 40 vuoden iässä ei vaikuttanut laatuvähennykseen, mutta 45 vuoden iässä tehtynä se alensi 4 % tukkituotosta. Yläharvennuksella ei ollut merkitsevää vaikutusta tukkituotokseen.

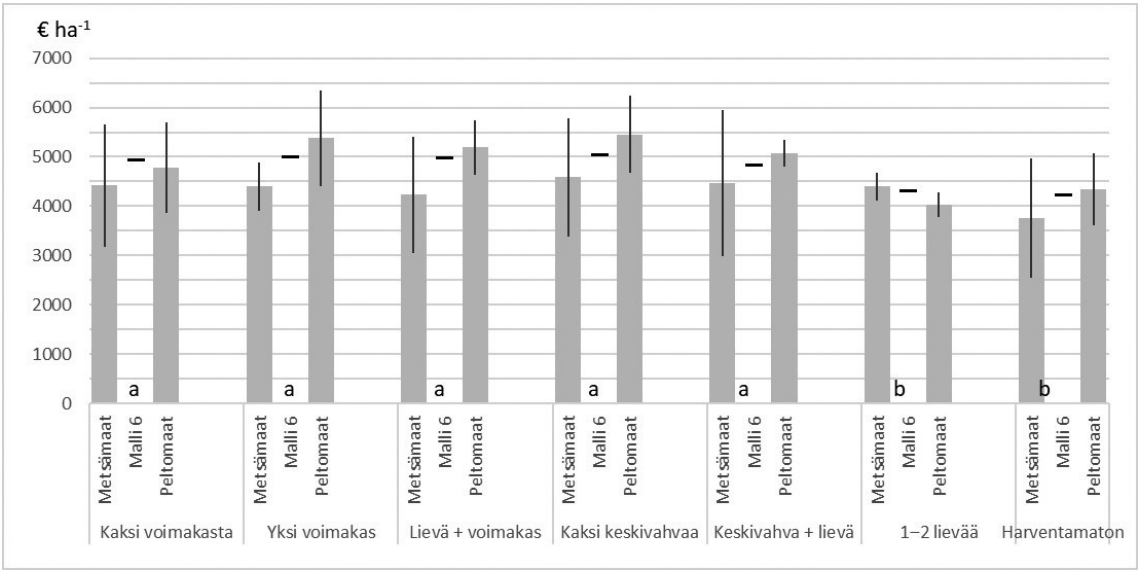
3.3 Harvennusohjelmien kannattavuus

Ensiharvennuksen ajankohtaan (ikä 20 v) laskettu nettotulojen nykyarvo (NNA) 3 % korolla mallitettiin sekä 45 että 50 vuoden kiertoajalla (Taulukko 4). Kun puusto kasvatettiin 50 vuoden ikään saakka, nykyarvo oli korkein käsittelyssä ”Kaksi keskivahvaa” siinä tapauksessa, että vaneritukin ja ainespuun määrään ei tehty laatuvähennyksiä (Malli 6, Taulukko 4, Kuva 6). Voimakkaiden ja keskivahvojen harvennusten välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Vaihteluväli keskimääräisellä pituusboniteetilla oli 4825–5025 € ha^{-1} pelto- ja metsämaiden keskiarvona.

Taulukko 4. Viljelykoivikon harvennusohjelmien nettotulojen nykyarvoa 3 % korolla selittävien kovarianssianalyysien (Mixed linear model) tulokset (df = 117): $NNA3_{45pot}$ ja $NNA3_{50pot}$ on laskettu potentiaalisen puuntuotoksen perusteella 45 ja 50 vuoden kiertoajalla, $NNA3_{45väh}$ ja $NNA3_{50väh}$ on laskettu laatuvähennetyn puuntuotoksen perusteella 45 ja 50 vuoden kiertoajalla.

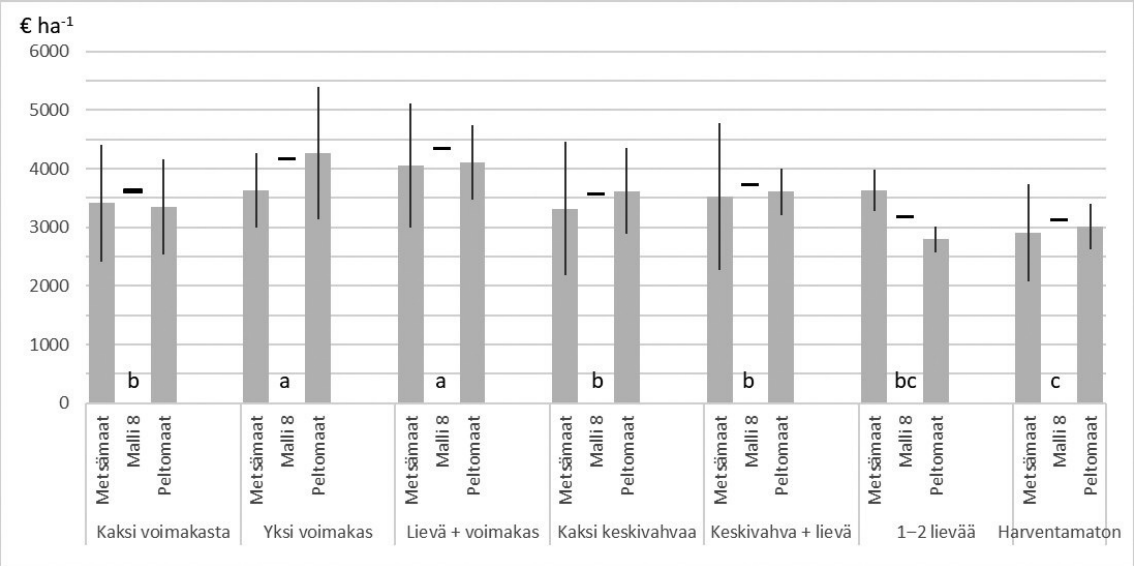
		Malli ja selitettävä nettonykyarvo ensiharvennuksen ajankohtana, € ha^{-1}							
		Malli 5 $NNA3_{45pot}$ $R^2 = 0,50$		Malli 6 $NNA3_{50pot}$ $R^2 = 0,56$		Malli 7 $NNA3_{45väh}$ $R^2 = 0,52$		Malli 8 $NNA3_{50väh}$ $R^2 = 0,54$	
		F	p-arvo	F	p-arvo	F	p-arvo	F	p-arvo
Kiinteät selittäjät									
b_0	Vakio	20,4	<0,001	5,9	0,017	4,7	0,032	4,0	0,047
b_1	Harvennusohjelma	4,8	<0,001	6,7	<0,001	5,4	<0,001	14,1	<0,001
b_2	Maaluokka	6,4	0,013	7,8	0,007	4,1	0,045	6,4	0,013
b_3	Myöhäinen väljennys							3,4	0,038
b_4	H_{50}	81,8	<0,001	6,3	0,013	4,8	0,030	4,1	0,046
b_5	H_{50}^2			4,3	0,041	2,7	0,102	2,6	0,112
	Maaluokka × H_{50}	5,9	0,157	7,0	0,010	4,2	0,043	6,7	0,011
	Kovariaatin kerroin	$H_{50metsä}$	426		1763		1021		1295
		$H_{50pelto}$	246		1543		1099		1099
		H_{50}^2			–25,1		905		–17,5
Satunnaisparametrit		Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe
δ^2	Koemetsikkö	387 348	164 995	213 550	106 872	147 566	64 482	190 932	94 185
δ^2_e	Jäännöshajonta	327 798	39 443	334 905	42 514	162 780	19 557	268 260	34 054

*dummy-muuttuja harventamattomalle puustolle peltomailla



Kuva 6. Koivikon ensiharvennusajankohtaan (ikä 20 v) 3 % korolla lasketut nettotulojen nykyarvot harvennusohjelmittain silloin, kun puusto kasvatettiin 50-vuotiaaksi ilman myöhäistä väljennystä ja kaikki vaneritukin dimensiot täyttävä runkopuu oletettiin vaneritukiksi ja kuitupuu laskettiin katkottavan vapaan pituisena 6 cm latvaläpimittaan saakka. Harmaat pylväät tarkoittavat aineiston keskiarvoa peltomailla ja metsämailla ja pystyviiva sen keskihajontaa. Merkintä ”–” tarkoittaa mallilla 6 laskettua nettotulojen nykyarvon estimaattia silloin, kun pituusboniteetti H_{50} on aineiston keskiarvon mukaisesti 27,2 m. Mallin mukaan eri kirjaimin a–b merkittyjen käsittelyjen ero oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$ mallissa 6).

