

KÄYTÄVÄHARVENNUS – MENETELMÄ NUORTEN METSIEN ENSIMMÄISEEN KONEELLISEEN HARVENNUKSEEN

Kehittämishankkeen loppuraportti

Joensuu 20.9.2019

Yrjö Nuutinen^a, Urpo Hassinen^b, Heikki Karppinen^b, Leena Leskinen^b, Markku Remes^b, Seija Tiitinen-Salmela^b, Jyri Schildt^c, Jari Miina^a, Timo Saksa^a, Kari Kautto^a, Raimo Jaatinen^a, Raino Lievonen^a, Timo Muhonen^a, Taina Kokko^b, Teemu Tiitinen^d, Manu Varis^e

^aLuonnonvarakeskus (Luke), ^bSuomen metsäkeskus, ^cUPM, ^dMetsäkoneurakointi Teemu Tiitinen Oy, ^eVaris Forest Oy



Tiivistelmä

Hankkeessa kehitettiin käytäväharvennuksen työmenetelmä nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. Kehittämistyössä selvitettiin käytäväharvennuksen vaikutukset hakkuun tehokkuuteen, kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään sekä laadittiin käytäväharvennuksen koulutuspaketti hyödynnettäväksi hankkeen jälkeen.

Testihakkuussa työmenetelmä oli nopeampi kuin perinteinen valikoiva harvennus ja se täytti Suomen metsäkeskuksen määrittelemät hyvän metsänhoidon ja korjuujäljen kriteerit. Puustomittauksissa ja kasvunsimuloinneissa ei havaittu merkittäviä eroja metsiköiden puuston rakenteessa ja puutavaralajikertymissä käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen välillä.

Pelkästään hakkuukoneita kehittämällä tuskin saadaan enää riittävää kustannussäästöä vaan tarvitaan menetelmäkehitystä Suomen ensiharvennusrästien poistamiseksi. Käytäväharvennus tuo mahdollisuuden parantaa ensiharvennushakkuun tuottavuutta ja laskea pieniläpimittaisen puun hankintakustannuksia energian tuotannon ja metsäteollisuuden raaka-aineeksi. Hankintakustannusten lasku lisää nuorten metsien hakkuiden määrää, jolloin niiden metsänhoidollinen tila paranee ja hoitamattomien metsien määrä vähenee.

Hanke oli yhteistyötä Luonnonvarakeskuksen, Suomen metsäkeskuksen ja UPM:n kesken. Hankkeessa saatiin tutkimusaineisto tutkimusmetsiköiden jatkokehityksen seurantaan, uutta opetusmateriaalia käytäväharvennuksesta metsänomistajien ja metsäammattilaisten koulutukseen, edistettiin käytäväharvennukseen jatkohankkeita sekä soveltuvan teknologian kehittämistä. Hankkeen tulokset ovat julkisia ja hyödynnettävissä valtakunnallisesti. Työmenetelmän eteenpäin viemiseksi tarvitaan uusia tutkimus- ja kehittämishankkeita, joissa tärkeitä kysymyksiä ovat puutuotannon ja korjuun kokonaiskannattavuus metsikön koko kiertoajalla, tukkipuun laatu sekä monimuotoisuus.

Käytäväharvennus – menetelmä nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen - hankkeen rahoittivat Suomen Metsäsäätiö ja Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto.

Sisällys

1 Johdanto	4
1.1 Mihin tarpeeseen hanke vastaa	4
1.2 Puunkorjuuta ja metsänhoitoa tulee kehittää rinnakkain	4
1.3 Harvennushakkuun työmenetelmän kehittäminen	5
1.4 Nykyiset systemaattiset harvennustavat ja niiden tutkimustieto	5
1.5 Hankkeen tavoite	6
2 Toteutus	6
2.1 Kehittämismenetelmä	6
2.2 Testimetsiköt ja koealojen perustaminen	7
2.2.1 Testihakkuumetsiköiden valinta	7
2.2.2 Koealojen perustaminen, puusto- ja korjuujälkimittaukset	8
2.2.3 Testihakkuut ja metsäkuljetus	9
2.3 Koejärjestelyt testimetsiköittäin	10
2.3.1 Testimetsikkö 1	10
2.3.2 Testimetsikkö 2	12
2.3.3 Testimetsikkö 3	13
2.4 Viestintä ja koulutus	14
3 Tulokset	15
3.1 Hakkuutyön rakenne ja tuottavuus	15
3.1.1 Työn rakenne	15
3.1.2 Tuottavuus	16
3.2 Puuston rakenne ennen hakkuuta	18
3.3 Puuston rakenne hakkuun jälkeen	21
3.4 Vaikutukset hakkuukertymien määrään ja rakenteeseen	24
3.4.1 Ensimmäinen testihakkuuharvennus	24
3.4.2 Testihakkuun jälkeiset harvennukset ja päätehakkuu	26
3.5 Metsänhoito- ja korjuuvauriotarkastukset	28
4 Tuotokset	28
4.1 Työmenetelmä	28
4.2 Viestintä	28
4.3 Koulutus	29
4.4 Hankkeen tuottama jatkotutkimus	30
5 Johtopäätökset	30
5.1 Tavoitteiden toteutuminen	30
5.1.1 Hakkuun tuottavuus ja kustannustehokkuus	31
5.1.2 Vaikutukset kasvatettavan puuston ja poistuman rakenteeseen, laatuun ja kehitykseen	31
5.2 Hankesuunnitelman toteutuminen	32
5.2.1 Tuotokset	32
5.2.2 Hankkeen aikataulu ja toimenpiteet	32
5.3 Hankkeen hyödyt	33
5.3.1 Välittömät hyödyt osallistuville tahoille	33
5.3.2 Hankkeen yleiset hyödyt	33
5.5 Esitykset jatkotoimenpiteiksi	35
Kirjallisuus	38
LIITE: hankkeen ohjausryhmän viimeisen kokouksen pöytäkirja	40

1 Johdanto

1.1 Mihin tarpeeseen hanke vastaa

Suomen nuoria metsiä harvennetaan joka vuosi vähemmän kuin niiden metsänhoidollinen tarve edellyttäisi. Tämänhetkinen myöhässä olevien ensiharvennusten (800 000 ha), joissa taimikonhoito on tehty, sekä energiapuurunkoisten hoitamattomien nuorien metsien pinta-ala on yhteensä 1,2 miljoonaa hehtaaria (Remes 2019). Harvennuspuu on vajaakäytössä osittain sen takia, että ensimmäisessä harvennuksessa hakkuukoneen tuottavuus on liian alhainen ja kustannukset korkeat. Rungon koko on suurin hakkuukoneen tuottavuuteen vaikuttava tekijä. Rungon koon pienentyessä hakkuun tuottavuus laskee. 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 pienen rungon koon lisäksi myös alhaisesta hehtaariohanteesta kertymästä. Usein nuorissa metsissä on hakkuuta haittaava tiheä alikasvos, jonka ennakkoraivaus tuottaa lisäkustannuksen. Nykyisellä perinteisellä valikoivalla harvennusmenetelmällä hakkuun osuus on nuoren metsän korjuun (hakkuu + metsäkuljetus) kustannuksista yli puolet (Kärhä ym. 2009).

1.2 Puunkorjuuta ja metsänhoitoa tulee kehittää rinnakkain

Puunkorjuun ja metsänhoidon rinnakkainen kehittäminen on Suomessa ollut systemaattista kehittämistoimintaa, jossa keskeisiä toimijoita ovat olleet tutkimusorganisaatiot, metsäyhtiöt, Metsähallitus, Suomen metsäkeskus sekä yksityiset laite- ja menetelmien kehittäjät. Puunkorjuuta on kehitetty pitkälle metsäteollisuuden raaka-ainesaannin varmistamiseksi. Talviaikaisesta metsätyöntekijän ja hevosen muodostamasta työparista on puunkorjuu kehitetty vajaassa 70-vuodessa useiden koneiden muodostamaksi ympärivuotiseksi logistiseksi puunhankintaketjuksi. Samalla myös metsänhoidon ohjeitakin on muutettu koneellista puunkorjuuta silmällä pitäen. Esimerkiksi hakkuukoneiden tullessa harvennusmetsiin vuonna 1990 yksityismetsien käsittelyohjeissa ajouraväliä kavennettiin 20 m:iin, millä haluttiin parantaa hakkuukone-kuormatractori ketjun kilpailukykyä. Tämä johtui siitä että hakkuukoneiden puomin ulottuvuus on yleensä noin 10 m (Salminen 1996). Hakkuukoneen ja kuormatractorin muodostaman korjuuketjun kehitystyö nostikin metsätyön tuottavuuden uudelle tasolle. Ketjun tuottavuus oli harvennushakkuussa jo 1990-luvun alussa viisinkertainen verrattuna metsuri-kuormatractori-menetelmään (Kahala 1991).

Korjuun tuottavuus harvennumetsissä on kehittynyt huimasti viimeisten 25 vuoden aikana. Perusratkaisultaan hakkuukoneet ovat pysyneet lähes samanlaisena 1990-luvun alusta lähtien. Uudistukset ovat liittyneet lähinnä mittausautomaatiikkaan, tiedonsiirtoon sekä toimintojen automatisointiin (Konttinen & Drushka 1997). 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 hakkuupäillä sekä puiden kuljetus kuormatractorilla tienvarsivarastolle (Iwarsson Wide 2010).

Puunkorjuun tuottavuuskehitys alkoi kuitenkin hidastua 2000-luvun alusta ja on nyt pysähtynyt lähes paikoilleen. Hakkuukonetyössä kokeneiden ja kokemattomien kuljettajien väliset tuottavuuserot ovat suuria. Erot korostuvat entisestään työskentelyolosuhteiden vaikeutuessa (Ovaskainen ym. 2004, Väättäin ym. 2005). Tätä eroa on pyritty pienentämään kuljettajien koulutuksella (Ovaskainen 2012) ja kehittämällä koneita kuljettajaystävällisiksi kuten esimerkiksi automatisoimalla kaato-, karsinta- ja katkontaprosessia.

1.3 Harvennushakkuun työmenetelmän kehittäminen

Pelkästään hakkuukoneen tekniikkaa kehittämällä tuskin saadaan riittävää kustannussäästöä. Tuottavuushyppyyn tarvittaisiin kehitystyötä myös kuljettajaystävälliseen harvennushakkuun työmenetelmään. Kehittämistyössä tulee huomioida niin puunkorjuun kuin metsähoidon lähtökohdat, sillä ilman oikeita teknologioita ja menetelmiä ei voida tehdä hyvää ja kannattavaa metsähoitoa.

Harvennushakkuun työmenetelmän kehittämisessä merkittävin työprosessi on *puiden hakkuu*, joka sisältää hakkuulaitteen viennin puulle, puiden kaadon sekä prosessoinnin (karsinta & katkonta). Tähän työosaan kuuluu suurin osa harvennushakkuun työajasta.

Perinteisesti metsikön ensimmäinen harvennus tehdään alaharvennuksena, jossa poistetaan pienimpiä puita ja jätetään valtapuut kasvamaan. Männikön ensiharvennuksessa käytetään usein mahdollisuuksien mukaan myös laatuharvennusta, jolloin myös huonolaatuisia isojaakin runkoja poistetaan. Valikoivassa harvennuksessa valitaan poistettavat, pääosin pienimmät ja vioittuneet puu yksilöllisesti, ja jätetään riittävä määrä kasvatettavaa puustoa. Tällainen harvennusmenetelmä ei riittävästi ota huomioon suurimmillaan lähes kaksi metriä leveän hakkuulaitteen liikuttelua jäljelle jäävien puiden väleissä. Perinteisellä menetelmällä varsinkin pienipuustoisessa harvennushakkuussa osa puomin liiketehosta jää siis hyödyntämättä, koska jäljelle jääviä puita joudutaan kokoajan varomaan hakkuupäätä siirrettäessä. Samasta syystä hakkuutahteen siirtely ja valmiiden pölkkyjen kasaus ja järjestely vievät ylimääräistä aikaa. Työ hidastuu sitä enemmän mitä vaikeammaksi hakkuuympäristö (esim. mäkisyys, kivisyys ja hakkuuta haittaava alikasvos) muuttuu.

