



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 61/2020

## **Harvennustavan vaikutus koneellisen hakkuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvatettavaan puustoon nuorissa metsissä**

Kirjallisuuskatsaus

Yrjö Nuutinen, Timo Saksa & Veli-Matti Saarinen

# **Harvennustavan vaikutus koneellisen hakkuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvatettavaan puustoon nuorissa metsissä**

Kirjallisuuskatsaus

Yrjö Nuutinen, Timo Saksa & Veli-Matti Saarinen

Viittausohje:

Nuutinen, Y., Saksa, T. & Saarinen, V-M. 2020. Harvennustavan vaikutus koneellisen hakkuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvatettavaan puustoon nuorissa metsissä: kirjallisuuskatsaus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 26 s.

Yrjö Nuutinen, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-3360-4444>



ISBN 978-952-380-034-2 (Painettu)

ISBN 978-952-380-035-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-035-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Yrjö Nuutinen, Timo Saksa & Veli-Matti Saarinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisuvuosi: 2020

Kannen kuva: Yrjö Nuutinen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

# Tiivistelmä

Yrjö Nuutinen<sup>1</sup>, Timo Saksa<sup>1</sup> ja Veli-Matti Saarinen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), [www.luke.fi](http://www.luke.fi); <sup>2</sup>[www.hankasalmi.fi](http://www.hankasalmi.fi), [veli-matti.saarinen@hankasalmi.fi](mailto:veli-matti.saarinen@hankasalmi.fi)

Kirjallisuuskatsauksessa vertaillaan käytäväharvennuksen ja perinteisen valikoivan harvennuksen, vaikutuksia koneellisen hakkuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvamaan jätettävään puustoon. Käytäväharvennus on nuoren metsän hoito- ja puunkorjuumenetelmä, jossa puut kaadetaan ajourien välistä muutaman metrin levyisissä käytävissä jättäen käytävien väliset alueet käsittelemättä. Aineistoksi valittiin vuosilta 1980–2018 yhteensä 12 käytäväharvennusta ja valikoivaa harvennusta tarkastelevaa pohjoismaista tutkimusta. Energiapuumetsikön testihakkuussa käytäväharvennuksen tehotuntuottavuus oli 15 % suurempi valikoivaan harvennukseen verrattuna. Vastaavasti ensiharvennusemetsikön simuloinneissa käytäväharvennus oli 36–44 % tehokkaampi käytävien sijoittelusta riippuen. Simuloinneissa jatkuvan kaadon kaato-kasauslaitteen prototyyppi, joka kaataa ja kerää puut kerralla koko käytävän leveydeltä, tehosti käytäväharvennusta ja tuotti pienipuustoisissa energiapuumetsiköissä suurimmat kustannussäästöt verrattuna valikoivaan harvennukseen perinteisellä kaato-kasauslaitteella. Käytävien leventäminen yhdestä metristä kahteen metriin nopeutti käytäväharvennusta 3–10 % kaato-kasauslaitteen työtekniikasta riippuen. Käytäväharvennuksen parempaa tuottavuutta selitti kaato-kasauslaitteen nopeampi ja suoraviivaisempi liikuttelu käytävissä.

Hakkuun jälkeisissä seurantakoealamittauksissa valikoiva harvennus lisäsi puuston keskipituutta ja keskiläpimittaa noin 2 % käytäväharvennusta enemmän. Vastaavasti käytäväharvennuksen vuotuisen keskikasvun menetys verrattuna valikoivaan harvennukseen vaihteli 5–44 % metsiköiden rakenteesta riippuen. Käytännön testihakkuut ja pitkän ajan kasvun seurannan tulokset perustuvat pienehköön aineistoon, joten jatkotutkimukset työmenetelmän vaikutusten selvittämiseksi koneellisen korjuun ja puutuotannon kokonaiskannattavuuteen metsikön koko kiertoajalla ovat välttämättömiä. Tämän kirjallisuuskatsauksen tutkimuksiin perustuen käytäväharvennus on jatkotutkimisen ja -kehittämisen arvoisen hoito- ja korjuumenetelmä nuorten metsien ensimmäisessä harvennuksessa.

Asiasanat: Käytäväharvennus, ensiharvennus, koneellinen harvennus.

# Sisällys

<b>1. Johdanto</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Tiedonhaku-prosessi, ja tarkasteltavien tutkimusten valinta</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Yhteenveto käytäväharvennustutkimuksista</b> .....	<b>12</b>
3.1. Hakkuun tuottavuus, kustannukset ja teknologia.....	12
3.2. Puuston rakenne ja kehitys hakkuun jälkeen.....	18
<b>4. Johtopäätökset</b> .....	<b>21</b>



# 1. Johdanto

Suomen nuoria metsiä harvennetaan joka vuosi vähemmän kuin niiden metsänhoidollinen tarve edellyttäisi. Tämänhetkinen myöhässä olevien ensiharvennusten (800 000 ha) ja energiapuurunkoisten hoitamattomien nuorten metsien pinta-ala on yhteensä 1,2 miljoonaa hehtaaria (Luonnonvarakeskus 2019). Harvennuspuu on vajaakäytössä osittain sen takia, että ensimmäisessä harvennuksessa hakkuukoneen tuottavuus on liian alhainen ja kustannukset korkeat. Alhainen tuottavuus ja korkeat kustannukset johtuvat lukuisten tutkimusten mukaan pienestä rungon koosta (Kuitto ym. 1994, Sirén 1998, Ryyänen & Rönkkö 2001, Kärhä ym. 2004, Brunberg & Iwarsson-Wide 2013). Hakkuukoneen tuntikustannus on aina jokseenkin sama riippumatta poistettavien puiden koosta ja kun tuottavuus laskee puiden koon pienentyessä niin hakkuun tuntikustannus nousee (Belbo 2011). Ensiharvennuksen alhainen tuottavuus johtuu myös alhaisesta hehtaarikohtaisesta kertymästä. Usein nuorissa metsiköissä on hakkuuta haittaava tiheä alikasvos, jonka ennakkoraivaus aiheuttaa lisäkustannuksen. Toisaalta alikasvoksen raivaamattomuus aiheuttaa tuottavuuden laskua puunkorjuussa, erityisesti hakkuussa (Kärhä ym. 2001, Oikari ym. 2008). Nykyisellä perinteisellä valikoivalla harvennusmenetelmällä hakkuun osuus on nuoren metsän korjuun (hakkuu + metsäkuljetus) kustannuksista yli puolet (Kärhä ym. 2009).

Nuoren metsän tärkein metsänhoitotoimenpide on ensiharvennus, sillä sen ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat merkittävästi metsän jatkokehitykseen (Witzell ym. 2019). Käytännössä ensiharvennuksen oikeassa ajoituksessa joudutaan tekemään kompromissi hakkuukertymän, korjuukustannusten ja puuston latvusten elinvoiman säilymisen välillä. Perinteisesti metsikön ensimmäinen harvennus tehdään valikoivana harvennuksena, jossa valitaan poistettavat, pääosin pienimmät ja vioittuneet puut yksilöllisesti, ja jätetään riittävä määrä kasvatettavaa puustoa. Männikön ensiharvennuksessa käytetään usein mahdollisuuksien mukaan myös laatuharvennusta, jolloin myös huonolaatuisia isojakin runkoja poistetaan (Äijälä ym. 2019).

Puunkorjuun ja metsänhoidon rinnakkainen kehittäminen on Suomessa ollut systemaattista kehittämistoimintaa, jossa keskeisiä toimijoita ovat olleet tutkimusorganisaatiot, metsäyhtiöt, Metsähallitus, Suomen metsäkeskus sekä yksityiset laitteiden ja menetelmien kehittäjät. Puunkorjuuta on kehitetty pitkälle metsäteollisuuden raaka-ainesannin varmistamiseksi. Samalla myös metsänhoidon ohjeita on muutettu koneellista puunkorjuuta silmällä pitäen. Esimerkiksi hakkuukoneiden tullessa harvennusmetsiin vuonna 1990 yksityismetsien käsittelyohjeissa ajouraväliä kavennettiin 20 m:iin millä haluttiin parantaa hakkuukone – kuormatraktori ketjun kilpailukykyä. Tämä johtui siitä, että hakkuukoneiden puomin ulottuvuus on yleensä noin 10 m (Salminen 1996). Hakkuukoneen ja kuormatraktorin muodostaman korjuuketjun kehitystyö nostikin metsätyön tuottavuuden uudelle tasolle. Ketjun tuottavuus oli harvennushakkuussa jo 1990-luvun alussa viisinkertainen verrattuna metsuri-kuormatraktori-menetelmään (Salminen 1996). Tuottavuusparannus on ollut seurausta hakkuukoneiden koon ja tehojen kasvusta, niiden katkonnan ohjauksen ja digitalisaation (karttasovellutukset) kehittymisestä sekä kuljettajien koulutuksesta.

Pieniläpimittaisen puun korjuuta on Pohjoismaissa pyritty tehostamaan monenlaisilla teknologisilla innovaatioilla (Bergström 2009, Belbo 2011, Laitila 2012). Menestynein korjuuketju kannolta metsäautotien varteen on ollut pienikokoisen harvennuspuun hakkuu joukkokäsittelytekniikkaan perustuvilla hakkuulaitteilla sekä puiden kuljetus kuormatraktorilla tienvarsivarastolle (Iwarsson-Wide 2010). Joukkokäsittelyssä hakkuulaitteeseen kerätään yhden puomikierroksen aikana kaksi tai useampia puita.