Ainoastaan lievästi harvennetuissa ja harventamattomissa koivikoissa nettotulojen nykyarvo oli merkitsevästi pienempi, 4300 ja 4200 € ha^{-1}. Ilman laatuvähennyksiä nettotulojen nykyarvo oli keskimääräisellä pituusboniteetilla 330 € ha^{-1} korkeampi peltomailla kuin metsämailla, mutta alemmilla boniteeteilla ero oli suurempi ja korkeimmilla boniteeteilla nettotulojen nykyarvo oli metsämailla korkeampi kuin peltomailla.



Kuva 7. Koivikon ensiharvennuksen ajankohtaan (ikä 20 v) 3 % korolla lasketut nettotulojen nykyarvot harvennusohjelmittain siinä tapauksessa, että puusto kasvatettiin 50-vuotiaaksi ilman myöhäistä väljennystä ja puutavaralajien tuotokseen tehtiin tukki- ja ainespuuvähennysmallien mukainen laatuvähennys (Niemistö ja Hallikainen 2021). Harmaat pylväät tarkoittavat aineiston keskiarvoa peltomailla ja metsämailla ja pystyviiva sen keskihajontaa. Merkintä ”–” tarkoittaa mallilla 8 laskettua estimaattia silloin, kun pituusboniteetti H_{50} on aineiston keskiarvon mukaisesti 27,2 m. Mallin mukaan eri kirjaimin a–c merkittyjen käsittelyjen ero oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$ mallissa 8).

Pituusboniteetin kohoaminen metrillä lisäsi nettotulojen nykyarvoa metsämailla 200–600 € ha^{-1} ja peltomailla 0–400 € ha^{-1}, vähiten viljavimmilla kasvupaikoilla ja eniten aineiston karuimmilla kasvupaikoilla. Puuston yläharvennuksella tai myöhäisellä väljennyksellä ei ollut tässä tapauksessa tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kannattavuuteen.

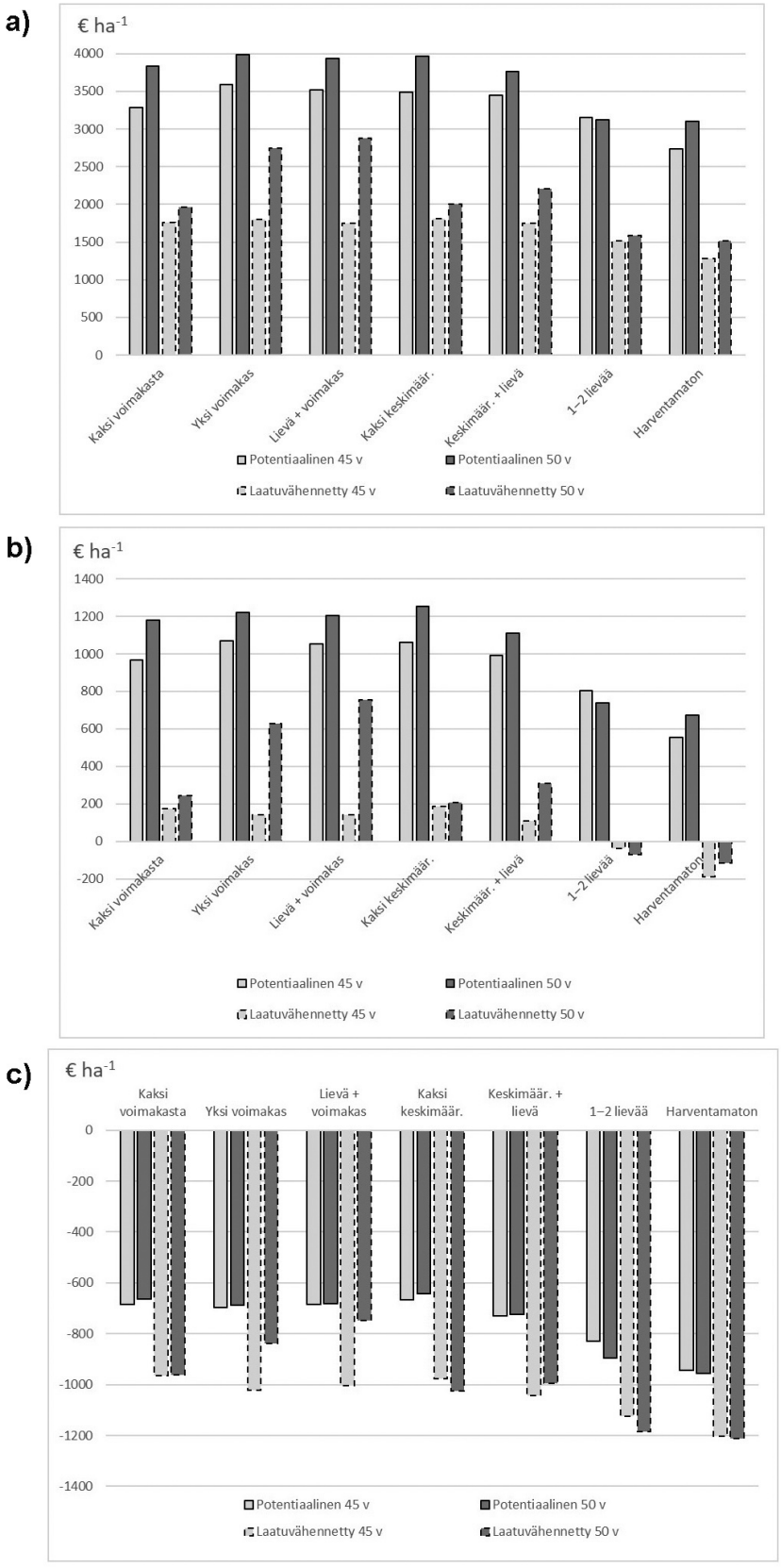
Laatuvähennykset, etenkin vaneritukin tuotokseen tehdyt tukkivähennykset vaikuttivat suuresti koivikon nettotulojen nykyarvoihin (Malli 8, Taulukko 4, Kuva 7). Kannattavin harvennusohjelma oli ”Lievä+voimakas”, vaikka ensiharvennusvaiheessa tehdystä lievästä harvennuksesta ei laskettu saatavan lainkaan kantorahatuloa, koska runkokoko ja kertymä jäivät pieniksi. Ero verrattuna yhden voimakkaan harvennuksen ohjelmaan ei kuitenkaan ollut merkitsevä. Muut voimakkaat tai keskimääräiset harvennusohjelmat jäivät puolestaan 620–770 € ha^{-1} (15–18 %) alemmaksi kuin kannattavin ohjelma. Lievästi harvennetun tai harventamattoman puuston nettotulojen nykyarvo jäi puolestaan noin 1200 € ha^{-1} (27 %) alle kannattavimman harvennusohjelman.

Pelto- ja metsämaiden nettotulojen nykyarvo laatuvähennykset huomioiden ei eronnut keskimääräisellä pituusboniteetilla, mutta sen ja maaluokan yhdysvaikutus oli merkitsevä (Malli 8, Taulukko 4). Metsämailla boniteetin kohoaminen yhdellä metrillä lisäsi nettotulojen nykyarvoa 200–500 € ha^{-1} ja peltomaalla 0–300 € ha^{-1}, eniten matalilla boniteeteilla ja vähiten viljavimmilla kasvupaikoilla. Tästä syystä rauduskoivikon kasvatus metsämaan parhaalla pituusboniteetilla H_{50} = 31 näyttäisi olevan 22 % kannattavampaa kuin vastaavalla peltomaan boniteetilla. Aineiston toisessa ääripäässä, pituusboniteetilla H_{50} = 23 m rauduskoivikon kasvatus kannattaa tämän mukaan metsämaalla 26 % vastaavaa peltomaata huonommin. Yläharvennuksella ei ollut tässäkään tapauksessa vaikutusta kannattavuuteen. Voimakas väljennys 40 vuoden iässä tehtynä ei vaikuttanut nettotulojen nykyarvoon, mutta 45 vuoden iässä tehtynä se alensi kannattavuutta 400 € ha^{-1}, kun aikaa laskennalliseen päätehakkuuseen oli enää vain viisi vuotta.