1.4 Nykyiset systemaattiset harvennustavat ja niiden tutkimustieto

Käytössä olevia systemaattisia harvennustapoja ovat rivi- ja käytäväharvennukset. Ne ovat puhtaasti koneellisen harvennushakkuun näkökohdista lähteviä käsittelymenetelmiä. Niissä yksilövalinta tapahtuu pelkästään puiden sijainnin mukaan. Yhdysvalloissa ns. geometrisessa harvennuksessa kone etenee tiheissä ensiharvennuspustoissa pitkin käytäviä niitä avatessaan (Rummer 1993). Istutetuilla plantaaseilla käytetään riviharvennuksia, joissa säännöllisin välimatkoin poistetaan kokonainen puurivi (Suadican & Nordfjell 2003).

Käytäväharvennuksen käytännön testihakkuusta on Suomessa (Lilleberg 1991, Ovaskainen 2014, Läspä & Nurmi 2018) tehty kolme ja Ruotsissa yksi käytännön työntutkimus (Bergström ym. 2010). Bergströmin ym. (2010), Ovaskaisen (2014) sekä Läspän ja Nurmen (2018) tutkimusten testihakkuumetsiköt olivat mäntyvaltaisia. Metsiköt harvennettiin joukkokäsittelyhakkuuna tai energiapuurankana. Testihakkuissa metsiköihin avattiin noin metrin levyisten käytävien verkostoja erilaisissa kulmissa ajouraan nähden. Käytävien väliset alueet jätettiin kokonaan käsittelemättä. Lillebergin (1991) tutkimuksen kohteet olivat niin

ikään ensiharvennumänniköitä, joissa 45-90 asteen kulmissa poistettiin peräkkäin olevat puut sekä linjojen väliltä tarvittaessa alaharvennueriperiaatteella. Kaikkien tutkimusten johtopäätös oli, että systemaattisella harvennuksella on mahdollista lisätä koneellisen harvennuhakkuun tuottavuutta. Testihakkuiden tulokset antoivat viitteitä, että käytäväharvennuksen työtekniikoiden soveltamisella varsinkin pieniläpimittaisen puun harvennuksessa olisi mahdollista saada kustannussäästöjä.

Systemaattisen harvennustapojen pitkäaikaisia vaikutuksia puuston kasvuun ja rakenteeseen ovat selvittäneet Isomäki & Väisänen (1980), Karlsson ym. (2012), Mäkinen ym. (2006) ja Ulvcrona ym. (2017). 20 – 30 vuoden seurantatutkimuksissa systemaattisten harvennustapojen aiheuttama kasvutappio ei ollut kovin suuri, jonka oletettiin olevan mahdollista korvata alentuvilla korjuukustannuksilla. Systemaattisten hakkuutapojen tutkimuksia Pohjois-maissa on kuitenkin tehty liian vähän eikä niitä ole kohdennettu riittävästi niihin ensiharvennumetsiin, joissa on suurimmat hakkuurästit. Kasvuseurannan koemetsiköt tehtiin miestyönä (Mäkinen ym. 2006) , joten ne eivät puuston tilajärjestykseltään vastaa tämän päivän hakkuukoneella tehtyjä harvennuksia. Jatkotutkimuksia siis tarvitaan systemaattisten harvennustapojen vaikutuksista niin puunkorjuun kuin puutuotannon kannattavuuteen.

1.5 Hankkeen tavoite

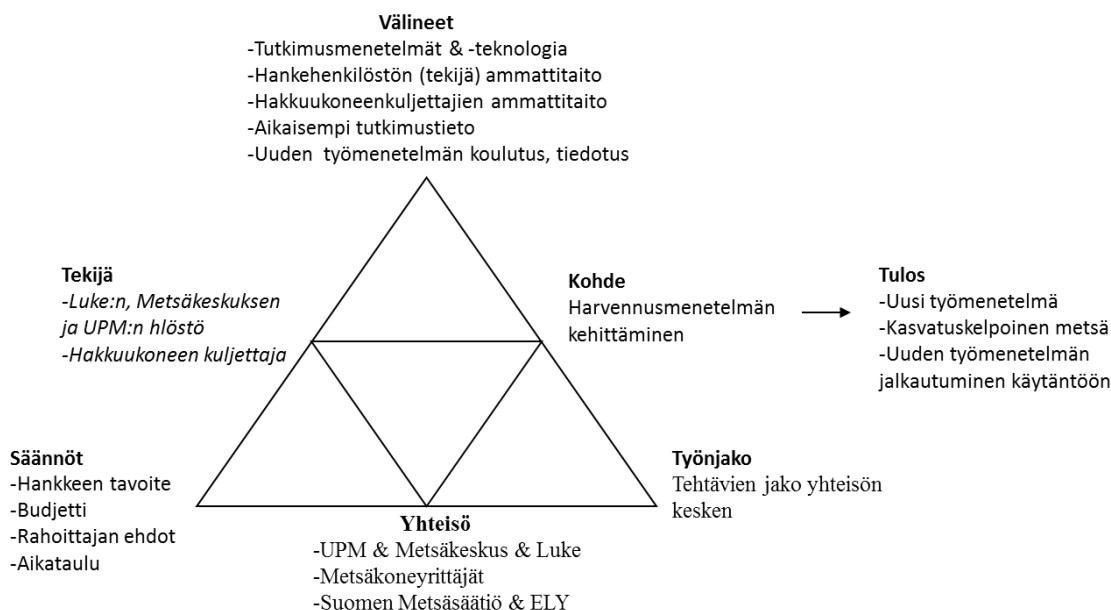
Hankkeemme päätavoite oli kehittää systemaattistenharvennustapojen perusidea suomalaisen hakkuuympäristöön niin, että uudella työmenetelmällä voitaisiin tehostaa hakkuukoneen puomin liikuttelua metsän harvennuksessa.

Kehittämisen lähtökohdaksi asetettiin kuljettajaystävällinen työmenetelmä, joka samalla täyttää tämänhetkiset hyvän metsähoidon suositukset. Tavoitteena oli myös löytää vaihtoehtoja monipuolistaa metsänhoitomenetelmiä ja tasoittaa kuljettajien välisiä tuottavuuseroja.

2 Toteutus

2.1 Kehittämismenetelmä

Käytäväharvennuksen työmenetelmää kehitettiin toimintatutkimuksen keinoin. Toimintatutkimuksen lähtökohtana on yhdistää tieteellisyys ja käytännöllisyys (Kananen 2014). Hankkeen toteutuksessa tähän tarvittiin niin metsäteollisuuden, korjuuyrittäjän, metsäviranomaisen kuin tutkimusorganisaation asiantuntemusta ja selkeää vastuualueiden jakoa eri osapuolten kesken. Kehittämisen perustana oli aikaisempi tutkimustieto systemaattisista harvennustavoista sekä hankkeen edetessä kerätty tieto uudesta työmenetelmästä. Testihakkuissa harvennusmenetelmää kehitettiin työntutkijan ja kuljettajan yhteistyönä. Tutkija oli koko ajan kuljettajan mukana testihakkuussa hakkuukoneen ohjaamossa, sillä menetelmän kehittäminen edellytti tiivistä tutkijan ja kuljettajan vuorovaikutusta. Työntutkimuksen metodeja ja mittausteknologiaa käytettiin hankkeen edetessä eri menetelmien mittaamiseen ja vertaamiseen (Kuva 1).



Kuva 1. Käytävaharvennuksen kehittämishankkeen toimintamalli (Engeström 1987, Nuutinen 2013).

2.2 Testimetsiköt ja koealojen perustaminen

2.2.1 Testihakuumetsiköiden valinta

Testihakkuut tehtiin kolmessa ensiharvennusmetsikössä. Testimetsiköt valittiin niin, että ne olivat puustoltaan mahdollisimman tasaisia ja korjuuolosuhteiltaan (maastonkaltevuus ja kivisyys) mahdollisimman helppoja (Kuva 2):

Testimetsikkö1 (Suonenjoki)

- *Mäntyvaltainen ensiharvennusmetsikkö,*
 - Ei ole hakkuuta haittaavaa alikasvosta
 - Kuivahko kangasmetsä, VT
 - Taimikonhoito on tehty 15-vuoden iässä
 - Ikä 35 v
 - Keskipituus ennen hakkuuta 134 dm
 - Pohjapinta-ala ennen hakkuuta 24 m²/ha
 - Puuston tilavuus ennen hakkuuta 159 m³/ha
 - Runkoluku ennen hakkuuta 1800 /ha
 - Puulajisuhteet ennen hakkuuta Mä 95 %, Ku 5 %
 - Poistettavien runkojen keskikoko on 60-70 dm³

Testimetsikkö 2 (Paihola)

- *Koivuvaltainen ensiharvennusmetsikkö,*
 - Voimakas hakkuuta haittaavaa alikasvos
 - Lehtomainen kangasmetsä, OMT
 - Taimikonhoitoa ei ole tehty
 -
 - Ikä 25 v
 - Keskipituus ennen hakkuuta 120 dm
 - Pohjapinta-ala ennen hakkuuta 17 m²/ha
 - Puuston tilavuus ennen hakkuuta 100 m³/ha
 - Runkoluku ennen hakkuuta 1500/ha
 - Puulajisuhteet ennen hakkuuta Mä 6 % , Ku 12 % , Rako 61 % , Hiko 21 %
 - Poistettavien runkojen keskikoko on 50-80 dm³

Testimetsikkö 3 (Konnevesi)

- *Mäntyvaltainen ensiharvennusmetsikkö,*
 - Hakkuuta vähäisesti haittaava alikasvos
 - Tuore kangasmetsä, MT
 -
 - Taimikonhoito on tehty 12-vuoden iässä
 - Ikä 24 v
 - Keskipituus ennen hakkuuta 120 dm
 - Pohjapinta-ala ennen hakkuuta 23 m²/ha
 - Puuston tilavuus ennen hakkuuta 138 m³/ha
 - Runkoluku ennen hakkuuta 1700/ha
 - Puulajisuhteet Mä 82 % , Ku 10 % , Ko 8 %
 - Poistettavien runkojen keskikoko on 50-80 dm³



Kuva 2. Testimetsiköt vasemmalta oikealle: Suonenjoki, Paihola ja Konnevesi.

2.2.2 Koealojen perustaminen, puusto- ja korjuujälkimittaukset

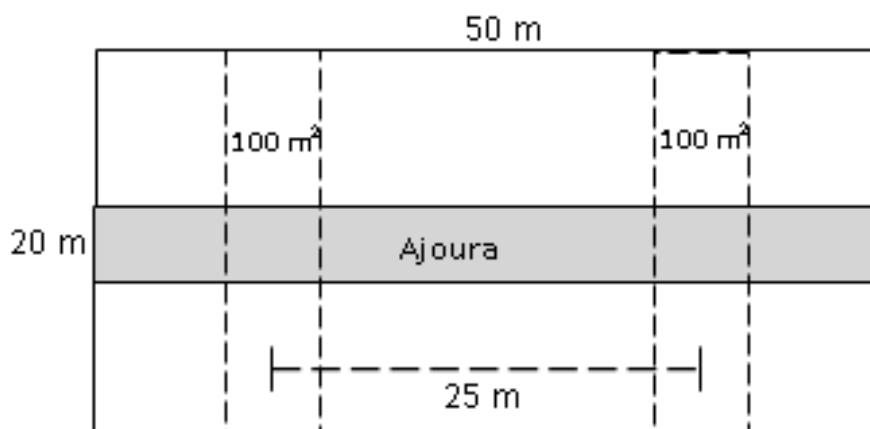
Testihakkuut tehtiin koealoilla, joiden pituus oli 50 metriä ja leveys 20 metriä. Keskelle koealaa merkittiin ajoura eli ajouran keskeltä oli 10 metriä koealan reunaan, mikä oli myös hakkuukoneen puomin maksimi ulottuvuus. Koealat sijoitettiin testimetsikköön niin, että

puusto niiden kesken oli mahdollisimman samankaltainen. Kaikissa testimetsiköissä maasto oli tasainen ja tutkittaville koneille helppokulkuinen.