Puunkorjuun tuottavuuskehitys alkoi kuitenkin hidastua 2000-luvun alussa ja on nyt pysähtynyt lähes paikoilleen. Hakkuukonetyössä kokeneiden ja kokemattomien kuljettajien väliset tuottavuserot ovat suuria. Erot korostuvat entisestään työskentelyolosuhteiden vaikeutuessa (Ovaskainen ym. 2004, Väätäinen ym. 2005). Pelkästään hakkuukoneen tekniikkaa kehittämällä tuskin saadaan riittävää kustannussäästöä harvennushakkuuihin vaan tarvittaisiin uudenlainen koneen puomin liikutteluun perustuva

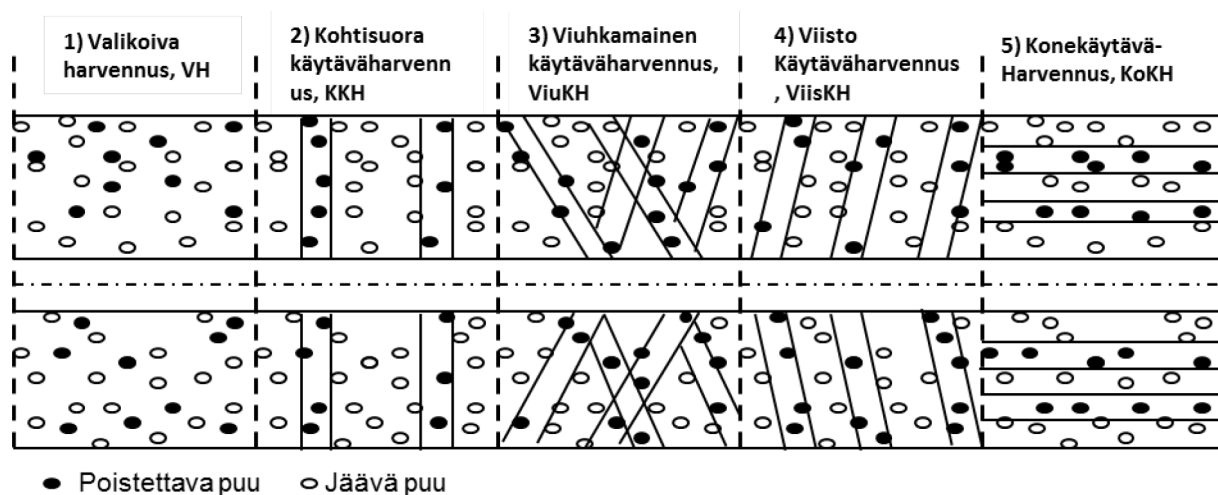
kuljettajaystävällinen työmenetelmä. Perinteinen valikoiva harvennus ei riittävästi ota huomioon suurimmillaan lähes kaksi metriä leveän hakkuulaitteen liikuttelua jäljelle jäävien puiden väleissä, jolloin varsinkin pienipuustoisessa harvennushakkuussa osa puomin liiketehosta jää hyödyntämättä, koska jäljelle jääviä puita joudutaan koko ajan varomaan hakkuulaitetta siirrettäessä. Samasta syystä hakkuutähteiden siirtely ja valmiiden pölkkyjen kasaus ja järjestely vievät ylimääräistä aikaa. Työ hidastuu sitä enemmän mitä vaikeammaksi hakkuuympäristö (esim. maaston kaltevuus, kivisyys ja hakkuuta haittaava alikasvos) muuttuu.

Teknisesti ajatellen koneellisen harvennuksen ihanteellisena työmenetelmänä voidaan pitää kokonaan systemaattista harvennusta, joka toteutetaan säännöllisin välimatkoin sijaitsevilta ajourilta käsin linjaisia käytäviä avaamalla. Käytössä olevia systemaattisia harvennustapoja ovat rivi- ja käytäväharvennukset. Niissä puuvalinta tapahtuu pelkästään puiden sijainnin mukaan. Yhdysvalloissa ns. geometrisessa harvennuksessa kone etenee tiheissä ensiharvennuspuustoissa pitkin käytäviä niitä avatessaan (Rummer 1993). Istutetuilla plantaaseilla käytetään riviharvennuksia, joissa säännöllisin välimatkoin poistetaan kokonainen puurivi (Suadican & Nordfjell 2003). Systemaattinen harvennushakkuumenetelmä avaa uusia mahdollisuuksia koneiden kehittämiseen, kuljettajien välisten tuottavuuserojen taustoittamiseen hakkuussa sekä metsänhoitomenetelmien monipuolistamiseen. Samalla menetelmä herättää kysymyksen sen vaikutuksista kasvatettavan puuston rakenteeseen, kasvuun ja laatuun, kun poistettavien puiden yksilövalinnasta luovutaan kokonaan tai osittain.

Kirjallisuuskatsauksemme tavoitteena oli yhdistää käytäväharvennuksen olemassa olevaa tutkimustietoa sen jatkokehittämiseen ja -tutkimuksiin vastaamalla kysymykseen: *'Mitä eroja käytäväharvennuksen ja perinteisen valikoivan harvennuksen vaikutuksilla on koneellisen hakkuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvamaan jätettävään puustoon.'* Katsauksessa keskitymme pieniläpimittaisen puun korjuun tutkimustuloksiin.

## 2. Tiedonhaku-prosessi, ja tarkasteltavien tutkimusten valinta

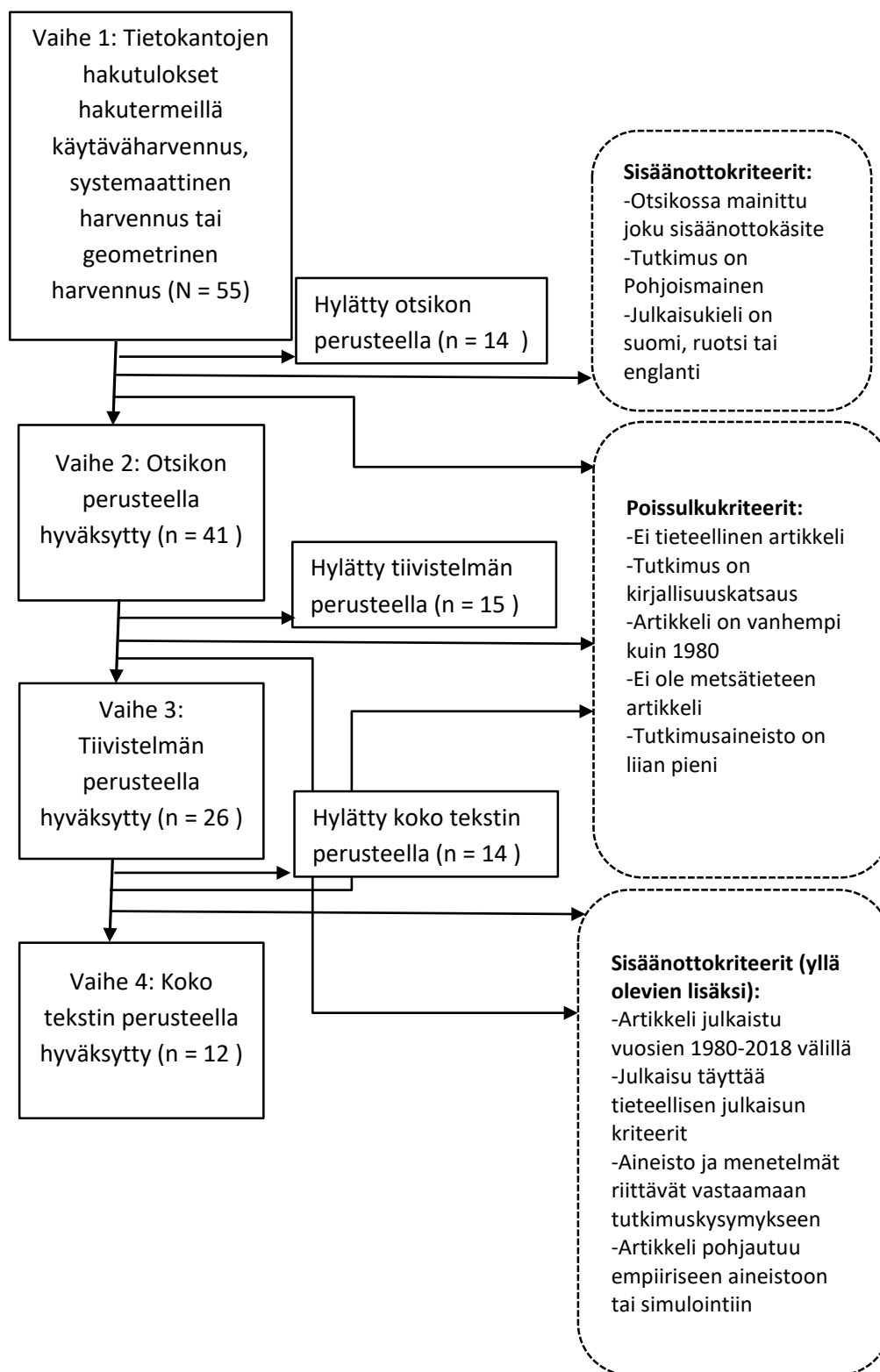
Kirjallisuuskatsauksessa rajoitetaan tarkastelemaan tutkimuksia, joissa on käytetty käytäväharvennusta borealisella havumetsävyöhykkeellä. Käytäväharvennuksella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa harvennusmenetelmää, jossa puut kaadetaan ajourien välistä muutaman metrin levyisissä käytävissä jättäen käytävien väliset alueet käsittelemättä. Tavanomaisessa valikoivassa harvennuksessa ajourien väliset alueet harvennetaan poistamalla ensisijaisesti pienimpiä, huonolaatuisempia ja mahdollisesti jollakin tapaa vioittuneita puita. Molemmissa tapauksissa tehdään säännöllinen ajouraverkosto (Kuva 1).



**Kuva 1.** Kaaviokuva tutkimuksessa käytetyistä harvennustavoista. Harvennustavat esiintyivät tutkimuksittain seuraavasti: 1/2) Isomäki ja Väisänen (1980), 1/2/3) Bergström ym. (2007), 1/2) Bergström ym. (2010), 1/3) Sängstuvall ym. (2011), 1/3) Bergström ja Di Fulvio (2014), 1/2/3) Ulvcrona ym. (2017), 1/ 3/4/5) Läspä ja Nurmi (2018).

Tutkimusten valintaan, niiden kuvailuun, tulosten tarkasteluun ja johtopäätöksiin käytettiin integroivan kirjallisuuskatsauksen menetelmää. Tutkimuksia etsittiin Google-, Google Scholar- ja Scopus-tietokantojen kautta sekä manuaalisesti (Kuva 2). Integroivan kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on tehdä yleisluontoinen yhteenveto monesta yksittäisestä tutkimuksesta, jotka suuntautuvat samanlaisiin kysymysten asetteluihin (Cooper 1989, Johansson ym. 2007). Sen tehtäviä ovat ennen muuta kiinnostuksen kohteena olevan aihealueen tietämyksen yhteenveto, arviointi ja jatkotutkimusten löytäminen (Russel 2005, Johansson ym. 2007).





Kuva 2. Aineiston valinta vaiheittain mukailen Moherin ym. (2009) vuokaaviota.

Kirjallisuuskatsaukseen valittiin seuraavat 12 tutkimusta:

*Hakkuun tuottavuus ja kustannukset:*

Bergström D., Bergsten U. & Nordfjell T. (2007). Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica* 41(1): 13–147.

Bergströmin ym. (2007) tutkimus oli simulointitutkimus, jossa verrattiin erilaisilla hakkuulaitteilla toteutettujen käytäväharvennusmenetelmien tuottavuutta. Simuloinnin testimetsiköinä olivat 24-vuotias ensiharvennusmetsikkö Bredbergin (1972) tutkimuksesta ja 17-vuotias energiapuumetsikkö Gustavssonin (1974) tutkimuksesta. Simuloinneissa oli oletuksena samanlainen hakkuukone kuin Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa. Bergströmin ym. (2010) tutkimuksen tavoin käytäväharvennuksessa käytävien leveys oli 1 m ja pituus 10 m ajouran keskeltä. Tutkimuksen ensiharvennusmetsikön puusto ennen hakkuuta, harvennusvoimakkuus ja poistettavien puiden keskikoko oli samankaltainen Bergströmin ym. (2010) tutkimuksen kanssa. Hakkuutekniikoiden simulointiin käytettiin Kärhän ym. (2005) ja Eliassonin (1999) tutkimusten testihakkuuiden ajanmenekkejä. Bergströmin ym. (2007) tutkimuksessa käytettyjä jatkuvan kaadon oletushakkuulaitteita ei ole olemassa (Taulukko 3).