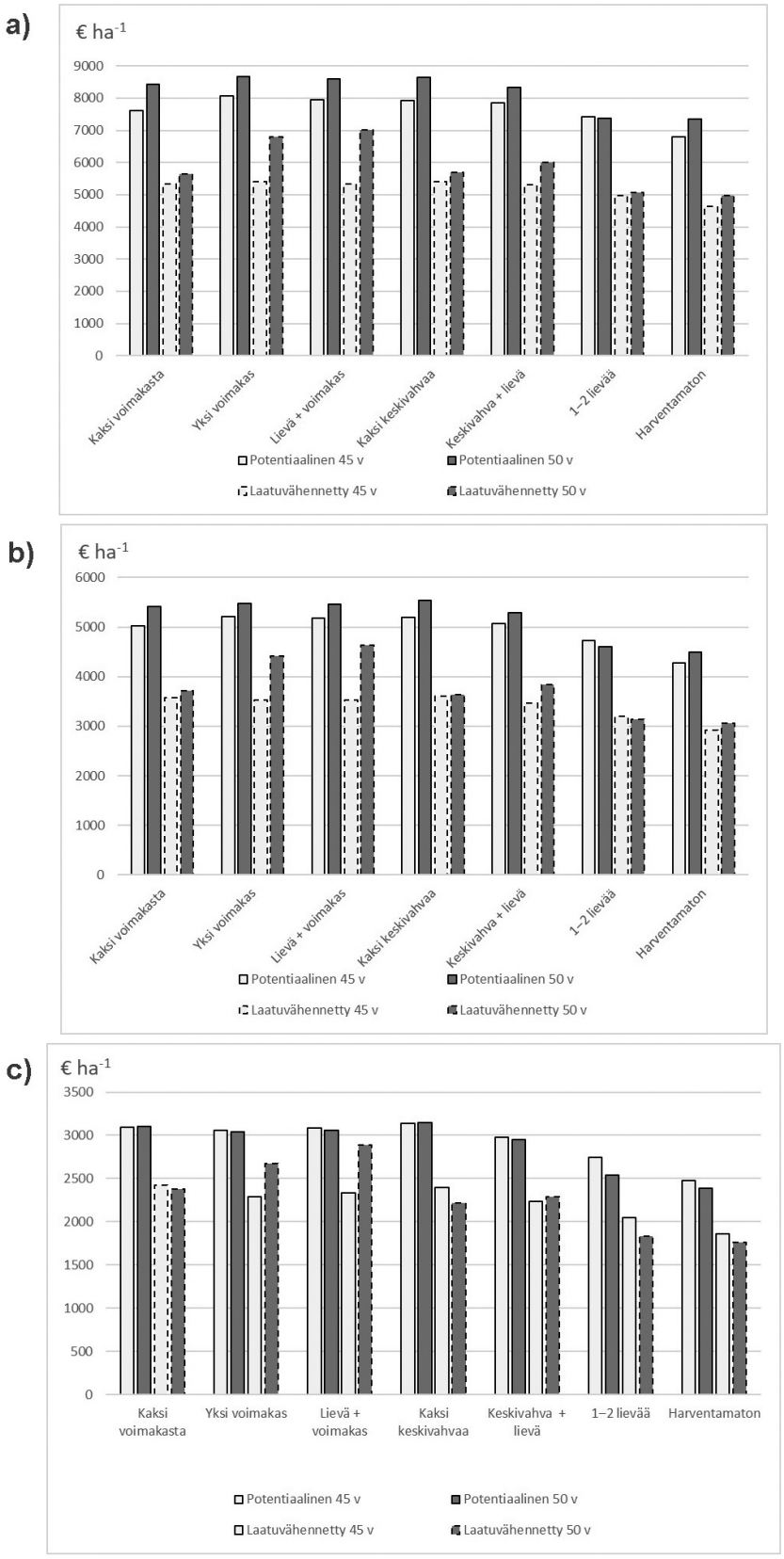
Kiertoajan ja laatuvähennyksen vaikutuksia harvennusohjelmien kannattavuuteen tutkittiin kolmella korkotasolla: 2, 3 ja 5 %. Ensin laadittiin nykyisen kiertoajan nettotulojen nykyarvoille taulukon 4 kaltaiset mallit myös 2 ja 5 % korkotasoilla. Sen jälkeen nettotulojen nykyarvoihin lisättiin tulevien kiertoaikojen vaikutus vastaavina paljaan maan arvoina diskontattuna 45 ja 50 vuoden kiertoaikojen lopusta (= PMA seuraavan kiertoajan alussa, Kuva 8) ensiharvennuksen ajankohtaan eli 20 v ikään (kannattavuuskriteeri NNA+PMA, Kuva 9). Paljaan maan arvo oli negatiivinen kaikissa harvennusohjelmissa 5 % korolla ja tiheimmissä puustoissa myös 3 % korolla. Negatiivinen PMA merkittiin nollaksi.

Voimakkaasti tai keskivahvasti harvennettujen puustojen kannattavuuskriteeri NNA+PMA oli ilman laatuvähennystä 50 vuoden kiertoajalla 2 % korolla keskimäärin 8526 € ha^{-1}, 3 % korolla keskimäärin 5435 € ha^{-1} ja 5 % korolla 3058 € ha^{-1} (Kuva 9). Lievästi harvennettujen ja harventamattomien puustojen kannattavuus oli vastaavilla korkotasoilla 14, 16 ja 20 % alempi. Harvennusohjelmien kannattavuusjärjestys ei muuttunut korkotason vaihtuessa, mutta kun puutavaran saantoon tehtiin laatuvähennys, voimakkaita harvennuksia sisältävien harvennusohjelmien suhteellinen kannattavuus parani korkotason noustessa. Sitä vastoin harventamattoman puuston kannattavuus heikkeni muihin käsittelyihin verrattuna koron noustessa.

Kiertoajan pidentäminen 45:stä 50 vuoteen kohotti 2 % ja 3 % koroilla laskettuja kannattavuuksia lähes kaikissa harvennusohjelmissa silloin, kun puutavaralajien kertymiin ei tehty laatuvähennystä (Kuva 9). Korkeammalla 5 % korolla eroa ei ollut lukuun ottamatta tiheimpiä puustoja, joissa lyhyempi kiertoaika oli kannattavampi. Laatuvähennykset huomioiden 50 vuoden kiertoaika oli selvästi kannattavampi harvennusohjelmissa ”Yksi voimakas” ja ”Lievä+voimakas” ja myös ohjelmassa ”Keskivahva+lievä”. Muissa harvennusohjelmissa ei ollut eroa 45 ja 50 vuoden kiertoaikojen kannattavuudessa korkotasosta riippumatta lukuun ottamatta tiheimpiä puustoja, joissa korkea korko suosi lyhyempää kiertoaikaa.



Kuva 8. Koivikon uudistamishetkeen korkotasoilla 2% (a), 3% (b) ja 5% (c) lasketut paljaan maan arvon estimaatit tuleville 45 ja 50 vuoden kiertoajoille harvennusohjelmittain metsä- ja peltomaiden keskiarvona aineiston keskimääräisellä pituusboniteetilla H_{50} = 27,2 m. Vaneritukin ja kuitupuun tuotokset laskettiin pelkästään runkojen dimensioiden perusteella (Potentiaalinen) tai niihin tehtiin Niemistön ja Hallikaisen (2021) mukaiset tukki- ja ainespuuvähennykset (= Laatuvähennetty).



Kuva 9. Koivikon ensiharvennuksen ajankohtaan (ikä 20 v) korkotasoilla 2% (a), 3% (b) ja 5% (c) lasketut nettotulojen nykyarvon ja paljaan maan arvon summan estimaatit harvennusohjelmittain metsä- ja peltomaiden keskiarvona aineiston keskimääräisellä pituusboniteetilla H_{50}= 27,2 m. Puusto kasvatettiin vaihtoehtoisesti 45 ja 50 vuoden ikään. Vaneritukin ja kuitupuun tuotokset laskettiin pelkästään runkojen dimensioiden perusteella (Potentiaalinen) tai niihin tehtiin Niemistön ja Hallikaisen (2021) mukaiset tukki- ja ainespuuvähennykset (= Laatuvähennetty).