Ennen testihakkuuta koalojen puusto mitattiin 100 m² puustomittausaloilta (Kuva 3). Kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja koepuista pituus ja elinvoimaisen latvuksen pituus. Testihakkuun jälkeen 50 x 20 m koaloilta mitattiin kaikkien puiden rinnankorkeusläpimitta sekä puiden sijaintikoordinaatit. Korjuujäljen inventoinnissa mitattiin jäävän puuston korjuuvauriot sekä testihakkuukoalojen metsähoidollinen tila Suomen metsäkeskuksen mittausohjeen mukaisesti (Suomen metsäkeskus 2018).

Mitatuilla puustotunnuksilla laskettiin puuston määrä ja rakenne ennen hakkuuta ja hakkuu jälkeen.

Puustomittausten pohjalta Suonenjoen ja Konneveden männiköissä testihakkuun jälkeen kasvamaan jääneen puuston kehitys ja hakkuut simuloitiin kiertoajan loppuun. Simuloinnissa laskettiin poistuman määrä ja puutavaralajirakenne metsikön koko kiertoajalle. Simuloinnissa puuston tilajärjestyksen vaikutus puiden kasvuun laskettiin spatiaalisilla malleilla (Pukkala ym. 1998). Apteerauksessa (= puiden tukki- ja kuitusuuden määrittäminen) ei huomioitu puiden laatua vaan vain puiden koko (Laasasenahon runkokäyrät ja minimidimensiot).



Kuva 3. Testihakkuukoala, jossa kaksi puustomittausalaa.

2.2.3 Testihakkuut ja metsäkuljetus

Testihakkuussa hakkuukone mittasi koaloittain poistettujen puiden tilavuuden ja kappalemäärän, jotka tallentuivat hakkuukoneen tietokoneelle. Hakkuutyön tuottavuus mitattiin jokaiselta koalalta erikseen. Hakkuutyön tuottavuus määritettiin mittaamalla koaloilta hakatun puun määrä ja hakkuuseen kulunut aika.

Hakkuu ja metsäkuljetus (vain Paihola) kuvattiin kuljettajan päähän asetetulla videokameralla. Videotallenteista määritettiin koaloittain hakkuuaika ja eri työvaiheiden ajanmenekit työajanmittausohjelmalla, joka toimii Microsoftin Visual Basic For Applications -alustalla Excel-sovelluksessa (Lauren, UEF).

Metsäkuljetuksen tuottavuus mitattiin vain Paiholan testimetsikössä. Ainespuun ja energiapuuran kuljetuksen tuottavuus mitattiin jokaiselta koalalta erikseen (Kuva 3).

Metsäkuljetuksen tuottavuus määritettiin mittaamalla koealoilta kuljetetun puun määrä ja siihen kulunut aika. Puun määrä saatiin metsätraktorin kuormainvaakamittauksella.

2.3 Koejärjestelyt testimetsiköittäin

2.3.1 Testimetsikkö 1

Suonenjoen testimetsikön testihakkuu tehtiin VarisForest Oy:n Ponsse Beaver harvesterilla varustettuna perinteisellä hakkuulaitteella, joka karsi ja katkoi rungot eri puutavaralajeiksi yksinpuin menetelmällä. Yksinpuin menetelmän tarkoittaa, että puut prosessoidaan yksitellen hakkuulaitteessa. sekä mittasi prosessoitujen puiden kuorellisen tilavuuden ja kappalemäärän. Käytäväharvennuksen työmenetelmän testaus eteni kahdessa vaiheessa:

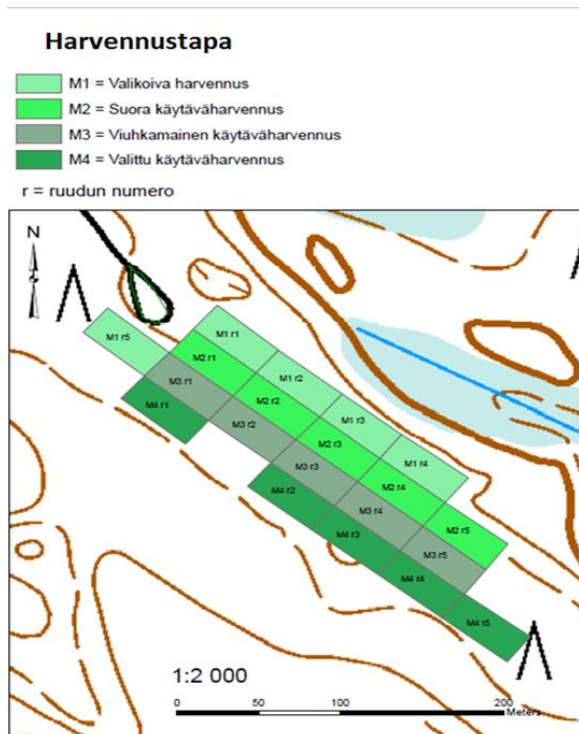
Testi 1

Testiin 1 perustettiin yhteensä 20 koealaa kolmelle eri käsittelylle; 5 koealaa kullekin käsittelylle (Kuvat 4 ja 5). Keskelle koealaa merkittiin ajoura eli ajouran keskeltä oli 10 metriä koealan reunaan.:

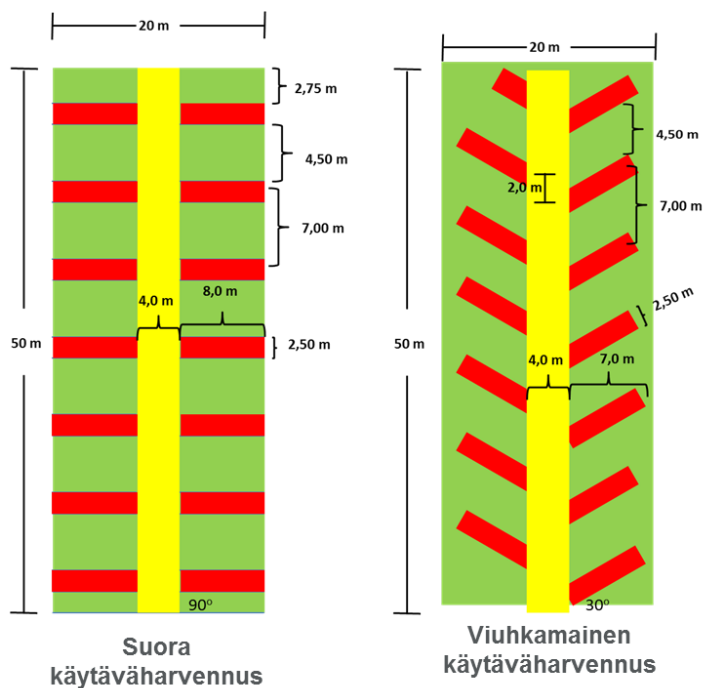
- Valikoiva harvennus, jossa ajourien väliset alueet harvennettiin. Ensisijaisesti poistettiin pienimpiä, huonolaatuisempia ja mahdollisesti jollakin tapaa vioittuneita puita.
- Täysin systemaattinen kohtisuora käytäväharvennus, jossa ajouralta avattiin 2,5 metrin levyiset käytävät kohtisuoraan ajouraa vasten ja käytävien väliset alueet jätettiin käsittelemättä. Käytäviltä poistettavat puut merkittiin maalimerkillä.
- Täysin systemaattinen viuhkamainen käytäväharvennus, jossa ajouralta avattiin 2,5 metrin levyiset käytävät 30 asteen kulmassa ajouraan nähden ja käytävien väliset alueet jätettiin käsittelemättä. Käytäviltä poistettavat puut merkittiin maalimerkillä.

Testi 2

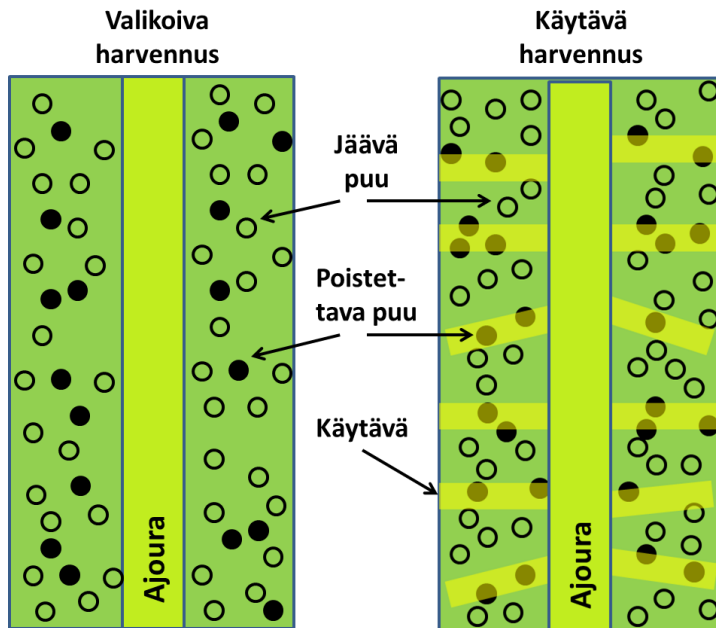
Testin 1 harvennuskäsittelyjen kokemusten ja tulosten pohjalta syntyi *osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennuksen* malli, joka mitattiin ja analysoitiin testissä 2. Testissä 2 oli yhteensä 5 koealaa. Käytäviltä poistettavia puita ei enää merkitty. Koealan keskilinjalle (= ajoura) merkittiin ohjeelliset käytävien paikat, joiden tarkan sijainnin kuljettaja valitsi testihakkuun aikana kasvatettavan puuston mukaan. Käytävien leveys ja välimatka olivat keskimäärin samat kuin testissä 1 (Kuvat 2, 4 ja 6).



Kuva 4. Suonenjoen testimetsikön testihakkuun harvennuskäsittelyt. (Kuva: Kari Kautto, Luke).



Kuva 5. Testin 1 käytäväharvennuskäsittelyt Suonenjoen testimetsikössä.



Kuva 6. Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus verrattuna valikoivaan harvennukseen.

2.3.2 Testimetsikkö 2

Paiholan testimetsikön testihakkuu tehtiin Metsäkoneurakointi Oy:n Teemu Tiitisen Komatsu 901 harvesterilla. Ainespuut tehtiin yksipuinmenetelmällä ja energiapuut karsittuna joukkokäsittelyhakkuuna. Joukkokäsittelyssä hakkuulaite prosessoi ja kerää kaksi tai useampia puita yhden puomikierroksen aikana. Ennen testihakkuuta kuljettaja perehdytettiin Suonenjoen testimetsikössä harvennusmenetelmien työtekniikoihin. Paiholassa oli tavoitteena hyödyntää Suonenjoen testihakkuun työmenetelmiä osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen soveltamiseen Paiholan koivuvaltaisen puuston erityispiirteet huomioiden. Paiholassa heti testihakkuun jälkeen tehtiin metsäkuljetus ja sen työntutkimus (Kuva 2).