Bergström D., Bergsten U. & Nordfjäll T. (2010). Comparison of boom-corridor thinning and thinning from below harvesting methods in young dense Scots pine stands. *Silva Fennica* 44(4): 669–679.

Bergströmin ym. (2010) tutkimus oli käytännön työntutkimus, jonka tavoite oli verrata käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen hakkuun tuottavuutta. Testihakkuuta varten 16 aikatutkimuskoealaa mitattiin ja merkittiin ennakkoon 15 hehtaarin kokoiseen noin 30-vuotiaaseen mäntyvaltaiseen energiapuumetsikköön. Aikatutkimuskoealat jaettiin lähtöpuuston tiheyden ja rinnankorkeusläpimitan mukaan kahdeksaan lohkoon, joissa olivat sekä valikoivan harvennuksen että käytäväharvennuksen koealat. Koealoille merkittiin etukäteen ajourat.

Sängstuvall L., Bergström D., Lämås T. & Nordfjel T. (2011). Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27(1): 56–73.

Sängstuvallin ym. (2011) simulointitutkimuksessa tarkasteltiin käytössä olevaa ja tulevaisuuden hakkuuteknologiaa. Hakkuuaineistossa oli yhteensä 47 energiapuumetsiköiden koealaa (25\*40 m) ja 9 ensiharvennusmetsiköiden koealaa (25\*20 m). Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan vain energiapuumetsiköiden tuloksia. Tutkimuksessa käytettiin samoja Bredbergin (1972) ja Gustavssonin (1974) metsikköaineistoja sekä Eliassonin (1999) aikatutkimusaineistoja ja simulointimallia kuin Bergströmin (2007) tutkimuksessa. Sängstuvallin ym. (2011) tutkimuksessa käytettyjä jatkuvan kaadon oletushakkuulaitteita ei ole olemassa (Taulukko 3).

Bergström D. & Di Fulvio F. (2014). Comparison of the cost and energy efficiencies of present and future biomass supply systems for young dense forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(8): 793–812.

Bergströmin ja Di Fulvion (2014) tutkimuksessa selvitettiin simuloimalla korjuuteknologioiden vaikutuksia ensiharvennushankintaketjujen kustannus- ja energiatehokkuuteen Pohjoismaissa. Hankintaketjulla tarkoitetaan hakkuuta, metsäkuljetusta ja autokuljetusta käyttöpaikalle. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan vain pienpuun hakkuutapojen kustannuksia. Hakkuun simuloinneissa käytettiin samoja koemetsiköitä ja hakkuumenetelmiä kuin Bergströmin ym. (2007) ja Sängstuvallin ym. (2011) tutkimuksissa. Jatkuvan kaadon oletushakkuulaitteita ei ole olemassa (Taulukko 3).

Läspä O. & Nurmi J. (2018). Geometrical thinning in energy wood harvesting. *International Journal of Forest Engineering* 29(3): 171–178.

Läspän ja Nurmen (2018) tutkimuksessa testattiin käytännön hakkuussa Bergströmin ym. (2007) ja Bergkvistin (2003) simulointien käytäväharvennuskalleja mäntyvaltaisissa energiapuumetsiköissä. Testihakkuussa oli yhteensä kahdeksan koealaa, kaksi koealaa kullakin harvennustavalla. Koealoille merkittiin etukäteen ajourat ja käytäväharvennuskoealoille käytävien työpisteet.

#### *Hakkuuteknologia:*

Bergström D., Bergsten U., Hörnlund T. & Nordfjell T. (2012). Continuous felling of small diameter trees in boom-corridors with a prototype felling head. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27 (5): 474–480.

Bergströmin ym. (2012) tutkimuksessa testattiin kaato-kasauslaitetta, joka kaatoi puuryhmiä käytävissä yhdellä liikkeellä. Mäntyvaltaiseen 18-vuotiaaseen energiapuumetsikköön perustettiin 15 suorakaiteen muotoista koealaa (8\*1,5 m) kohtisuoraan ajouraan nähden.

Nordfjell T., Bergström D., Wennberg R., Forsberg J. & Bergsten U. (2011). Geometric thinning for forest bioenergy. 44th International Symposium on Forestry Mechanisation: “Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering”, October 9–13, 2011 in Graz, Austria. 8 s.

Nordfjell ym. (2011) arvioivat markkinoilla olevien hakkuulaitteiden teknisiä vaatimuksia käytäväharvennukseen sekä raportoivat energiapuiden jatkuvaan kaatoon kehitetyn hakkuulaitteen testauksen (Forsberg & Wennberg 2011).

Jylhä P. & Bergström D. (2016). Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 88: 142–151.

Jylhän ja Bergströmin (2016) tutkimuksessa testattiin Bracke C16.b kaato-kasauslaitetta. Seitsemään luontaisesti syntyneeseen hieskoivuvaltaiseen testimetsikköön perustettiin yhteensä 17 testihakkuukoealaa. Metsiköiden ikä oli 14–29 vuotta ja lähtöpuuston tiheys 5150–16250 runkoa/ha.

#### *Puuston kehitys hakkuun jälkeen:*

Isomäki A. & Väisänen J. (1980). Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään. *Folia Forestalia* 450. 14 s.

Isomäki ja Väisänen (1980) vertasivat valikoivan harvennuksen ja käytäväharvennuksen vaikutuksia kasvatettavan puuston ja poistuman määrään ja rakenteeseen. Tutkimus perustuu vuosina 1975–1978 perustettuihin männyn ja kuusen havaintometsiköihin, joissa oli yhteensä 45 koealaa. Metsiköiden keskipituus oli 9,6–13,6 m. Ne olivat yhden puulajin tasarakenteisia viljelymetsiköitä. Kuusimetsiköiden ikä oli 34–41 vuotta ja männymetsiköiden 24–40 vuotta.

Mäkinen H., Isomäki A. & Hongisto T. (2006). Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry* 79(1): 103–121.

Mäkisen ym. (2006) tutkimuksessa verrattiin valikoivan harvennuksen ja käytäväharvennuksen vaikutuksia puuston kehitykseen. Aineistona olivat Isomäen ja Väisänen (1980) havaintometsiköt, joiden mittausjakso oli keskimäärin 19 vuotta harvennusten jälkeen.

Karlsson K., Bergsten U., Ulvcróna T. & Elfving B. (2012). Long-term effects of growth and yield of corridor thinning in young *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Engineering* 28(1): 28–37.

Karlssonin ym. (2012) tutkimuksessa verrattiin valikoivan harvennuksen ja käytäväharvennuksen vaikutuksia puuston kehitykseen. Koealojen seurantajakso harvennusten jälkeen oli keskimäärin 22–28 vuotta. Havaintometsiköt olivat luontaisesti syntyneitä männiköitä. Ne jaettiin kasvupaikaltaan kahteen eri lohkoon.

Ulvcrona K., Bergström D. & Bergsten U. (2017). Stand structure after thinning in 1–2 wide corridors in young dense stands. *Silva Fennica* 51(3). 15 s.

Ulvcronan ym. (2017) vertasivat valikoivan harvennuksen ja käytäväharvennuksen vaikutuksia kasvatettavan puuston ja poistuman määrään ja rakenteeseen. Tutkimuksessa oli kaksi havaintometsikköä. Metsiköt olivat istutettuja varttuneita taimikoita. Niiden keskipituus oli 4–6 m ja niissä oli sekapuustona luontaisesti syntyneitä lehtipuita.

### 3. Yhteenveto käytäväharvennustutkimuksista

#### 3.1. Hakkuun tuottavuus, kustannukset ja teknologia

Tarkasteltavissa tutkimuksissa käytäväharvennus oli toteutettu kohtisuorana, viuhkamaisena tai viistona ajouralta lähtevinä käytävinä. Käytävien leveys vaihteli 1–2 metriä. Viuhkamaisen käytäväharvennuksen käytävien kulma ajouraan vaihteli 45–135 asteeseen ja viiston käytäväharvennuksen käytävien kulma oli 60 astetta. Lämpän ja Nurmen (2018) tutkimuksessa tehtiin ajouran suuntaiset 3,5 metriä leveät käytävät. Ajourien etäisyys toisistaan oli noin 20 metriä (Kuva 1).

Hakkuun tuottavuutta ja kustannuksia käsittelevissä tutkimuksissa puustot olivat mäntyvaltaisia ja harvennuksissa poistettiin vähän yli kolmannes hakkuuta edeltävästä puuston määrästä (Taulukko 1). Poikkeuksena oli Sängstuvallin ym. (2001) simulointitutkimus, jossa poistuma nousi 50 %:iin sekä Bergströmin ym. (2007) tutkimus, jossa toinen havaintometsikkö oli kuusivaltainen. Hakkuuta edeltävän puuston tiheys vaihteli 1000 rungosta aina liki 20 000 runkoon hehtaarilla ja puuston keskiläpimitta 3–16 cm:iin. Yleensä poistettujen puiden koko oli likimain sama tai hieman pienempi kuin lähtöpuuston keskikoko.

Kahdessa tutkimuksessa (Bergström ym. 2010, Lämpä ja Nurmi 2018) kohteet olivat energiapuumetsiköitä ja kolmessa tutkimuksessa (Bergström ym. 2007, Sängstuvall ym. 2011, Bergström & Di Fulvio 2014) oli sekä ensiharvennus- että energiapuumetsiköitä. Energiapuumetsiköt olivat taimikkovaiheen juuri ylittäneitä. Ensiharvennusemetsiköt olivat energiapuumetsiköitä vanhempia sekä lähtöpuustoltaan tasaisempia ja harvempia.

**Taulukko 1.** Bergströmin ym. (2007, 2010), Sängstuvallin ym. (2011), Bergströmin ja Di Fulvion (2014) ja Lämpän ja Nurmen (2018) tutkimusten testimetsiköt ja tutkimuksessa käytetty kalusto.