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Tutkimusaineiston edustavuus

Harvennushakkuiden voimakkuuden, sekä niiden ajankohdan ja lukumäärän vaikutuksia tutkittiin suomalaisissa rauduskoivikoissa, jotka oli istutettu avojuuritaimilla 1970-luvulla. 30 vuoden empiirinen tutkimusjakso ensiharvennuksesta alkaen oli riittävän pitkä puuntuotoksen ja metsänkasvatuksen kannattavuuden selvittämiseksi istutuskoivikon taloudellisen kiertoajan puitteissa. Rauduskoivu on kasvupaikan suhteen melko vaatelias puulaji niin kasvun kuin runkojen teknisen laadun suhteen (Fries 1964; Oikarinen 1983; Niemistö ym. 1997; Hynynen ym. 2010). Ensiharvennusvaiheessa (valtapituus 12–15 m) koemetsiköiksi valitut mahdollisimman homogeeniset metsiköt edustavat hyvin onnistuneita ja kasvupaikaltaan rauduskoivulle sopivia istutuskoivikoita kivennäismaan pelloilla ja MT- tai OMT-tyypin metsämailla.

Myöhemmin, 1980-luvulta lähtien, koivua on istutettu pitemmälle jalostetulla viljelymateriaalilla paakkutaimina, joiden kasvu ja kehitys on todennäköisesti nopeampi ja tekninen laatu parempi kuin tämän tutkimuksen aineistossa. Lisäksi koivunviljelyn alkuvuosina kohdatut hirvi-, myyrä-, hyönteis- ym. tuhot ja virheelliset kasvupaikkavalinnat ovat ohjanneet koivunviljelyä kohteille, joissa istutuksen onnistuminen ja tasaisen täystiheän puuston kehitys on ollut todennäköisempää kuin 1970-luvun istutuksilla. Samalla tuhojen torjuntaa on kehitetty. Koemetsiköiksi valikoituneet keskimääräistä paremmat 1970-luvun istutuskoivikot voivatkin näin ollen edustaa teknisen laadun ja puuston rakenteen puolesta varsin hyvin myöhemmin istutettuja koivikoita sillä erotuksella, että puuston kasvu ja kehitys on ilmeisesti nopeutunut parantuneen taimituotannon, viljelytekniikan ja geeniperimän ansiosta. Samassa kehitysvaiheessa tehtyjen harvennusten kasvu- ja tuotosvaikutuksiin ei taimilajilla eikä jalostuksella ole todennäköisesti vaikutusta. Sitä vastoin iän suhteen harvennukset ilmeisesti aikaistuvat ja edullisin kiertoaika voi olla lyhyempi 1970-luvun jälkeen istutetuissa koivikoissa. Leen ym. (2026) mukaan 1987–2005 istutetuissa rauduskoivikoissa uudemmalla jalostetulla taimimateriaalilla saavutettu lisäys valtapituuden kehityksessä vastaa 1,95 metrin korotusta pituusboniteetissa H_{50} ja ensiharvennuksen aikaistumista 1–2 vuodella.

Puutavaralajien tuotos 50 vuoden kasvatusajalla laskettiin kahdella tavalla, ilman tuotokseen tehtyä laatuvähennystä ja vähennettynä ainespuu- ja tukkivähennysmalleilla (Niemistö ja Hallikainen 2021), jotka perustuvat nykyisin uudistuskypsiin, 1970-luvulla istutettuihin koivikoihin. Yllä mainituista syistä tutkimusaineistoa myöhemmin istutetut rauduskoivut voivat olla tekniseltä laadultaan parempia, mutta eivät kuitenkaan täydellisiä. Kun arvioidaan harvennusten vaikutuksia 1970-luvun jälkeen istutetuissa koivikoissa, tukin ja kuitupuun tuotos sekä taloudellinen kannattavuus ovat todennäköisesti kahden em. laskentatavan välissä.

4.2 Puuntuotos

Ainespuun tuotos väheni harvennusvoimakkuuden lisääntyessä. Ilman myöhäistä väljennystä ainespuukokoisen puutavaran tuotos 50 vuoden kiertoajassa oli suurin, keskimäärin 360 $m^3\ ha^{-1}$, harvennusohjelmassa ”Keskivahva+lievä” eroamatta kuitenkaan merkitsevästi lievästi harvennetuista tai harventamattomista koivikoista (Kuva 4, Mallit 1 ja 2). Pienin ainespuun tuotos oli kahdella voimakkaalla harvennuksella, keskimäärin 313 $m^3\ ha^{-1}$. Muihin tutkittuihin harvennusohjelmiin verrattuna edellinen oli keskimäärin 6,6 % korkeampi ja jälkimmäinen 9,3 % alempi.

Laatuvähennys (Niemistö ja Hallikainen 2021) alensi ainespuun tuotosta 6–8 % maksimaalisesta ja pienensi hieman harventamisen vaikutusta ainespuun tuotokseen. Vaikutukset johtuivat osittain siitä, että laatuvähennysmallit perustuvat hakkuudataan, jossa koivukuitupuu katkottiin vapaapituisen sijasta 3 m määrämittaan, mikä pienensi kuitupuun saantoa etenkin tiheissä puustoissa.

Pituusboniteetti vaikutti ainespuun tuotokseen voimakkaammin matalilla boniteeteilla kuin korkeilla, erityisesti metsämailla. Aineiston alimmilla pituusboniteeteilla peltomaat tuottivat selvästi metsämaita enemmän, mutta korkeimmilla boniteeteilla maaluokkien ero oli lievästi päinvastainen. Syynä saattaa olla pienipiirteinen viljavuusvaihtelu, joka voi olla karummilla metsämailla suurempaa kuin viljavilla metsämailla. Isoimmat puut kasvavat edullisimmilla pienkasvupaikoilla, jolloin niihin perustuva valtapituus voi antaa todellista paremman käsityksen metsikkötason tuotoskyvystä.

Myöhäinen väljennys vaikutti ainespuutuotokseen vaihtelevasti pienessä osa-aineistossa, mistä syystä vaikutukset eivät olleet merkitseviä. Niemistön ja Huuskosen (2025) mukaan väljennykset pienensivät tilavuuskasvua tässä samassa aineistossa, joten todennäköisesti ne vähentävät myös ainespuutuotosta. Toisen harvennuskerran varovaisilla yläharvennuksilla ei ollut vaikutusta ainespuutuotokseen.

Runkojen dimensioihin perustuva potentiaalinen vaneritukin tuotos lisääntyi johdonmukaisesti harvennusvoimakkuuden voimistuessa lukuun ottamatta kahden voimakkaan harvennuksen ohjelmaa, jossa molemmat harvennukset pudottivat pohjapinta-alan selvästi käytännön harvennussuositusten alapuolelle (Tapio 2024; Kuva 2). Sen sijaan ensiharvennusvaiheessa tehty yksi ja ainut voimakas harvennus tuotti aineiston korkeimman potentiaalisen tukkisadon, 180 m^3 ha^{-1} (Kuva 5; Malli 3). Nämä tulokset pätevät erittäin hyvälaatuisissa koivikoissa, joissa runkojen laatuun perustuva tukkivähennys on vähäinen.

Potentiaalinen vaneritukin tuotos ilman laatuvähennystä oli korkein voimakkailla harvennuksilla. Harvennusohjelma ”Yksi voimakas” tuotti keskimäärin 188,5 m^3 ha^{-1} 50 vuodessa, mutta ero muihin voimakkaan harventamisen tai kahden keskivahvan harvennuksen ohjelmiin ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0{,}11$). Harventamaton ja lievästi harvennettu koivikko tuotti tukkikoista puuta vähiten. Harventamaton keskimäärin 122 m^3 ha^{-1} ja lievästi harvennettu 134 m^3 ha^{-1}, mikä on 32 % ja 26 % vähemmän verrattuna voimakkaasti harvennettuihin koivikoihin.