Paiholan testileimikossa oli kolme erilaista harvennuskäsittelyä; kolme testihakkuukoelaa kullakin käsittelyllä (Kuvat 6 ja 7):

- Valikoiva harvennus, ennakkoraivattu. Koelan keskilinjalle merkittiin ajoura. Valikoiva harvennus, jossa ajourien väliset alueet harvennettiin. Ensisijaisesti poistettiin pienimpiä, huonolaatuisempia ja mahdollisesti jollakin tapaa vioittuneita puita. Koaloilta raivattiin ennen hakkuuta kuusialikasvos jättäen kasvatuskelpoista alikasvosta noin 1000 puuta/ha.
- Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus, ennakkoraivattu. Koelan keskilinjalle merkittiin ajoura ja ohjeelliset käytävien paikat, joiden tarkan sijainnin kuljettaja valitsi testihakkuun aikana kasvatettavan puuston mukaan. Käytävien leveys ja välimatka olivat keskimäärin samat kuin Suonenjoella (Kuvat 5 ja 6). Käytävien väliset alueet jätettiin käsittelemättä. Koaloilta raivattiin ennen hakkuuta kuusialikasvos jättäen kasvatuskelpoista alikasvosta noin 1000 puuta/ha.

- Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus, ei ennakkoraivausta. Koealan keskilinjalle merkittiin ajoura ja ohjeelliset käytävien paikat, joiden tarkan sijainnin kuljettaja valitsi testihakuun aikana kasvatettavan puuston mukaan. Käytävien leveys ja välimatka olivat keskimäärin samat kuin Suonenjoella (Kuvat 5 ja 6). Käytävien väliset alueet jätettiin käsittelemättä.

Harvennuskäsittely

- M1 = Valikoiva harvennus, ennakkoraivattu
- M2 = Käytäväharvennus, ennakkoraivattu
- M3 = Käytäväharvennus, ei ennakkoraivausta



Kuva 7. Paiholan testimetsikön testihakuun harvennuskäsittelyt (Kuva: Kari Kautto, Luke).

2.3.3 Testimetsikkö 3

Konneveden testimetsikössä oli sama kuljettaja ja hakkuukone kuin Suonenjoen testimetsikössä. Puut prosessoitiin yksipuin menetelmällä. Tavoitteena oli kehittää osittain kuljettajavalintaista käytäväharvennusta hyödyntäen Suonenjoella ja Paiholassa kehitettyjä työmenetelmiä huomioiden Konneveden puuston erityispiirteet (Kuva 2). Ennen testihakuuta kuljettaja perehdyttiin Paiholan testimetsikössä aikaansaatuun harvennusmenetelmien työtekniikoihin.

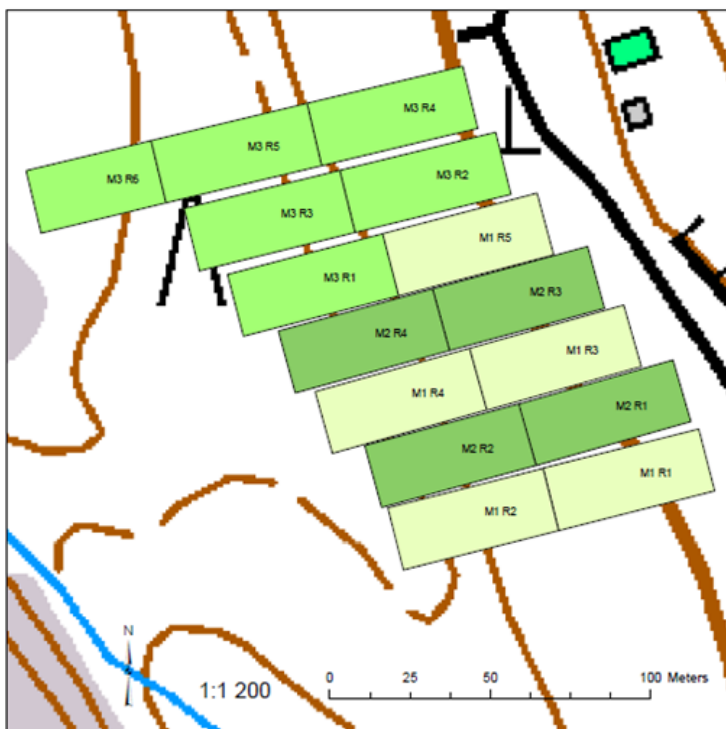
Konneveden testimetsikössä oli kolme erilaista harvennuskäsittelyä (Kuvat 6 ja 8):

- Valikoiva harvennus (5 koealaa). Koealan keskilinjalle merkittiin ajoura. Ensisijaisesti poistettiin pienimpiä, huonolaatuisempia ja mahdollisesti jollakin tapaa voittuneita puita.

- Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus 1 (4 koealaa). Koealan keskilinjalle merkittiin ajoura ja ohjeelliset käytävien paikat, joiden tarkan sijainnin kuljettaja valitsi testihakkuun aikana kasvatettavan puuston mukaan. Käytävien leveys ja välimatka olivat keskimäärin samat kuin Suonenjoella (Kuvat 5 ja 6). Käytävien väliset alueet jätettiin käsittelemättä.
- Kuljettajavalintainen käytäväharvennus 2 (6 koealaa). Koealan keskilinjalle merkittiin vain ajoura. Kuljettaja valitsi testihakkuun aikana käytävien sijainnin kasvatettavan puuston mukaan. Käytävien leveys ja välimatka olivat keskimäärin samat kuin Suonenjoella (Kuva 5). Käytävien välisiltä alueilta voitiin poistaa yksittäisiä puita.

Harvennuskäsittely

- M1 = Valikoiva harvennus
- M2 = Käytäväharvennus 1
- M3 = Käytäväharvennus 2



Kuva 8. Konneveden testimetsikön testihakkuun harvennuskäsittelyt (Kuva: Kari Kautto, Luke).

2.4 Viestintä ja koulutus

Hankkeen edetessä sen tuloksia tiedotettiin ja koulutettiin säännöllisesti. Hankkeen tuloksista tiedotettiin Luonnonvarakeskuksen hanketiedotteissa, Suomen metsäkeskuksen ja UPM:n sisäisissä hanketiedotteissa, ammattilehdissä, sanomalehdissä ja postereilla. Koulutusta järjestettiin Metsäkeskuksen henkilöstölle valtakunnallisissa webinaareissa. Hankkeen aineistosta ohjattiin opinnäytetöitä. Hankkeesta pidettiin väliseminaari ja päätösseminaari metsäalan käytännön toimijoille. Metsäkeskuksen verkkosivuilla hankkeesta julkaistiin Gimlet LMS verkko-oppimistalustalle itsenäisesti läpikäytävä esittelymateriaali. Hankkeen

tuloksia esiteltiin jatkohankkeiden suunnittelukokouksissa. MAT Future Vision teki hankkeen hankkeesta noin 5 min esittelyvideon, joka tallennettiin YuoTubeen. Hankkeen taustat, tavoitteet ja alustavat tulokset esiteltiin Metsäkeskuksen järjestämässä energiayrittäjien ja metsänomistajien lämpöyrittäjätapaamisissa.

3 Tulokset

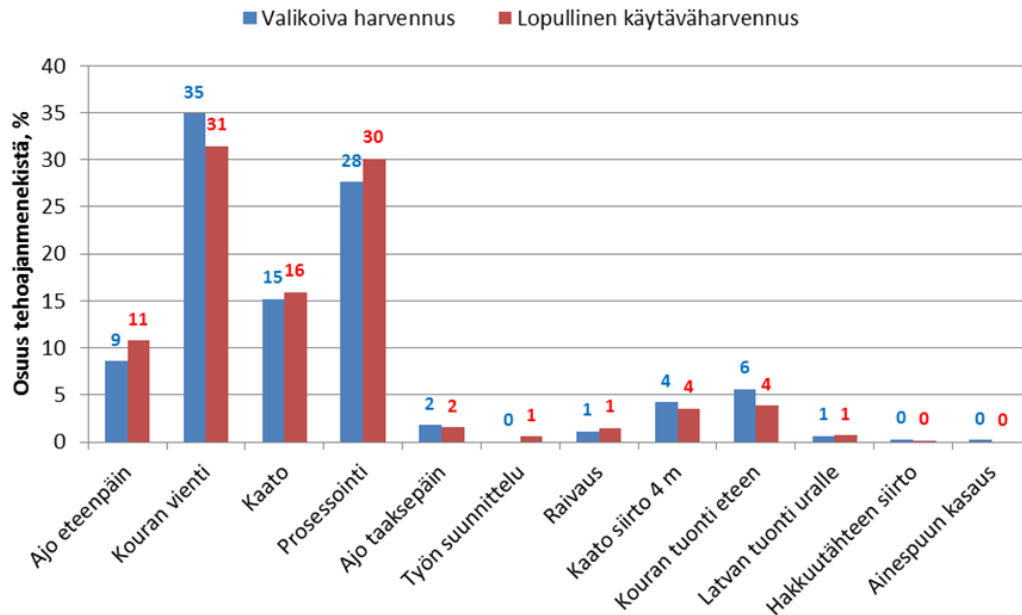
3.1 Hakkuutyön rakenne ja tuottavuus

3.1.1 Työn rakenne

Hakkuukoneen työaika jaettiin testihakkuiden videokameratallenteista mitattujen työvaiheiden (Kuva 9) mukaisesti viiteen osaprosessiin:

- Hakkuu – aika, joka sisältää työvaiheet kouran vienti, kaato, kaato siirto 4 m ja prosessointi
- Järjestely – aika, joka sisältää työvaiheet latvan tuonti uralle, hakkuutähteen siirto ja ainespuun kasaus
- Puun haltuunotto – aika, joka sisältää työvaiheet ajo eteenpäin, ajo taaksepäin ja kouran tuonti eteen
- Työn suunnittelu – aika, joka sisältää työvaiheen työn suunnittelu
- Kaadettavien puiden tyven raivaus – joka sisältää työvaiheen raivaus

Suonenjoella osaprosessien osuuksissa ei ollut merkittäviä eroja harvennusmenetelmien välillä. Hakkuu prosessin osuus tehollisesta työajasta oli korkea sekä valikoivassa harvennuksessa (82 %) että lopullisessa käytäväharvennuksessa M4 (81 %). Nämä tulokset saatiin helposta ja tasaisesta hakkuuympäristöstä (Kuva 12). Hakkuuympäristön vaikeutuessa (esim. maaston kaltevuus ja kivisyys) puun haltuunoton ja työn suunnittelun osuus kasvaisi mikä puolestaan pienentäisi hakkuun osuutta.

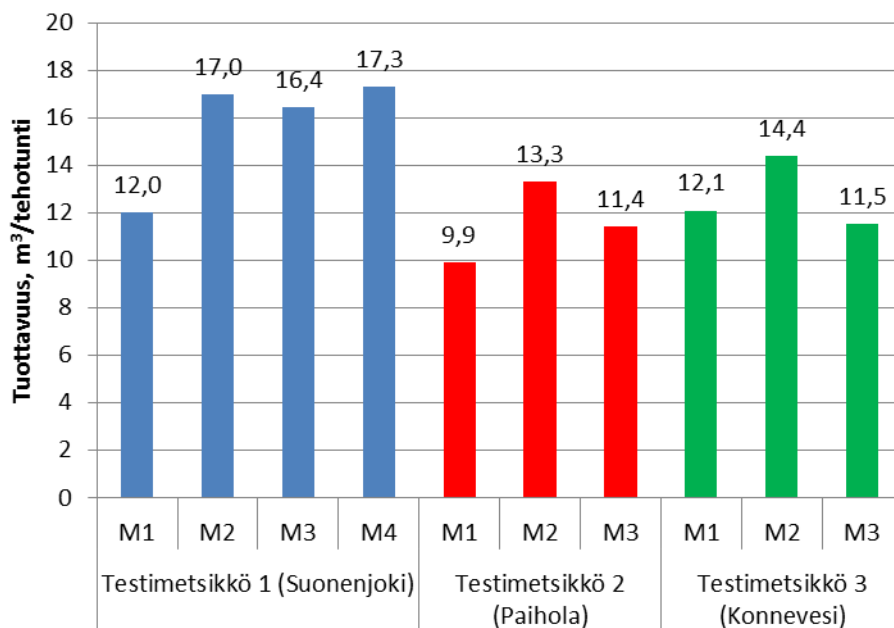


Kuva 9. Tehollisen työajan rakenne Suonenjoen testimetsikön testihakkuussa.