Tutkimus	Lähtöpuusto		Hakkuupoistuma		Tutkimuksen tyyppi		
	Aineiston laajuus	Runkoa/ha (keskiarvo)	Keski-läpimitta, cm (d1,3)	Puulajisuhteet		Harvennusvoimakkuus, %	Poistuman keskiläpimitta cm, (d1,3)/ keskitilavuus (dm <sup>3</sup> )
Bergström ym. (2007)	2 kohdetta <sup>1</sup> /4 käsittelyä	3590–8600	9,3–4,8	50/50/02 <sup>3</sup> –0/80/20 <sup>3</sup>	38–32 <sup>4</sup>	-	Mallinnus <sup>8</sup>
Bergström ym. (2010)	8 kohdetta <sup>2</sup> /2 käsittelyä	4400–18600	7,2–3,2	mä > 80	36 <sup>5</sup>	5,7–5,8/16	Maastokoe <sup>7</sup>
Sängstuvall ym. (2011)	56 kohdetta <sup>1</sup> /9 käsittelyä	1000–19100	15,6–1,5	-	30–50 <sup>6</sup>	-/18	Mallinnus <sup>8</sup>
Bergström ja Di Fulvio (2014)	7 kohdetta <sup>1</sup> /6 käsittelyä	1740–11560	13,9–5,2	63/27/10 <sup>3</sup>	33–45 <sup>6</sup>	4,6–10/-	Mallinnus <sup>9</sup>
Lämpä ja Nurmi (2018)	1 kohde <sup>2</sup> /4 käsittelyä	1937–2675	10,7–9,0	mä > 80	-	9,4–8,3	Maastokoe <sup>10</sup>

1) Ainespuuharvennus ja energiapuuharvennus

2) Energiapuuharvennus

3) Puulajisuhteet: mänty, kuusi, koivu

4) Harvennusvoimakkuus-% kuutiomäärästä

5) Harvennusvoimakkuus-% pohjapinta-alasta

6) Harvennusvoimakkuus-% runkoluvusta

7) Valmet 911,1-hakkuukone/Cranab-nosturi & Bracke 16.a kaato-kasauslaite (Taulukko 3)

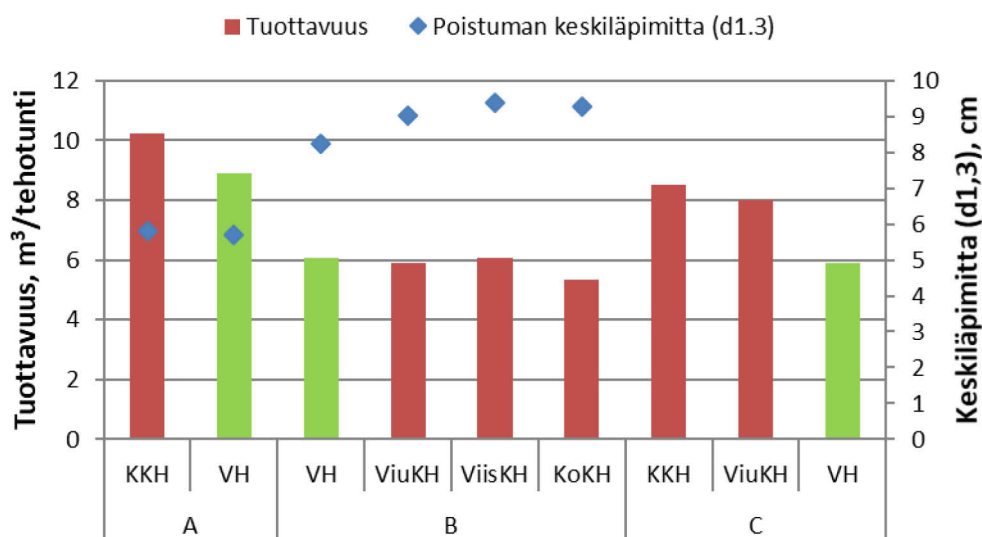
8) Oletuksena keskikokoinen perinteinen hakkuukone/kolme erilaista kaato-kasauslaitetta (Taulukko 3)

9) Oletuksena keskikokoinen perinteinen hakkuukone/kaksi erilaista kaato-kasauslaitetta (Taulukko 3)

10) John Deere 1070D-hakkuukone/JD 745-joukkokäsittelyhakkuulaite

## Tuottavuus

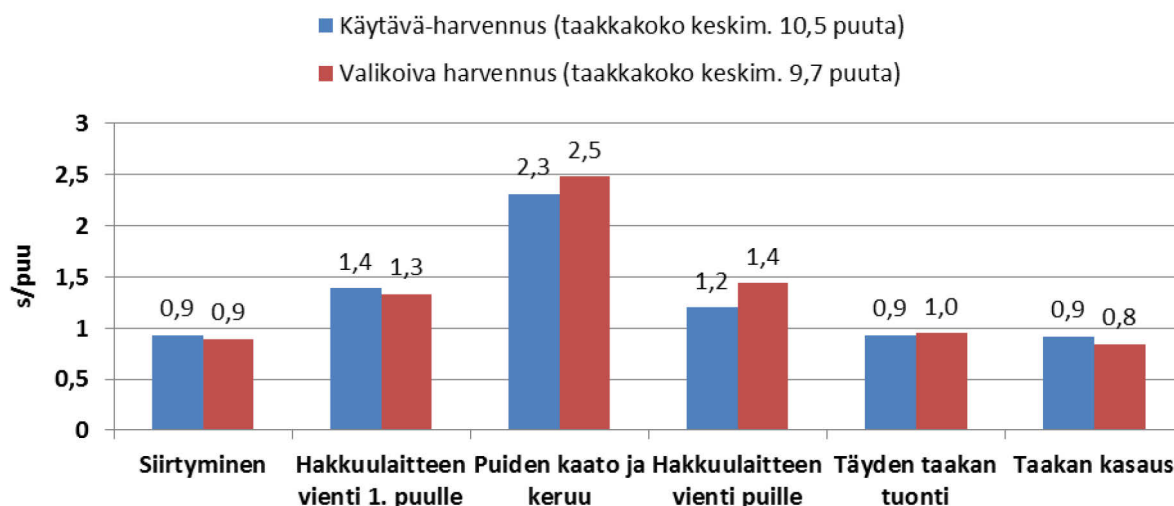
Bergströmin ym. (2010) tutkimuksen energiapuunetsiköiden testihakkuussa kohtisuoran käytäväharvennuksen keskimääräinen tehotuntuottavuus oli 15 % suurempi kuin valikoivan harvennuksen. Läspä ja Nurmi (2018) testasivat käytännön testihakkuussa Bergströmin ym. (2007) ja Bergkvistin (2003) simulointien käytäväharvennustapoja energiapuun rankahakkuuna. Viiston käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen teholliset tuottavuudet olivat suurimmat, mutta erot harvennustapojen välillä eivät olleet merkittäviä. Läspän ja Nurmen (2018) tutkimuksessa poistettavien puiden keskiläpimitta oli käytäväharvennuksessa keskimäärin 12 % suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa. Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa poistettavien puiden läpimitoissa ei ollut eroa harvennustapojen välillä. Bergströmin ym. (2007) simuloinnissa ensiharvennusemetsikössä kohtisuoran käytäväharvennuksen tehotuntuottavuus oli 44 % suurempi ja viuhkamaisen käytäväharvennuksen 36 % suurempi kuin valikoivan harvennuksen; poistettujen puiden läpimittoja ei ollut tuloksissa (Kuva 3).



**Kuva 3.** Käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen tehotuntuottavuudet ja poistuman keskiläpimitta. Tutkimukset A: Bergström ym. (2010), B: Läspä ja Nurmi (2018), C: Bergström ym. (2007), ensiharvennusemetsikkö. Harvennustavat on kuvattu kuvassa 2.

## Tehoajanmenekin rakenne

Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa käytäväharvennushakkuun keskimääräinen kokonaistehoajanmenekki (s/puu) oli 3 % matalampi kuin valikoivassa harvennuksessa. Käytäväharvennuksessa työvaihe hakkuulaitteen vienti puille oli keskimäärin 17 % nopeampi kuin valikoivassa harvennuksessa ja työvaihe puiden kaato ja keruu 7 % nopeampi. Joukkokäsittelyhakkuussa hakkuulaitteeseen kerätään yhden puomikierroksen aikana kaksi tai useampia puita ja taakka kasataan ajouran varteen. Keskimääräinen taakkakoko eli runkojen määrä hakkuulaitteessa oli käytäväharvennuksessa 8 % suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa (Kuva 4).



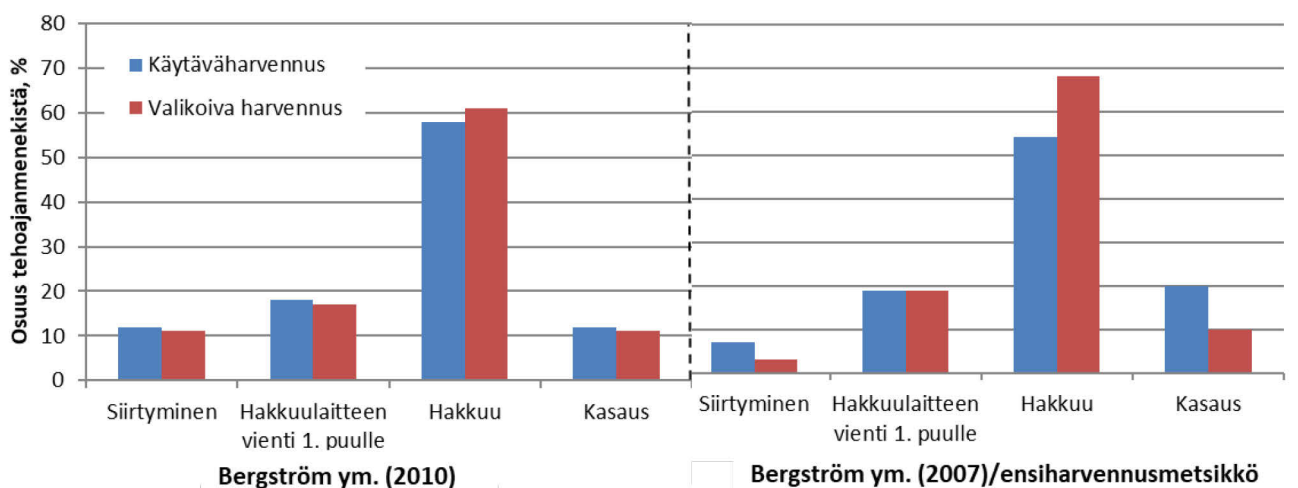
**Kuva 4.** Harvennustapojen puukohtaiset keskimääräiset tehoajanmenekit työvaiheittain ja taakkakoko Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa. Työvaiheet on kuvattu taulukossa 2.

Bergströmin ym. (2010) ja (2007) tutkimuksissa hakkuu-prosessiin kuuluivat puominkäytön työvaiheet puiden kaato ja keruu, hakkuulaitteen vienti puille ja täyden taakan tuonti (Taulukko 2). Molemmista tutkimuksista hakkuu-prosessin osuus tehollisesta työajasta oli käytäväharvennuksessa pienempi kuin valikoivassa harvennuksessa: Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa hakkuu-prosessin osuus oli käytäväharvennuksessa 58 % ja valikoivassa harvennuksessa 61 % ja vastaavasti Bergströmin ym. (2007) tutkimuksessa 54 % ja 68 % (Kuva 5). Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa työvaiheiden puiden kaato ja keruu ja hakkuulaitteen vienti puille yhteenlaskettu osuus tehollisesta työajasta oli käytäväharvennuksessa hieman pienempi (46 %) kuin valikoivassa harvennuksessa (49 %) (Kuva 4).