Tukkivähennys (Niemistö ja Hallikainen 2021) vähensi vaneritukin tuotosta sitä enemmän, mitä tiheämpänä koivikko oli kasvanut ja mitä ohuempia tukkikoiset rungot olivat. Voimakkaita harvennuksia sisältäneissä harvennusohjelmissa tukkivähennys oli 50–54 % runkojen dimensioihin perustuvasta potentiaalisesta tukkituotoksesta. Kyseiset kolme ohjelmaa tuottivat 50 vuodessa vaneritukkilaatuista puutavaraa saman verran, noin 95 m^3 ha^{-1} (Kuva 5; Malli 4). Keskivahvasti tai lievästi harvennetuissa puustoissa tukkivähennys oli suurempi 57 %. Harventamattomissa koivikoissa se oli peräti 62 %, jolloin vaneritukkilaatuista puuta kertyi alle 50 m^3 ha^{-1}.

Päätehakkuisiin perustuvia laatuvähennysmalleja sovellettiin myös harvennuksissa poistettuihin puihin, jotka olivat päätehakkuupuustoa pienempiä ja todennäköisesti laadultaan huonompia. Kuitupuukertymän osalta tämä koski kaikkia harvennuksia ja vaneritukin osalta ensiharvennuksen jälkeisiä harvennuksia. Virhe arvioidaan kuitenkin vähäiseksi, koska Niemistön ja Hallikaisen (2021) aineistossa pienimmät puut painottuivat tiheisiin puustoihin, joissa huonolaatuisetkin puut olivat vielä mukana. Harvennusvalinnassa poistettiin ensisijaisesti huonolaatuisia ja harvennuksen voimistuessa myös parempilaatuisia puita. Siksi laatuvähennyksen mahdollinen aliarvio oli lievissä harvennuksissa suurempi kuin voimakkaissa, mikä osaltaan heikentäisi lievien harvennusten kannattavuutta verrattuna voimakkaisiin.

Aikaisempia kiertoajan mittaisia tuotostuloksia on niukasti istutetuista rauduskoivikoista. Oikarisen (1983) tutkimuksessa tämän tutkimuksen keskiarvoa vastaavalla pituusboniteetilla $H_{50} = 27$ m, kahden harvennuksen ohjelmalla ja 50 vuoden kiertoajalla korkein ainespuun tuotos oli 6 % tämän tutkimuksen vastaavaa tuotosta suurempi. Oikarisen tutkimuksessa dimensioihin perustuva vaneritukin tuotos oli vastaavasti 23 % tätä tutkimusta suurempi. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden tuotoksesta Suomessa ja naapurimaissa on olemassa useita tutkimuksia (Koivisto 1959; Fries 1964; Braastad 1967, 1977), mutta niiden vastaavuus nykyisiin istutuskoivikoihin on heikko.

Ensiharvennusta suositellaan rauduskoivikkoon 13–14 metrin valtapituusvaiheessa, kun pohjapinta-ala ylittää 15 m^2 ha^{-1}. Tässä kehitysvaiheessa täystiheän koivikon (1600 kpl ha^{-1} tai enemmän) hyvin voimakas harventaminen lisää lumi- ja tuulituhon riskiä. Yhden hyvin voimakkaan harvennushakkuun ohjelma edellyttäisi ilmeisesti em. harvempaa puustoa, koska latvussuhde on pudonnut 60 prosenttiin eikä säily yhdellä voimakkaalla harvennuksella kiertoajan loppuun 50 prosentin yläpuolella (Niemistö ja Huuskonen 2025). Taimikkovaiheen tiheyttä ei voida pienentää lisääntyvän oksikkuuden ja vähenevän laatuvalinnan vuoksi (Niemistö 1995a, 1995b; Mäkinen ym. 2003). Näin ollen yhden hyvin voimakkaan ainespuuharvennuksen ohjelmaan voitaisiin tähdätä turvallisesti nuoren rauduskoivikon tavallista aikaisemmalla harventamisella, joka olisi myöhäinen taimikonharvennus tai nuoren metsän hoito energiapuuharvennuksena.

4.3 Kiertoaika ja kannattavuus

Kiertoajoista 50 vuoden kasvatusaika oli 2 % ja 3 % korolla edullisempi kuin 45 vuotta. Sen sijaan 5 % korolla em. kiertoajat olivat yhtä kannattavia lukuun ottamatta lievästi harvennettuja tai harventamattomia koivikoita, joissa 45 vuoden kasvatusaika oli puiden kuolleisuuden vuoksi edullisempi. Runkojen laadun huomioiminen laatuvähennysmalleilla (Niemistö ja Hallikainen 2021) muutti kiertoaikojen edullisuutta vain siltä osin, että 50 vuoden kasvatusajan paremmuus korostui yhden voimakkaan ja ”Lievän+voimakkaan” harvennuksen ohjelmissa korkokannasta riippumatta. Toisaalta laatuvähennyksen huomioiminen suosi lyhyempää kiertoaikaa 5 % korolla myös kahden voimakkaan ja kahden keskivahvan harvennuksen ohjelmissa, ei ainoastaan lievästi harvennetuissa tai harventamattomissa puustoissa.

Aineistosta johtuen yli 50 vuoden kiertoaikoja ei tutkittu, mutta pieniksi havaitut kannattavuuserot 45 ja 50 vuoden pituisten kiertoaikojen välillä ja selvästi tässä iässä lisääntynyt kuolleisuus osoittavat, ettei istutuskoivikon pitemmälle kiertoajalle ole taloudellisia perusteita. Tutkimusaineistossa koivikko saavutti 50 vuodessa suurimmillaankin keskimäärin 25,4 cm keskiläpimitan (Kuva 3) harvennusohjelmalla ”Kaksi voimakasta”. Tapion (2024) uudistamissuositusten, mukaan koivikko ei olisi tällöin vielä uudistuskypsä. Suositusten mukaan pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta uudistettavassa rauduskoivikossa pitäisi olla Väli-Suomessa lehtomaisilla kankailla 27–30 cm ja tuoreilla kankailla 26–28 cm. Tällaiseen keskijäreyteen ei tässä tutkimuksessa päästy 50 vuoden kiertoajalla voimakkaimmallakaan käsittelyllä, joka osoittautui taloudellisesti liian voimakkaaksi.

Harvennusohjelmia vertailtaessa paras taloudellinen kannattavuus saavutettiin 50 vuoden kiertoajalla. Kun puutavaralajien tuotokseen ei tehty laatuvähennystä, eivät keskivahvoja tai voimakkaita harvennuksia sisältäneiden harvennusohjelmien keskinäiset kannattavuuserot olleet merkitseviä, laskentakorosta riippumatta. Kaikkein paras kannattavuus, tosin vain pienellä erolla, saavutettiin kahdella keskivahvalla harvennuksella, ja 2 % korolla myös yhdellä voimakkaalla harvennuksella. Sen sijaan lievästi harvennetun tai harventamattoman koivikon kannattavuus oli keskimäärin 12–20 % muita harvennusohjelmia alempi, kun käytettiin 2–5 % korkoa.

Puutavaralajien tuotokseen tehty laatuvähennys aiheutti selvän kannattavuuseron voimakkaita harvennuksia sisältäneiden harvennusohjelmien eduksi verrattuna keskivahvoja harvennuksia sisältäneisiin ohjelmiin. Syynä oli lisääntynyt järeytyminen ja laatuvalinta voimakkaissa harvennuksissa. Harvennusohjelma ”Lievä+voimakas” oli 18–28 % keskivahvaa harventamista kannattavampi 2–5 % koroilla, vaikka lievän ensiharvennuksen ei laskettu tuottavan lainkaan tuloa. Yhden voimakkaan harvennuksen paremmuus oli vastaavasti 16–19 %. Kahden voimakkaan harvennuksen ohjelma ei kuitenkaan ollut keskivahvaa harventamista kannattavampaa, koska se alensi ainespuun tuotosta.

Käytännön harvennusohjeet perustuvat Suomessa Tapion harvennusmalleihin. Mallien mukainen harvennustarveraja täyttyi hyvin tutkimusaineiston ensiharvennuksissa, mutta myöhemmissä harvennuksissa se olisi alittunut lievimmilläkin käsittelyillä aina 35–40 vuoden ikään saakka. Tutkimuksen voimakkaimpien harvennusten jälkeinen pohjapinta-ala jäi noin 2 m^2 ha^{-1} harvennusmallin suositusta pienemmäksi. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella nuorissa, 20–25-vuotiaissa koivikoissa tämä alitus ei heikentänyt puuntuotosta eikä kannattavuutta, mutta varttuneemmissa koivikoissa sen kielteinen vaikutus oli selvä.