3.1.2 Tuottavuus

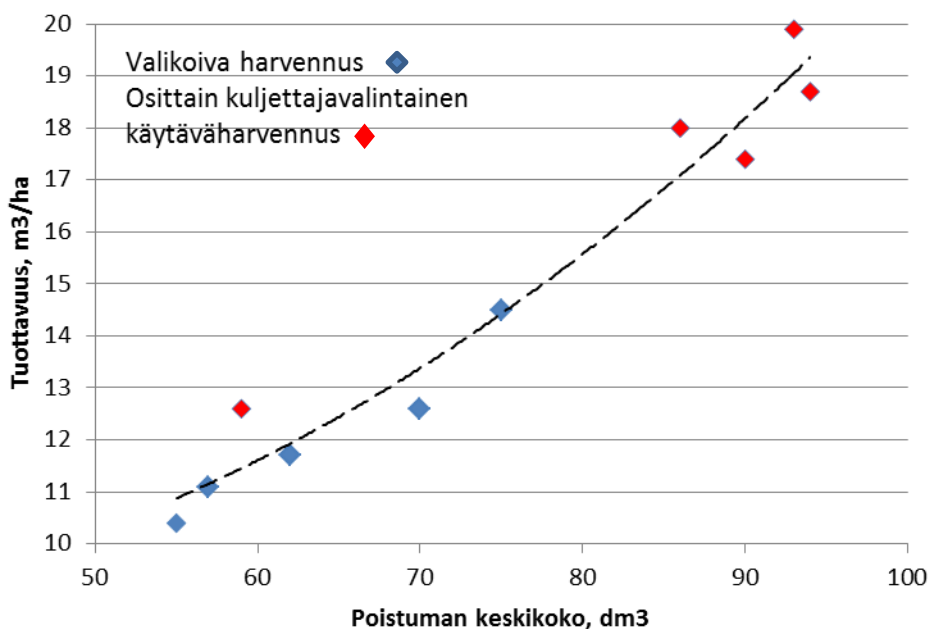
Harvennusmenetelmien tehokkuutta verrattiin tehotuntituottavuudella. Se tarkoittaa hakkuukoneen valmistaman puutavaran määrää (m^3) keskimäärin tehotunnissa. Tehoaika ei sisällä hakkuukoneen keskeytyksiä.

Suonenjoen testimetsikön hoidetun männikön testihakkuussa testissä 2 kehitetyn osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen (M4) tehollinen tuottavuus oli 44 % korkeampi kuin valikoivan harvennuksen (M1). Paiholan testimetsikön koivikon testihakkuussa käytäväharvennuksen (M3) tuottavuus ilman ennakkoraivausta oli 15 % korkeampi kuin valikoivan harvennuksen ennakkoraivauksella (M1) ja vastaavasti käytäväharvennuksen (M2) tuottavuus ennakkoraivauksella oli 34 % korkeampi. Konneveden testileimikon männikössä osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen (M2) tuottavuus oli 19 % korkeampi kuin valikoivan harvennuksen (M1). Kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen (M3) tuottavuus oli 5 % matalampi kuin valikoivan harvennuksen (M1) (Kuva 10).



Kuva 10. Harvennusmenetelmien tehollinen tuottavuus testimetsiköittäin.

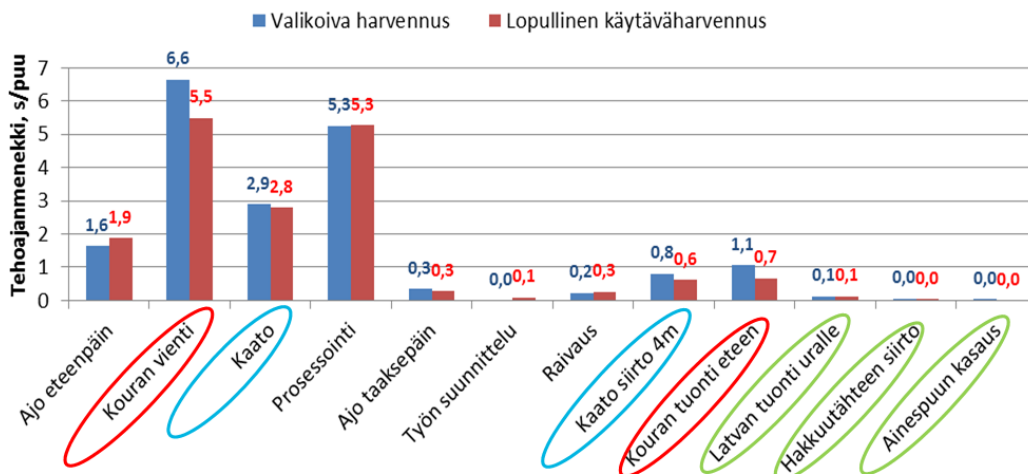
Poistettavien puiden tilavuuden kasvaessa kasvoi myös tuottavuus (Kuva 11). Käytäväharvennus kasvatti poistettujen puiden keskikokoa mikä parantaa sen tuottavuutta valikoivaan harvennukseen verrattuna (Kuva 22). Tämä selittyy sillä, että käytäviltä poistetaan myös suurimpia valitsevan latvuskerroksen puita.



Kuva 11. Valikoivan harvennuksen ja osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen keskimääräiset teholliset tuottavuudet koaloittain Suonenjoen testimetsikössä.

Tehoajanmenekki (s/puu) saadaan jakamalla testihakuun tehollinen työaika tehtyjen puiden lukumäärällä. Tehoajanmenekki kuvaa työn nopeutta. Suonenjoen testimetsikössä osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen (17,4 s/puu) keskimääräinen tehoajanmenekki oli 8 % nopeampi kuin valikoivassa harvennuksessa (19,0 s/puu) (Kuva 12):

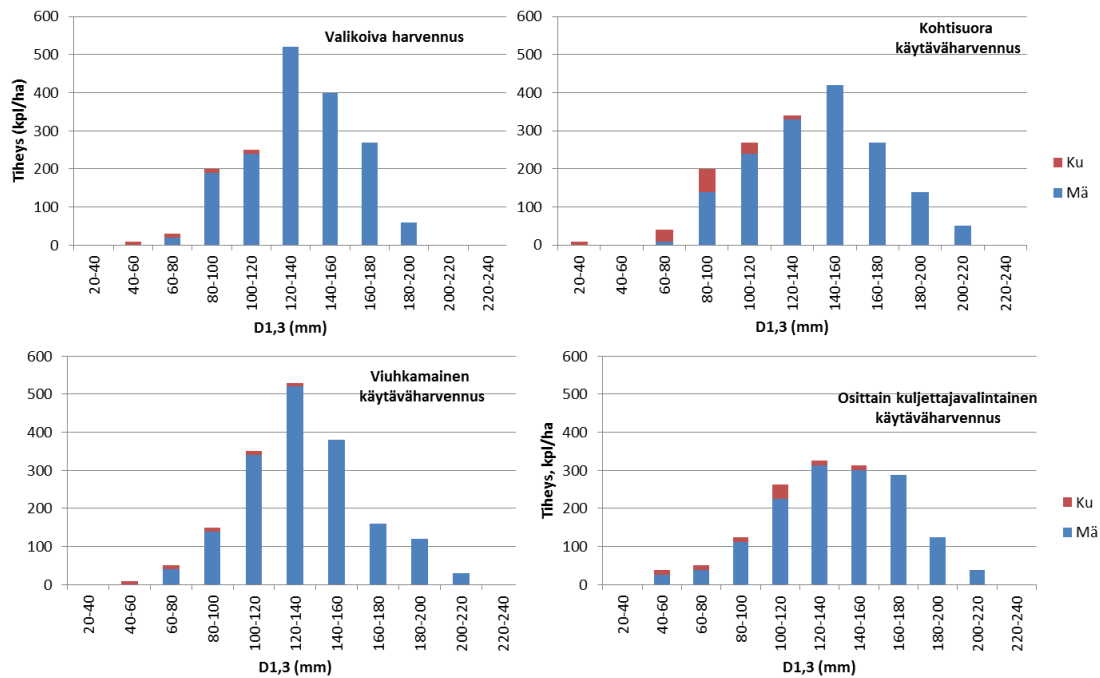
- Valikoivassa harvennuksessa jäljelle jäävien puiden väistelyn takia puomin liikuttelu oli 24 % hitaampaa kuin käytäväharvennuksessa (työvaiheet 'kouran vienti ja 'kouran tuonti eteen')
- Puiden kaato oli valikoivassa harvennuksessa 9 % hitaampaa (työvaiheet 'kaato' ja 'kaato siirto 4 m')
- Pölkkyjen ja hakkuutähteiden siirtely hidastui valikoivassa harvennuksessa 31 % verrattuna käytäväharvennukseen (latvan tuonti uralle, hakkuutähteen siirto, ainespuun kasaus)



Kuva 12. Testihakuun keskimääräinen tehoajanmenekki (s/puu) työvaiheittain Suonenjoen testimetsikössä.

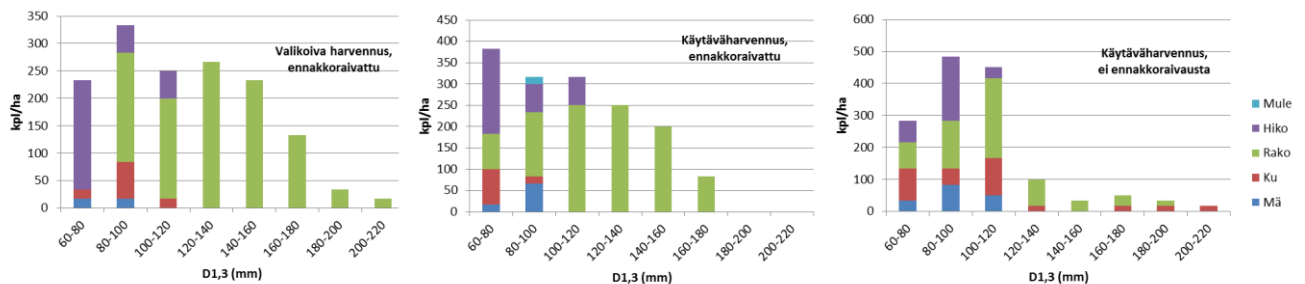
3.2 Puuston rakenne ennen hakkuuta

Ennen hakkuuta rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus Suonenjoen testimetsikössä oli valikoivan harvennuksen koaloilla keskimäärin 67 % (1170 kpl/ha), kohtisuoran käytäväharvennuksen koaloilla 59 % (1030 kpl/ha), viuhkamaisen käytäväharvennuksen koaloilla 71 % (1260 kpl/ha) ja osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koaloilla 58 % (900 kpl/ha) (Kuva 13).



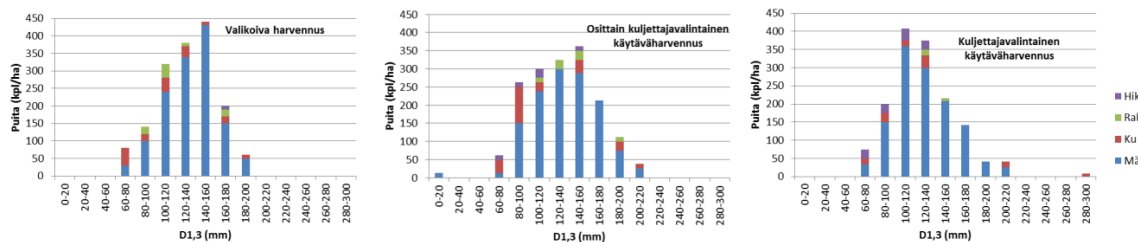
Kuva 13. Suonenjoen testimetsikön puuston rakenne ennen hakkuuta. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Ennen hakkuuta rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus Paiholan testimetsikössä oli ennakkoraivatun valikoivan harvennuksen koaloilla keskimäärin 50 % (750 kpl/ha), ennakkoraivatun käytäväharvennuksen koaloilla 49 % (767 kpl/ha) ja ennakkoraivaamattoman käytäväharvennuksen koaloilla 40 % (583). Vastaavat osuudet yli 160 mm puilla olivat 12, 5 ja 7 % sekä alle 100 mm puilla 38, 45 ja 53 %. Ennakkoraivaatuilla koaloilla koivun osuus oli keskimäärin noin 90 % ja ennakkoraivaamattomalla 66 % (Kuva 14).