**Taulukko 2.** Tehollisen työajan työvaiheet Bergströmin ym. (2007) ja (2010) tutkimuksissa.

Työvaihe	Kuvaus
Siirtyminen	Eteen- ja taaksepäin ajo
Kaato-kasauslaitteen vienti 1. puulle	Alkaa: kaato-kasauslaite lähtee liikkeelle. Päätyy: kaato-kasauslaite tarttuu taakan ensimmäisen puun tyveen.
Puiden kaato ja keruu	Puiden kaatosahaus ja niiden keräys kaato-kasauslaitteeseen.
Kaato-kasauslaitteen vienti puille	Kaato-kasauslaitteen siirto kaadettavien puiden välillä pois lukien taakan ensimmäinen puu.
Täyden taakan tuonti	Alkaa: täysi kaato-kasauslaite lähtee liikkeelle. Päätyy: hakkuulaite on tuonut taakan kasaan.
Kasaus	Sisältää taakan asettaminen ajouran varteen kasaan sekä kasan järjestyksen.
Hakkuu	Työvaiheiden puiden kaato ja keruu, kaato-kasauslaitteen vienti puille ja täyden taakan tuonti yhteen laskettu ajanmenekki.





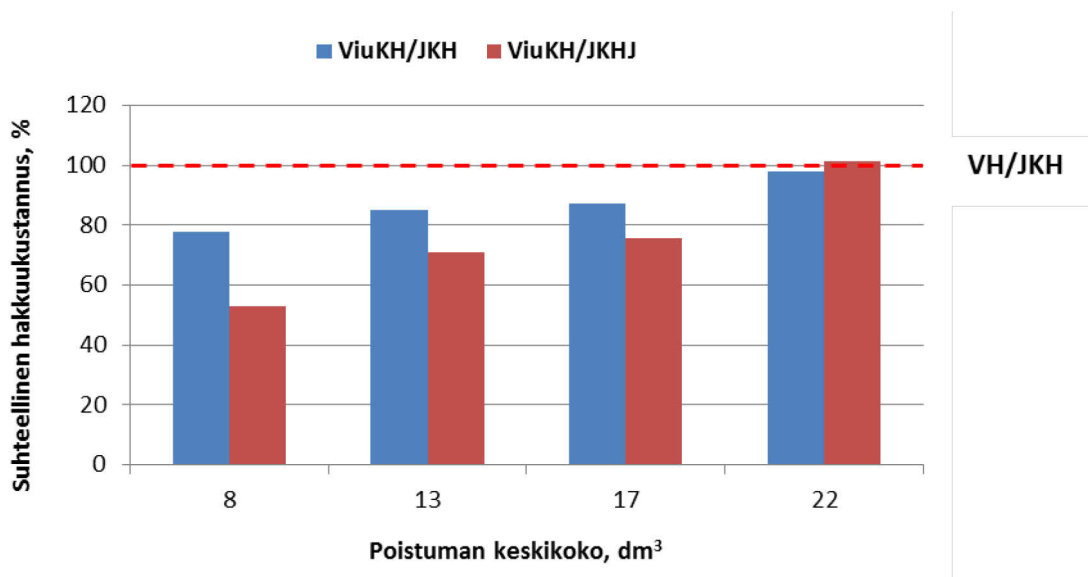
**Kuva 5.** Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit Bergströmin ym. (2007) ja (2010) tutkimuksissa tehotyöajasta käytäväharvennuksessa ja valikoivassa harvennuksessa.

Työvaiheet on kuvattu taulukossa 2.

Läspän ja Nurmen (2018) tutkimuksessa työvaiheeseen rungon karsinta ja katkonta kului eniten aikaa kaikilla harvennustavoilla. Konekäytäväharvennuksessa sen osuus tehollisesta työajasta oli 32 % ja muilla harvennustavoilla 21–22 %. Puomin käyttöön eli työvaiheisiin hakkuulaitteen vienti, puiden kaato ja keruu sekä taakan tuonti kasalle kului valikoivassa harvennuksessa keskimäärin 65 % tehollisesta työajasta ja käytäväharvennuksessa 60 %.

### **Kustannukset**

Bergströmin ja Di Fulvion (2014) simuloinneissa vaihdettaessa hakkuutapa valikoivasta harvennuksesta käytäväharvennukseseen hakkuun kustannukset alenivat perinteisellä joukkokäsittelyllä hakkuulaitteella 22–13 % ollen 20,5–11,4 €/m<sup>3</sup> kun poistettavien puiden keskikoko oli 8–17 dm<sup>3</sup>. Käytäväharvennuksessa joukkokäsittelyhakkuu jatkuvan kaadon hakkuulaitteella oli keskimäärin 32–13 % edullisempää kuin perinteisellä joukkokäsittelyhakkuulaitteella ollen 13,9–9,9 €/m<sup>3</sup>, kun poistettavien kokopuiden keskikoko oli välillä 8–17 dm<sup>3</sup>. (Kuva 6).



**Kuva 6.** Energiapuuhakkuun suhteelliset kustannukset Bergströmin ja Di Fulvion (2014) tutkimuksessa. Käytäväharvennuksessa oli noin yhden metrin käytäväleveys. Harvennustavat kuvattu on kuvassa 1 ja hakkuulaitteet taulukossa 3.a

### Hakkuuteknologia

Bergströmin ym. (2007) simulointitutkimuksessa kohtisuoran ja viuhkamaisen käytäväharvennuksen tehollinen tuottavuus energiapuuhakkuussa joukkokäsittelyllä kaato-kasauslaitteella (JKH) oli keskimäärin 3,8 m<sup>3</sup>/tehotunti. Kun hakkuuseen vaihdettiin kaato-kasauslaite, joka kaatoi ja keräsi puut kerralla 2 m<sup>2</sup> alueelta (JKH2m<sup>2</sup>) kasvoi tuottavuus 1,9 kertaa korkeammaksi. Kaato-kasauslaitteella (JKHJ), joka kaatoi puut kerralla koko käytävän leveydeltä, tuottavuus kasvoi vastaavasti 2,3-kertaa korkeammaksi (Taulukko 3). Sängstuvallin ym. (2011) simulointitutkimuksessa energiapuumetsiköissä perinteisen kaato-kasauslaitteen (JKH) vaihtaminen jatkuvan kaadon kaato-kasauslaitteeseen (JKHJ) kahden metrin käytäväleveydellä paransi eniten tuottavuutta (33 %) ja taakkakokoa (19 %). Metrin levyisillä käytävillä vastaavat lisäykset olivat 21 % ja 8 %. Käytävien leventäminen yhdestä metristä kahteen metriin puolestaan nopeutti käytäväharvennusta 3–10 % hakkuulaitteesta riippuen. Suurin lisäys oli jatkuvan kaadon kaato-kasauslaitteella (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Kaato-kasauslaitteet Bergströmin ym. (2007), Sängstuvallin ym. (2011) ja Bergströmin ja Di Fulvion (2014) tutkimuksissa.

Hakkuulaite	Kuvaus
JKH	Joukkokäsittelyhakkuu perinteisellä kaato-kasauslaitteella, joka on käytössä käytännön työssä. Useampien puiden kaataminen kerralla on mahdollista vain silloin, kun puut sijaitsevat lähekkäin alle kouran tarttumaleveydellä.
JKH2m <sup>2</sup>	Joukkokäsittelyhakkuu kaato-kasauslaitteella, joka ei ole käytössä käytännön työssä. Kaataa ja kerää puut kerralla 2 m <sup>2</sup> alueelta.
JKHJ	Joukkokäsittelyhakkuu kaato-kasauslaitteella, joka ei ole käytössä käytännön työssä. Kaataa ja kerää puut jatkuvalla kaadolla kerralla koko käytävän leveydeltä.

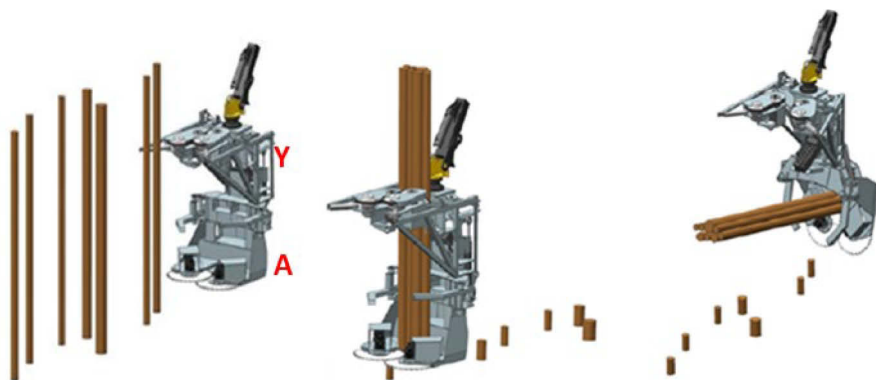
Nordfjellin ym. (2011) mukaan tärkeimmät hakkuulaitteen ominaisuudet käytäväharvennuksessa mahdollisimman tehokkaaseen puiden kaatoon, keruuseen ja kasaukseen ovat: 1) puiden kaato ja keruu jatkuvalla puomin liikkeellä, 2) puiden kaato ja keruu kerralla koko käytävän leveydeltä, 3) hakkuulaitteen yhteensopivuus markkinoilla oleviin hakkuukoneisiin (Taulukko 4).

**Taulukko 4.** Nordfjellin ym. (2011) tutkimuksessa hakkuulaitteen tekniset vaatimukset käytäväharvennukseen.

Hakkuulaitteen ominaisuus	Selite
Puiden kaato ja keruu jatkuvalla puomin liikkeellä käytävä leveydellä	Käytävien leveys yksi metri ja pituus 10 m vastaten hakkuukoneen puomin ulottuvuutta. Puiden läpimitta rinnankorkeudella 4–10 cm ja pituus 5–10 m.
Hakkuulaitteen täyden taakan maksimi paino.	350 kg.
Hakkuulaitteen suurien puiden prosessointikyky	Suurimman puun läpimitta rinnankorkeudella 23 cm ja pituus 14 m.
Kasaus	Taakkojen kasaus käytäville ajouran varteen tyvet ajouraa kohti.
Yhteensopivuus markkinoilla oleviin hakkuukoneisiin	On asennettavissa keskikokoisiin metsäkoneisiin (paino 15–20 tonnia), jotka soveltuvat nuorten metsien harvennukseseen.
Hakkuulaitteen maksimipaino	650 kg.
Puomin liikkeen miniminopeus	1,0–1,5 m/s.