Rauduskoivikon uudistamishetkeen 5 % korkokannalla laskettujen negatiivisten paljaan maan arvojen perusteella näyttää siltä, ettei koivikoksi uudistaminen istuttamalla olisi kannattavaa näin korkealla korkovaatimuksella. Jalostusasteeltaan ja taimilajiltaan kehittyneempi taimimateriaali parantaa kuitenkin koivun istutuksen kannattavuutta. Lisäksi maan arvon laskentaan sisältyi taimikon varhaisperkauksen kustannus (500 € ha^{-1}), jota ei yleensä tarvita ensimmäiselle koivusukupolvelle, mutta todennäköisesti se tarvitaan vesakon takia, jos koivikko uudistetaan koivikoksi. Mahdollista ennakkoraivauksen tai hakkuualan raivauksen kustannusta ei huomioitu, koska niiden tarve vaihtelee kohteittain eikä tietopohja riitä esimerkiksi kasvupaikan tai metsänkäsittelyn vaikutusten arviointiin raivaustarpeen suhteen. Lyhyempi kiertoaika aikaistaisi raivauskustannuksia alentaen sen kannattavuutta pitempään kiertoaikaan verrattuna. Negatiivisen maan arvon merkitseminen nollaksi lopullista kannattavuuskriteeriä NNA+PMA laskettaessa oli perusteltua myös siksi, että seuraava puusukupolvi voi syntyä luontaisesti tai olla muuta puulajia kuin koivua.

4.4 Mittavaatimusten ja kantohintojen vaikutukset

Puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimukset muuttuvat ja vaihtelevat käytännössä. Tulokset on laskettu vaneritukin minimilatvaläpimitalla 18 cm, mutta useissa käytännön tilanteissa minimi voi olla nykyisin 20 cm. Tämä luonnollisesti pienentää tukkisaantoa ja suosii voimakkaampaa harventamista. Kuitupuun minimiläpimittaa on puolestaan pienennetty, mikä kohottaa vähän niin harvennushakkuiden kuin toisaalta harventamattoman puuston päätehakkuun tuottoja, joten vaikutus eri harvennusohjelmien välisiin kannattavuuseroihin ei todennäköisesti ole merkittävä.

Puukaupassa kantohinta voi olla voimakkaassa harvennuksessa hieman korkeampi kuin lievässä harvennuksessa, kun kertymä ja rungon koko ovat suuremmat. Tätä ei laskelmissa huomioitu lukuun ottamatta lievää ensiharvennusta, jota pidettiin metsänhoidollisena toimenpiteenä, jossa hakkuun kustannukset ja tulot kompensoivat toisensa. Esitettyihin tuloksiin verrattuna harvennusvoimakkuuden mahdollinen vaikutus kantohintaan parantaisi hieman kannattavuutta voimakkaita harvennuksia sisältävissä harvennusohjelmissa, etenkin kahdella voimakkaalla harvennuksella. Vastaavasti varttuneen metsän lievästä harventamisesta tulisi vähemmän kannattavaa.

Tutkimuksessa käytetyt kantohinnat ovat vuosien 2017–2021 keskiarvoja, joissa ei ole huomioitu aivan viime vuosina tapahtunutta hintojen nousua ja sen jälkeistä laskua. Laskennassa käytetyillä hinnoilla kuitupuun kantohinta on päätehakkuussa ja myöhemmissä harvennuksissa 40 % vaneritukin kantohinnasta. Vuoden 2024 tilastoissa vastaava prosentti on ollut päätehakkuissa 49 % ja harvennuksissa 52 % (Luonnonvarakeskus 2025), koska kuitupuun hinta on kohonnut suhteellisesti vaneritukkia enemmän. Kun kuitupuun tuotos oli korkein lievästi harvennetuissa ja harventamattomissa koivikoissa, hintamuutos parantaisi näiden kannattavuutta verrattuna voimakkaasti harvennettuihin, mikäli hintasuhteen muutos olisi pysyvä. Myöhäisiä väljennyksiä ei hintasuhteen muutos suosi, koska niiden tarkoitus on lisätä tukkipuun saantoa jo väljennyksessä ja järeyttää päätehakkuupuustoa.

Em. hintasuhteen muutoksen vaikutus hakkuutuloihin olisi suurempi silloin, kun laatuvähennys huomioidaan, mutta harvennusohjelmien välisiä suhteellisia eroja laatuvähennys ei juurikaan

suurenna. Kuitu- ja tukkipuun hintasuhteen 40/100 muutos suhteeksi 50/100 kohottaisi lievästi harvennettujen tai harventamattomien puustojen suhteellisia tuloja 3–5 %-yksikköä verrattuna voimakkaiden harvennusten ohjelmiin (laskettu kuvien 5 ja 6 aineistosta). Vastaava kannattavuusero 50 vuoden kiertoajalla oli kuitenkin voimakkaiden harvennusohjelmien hyväksi 2 % korolla 15–25, 3 % korolla 20–30 ja 5 % korolla 30–40 %-yksikköä (laskettu kuvan 9 aineistosta), joten em. hintasuhteen muutos ei riitä muuttamaan lievästi harvennettuja ja harventamattomia koivikoita taloudellisesti kilpailukykyisiksi. Keskivahvasti harvennettujen koivikoiden suhteelliset tulot lisääntyivät em. hintasuhteen muutoksella 2,5 %-yksikköä verrattuna voimakkaasti harvennettuihin, jolloin keskivahvan harventamisen kannattavuus kohoaisi voimakasta harventamista paremmaksi, mutta vain laadultaan erinomaisissa koivikoissa.

5 Johtopäätökset

Ainespuun tuotos oli suurin harventamattomissa tai lievästi harvennetuissa rauduskoivikoissa, mutta niiden taloudellinen kannattavuus jäi muita harvennusohjelmia heikommaksi. Ensiharvennus kannatti voimakkaana tai keskivahvana, koska se nopeutti puuston järeytymistä ja lisäsi tukkipuun tuotosta. Sen sijaan myöhemmät voimakkaat harvennukset vähensivät sekä puuntuotosta että taloudellista kannattavuutta. Poikkeuksena oli voimakas harvennus, joka tehtiin jo viisi vuotta lievän metsänhoidollisen ensiharvennuksen jälkeen: se lisäsi tukkipuun tuotosta ja paransi kannattavuutta. Riittävän varhainen ensiharvennus on tärkeä rauduskoivikossa, koska latvuksiltaan elinvoimaista puustoa on mahdollista harventaa voimakkaasti myös myöhemmin.

Harvennusohjelmien kannattavuus riippui myös puuston ulkoisesta laadusta. Kun tukkipuun tuotokseen ei tehty laatuvähennystä, 20 ja 30 vuoden iässä voimakkaasti tai keskivahvasti harvennettujen koivikoiden taloudellisessa kannattavuudessa ei ollut eroja. Sen sijaan laadultaan keskimääräisissä koivikoissa kannattavimmiksi osoittautuivat yksi voimakas ensiharvennus sekä erityisesti ohjelma, jossa lievää ensiharvennusta seurasi pian voimakas harvennus. Näissä harvennusohjelmissa tehostunut laatuvalinta ja puuston suurempi järeys paransivat tukkisaantoa päätehakkuussa.

Tässä tutkimuksessa ei ollut mukana alle 12 metrin valtapituudessa harvennettuja rauduskoivikoita. Siksi tarvitaan lisätutkimusta myöhäisestä taimikonharvennuksesta tai energiapuuharvennuksesta noin 10–12 metrin valtapituudessa. Sen jälkeen yksi ja ainoa voimakas ainespuuharvennus olisi turvallinen ja tuottoisa noin 14–16 m valtapituudessa. Toinen tutkimustarve koskee nuorempien, paakkutaimilla istutettujen ja pidemmälle jalostettujen rauduskoivikoiden teknistä laatua ja kehitysnopeutta verrattuna 1970-luvulla tai aikaisemmin istutettuihin koivikoihin. Myös rauduskoivun roolia ja kasvua yksi- ja kaksijaksoisissa sekametsissä pitäisi tutkia enemmän.

Liitetiedostot

Metatietolomake.pdf, saatavissa osoitteessa https://doi.org/10.14214/ma.26007.