Kuva 14. Paiholan testimetsikön puuston rakenne ennen hakkuuta. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Ennen hakkuuta rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus Konneveden testimetsikössä oli valikoivan harvennuksen koaloilla keskimäärin 70 % (1140 kpl/ha), osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koaloilla 59 % (987 kpl/ha) ja kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koaloilla 66 % (1000 kpl/ha) (Kuva 15).



Kuva 15. Konneveden testimetsikön puuston rakenne ennen hakkuuta. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Suonenjoen testimetsikkö ennen testihakkuuta oli puustoltaan tasainen eikä siellä ollut hakkuuta haittaavaan alikasvosta. Puustotunnuksissa ei ollut merkittäviä eroja harvennuskäsittelyjen välillä. Männyn osuus kaikilla harvennuskäsittelyillä oli yli 90 % (Taulukko 1).

Paiholassa puuston tiheydessä ennen hakkuuta ei ollut harvennuskäsittelyiden välillä merkittävää eroa. Valikoivan harvennuksen ennakkoraivatuilla koaloilla puuston tilavuus oli keskimäärin 18 % suurempi kuin käytäväharvennuksen ennakkoraivatuilla koaloilla ja 54 % suurempi kuin käytäväharvennuksen raivaamattomilla koaloilla (Taulukko 1).

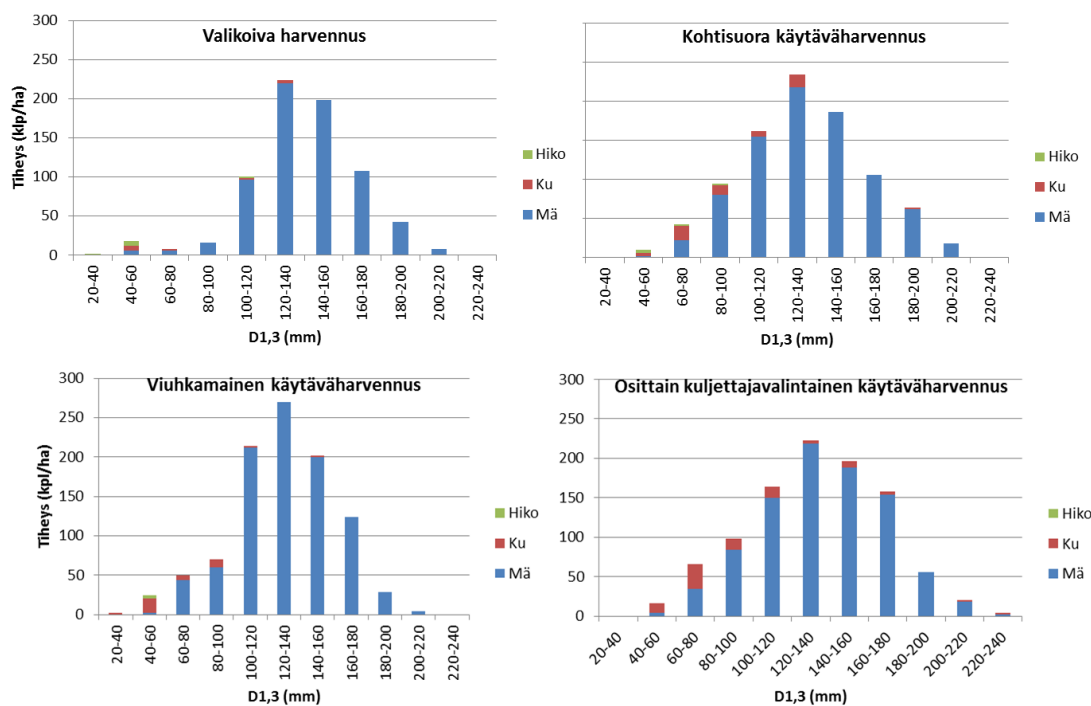
Konneveden testimetsikössä kuljettajavalintainen käytäväharvennus oli selvästi huonopuustoisin, koska puiden tiheys, keskiläpimitta ja keskipituus olivat pienempiä kuin osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen koaloilla (Taulukko 1).

Taulukko 1. Testimetsiköiden puustotiedot ennen testihakkuuta. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Testimetsikkö	Menetelmä	Runkoja /ha	PPA, m ² /ha	Tilavuus, m ³ /ha	Keskilp, cm	Keskipituus, m	Rungon keskikoko, dm3	Pääpuulaji, %
Suonenjoki	Valikoiva harvennus	1740	24	154	13,0	12,5	88,6	Mänty, 97 %
	Kohtisuora käytäväharvennus	1780	27	176	13,4	12,6	98,6	Mänty, 92 %
	Viuhkamainen käytäväharvennus	1780	24	160	12,9	12,6	90,0	Mänty, 97 %
	Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1563	23	153	13,4	12,6	98,0	Mänty, 94 %
Paihola	Valikoiva harvennus, ennakkoraivattu	1500	17	118	11,8	13,4	78,6	Koivu, 91 %
	Käytäväharvennus, ennakkoraivattu	1550	15	100	10,7	12,5	64,5	Koivu, 87 %
	Käytäväharvennus, ei ennakkoraivausta	1450	13	77	10,5	11,2	52,8	Koivu, 66 %
Konnevesi	Valikoiva harvennus	1620	23	138	13,2	11,4	85,4	Mänty, 83 %
	Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1688	25	150	13,2	11,4	88,7	Mänty, 78 %
	Kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1592	22	131	12,8	11,2	82,0	Mänty, 83 %

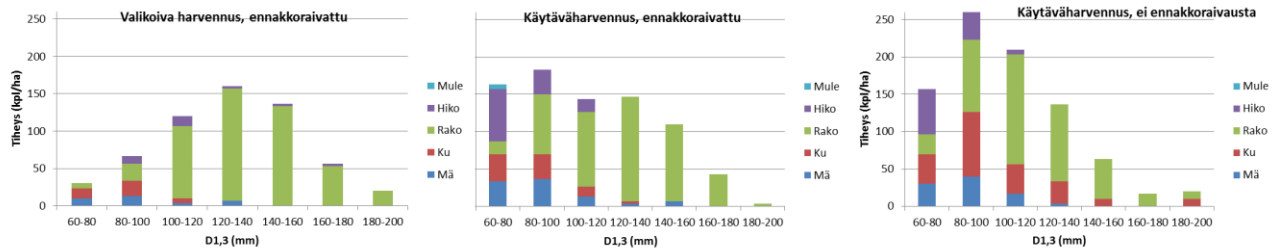
3.3 Puuston rakenne hakkuun jälkeen

Hakkuun jälkeen rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus Suonenjoen testimetsikössä oli valikoivan harvennuksen koaloilla keskimäärin 72 % (522 kpl/ha), kohtisuoran käytäväharvennuksen koaloilla 64 % (582 kpl/ha), viuhkamaisen käytäväharvennuksen koaloilla 69 % (686 kpl/ha) ja osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koaloilla 58 % (582 kpl/ha) (Kuva 16).



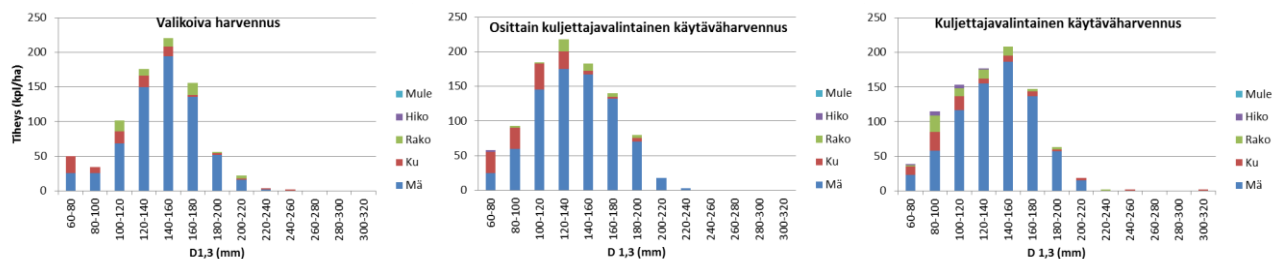
Kuva 16. Suonenjoen testimetsikön puuston rakenne hakkuun jälkeen. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Hakkuun jälkeen rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus Paiholan testimetsikössä oli ennakkoraivatuun valikoivan harvennuksen koaloilla keskimäärin 71 % (416 kpl/ha), ennakkoraivatuun käytäväharvennuksen koaloilla 50 % (400 kpl/ha) ja ennakkoraivaamattoman käytäväharvennuksen koaloilla 47 % (410 kpl/ha) (Kuva 17).



Kuva 17. Paiholan testimetsikön puuston rakenne hakkuun jälkeen. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Hakkuun jälkeen rinnankorkeusläpimitoiltaan 100-160 mm puiden osuus Konneveden testimetsikössä oli valikoivan harvennuksen koaloilla keskimäärin 61 % (498 kpl/ha), osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koaloilla 60 % (585 kpl/ha) ja kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen koaloilla 58 % (538 kpl/ha) (Kuva 18).



Kuva 18. Konneveden testimetsikön puuston rakenne hakkuun jälkeen. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Testihakkuissa valikoivan harvennuksen koalat harvennettiin jättäen kasvatettavia puita Suomen metsäkeskuksen metsänkäsittelyohjeiden mukaiseen tiheyteen. Käytäväharvennus koalat jätettiin Suonenjoen, Paiholan ja Konneveden testimetsikössä keskimäärin 24, 40 ja 20 % tiheämmiksi kuin valikoivan harvennuksen koalat, koska käytävien välisiä alueita ei harvennettu (Taulukot 1 ja 2).

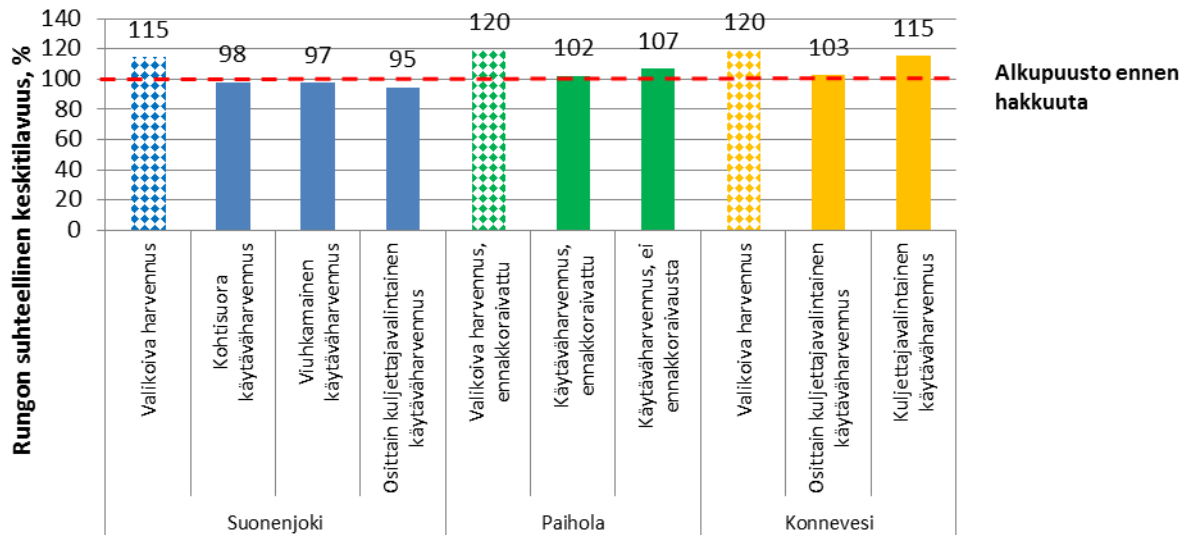
Suonenjoen testimetsikössä hakkuun jälkeen käytäväharvennusmenetelmien runkoluku oli 16-29 % suurempi kuin valikoivan harvennuksen, Paiholan testimetsikössä 34-46 % ja Konneveden testimetsikössä 17-23 % suurempi. Hakkuun jälkeen pohjapinta-alassa ja puuston tilavuudessa ei ollut merkittäviä eroja testileimikoiden harvennuskäsittelyjen välillä (Taulukko 2).