Ruotsissa on kehitetty käytäväharvennuksen työmenetelmää tehostavia jatkuvan kaadon hakkuulaitteita, jotka kaatavat ja keräävät useampia puita kerralla (Forsberg & Wennberg 2011, Bergström ym. 2012, Jylhä & Bergström 2016). Tutkimuksissa lähtöpuuston tiheys hehtaarilla vaihteli 5000–16 000 puuta/ha, rinnankorkeusläpimitta 1–10 cm ja keskikoko 0,6–20 dm<sup>3</sup> välillä.

Puiden jatkuvan kaadon kaato-kasauslaitteen prototyypin (Forsberg ja Wennberg 2011) runko oli kaksiosainen. Laitteen yläosassa on keräävät tartuntavarret, joiden suurin mahdollinen leveys on 1,5 m. Alaosassa on puiden katkaisuun kaksi pyörivää kiekkoa. Kääntyvä alaosa kasaa taakat ajouran varteen. Testihakkuussa kaato-kasauslaite pystyi kaatamaan ja keräämään puut kerralla 1,5 m leveältä käytävältä, mutta sillä oli vaikeuksia käsittää yli 8 m:n pituisia puita. Laitteen paino oli kaksinkertainen taulukon 4 mukaiseen suositukseen (Kuva 7).



**Kuva 7.** Jatkuvan kaadon kaato-kasauslaitteen prototyypin (Forsbergin & Wennberg 2011) toimintaperiaate. Y = yläosa, A = alaosa. Vasemmalla: Kaato-kasauslaite ennen puiden jatkuvaa kaatoa ja keruuta. Keskellä: Kaato-kasauslaite on kaatanut ja kerännyt täyden kourataakan. Oikealla: Kaato-kasauslaitteen alaosa kääntyneenä kasaamaan taakan ajouran varteen (Kuva: Nordfjell ym. 2001, kuva 2, sivu 5).

Bergströmin ym. (2012) tutkimuksessa jatkuvan kaadon kaatolaitteen prototyypillä ei ollut mahdollista kasata ja siirtää kaadettuja puita. Testihakuussa suurin osa kaadetuista puista jäi käytäville kohtisuoraan ajouraa vastaan tyvet ajouralle päin. Puuston läpimitalla ja tiheydellä käytävissä ei ollut merkittävää vaikutusta kaatolaitteen kaatonopeuteen. Noin 1 m/s nopeudella kaatolaite pystyi katkaisemaan rinnankorkeusläpimitaltaan n. 15 cm paksuja puita. Kaatolaitteen tehotuntuottavuus oli keskimäärin 27,1 m<sup>3</sup>/h.

Jylhän ja Bergströmin (2016) tutkimuksessa testatussa Bracke C16.b-kaato-kasauslaitteessa on keräät tartuntavarret ja pyöreä puiden katkaisukiekkko, jonka ympärillä on teräketju. Laitteessa ei ole puiden karsinta- ja syöttöominaisuutta. Bracke C16.b kaato-kasauslaitteen hakkuun tuottavuus oli testihakuussa 6–24 m<sup>3</sup>/tehotunti (keskimäärin 15,6 m<sup>3</sup>/tehotunti). Taakkakoko oli rinnankorkeusläpimitaltaan (d<sub>1,3</sub>) 2 cm kokoisilla puilla keskimäärin 38 puuta, 4 cm kokoisilla puilla 12 puuta ja 6 cm puilla 7 puuta. Hakkuu-prosessin, johon kuuluivat työvaiheet puiden kaato, keräys ja kasaus, osuus tehollisesta työajasta oli 60 %. Laitteella oli mahdollista kaataa useampia puita kerralla vain silloin, kun puut kasvoivat lähekkäin, muutaman kymmenen senttimetrin etäisyydellä toisistaan, alle tartuntavarsien tarttumaleveydellä.

### 3.2. Puuston rakenne ja kehitys hakkuun jälkeen

Isomäen ja Väisäsen (1980) tutkimuksessa poistuman osuus alkupuuston tilavuudesta oli käytäväharvennuksessa 19–50 % suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa lukuun ottamatta männyn havaintometsiköitä, joissa poistettiin puolet runkoluvusta, jolloin valikoivan harvennuksen poistuma oli 13 % suurempi kuin käytäväharvennuksen. Harvennusta edeltävä käyttöpuun keskikoko oli kuusikoissa 133 dm<sup>3</sup> ja männiköissä 65 dm<sup>3</sup>. Ulvcrnan ym. (2017) tutkimuksessa poistuman osuus alkupuuston tilavuudesta ja runkoluvusta oli valikoivassa harvennuksessa melkein kaksinkertainen käytäväharvennuksen verrattuna (Taulukko 5).

**Taulukko 5.** Harvennustavan vaikutus poistuman suuruuteen Isomäen ja Väisäsen (1980) ja Ulvcronan ym. (2017) tutkimuksissa. Taulukon arvot ovat em. julkaisusta laskettuja aritmeettisiä keskiarvoja.

Havaintometsikkö	Alkupuusto		Poistuman osuus runkolu- vusta, %		Suhteellinen tilavuus- poistuma alkupuus- tosta, %	
	Käyttöpuu, m <sup>3</sup> /ha	Käyttöpuu, dm <sup>3</sup> /runko	Käytävä- harvennus	Valikoiva harvennus	Käytävä- harvennus	Valikoiva harvennus
<i>Isomäki ja Väisänen 1980</i>						
Mänty	202	62	50	50	40	45
Mänty	133	67	33	33	31	26
Kuusi	214	106	50	50	49	38
Kuusi	282	160	33	33	30	20
<i>Ulvcrona ym. 2017</i>						
Kuusi /koesarja 1	98	12	41-47	84	29-33	69
Kuusi/mänty/ Koe- sarja 2	76	9	49-55	75	29-65	65

Taulukossa 6 harvennuksen jälkeen jäävää puustoa kuvataan suhdeluvuin. Vertailuarvona (100) on kunkin havaintometsikön alkupuusto ennen harvennusta. Poistettaessa metsiköstä puita täysin syste-  
maattisesti pitäisi alkupuuston, poistuman ja jäävän puuston olla rakenteeltaan samanlaisia; ts. puus-  
ton vertailuarvon pitäisi olla 100. Ulvcronan ym. (2017) tutkimuksessa valikoiva harvennus lisäsi sekä  
keskiläpimittaa että keskipituutta selvästi enemmän kuin käytäväharvennus. Suurimmillaan tämä ero  
oli 36–54 % keskiläpimitassa koesarjassa 1. Isomäen ja Väisäsen tutkimuksessa (1980) käytäväharven-  
nuksen jälkeen puuston keskiläpimitta kasvoi männyllä 1 %. Valikoiva harvennus lisäsi puuston keski-  
läpimittaa männyllä keskimäärin 3 % ja kuusella 2,5 %. Keskipituuteen käytäväharvennus ei vaikutta-  
nut. Valikoiva harvennus lisäsi puuston keskipituutta keskimäärin 1–2 %.

**Taulukko 6.** Harvennustavan vaikutus jäävän puuston tilavuuteen, läpimittaan ja pituuteen sekä poistuman lä-  
pimittaan Isomäen ja Väisäsen (1980) sekä Ulvcronan ym. (2017) tutkimuksissa. Taulukon arvot ovat em. julkai-  
susta laskettuja aritmeettisiä keskiarvoja. Läpimitan ja pituuden vertailuarvona (100) on käytetty alkupuuston  
läpimittaa ja pituutta.

Havaintometsikkö	Jääväpuusto m <sup>3</sup> /ha		Jäävän puuston suhteellinen keskiläpimitta		Jäävän puuston suhteellinen keskipituus		Poistuman keskiläpimitta	
	Käy- tävä- harven- nus	Valikoiva harven- nus	Käytävä- harven- nus	Valikoiva harven- nus	Käytävä- harven- nus	Valikoiva harven- nus	Käytävä- harven- nus	Valikoiva harven- nus
<i>Isomäki ja Väisänen 1980</i>								
Mänty 50	121	111	101	101	100	100	98	101
Mänty 33	92	99	101	105	100	102	102	91
Kuusi 50	110	134	100	101	100	101	98	101
Kuusi 33	196	226	100	104	100	103	99	87
<i>Ulvcrona ym. 2017</i>								
Kuusi /koesarja 1	55,1– 76,4	39,5	111–125	170	139–154	161		
Kuusi/mänty/ Koesarja 2	33,5– 49,1	38,3	108–109	115	121–137	126		

Mäkisen ym. (2006) tutkimuksessa männyllä valikoivan harvennuksen vuotuinen keskimääräinen tila-  
vuuskasvu oli 5 % suurempi kuin käytävä harvennuksen ja kuusella 15 % suurempi. Karlssonin ym.  
(2012) tutkimuksessa valikoivan harvennuksen kasvu oli viljavalla kasvupaikalla 27 % ja karulla kasvu-  
paikalla 44 % suurempi kuin käytäväharvennuksen; vastaavat erot läpimitan vuotuisessa keskikasvussa  
olivat 14 % ja 28 %. Mäkisen ym. (2006) tutkimuksessa männyllä tukkipuun osuus kokonaispuustosta

oli valikoivalla harvennuksella 43 % ja käytäväharvennuksella harvennuksella 38 %. Kuusikokeilla vastaavat osuudet olivat 57 % ja 53 % (Taulukko 7).

Käytävien vaikutusta kasvatettavaan puustoon Mäkisen ym. (2006) tutkimuksessa tutkittiin 2 m:n leveysiltä kaistaleilta käytävän reunasta (0–2 m, 2–4 m, 4–6 m, > 6 m). Viisi vuotta harvennuksen jälkeen sekä männyllä että kuusella puiden kasvu oli parantunut käytävän varressa vain ensimmäisellä 2 m kaistaleella. Harvennustavasta riippumatta 4–5 m leveiden käytävien reunapuiden kasvunlisäys kompensoi 40 % käytävien aiheuttamasta kasvun menetyksestä, kun käytävien välisen alueen leveys oli yli 6 m.

**Taulukko 7.** Mäkisen ym. (2006) ja Karlssonin ym. (2012) tutkimuksissa kokonaispuusto<sup>1</sup> ja vuotuinen keskimääräinen kasvu harvennustavoittain.