Rahoitus ja datan saatavuus

Kokeiden perustaminen, ylläpito, mittaukset ja tulosten laskenta ja analysointi on tehty kokonaan Metsäntutkimuslaitoksen ja vuodesta 2014 lähtien Luonnonvarakeskuksen budjettirahoituksella ja kulloinkin meneillään olleissa projekteissa, viimeisimpänä Koivu-PPP_TP2_rauduskoivun

kasvatus (41007 00279102). Koeaineiston kuvaus on vapaasti saatavissa ja aineisto on rajoitetusti saatavilla tutkimuskäyttöön Luonnonvarakeskuksen kirjaamosta. Aineiston luovuttamisesta tehdään sopimus ja ohjeet sen pyytämiseen löytyvät osoitteesta: https://www.luke.fi/fi/tietoa-lukesta/asiakirjajulkisuus-ja-tietopyynnot#tietopyynnon-toimittaminen-ja-kasittely.

Kirjoittajien roolit

Kirjoittajat ovat yhdessä vastanneet tutkimuksen suunnittelusta ja tutkimusraportin laadinnasta. Niemistö on vastannut kokeiden perustamisesta, seurannasta ja puustomittauksista sekä laskenut ja analysoinut tulokset yhdessä laaditun suunnitelman mukaan. Molemmat kirjoittajat ovat hyväksyneet artikkelin ja vastaavat sen laadusta.

Kiitokset

Kiitämme lämpimästi Luonnonvarakeskuksen kenttätyöntekijöitä kokeiden huolellisesta ja luotettavasta ylläpidosta, mittauksesta ja datan käsittelystä, heistä etenkin Eero Poutiaista, Timo Siitosta, Jaakko Miettistä ja Merja Uutelaa, joka on lisäksi tehnyt mittavan työn koedatojen viemisestä Luken DataPuu-tietokantaan.

Kirjallisuus

Agestam E (1985) En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 15. ISBN 915762528X.

Braastad H (1967) Produksjonstabeller for bjørk. Medd Norske Skogforsøksv 22: 265–365.

Braastad H (1977) Tilvekstmodellprogram for bjørk. Norsk Institutt for Skogforskning, Rapport 1/77.

Cameron A, Dunham R, Petty J (1995) The effects of heavy thinning on stem quality and timber properties of silver birch (*Betula pendula* Roth). Forestry 68: 275–285. https://doi.org/10.1093/forestry/68.3.275.

Carlsson D (1990) Economic optimization of forest management in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pendula*). Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsekonomi, Arbetsrapport 113.

Carlsson D (1995) Optimisation of even-age stand management, with an emphasis on mixed stand. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsekonomi, Rapport 114.

Dahlgren Lindman F (2022) Natural regeneration and management of birch. Doctoral thesis. Acta Univ Agric Suec 2022:54. https://doi.org/10.54612/a.4bujj1inqv.

Dahlgren Lidman F, Lundmark T, Sängstuvall L, Holmström E (2024) Birch distribution and changes in stand structure in Sweden's young forests. Scand J For Res. 39: 167–175. https://doi.org/10.1080/02827581.2024.2349520.

Dubois H, Verkasalo E, Claessens H (2020) Potential of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. Forests 11, article id 336. https://doi.org/10.3390/f11030336.

Dubois H, Claessens H, Ligot G (2021) Towards silviculture guidelines to produce large-sized silver birch (*Betula pendula* Roth) logs in Western Europe. Forests 12, article id 599. https://

doi.org/10.3390/f12050599.
Ekö PM (1985) A growth simulator for Swedish forests, based on data from the national forest survey. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Report 16.
Fahlvik N, Agestam E, Ekö PM, Lindén M (2011) Development of single-storied mixtures of Norway spruce and birch in Southern Sweden. Scand J For Res 26: 36–45. https://doi.org/10.1080/02827581.2011.564388.
Faustmann M (1849) Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare 36 Holzbestände für die Waldwirthscaft besitzen. Allg Forst- Jagdztg 15: 441–455.
Felton A, Nilsson U, Sonesson J, Felton AM, Roberge JM, Ranius T, Ahlström M, Bergh J, Björkman C, Boberg J, Drössler L, Fahlvik N, Gong P, Holmström E, Keskitalo ECH, Klapwijk MJ, Laudon H, Lundmark T, Niklasson M, Nordin A, Pettersson M, Stenlid J, Sténs A, Wallertz K (2016) Replacing monocultures with mixed-species stands: ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. Ambio 45: 124–139. https://doi.org/10.1007/s13280-015-0749-2.
Felton A, Belyazid S, Eggers J, Nordström E-M, Öhman K (2024) Climate change adaptation and mitigation strategies for production forests: trade-offs, synergies, and uncertainties in biodiversity and ecosystem services delivery in Northern Europe. Ambio 53: 1–16. https://doi.org/10.1007/s13280-023-01909-1.
Fries J (1964) Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. Stud For Suec 14. https://res.slu.se/id/publ/125215.
Haapanen M (2024) Realised genetic gains from past Finnish silver birch seed orchards. Silva Fenn 58, article id 23072. https://doi.org/10.14214/sf.23072.
Hallaksela AM, Niemistö P (1998) Stem discoloration of planted silver birch. Scand J For Res 13: 169–176. https://doi.org/10.1080/02827589809382973.
Heinonen J (1994) Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1369-7.
Heiskanen V (1957) Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Commun Inst For Fenn 48.6. http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171080.
Heiskanen V (1966) Tutkimuksia koivujen vikaisuuksista, niiden vaikutuksesta sorvaustulokseen sekä niiden huomioonottamisesta laatuluokituksesssa. Acta For Fenn 80. https://doi.org/10.14214/aff.7165.
Heräjärvi H (2001) Technical properties of mature birch (*Betula pendula* and *B. pubescens*) for saw milling in Finland. Silva Fenn 35: 469–485. https://doi.org/10.14214/sf.581.
Heräjärvi H (2002) Modelling of internal knot characteristics of mature Finnish *Betula pendula* and *Betula pubescens*. Julkaisussa: IUFRO Fourth Workshop, Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. Harrison Hot Springs, Canada, s. 85–93.
Huuskonen S, Domisch T, Finér L, Hantula J, Hynynen J, Matala J, Miina J, Neuvonen S, Nevalainen S, Niemistö P, Nikula A, Piri T, Siitonen J, Smolander A, Tonteri T, Uotila K, Viiri H (2021) What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? For Ecol Manag 479, article id 118558. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558.
Hynynen J, Niemistö P, Viherä-Aarnio A, Brunner A, Hein S, Velling P (2010) Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. Forestry 83: 103–119. https://doi.org/10.1093/forestry/cpp035.
Hytönen J, Saramäki J, Niemistö P (2014) Growth, stem quality and nutritional status of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in pure stands and mixtures. Scand J For Res 29: 1–11. https://doi.org/10.1080/02827581.2013.838300.

Kannisto K, Heräjärvi H (2006) Rauduskoivun pystykarsinta oksasaksilla – vaikutus puun laatuun ja taloudelliseentuottoon. Metsätieteen aikakauskirja 4/2006: 491–505. https://doi.org/10.14214/ma.6316.

Kellomäki S (2005) Metsäekologia. 3. uud. painos. Silva Carelica 7, Joensuun yliopisto. ISBN 952-458-635-5.

Kilpeläinen H, Lindblad J, Heräjärvi H, Verkasalo E (2011). Saw log recovery and stem quality of birch from thinnings in southern Finland. Silva Fenn 45: 267–282. https://doi.org/10.14214/sf.117.

Koivisto P (1959) Kasvu- ja tuottotaulukoita. Commun Inst For Fenn 59: 1–49. https://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171083.

Korhonen KT, Ahola A, Heikkinen J, Henttonen HM, Hotanen J-P, Ihalainen A, Melin M, Pitkänen J, Räty M, Sirviö M, Strandström M (2021) Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. Silva Fenn 55, article id 10662. https://doi.org/10.14214/sf.10662.

Kulju I, Niinistö T, Peltola A, Räty M, Sauvula-Seppälä T, Torvelainen J, Uotila E, Vaahtera E (2023) Metsätilastollinen vuosikirja 2022, Luonnonvarakeskus (Luke). https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-584-2.

Kuusela K (1990) The dynamics of boreal coniferous forests. Sitra 112. ISBN 9515632749, 9789515632746.

Laasasenaho J (1982) Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Commun Inst For Fenn 108. https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9.