Taulukko 2. Testimetsiköiden puustotiedot testihakkuun jälkeen. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä.

Testimetsikkö	Menetelmä	Runkoja/ha	PPA, m ² /ha	Tilavuus, m ³ /ha	Keskilpm, cm	Keskipituus, m	Rungon keskikoko, dm ³	Pääpuulaji, %
Suonenjoki	Valikoiva harvennus	752	12	76	14,9	13,1	101,4	Mä, 97 %
	Kohtisuora käytäväharvennus	874	13	84	14,8	13,0	96,6	Mä, 93 %
	Viuhkamainen käytäväharvennus	942	13	83	14,2	12,9	87,6	Mä, 96 %
Paihola	Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus	972	14	90	15,1	13,1	92,7	Mä, 91 %
	Valikoiva harvennus, ennakkoraivattu	590	8	55	12,9	13,8	94,1	Ko, 88 %
	Käytäväharvennus, ennakkoraivattu	793	8	53	11,0	12,3	66,0	Ko, 77 %
Konnevesi	Käytäväharvennus, ei ennakkoraivausta	863	8	49	10,6	11,5	56,5	Ko, 64 %
	Valikoiva harvennus	816	14	83	15,5	12,1	102,2	Mä, 82 %
	Osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus	1006	15	92	15,0	11,9	91,2	Mä, 82 %
	Kuljettajavalintainen käytäväharvennus	952	15	90	15,2	12,0	94,6	Mä, 81 %

Harvennuksen jälkeen jäävän puuston keskitilavuutta kuvataan suhdeluvuin. Vertailuarvona (100) on kunkin harvennuskäsittelyn alkupuusto ennen harvennusta. Vertailussa käytetään testimetsikkökohtaisia keskimääräisiä runkojen tilavuuksia. (Kuva 19). Poistettaessa metsiköstä puita täysin systemaattisesti pitäisi alkupuuston ja jäävän puuston olla ennen harvennusta ja harvennuksen jälkeen rakenteeltaan samanlaisia; ts. puuston kokoa kuvaavan vertailuarvon pitäisi olla 100.

Suonenjoen testimetsikön täysin systemaattisten kohtisuoran ja viuhkamaisen käytäväharvennuksen vertailuarvot olivat 98 ja 97 eli jäävien puiden keskikoko oli 2-3 % pienempi kuin lähtöpuuston. Osittain kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen vertailuarvot Suonenjoen, Paiholan ja Konneveden testimetsiköissä vaihtelivat välillä 95-107 eli tuloksena oli +- 5-7 % vaihteluita runkojen keskitilavuudessa. Konneveden testimetsikön kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen jälkeen jäävien puiden keskikoko oli 15 % suurempi kuin lähtöpuuston. Valikoiva alaharvennus puolestaan lisäsi jäävien puiden keskikokoa 15-20 % (Kuva 19).



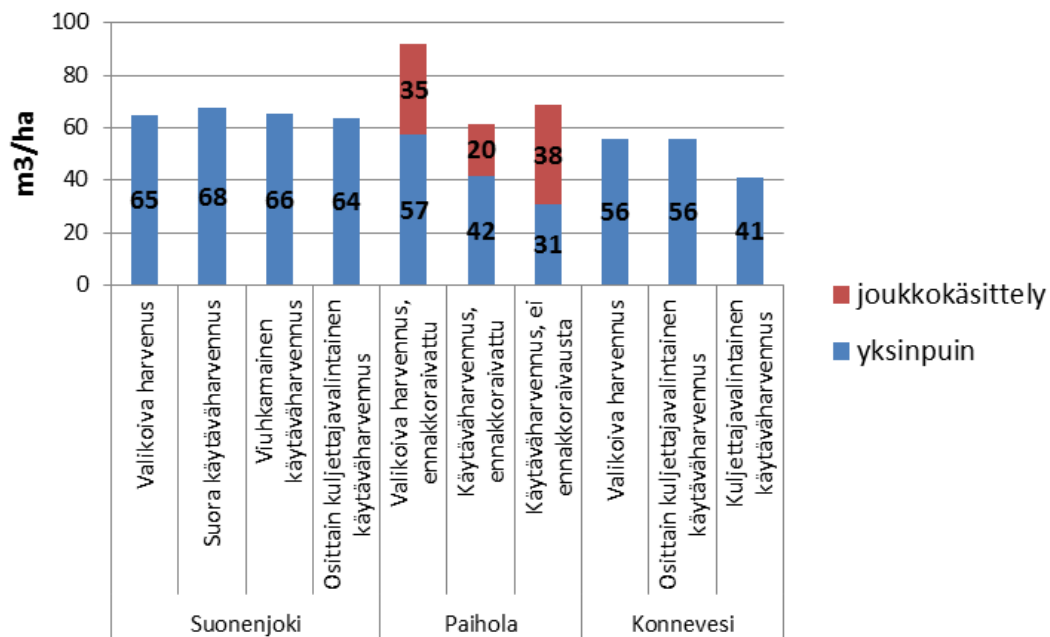
Kuva 19. Harvennuksen jälkeen kasvamaan jäävien puiden suhteelliset tilavuudet. Tilavuudet sisältävät lavahukkapuun. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä. Testileimikot vasemmalta oikealle: Suonenjoki, Paihola, Konnevesi.

3.4 Vaikutukset hakkuukertymien määrään ja rakenteeseen

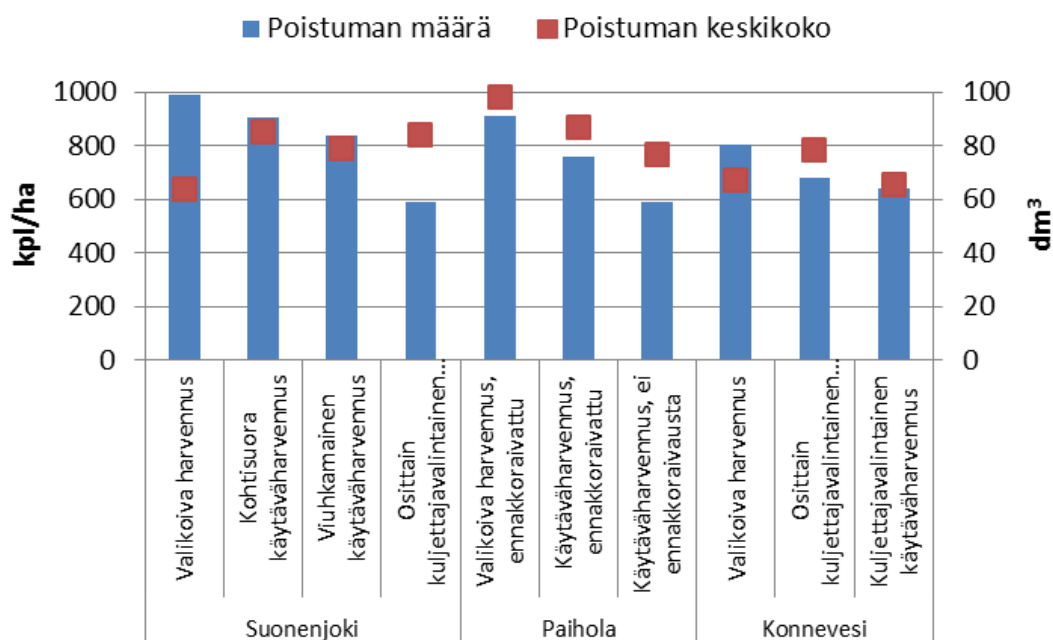
3.4.1 Ensimmäinen testihakkuuharvennus

Suonenjoen testimetsikössä puusto ennen hakkuuta oli tiheydeltään, tilajärjestykseltään ja määrältään tasainen (Kuva 13, Taulukko 1). Kaikki harvennuskäsittelyt pyrittiin harventamaan mahdollisimman samaan pohjapinta-alaan. Tämän takia ensimmäisen harvennuksen kertymässä ei ollut merkittäviä eroja (Kuva 20). Sen sijaan harvennuskertymien rakenne harvennustapojen välillä erosi Suonenjoella selvästi: käytäväharvennuksilla poistuman keskikoko oli keskimäärin 30 % suurempi kuin valikoivalla harvennuksella ja vastaavasti poistuman tiheys oli käytäväharvennuksilla 22 % pienempi kuin valikoivalla harvennuksella (Kuva 21).

Paiholan testimetsikön valikoivan harvennuksen puuston tilavuus ennen hakkuuta oli suurin ja Konnevedellä kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen pienin (Taulukko 1). Nämä erot näkyvät selvästi harvennuskertymissä: Paiholassa valikoivan harvennuksen kertymä oli suurin ja Konnevedellä kuljettajavalintaisen käytäväharvennuksen kertymä pienin (Kuva 20).



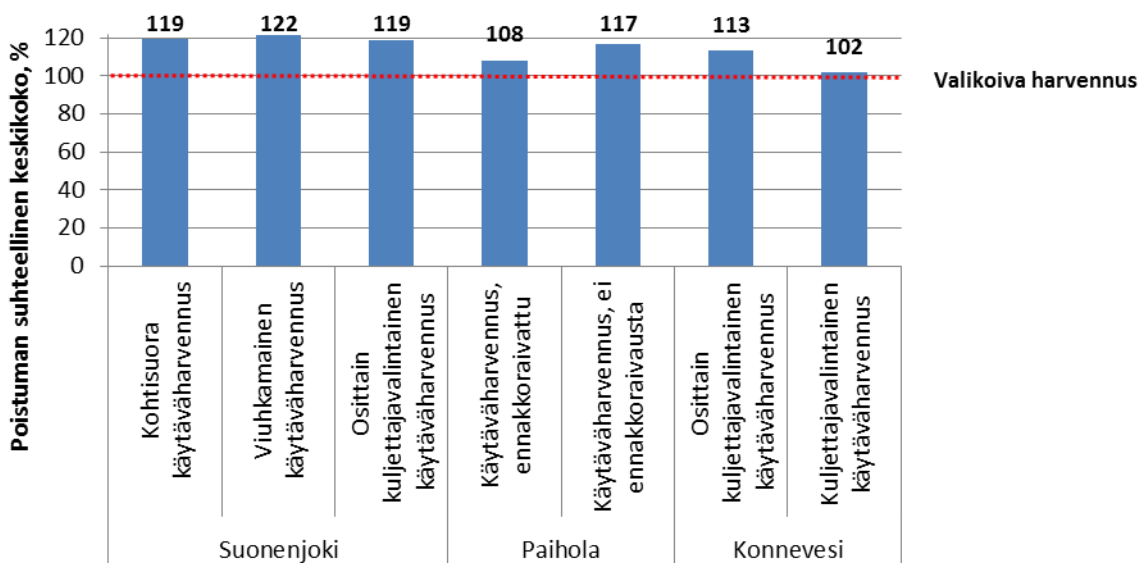
Kuva 20. Keskimääräinen käyttöpuupoistuma ensimmäisen harvennuksen yksinpuinhakkuussa. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä. Testileimikot vasemmalta oikealle: Suonenjoki, Paihola, Konnevesi.