<i>Mäkinen ym. (2006), ensiharvennus</i>	Mänty		Kuusi	
	Valikoiva harvennus	Käytävä harvennus	Valikoiva harvennus	Käytävä- harvennus
Kokonaispuusto <sup>1</sup> , m <sup>3</sup> /ha				
Tukki	131	118	301	256
Kuitupuu	177	193	224	230
Yhteensä	308	311	525	486
Keskimääräinen tilavuuskasvu, m <sup>3</sup> /ha/v	9,9	9,4	15,2	13,2
=====				
<i>Karlsson ym. (2012), energiapuuharvennus</i>	Koe1 (viljava kasvupaikka)		Koe2 (karu kasvupaikka)	
Harvennusikä, v	14		25	
Runko/ha	10400–14400		6900–11100	
Valtapituus, m	4,9–5,2		4,9–5,0	
	Valikoiva harvennus	Käytävä- harvennus	Valikoiva harvennus	Käytävä- harvennus
Keskimääräinen läpimitan kasvu, mm/v	4,06	3,55	3,07	2,39
Keskimääräinen vuotuinen kasvu, m <sup>3</sup> /ha	6,5	5,1	2,3	1,6

1 Kokonaispuusto = kasvatettava puusto viimeisessä mittauksessa + harvennuspoistuma

## 4. Johtopäätökset

Koostimme tässä katsauksessa Pohjoismaisen tutkimustiedon käytäväharvennuksen vaikutuksista pienpuun hakkuuseen ja kasvatettavaan puustoon. Nuorten metsien korjuun kannattavuuden parantamisessa ennakkosuunnittelun ja hakkuun työmenetelmien kehittäminen ovat tärkeässä roolissa. Hakkuun onnistumisella on suora vaikutus metsäkuljetukseen, korjuuvaurioihin ja kasvatettavan puuston kehitykseen.

Bergströmin ym. (2010) energiapuuhakkuun tutkimuksessa käytävien ja ajourien sijainnit merkittiin ennen hakkuuta, joten työsuunnittelu ei hidastanut hakkuuta. Kuljettaja oli harjaantunut perinteiseen valikoivaan harvennukseseen. Käytäväharvennuksesta hänellä ei ollut aikaisempaa kokemusta, mutta tästä huolimatta hän sai käytäväharvennuksella selvästi paremman tuloksen kuin valikoivalla harvennuksella. Bergströmin ym. (2007) ensiharvennushakkuun simuloinneissa käytäväharvennuksen tuottavuus oli merkittävästi suurempi kuin valikoivan harvennuksen. Huomionarvoista on, että korjuun tutkimuksista todellisia maastotutkimuksia olivat vain Bergströmin ym. (2010) ja Läspän ja Nurmen (2018) tutkimukset. Simulointitutkimuksissa oli oletuksena kuvitteellista kalustoa, jota ei ole markkinoilla saatavissa.

Käytäväharvennuksen parempi tuottavuus johtui ennen kaikkea kaato-kasauslaitteen ja puomin liikuttelun nopeutumisesta sekä suuremmista runkojen määristä kaato-kasauslaitteessa. Hakkuukoneen puominkäytön osuus työajasta oli valikoivassa harvennuksessa selvästi suurempi kuin käytäväharvennuksessa. Tämä johtuu siitä, että valikoivassa harvennuksessa jäljelle jäävien puiden väistely puomin sivuttaisilla liikkeillä vei enemmän aikaa.

Bergströmin ym. (2010) tutkimuksessa käytäväharvennuksen ajouraväli oli hieman suurempi (+ 0,7 m) kuin valikoivassa harvennuksessa. Tätä selittää se, että käytävissä hakkuulaitteella on enemmän vapaata tilaa puiden prosessointiin, jolloin harvennus on mahdollista tehdä puomin maksimiulottuvuuteen saakka. Tällöin myös taakkakoko kasvaa, mikä edelleen nostaa tuottavuutta (Harstela & Tervo 1978, Iwarsson-Wide 2010, Belbo 2011, Nuutinen ym. 2016, Bergström ym. 2016) erityisesti pieniläpimittaista puustoa harvennettaessa.

Sängstuvallin ym. (2011) simulointitulosten mukaan käytävien leventäminen käytäväharvennuksessa voi lisätä sopivalla kohteella merkittävästi hakkuun tuottavuutta. Harvennuskertymä on käytävien kohdalla sitä suurempi mitä leveämpiä käytävät ovat, jolloin puiden prosessointi helpottuu ja nopeutuu. Samoin käytäväharvennuksessa kasat ovat käytävien kohdalla, minkä voidaan olettaa tehostavan metsäkuljetuksessa kuormausta verrattuna valikoivaan harvennukseseen, jossa kasat ovat keskimäärin pienempiä ja sijaitsevat epäsäännöllisesti. Valikoivassa harvennuksessa kasvamaan jääneiden puiden varominen voi myös hidastaa metsäkuljetuksen kuormausta. Jatkossa tarvitaan käytännön työntutkimusta käytävien leveyden ja niiden sijoittelun vaikutuksista niin hakkuun kuin metsäkuljetuksen tehokkuuteen sekä pitkän ajan seurantakokeita kasvatettavan puuston jatkokehitykseen.

Bergströmin ja Di Fulvion (2014) tutkimuksessa käytäväharvennuksen hakkuun kustannussäästö oli perinteisellä kaato-kasauslaitteella 14 % ja 2 €/m<sup>3</sup> kun poistuman keskikoko oli 15 dm<sup>3</sup>. Säästöstä huolimatta hakkuun absoluuttinen kustannus estää käytäväharvennuksen laajamittaisen kannattavan toteutuksen. Jos käytäväharvennus voidaan toteuttaa ilman ennakkoraivausta kohteella, jossa ennakkoraivaus on välttämätön valikoivan harvennuksen toteutukselle, parantaa se käytäväharvennuksen kilpailukykyä. Esim. jos ennakkoraivauksen tuntikustannus on 30 € ja tuottavuus 0,1 h/tunti (Strandström ym. 2011, Routa ym. 2019), olisi käytäväharvennuksen tuottama ennakkoraivaussäästö 300 €/ha.

Kaato-kasauslaitteet, jotka kaatoivat ja keräsivät puut kerralla koko käytävän leveydeltä, lisäsivät simuloinneissa (Bergström ym. 2007, Sängstuvall ym. 2011) hakkuun tehokkuutta sekä paransivat



kustannustehokkuutta (Bergström & Di Fulvio 2014) varsinkin pienipuustoisissa harvennuksissa. Tämä vastaa Lillebergin (1991) tutkimuksen tulosta, jossa käytäväharvennuksen joukkokäsittelyhakkuu oli 27 % nopeampaa kuin valikoivassa harvennuksessa. On kuitenkin korostettava, että Bergströmin ym. (2007), Sängstuvallin ym. (2011) ja Bergströmin ja Di Fulvion (2014) simulointitutkimuksissa oli oletuksena kaato-kasauslaitteita, joita ei ole olemassa. Forsbergin ja Wennbergin (2011) sekä Jylhän ja Bergströmin (2016) testaamista jatkuvan kaadon kaato-kasauslaitteista puuttui puiden karsinta- ja syöttöominaisuus, mikä hidastaa pitkien puiden katkontaa metsäkuljetukselle sopivaan pituuteen. Jatkossa tulisi kiinnittää huomiota jatkuvan kaadon hakkuulaitteiden kehitystyöhön ja niiden sopivuuteen erilaisiin konemalleihin.

Käytäväharvennuksen jatkokehittäminen suomalaisen puunkorjuuseen edellyttää puunkorjaajien, konerittäjien sekä tutkimus- ja opetusorganisaatioiden yhteistyötä. Työmenetelmää tulisi kehittää niin, että kuljettaja ensimmäisessä harvennuksessa valitsee käytävien paikat mukailemaan puuryhmiä ja maaston muotoja. Käytäväverkosto tulisi suunnitella alku- ja tavoitepuuston mukaan siten, että kasvatettava puusto täyttää hyvän metsähoidon suositukset (Äijälä ym. 2019). Työmenetelmän tärkein osaprosessi on puomin ja hakkuulaitteen liikkuttelu, johon kului suurin osa käytäväharvennuksen tehollisesta työajasta sekä Bergströmin ym. (2010) että Bergströmin ym. (2007) tutkimuksissa.

Jäävän puuston keskimääräinen vuotuinen kasvu oli käytäväharvennuksen jälkeen merkittävästi pienempi kuin valikoivan harvennuksen. Suurimmillaan ero oli Karlssonin ym. (2012) tutkimuksen energiapuumetsiköissä. Eroa selittää todennäköisesti se, että Karlssonin ym. (2012) tutkimuksen metsiköt olivat harvennusvaiheessa tiheää, hoitamatonta taimikkoa, kun taas Mäkisen ym. (2006) tutkimuksen metsiköt olivat ensiharvennusvaiheen hyvin hoidettuja viljelykokeita. Mäkisen ym. (2006) tulokset viittaavat, että käytäväharvennuksen jälkeen metsikön tukkipuuosuus pienenee. On huomattava kuitenkin, että molemmissa tutkimuksissa kasvua seurattiin vain ensimmäisen miestyönä tehdyn harvennuksen jälkeen, mikä ei vastaa nykypäivän koneellista hakkuuta, jossa harvennus tehdään kaksi tai kolme kertaa metsikön kiertoajalla. Molempien tutkimusten pitkän ajan seurannan tulokset käytäväharvennuksen jälkeiseen metsiköiden kehitykseen perustuvat pieneen aineistoon.

Jatkotutkimuksissa tulee selvittää käytävien reunapuiden ja käytävien välisten käsittelemättömien alueiden jatkokehitys sekä käytäväharvennuksen vaikutukset metsikön peitteisyyteen ja monimuotoisuuteen. Käytäväharvennuksen jälkeisen toisen harvennuksen tavasta ja metsikön kehityksestä toisen harvennuksen jälkeen tarvitaan perusteellista tietoa. Kun käytäväharvennuksessa käytävien väliset alueet jäävät ainakin osittain käsittelemättä, jää niihin erikokoista puustoa. Sopivassa metsikössä tämä voi tarjota seuraavassa harvennuksessa perinteisen valikoivan harvennuksen tilalle myös erirakenteisen tai kaksijaksoisen metsän kasvatusvaihtoehdon. Kaksijaksoisessa metsässä kasvaa kahta eri puusukupvea: esimerkiksi kuusen taimikko alikasvoksena ja sitä suojaava varttuneempi lehtipuusto vallitsevana latvuserroksena (Valkonen 2000, Äijälä ym. 2019). Erirakenteisessa metsikössä puolestaan on kaikenkokoisia puita ja metsiköiden rakenteen luokittelu perustuu puuston runkolukujakauman laajuuteen ja muotoon (Lähde ym. 1999). Ulvcronan ym. (2017) ja Witzellin ym. (2019) mukaan nuorissa käytäväharvennetuissa metsiköissä on harvennuksen jälkeen enemmän erikokoisia puita kuin valikoivan harvennuksen metsiköissä.

Isomäen ja Väisäsen (1980) tutkimuksessa valikoiva harvennus lisäsi puuston keskipituutta ja keskiläpimittaa 1-2 % enemmän kuin käytäväharvennus. Valikoivassa harvennuksessa poistetaan ajourien välialueilta valikoivaa alaharvennusta noudattaen pääsääntöisesti metsikön pienimpiä puita, jolloin kasvaamaan jätetty puusto luonnollisesti järeytyy. Käytäväharvennus kohdistui yhtä voimakkaasti kaikkiin puuston latvuserroksiin ja tämän takia jäävän puuston rakenne säilyi lähellä harvennusta edeltäneissä arvoissa.