Lee D, Siipilehto J, Miina J, Niemistö P, Haapanen M, Hynynen J, Huuskonen S (2024) Site index and stand characteristic models for silver birch plantations in southern and central Finland. For Ecol Manag 563, article id 121998. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121998.

Lee D, Miina J, Bianchi S, Siipilehto J, Haapanen M, Männistö L, Niemistö P, Huuskonen S, Mäkinen H (2026) Stand characteristic models for genetically improved and unimproved silver birch plantations in southern and central Finland. Scand J For Res 2026. https://doi.org/10.1080/02827581.2026.2732006.

Liziniewicz M, Barbeito I, Zvirgzdins A, Stener L-G, Niemistö P, Fahlvik N, Johansson U, Karlsson B, Nilsson U (2022) Production of genetically improved silver birch plantations in southern and central Sweden. Silva Fenn 56, article id 10512. https://doi.org/10.14214/sf.10512.

Luonnonvarakeskus (2023) Tilastopalvelut. https://www.luke.fi/fi/tilastot. Viitattu 31.1.2023.

Luonnonvarakeskus (2025) Tilastopalvelu. https://stat.luke.fi/. Viitattu 29.12.2025.

Luoranen J (2026) Field performance of small-sized silver birch seedlings planted in different planting dates. [Käsikirjoitus].

Mielikäinen K (1980) Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Commun Inst For Fenn 99.3. https://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171129.

Mielikäinen K (1985) Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun Inst For Fenn 133. https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0711-5.

Mustonen M (2016) Latvian metsäsektori. KIEMET – Keski- ja Itä-Euroopan metsätietopalvelu, Luonnonvarakeskus (Luke), Infokorttisarja 11. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021042311514.

Mäkinen H, Ojansuu R, Niemistö P (2003) Predicting external branch characteristics of planted silver birch (*Betula pendula* Roth) on the basis of routine stand and tree measurements. For Sci 49: 301–317. https://doi.org/10.1093/forestscience/49.2.301.

Niemistö P (1995a) Influence of initial spacing and row-to-row distance on the crown and branch properties and taper of silver birch (*Betula pendula*). Scand J For Res 10: 235–244. https://doi.org/10.1080/02827589509382889.

Niemistö P (1995b) Influence of initial spacing and row-to-row distance on the growth and yield of silver birch (*Betula pendula*). Scand J For Res 10: 245–255. https://doi.

org/10.1080/02827589509382890.
Niemistö P (1996) Yield and quality of planted silver birch (*Betula pendula*) in Finland – preliminary review. Norw J Agric Sci 24: 5–64.
Niemistö P (1997) Ensiharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus istutetun rauduskoivikon kasvuun ja tuotokseen. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 4/1997: 439–454. https://doi.org/10.14214/ma.6232.
Niemistö P (2002) Raudus- ja hieskoivun kasvatus puunkäytön kannalta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 45–56. https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1843-5.
Niemistö P (2008) Koivun uudistaminen. Koivikon kasvatus. Julkaisussa: Niemistö P, Viherä-Aarnio A, Velling P, Heräjärvi H, Verkasalo E (toim) Koivun kasvatus ja käyttö. Metsäntutkimuslaitos (Metla)/Metsäkustannus, s. 73–95 ja s. 96–136. ISBN 978-952-5694-12-3.
Niemistö P (2013) Effect of growing density on biomass and stem volume growth of downy birch stands on peatland in Western and Northern Finland. Silva Fenn 47, article id 1002. https://doi.org/10.14214/sf.1002.
Niemistö P, Hallikainen V (2021) Puutason mallit tukin ja ainespuun osuuksille istutettujen rauduskoivujen päätehakkuussa. Metsätieteen aikakauskirja, artikkelitunnus 10538. https://doi.org/10.14214/ma.10538.
Niemistö P, Huuskonen S (2025) Thinning silver birch stands in Finland: impacts on growth, yield and carbon dynamics. Trees For People 20, article id 100857. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100857.
Niemistö P, Korhonen K (2008) Koivuvarat ja kasvu. Julkaisussa: Niemistö P, Viherä-Aarnio A, Velling P, Heräjärvi H, Verkasalo E (toim) Koivun kasvatus ja käyttö. Metsäntutkimuslaitos (Metla)/Metsäkustannus, s. 175–181. ISBN 978-952-5694-12-3.
Niemistö P, Hukki P, Verkasalo E (1997) Kasvupaikan ja puuston tiheyden vaikutus rauduskoivun ulkoiseen laatuun 30-vuotiaissa istutuskoivikoissa. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 3/1997: 349–374. https://doi.org/10.14214/ma.6476.
Niemistö P, Korpunen H, Laurén A, Salomäki M, Uusitalo J (2012) Impact and productivity of harvesting while retaining young understorey spruces in final cutting of downy birch. Silva Fenn 46: 81–97. https://doi.org/10.14214/sf.67.
Niemistö P, Kilpeläinen H, Heräjärvi H (2019a) Effect of pruning season and tool on knot occlusion and stem discolouration in *Betula pendula* – situation five years after pruning. Silva Fenn 53, article id 10052. https://doi.org/10.14214/sf.10052.
Niemistö P, Kilpeläinen H, Heräjärvi H (2019b) Pystykarsinnan ajankohdan ja työmenetelmän vaikutukset rauduskoivun oksien kyljestymiseen ja rungon värivikoihin – tilanne 5–6 vuotta karsinnan jälkeen. Metsätieteen aikakauskirja, artikkelitunnus 10189. https://doi.org/10.14214/ma.10189.
Niemistö P, Korpunen H, Nuutinen Y (2024) Harvesting efficiency and understory damage with different cutting methods on two storied stands of silver birch and Norway spruce. Silva Fenn 58, article id 23065. https://doi.org/10.14214/sf.23065.
Näslund M (1936) Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Medd fr Statens skogsförsöksanstalt 29: 1–120. https://res.slu.se/id/publ/124955.
Oikarinen M (1983) Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Commun Inst For Fenn 113. http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0619-4.
Pikkarainen L, Luoranen J, Peltola H (2021) Early field performance of smal-sized silver birch and Scots pine container seedlings at different planting depths. Forests 12, article id 519. https://doi.org/10.3390/f12050519.
Raulo J (1978) Forestation chain for birch (*Betula pendula* Roth) in Finland. Silva Fenn 12: 17–24. https://doi.org/10.14214/sf.a14838.

Raulo J (1979) Suomen ensimmäinen laaja rauduskoivun viljelykokeilu. Teollisuuden metsäviesti 1: 18–19.
Raulo J (1981). Koivukirja. Gummerus. ISBN 9512021900.
Räty M (2021) Poiminta tietokannasta, Valtakunnan metsien inventointi 12.
Saksa T, Miina J, Uotila K (2021) Taimikonhoito, tavoitteet, menetelmät ja kustannukset. Luonnonvarakeskus (Luke)/Metsäkustannus. ISBN 978-952-338-094-3.
Siipilehto J (1998) Koivun kasvumallit ja niiden mukaiset tuotosennusteet. Julkaisussa: Niemistö P, Väärä T (toim) Rauduskoivu tänään ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 668: 85–102. https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1601-7.
Skogsstyrelsen (2025) Statistical database. https://www.skogsstyrelsen.se/en/statistics/statistical-database/. Viitattu 29.12.2025.
Sutela S,Ylioja T (toim) (2025) Metsätuhot vuonna 2024. Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 25/2025. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-045-9.
Tapio Oy (2024) Metsänhoitosuositukset. https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi. Viitattu 29.12.2025.
Tilastokeskus (2023) Suomen virallinen tilasto (SVT): kuluttajahintaindeksi. https://stat.fi/tilasto/khi. Viitattu 31.1.2023.
Uotila A, Kasanen R, Heliövaara K (2020) Metsätuhot. Metsäkustannus. ISBN 978-952-338-085-1.
Valkonen S (2000). Kuusen alikasvos ja kaksijaksoinen metsikkö – mahdollisuudet ja kannattavuus. Metsätieteen aikakauskirja 1/2000: 44–49. https://doi.org/10.14214/ma.6912.
Valkonen S, Valsta L (2000). Productivity and economics of two-storied spruce and birch stands in southern Finland simulated with empirical models. For Ecol Manag 140: 133–149. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00321-2.

75 viitettä.