Käytäväharvennuksen poistuma pinta-alaa kohden oli huomattavasti suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa. Suurempi harvennuskertymä on korjuun kannattavuutta parantava tekijä varsinkin pienipuustoisissa ensiharvennuksissa (Kärhä ym. 2001, Oikari ym. 2008). Kun käytäviltä poistetaan kaikki puut, johtaa se siihen, että käytäväharvennuksessa käsitellään runkoja vähemmän hehtaaria kohden laskettuna kuin yhtä voimakkaassa valikoivassa harvennuksessa, mutta poistettavat puut ovat keskimäärin suurempia. Isomäen ja Väisäsen (1980) tutkimuksessa harvennustavan vaikutus poistettavien puiden kokoon ei kuitenkaan selvästi näkynyt. Katsauksemme tutkimusten tulokset eivät myöskään vahvista, onko käytäväharvennustavan hakkuun tehostumisen etuna ensisijaisesti harvennuskertymän määrä vai poistettavien puiden suurempi koko.

Kirjallisuuskatsauksemme tuloksiin perustuen käytäväharvennus on jatkotutkimisen ja -kehittämisen arvoinen hoito- ja korjuumenetelmä ainakin pienpuustoisiin ylitiheänä kasvaviin ensiharvennuksiin, jossa perinteinen valikoiva harvennus ei ole kannattavaa. Tällöin myös nämä metsiköt olisi mahdollista saada kannattavan puuntuotannon piiriin. Katsauksemme Pohjoismaisista käytäväharvennuksen tutkimuksista osoittaa tietämyksen rajallisuuden niin itse työmenetelmästä kuin sen vaikutuksista puustoon. Käytäväharvennuksen vaikutuksia metsäkuljetukseen ei myöskään ole tutkittu, joten jatkotutkimukset siitä ovat välttämättömiä.

## Viitteet

- Belbo H. 2011. Efficiency of Accumulating Felling Heads and Harvesting Heads in Mechanized Thinning of Small Diameter Trees. Doctoral thesis. Linnaeus University Dissertations No. 66/2011. 42 s.
- Bergkvist I. 2003. Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring. Skogforsk Uppsala Resultat 5: 1–4.
- Bergström D. 2009. Techniques and systems for boom corridor thinning in young dense forests. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forest Sciences. No. 2009: 87. 53 s.
- Bergström D., Bergsten U. & Nordfjell T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica* 41(1): 137–147. <https://doi.org/10.14214/sf.311>.
- Bergström D., Bergsten U., Hörnlund T. & Nordfjell T. 2012. Continuous Felling of small diameter trees in Boom-corridors with a prototype felling head. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27(5): 474–480. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.663404>.
- Bergström D., Bergsten U. & Nordfjell T. 2010. Comparison of boom-corridor thinning and thinning from below harvesting methods in young dense Scots pine stands. *Silva Fennica* 44(4): 669–679. <https://doi.org/10.14214/sf.134>.
- Bergström D. & Di Fulvio F. 2014. Comparison of the cost and energy efficiencies of present and future biomass supply systems for young dense forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29 (8): 793–812. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.976590>.
- Bergström D., Di Fulvio F. & Nuutinen Y. 2016. Effect of forest structure on operational efficiency of a bundle-harvester system in early thinnings. *Croatian Journal of Forest Engineering* 37(1): 37–49.
- Bredberg, C-J. 1972. Type stands for first thinning. Research Notes No. 55. Royal College of Forestry, Department of Operational Efficiency. Stockholm, Sweden. 42 s.
- Brunberg T. & Iwarsson-Wide M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträdshantering i gallring. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 796. 14 s.
- Cooper H-M. 1989. Integrating research. A guide for literature reviews. 2<sup>nd</sup> ed, Sage Publications. 157 s.
- Eliasson L. 1999. Simulation of thinning with a single-grip harvester. *Forest Science* 45(1): 26–34. <https://doi.org/10.1093/forestscience/45.1.26>.
- Forsberg J. & Wennberg R. 2011. Teknikutveckling av aggregat för kontinuerligt ackumulerande skörd i unga skogar. Examensarbete. Institutionen för teknikvetenskap och matematik/Institutionen för ekonomi, teknik och samhälle. Luleå tekniska universitet. 124 s.
- Gustavsson R. 1974. Type stands for cleaning. Research No. 70. Garpenberg: Royal College of Forestry, Department of Operational Efficiency. 23 s.
- Harstela P. & Tervo L. 1978. Taimikkopuun korjuumenetelmien vertailua. *Silva Fennica* 12(2): 79–84.
- Isomäki A. & Väisänen J. 1980. Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään. *Folia Forestalia* 450. 14 s.
- Iwarsson-Wide M. 2010. Technology and methods for logging in young stands. Julkaisussa: Thorsen Å., Björheden R. & Eliasson, L. (toim.). Efficient forest fuels supply systems, Skogforsk. s. 56–59.
- Johansson K., Axelin A., Stolt M. & Ääri R-L. 2007. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turun yliopisto. Hoitotieteen julkaisuja. Tutkimuksia ja raportteja A:51. 120 s.
- Jylhä P., Bergström D. (2016). Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 88: 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.016>.
- Karlsson L., Bergsten U., Ulvcrona T. & Elfving B. 2012. Long-term effects of growth and yield of corridor thinning in young *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Engineering* 28(1): 28–37. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.702222>.
- Kuitto P-J., Keskinen S., Lindroos J., Oijala T., Rajamäki J., Räsänen T. & Terävä J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. *Metsätehon tiedotus* 410. 38 s.

- Kärhä K. (toim.). 2001. Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. HARKO-projektin 1999–2001 loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382. 93 s.
- Kärhä K., Rönkkö E. & Gumse S-I. 2004. Productivity and cutting costs of thinning harvesters. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 43–56. <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702496>.
- Kärhä K., Laitila J., Jylhä P., Nuutinen Y. & Keskinen S. 2009. Kokopuun paalaus -tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. *Metsätehon Raportti* 211. 60 s.
- Laitila J. 2012. Methodology for choice of harvesting system for energy wood from early thinning. *Dissertationes Forestales* 143. 68 s. <https://doi.org/10.14214/df.143>.
- Lilleberg R. 1991. Harvennustapa ja puiden joukkokäsittely ensiharvennusmännikön koneellisessa hakkuussa. *Metsätehon tiedotus* 406. 11 s.
- Luonnonvarakeskus. 2019. Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2019. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/545183>. [Viitattu 23.4.2020].
- Lähde E., Laiho O. & Norokorpi Y. 1999. Ekometsänhoidon perusteet ja mallit. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 736. 61 s.
- Läspä O. & Nurmi J. 2018. Geometrical thinning in energy wood harvesting. *International Journal of Forest Engineering* 29(3): 171–178. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1493845>.
- Moher D., Liberati A., Tetzlaff J. & Altman D.G. 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis: The prisma statement. *PloS Med* 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
- Mäkinen H., Antti Isomäki A., Hongisto T. 2006. Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry* 79(1): 103–121. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi061>.
- Nordfjell T., Bergström D., Wennberg R., Forsberg J. & Bergsten U. 2011. Geometric thinning for forest bioenergy. 44th International Symposium on Forestry Mechanisation: “Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering”, October 9-13, 2011 in Graz, Austria. 8 s.
- Nuutinen Y. & Björheden R. 2016. Productivity and work processes of small-tree bundler Fixteri FX15a in energy wood harvesting from early pine dominated thinnings. *International Journal of Forest Engineering* 27(1): 29–42. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1109175>.
- Oikari M., Kärhä K., Palander T., Pajujoja H. & Ovaskainen H. 2008. Puunkorjuun tehostaminen nuorista metsistä. *Metsätehon katsaus* 36. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/puunkorjuun-tehostaminen-nuorissa-metsissa/>. [Viitattu 14.4.2020].
- Ovaskainen H., Uusitalo J. & Väätäinen K. 2004. Characteristics and significance of a harvester operators’ working technique in thinnings. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 67–77. <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702498>.
- Routa, J., Nuutinen, Y. & Asikainen, A. 2019. Productivity in Mechanizing Early Tending in Spruce Seedling Stands. *Croatian Journal of Forest Engineering* 41(1): 1–11.
- Rummer R-B. 1993. Thinning with the Gafner Tri-Trac feller/buncher: a case study. Research Paper Southern Forest Experiment Station. USDA Forest Service. SO-273. 5 s.
- Russel C-L. 2005. An overview of the integrative research review. *Prog Transplant* 15(1): 8–13.
- Ryynänen S. & Rönkkö E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Työtehoseuran julkaisuja 381. 67 s.
- Salminen J. 1996. Puunkorjuun tekninen kehitys Suomessa. Julkaisussa: Väätäjä M. (toim.). Puoli vuosisataa koneellista puunkorjuuta. s. 16–53.
- Siren M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 694. 179 s.
- Strandström M., Saarinen V-M., Hallongren H., Hämäläinen J., Poikela A. & Rantala J. 2011. Koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukyky. *Metsätehon raportti* 218. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti\\_218\\_Koneellisen\\_istutuksen\\_ms\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_218_Koneellisen_istutuksen_ms_ym.pdf).

- Suadicani K. & Nordfjell T. 2003. Operational aspects of row and selective thinning in the establishing of a shelterwood in a 50-year-old Norway spruce stand. *International Journal of Forest Engineering* 14(1): 25–37. <https://doi.org/10.1080/14942119.2003.10702467>.
- Sängstuvall L., Bergström D., Lämås T. & Nordfjel T. 2011. Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27(1): 56–73. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.628335>.
- Ulvcrona K., Bergström D. & Bergsten U. 2017. Stand structure after thinning in 1–2 wide corridors in young dense stands. *Silva Fennica* 51(3). 15 s. <https://doi.org/10.14214/sf.1563>.
- Valkonen S. 2000. Kuusen alikasvos ja kaksijaksoinen metsikkö – mahdollisuudet ja kannattavuus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2000(1): 44–49.
- Väätäinen K., Ovaskainen H., Ranta P. & Ala-Fossi A. 2005. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 937. 100 s.
- Witzell J., Bergström D. & Bergsten U. 2019. Variable corridor thinning – a cost-effective key to provision of multiple ecosystem services from young boreal conifer forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34(6): 497–507. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1596304>.
- Äijälä O., Koistinen A., Sved J., Vanhatalo K. & Väisänen P. (toim.) 2019. *Metsänhoidon suositukset*. Tapion julkaisuja. 255 s. Saatavilla: [https://www.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2019/09/Metsanhoidon\\_suosituksset\\_Tapio\\_2019\\_verkko\\_1.2.pdf](https://www.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2019/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019_verkko_1.2.pdf).



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000