Kuva 21. Poistuman määrä ja keskikoko harvennuskäsittelyittäin. Rinnankorkeusläpimitan (D1,3) raja-arvona 7,0 cm kuoren päältä. Testileimikot vasemmalta oikealle: Suonenjoki, Paihola, Konnevesi.

Harvennuksessa poistettavan puuston keskitilavuutta kuvataan suhdeluvuin. Vertailuarvona (100) on testimetsiköittäin valikoivan harvennuksen poistuman keskitilavuus. Suonenjoen

testimetsikössä käytäväharvennuksessa poistuman keskikoko oli keskimäärin 20 % suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa. Konnevedellä vastaava poistuman kasvu oli 8 % ja Paiholassa 12 % (Kuva 22).

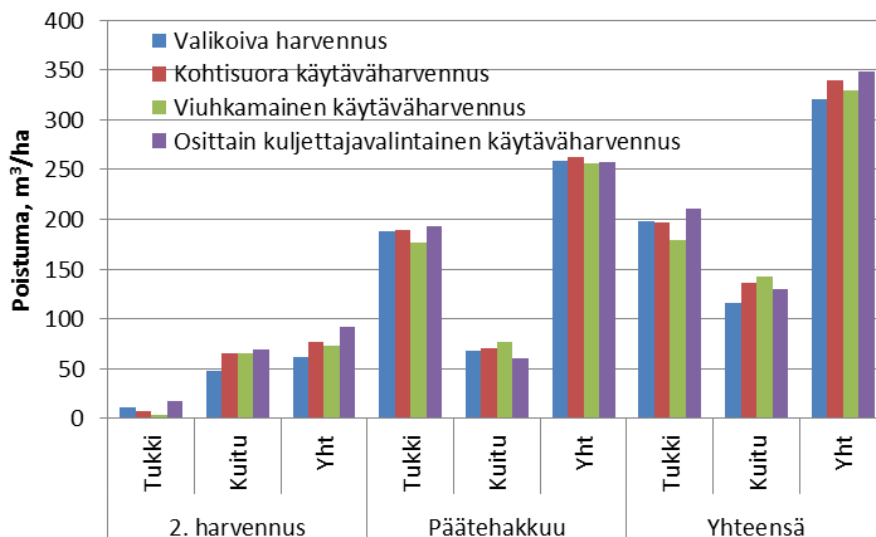


Kuva 22. Harvennuksessa poistettavien puiden suhteelliset käyttöpuutilavuudet. Testileimikot vasemmalta oikealle: Suonenjoki, Paihola, Konnevesi.

3.4.2 Testihakkuun jälkeiset harvennukset ja päätehakkuu

Suonenjoen testimetsikön ensimmäisen harvennuksen jälkeen toinen harvennus simuloitiin kaikilla harvennuskäsittelyillä samalle ajankohdalle ja samaan pohjapinta-alaan. Toinen harvennus tehtiin perinteisellä valikoivalla harvennuksella. Toisen harvennuksen jälkeen harvennuskäsittelyt simuloitiin päätehakkuuseen.

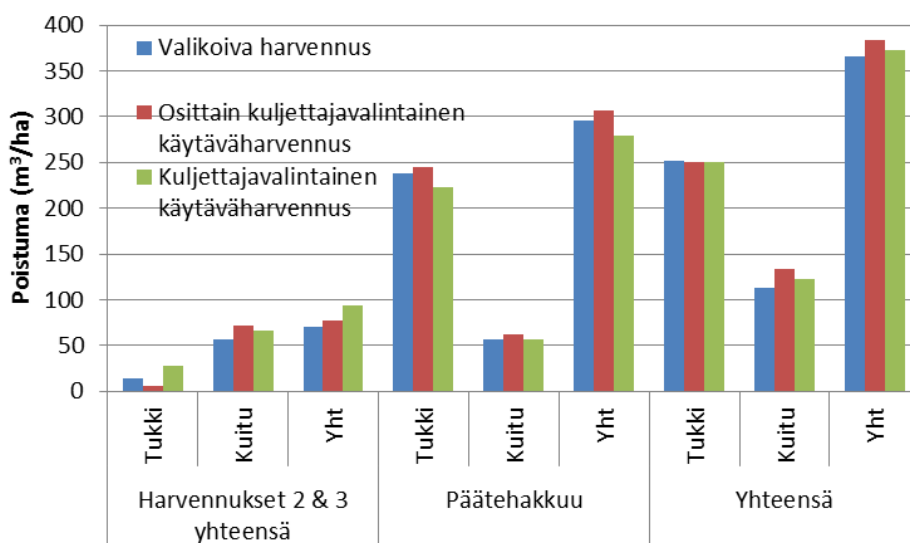
Suurimmat erot olivat toisen harvennuksen kertymissä: käytäväharvennusmenetelmien kertymät olivat 19-48 % suuremmat kuin valikoivassa harvennuksessa. Päätehakkuun kertymissä erot olivat pieniä. Koko kiertoajalla osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus tuotti 6 % enemmän tukkipuuta kuin valikoiva harvennus (Kuva 23).



Kuva 23. Toisen harvennushakkuun ja päätehakkuun simuloitujen poistumat Suonenjoen testimetsikössä.

Konneveden testimetsikön ensimmäisen harvennuksen jälkeen toinen harvennus simuloitiin kaikilla harvennuskäsittelyillä samalle ajankohdalle ja samaan pohjapinta-alaan perinteisellä valikoivalla harvennuksella. Osalle koealoista tarvittiin kolmas harvennus ennen päätehakkuuta. Myös kolmas harvennus tehtiin perinteisellä valikoivalla harvennuksella ja samaan pohjapinta-alaan. Harvennusten jälkeen harvennuskäsittelyt simuloitiin päätehakkuuseen.

Suurimmat erot olivat toisen ja kolmannen harvennuksen kertymissä: käytäväharvennusmenetelmien kertymät olivat 11-35 % suuremmat kuin valikoivassa harvennuksessa. Päätehakkuussa osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennus tuotti 4 % enemmän tukkipuuta kuin valikoiva harvennus ja kuljettajavalintainen 6 % vähemmän. Koko kiertoajalla käytäväharvennusmenetelmien tukkisaantolisäykset verrattuna valikoivaan harvennukseseen olivat 5 % ja 2 % (Kuva 24).



Kuva 24. Toisen ja kolmannen harvennushakkuun ja päätehakkuun simuloitujen poistumat Konneveden testimetsikössä.

3.5 Metsänhoito- ja korjuuvauriotarkastukset

Korjuujälki ja metsähoidollinen tila tarkastettiin Suonenjoen ja Paiholan testimetsiköissä Metsäkeskuksen mittausohjetta soveltaen.

Molemmissa testimetsiköissä kasvatettava puusto täytti kaikilla harvennusmenetelmillä hyvän metsänhoidon kriteerit.

Korjuuvaurioiden osuus kasvatettavasta puustosta oli valikoivassa harvennuksessa keskimäärin 6,5 % ja käytäväharvennuksessa 1 %. Suonenjoen testimetsikössä korjuuvaurioiden osuus kasvatettavasta puustosta oli valikoivan harvennuksen koealoilla keskimäärin 10 %. Suonenjoella käytäväharvennuksen koealoilla ei havaittu korjuuvaurioita.

Paiholan testimetsikössä korjuuvaurioiden osuudet olivat:

- Valikoiva harvennus, ennakkoraivattu 2,9 %,
- Käytäväharvennus ennakkoraivattu 4,3 %,
- Käytäväharvennus, ei ennakkoraivausta 0 %.

4 Tuotokset

4.1. Työmenetelmä

Hankkeessa kehitettiin käytäväharvennuksen työmenetelmä nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennuksen, joka täytti Suomen metsäkeskuksen soveltamat hyvän metsänhoidon ja korjuujäljen suositukset. Kehittämistyössä selvitettiin käytäväharvennuksen vaikutukset hakkuun tehokkuuteen, kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään.

4.2 Viestintä

Hankkeen tuloksista julkaistiin seuraavia tiedotteita:

- Luonnonvarakeskuksen hanketiedotteita (3)
- Suomen metsäkeskuksen ja UPM:n sisäisiä hanketiedotteita (2)
- Lehtiartikkeita ammattilehtiin (13), Maaseudun tulevaisuuteen (1) sekä sanomalehti Karjalaiseen (1)
- Posterit hankekumppaneiden toimitiloihin (2)

Hankkeen esitelmät:

- Hankkeen tuloksia esiteltiin jatkohankkeiden suunnittelukokouksissa (Karelia-amk, Savonlinnan metsäkeskus, Itä-Suomen yliopisto, SLU).
- MAT Future Vision teki hankkeen hankkeesta noin 5 min esittelyvideon kesällä 2018 ("Käytäväharvennus - Menetelmä nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen"). Video tallennettiin YuoTubeen, jota on katsottu yli 300 kertaa.
- Hankkeen taustat, tavoitteet ja alustavat tulokset esiteltiin Metsäkeskuksen järjestämissä energiayrittäjien ja metsänomistajien lämpöyrittäjäpäivissä Kontiolahdella (2018) ja Kiihtelysvaarassa (2019).
- Metsäkeskuksen verkkosivuilla hankkeesta julkaistiin Gimlet LMS verkko-oppimisalustalle itsenäisesti läpikäytävä esittelymateriaali.
 - o Verkkomateriaalista selviää, miten hankkeessa kehitettiin, tutkittiin ja testattiin käytäväharvennuksen työmenetelmää nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen ja mitkä ovat keskeiset tulokset metsäomistajille ja käytännön toimijoille.

4.3 Koulutus

- Hankkeen tuloksia ja kehittämismenetelmän perusteita esiteltiin Metsäkeskuksen henkilöstölle kahdessa valtakunnallisessa webinaarissa (molemmissa osallistujia n. 50). Lisäksi webinaarit tallennettiin, joten ne oli mahdollista katsoa myöhemmin Metsäkeskuksen sisäisestä bioenergian videokirjastosta.
- Hankkeen aineistosta ohjattiin kolme opinnäytetyötä:
 - o Käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen tuottavuus ja työmenetelmät nuorten hoidettujen männiköiden ensimmäisessä koneellisessa harvennuksessa (Essi Hämäläinen, Pro-gradu, Itä-Suomen yliopisto)
 - o Käytäväharvennuksen ajanmenekki ja tuottavuus (Reima Karjalainen, Pro-gradu, Helsingin yliopisto)
 - o Esiselvitys käytäväharvennuksen korjuuvaurioista ensiharvennuskohteilla (Santeri Tiainen, Mti-yamk opinnäytetyö, Karelia ammattikorkeakoulu)
- Hankkeesta pidettiin hankkeen sisäinen aloitusseminaari (Suonenjoki/Luke, lokakuu 2017, 11 osallistujaa) väliseminaari käytännön toimijoille (Suonenjoki/Luke, 2018 elokuu, 19 osallistujaa) sekä päätösseminaari käytännön toimijoille ja medialle (Joensuu/Luke, kesäkuu 2019, 34 osallistujaa) metsäalan käytännön toimijoille.
- Metsäkeskuksen verkkosivuilla hankkeesta julkaistiin Gimlet LMS verkko-oppimisalustalle itsenäisesti läpikäytävä esittelymateriaali (sama kuin esitelmissä).

4.4 Hankkeen tuottama jatkotutkimus

Hankkeessa kerättiin monipuolinen tutkimusaineisto erilaisissa hakkuuympäristöissä käytäväharvennuksen hakkuusta, metsäkuljetuksesta ja vaikutuksista metsikön rakenteeseen ja jatkokehitykseen. Jatkotutkimuksia tehdään Luken ja Ruotsin maataloustieteellisen yliopiston (SLU) yhteistyönä seuraavista tutkimusaiheista:

- Description of stands and treatments from the 3 locations, Silva Fennica
Objective: To describe and compare boom-corridor thinning and selective treatments and stand structures after the first thinning – starting point of long term forest management trials in scots pine and two storied birch/spruce stands
- Time study, productivity, cost conifer stands incl. forwarding, IJFE or CrojFE
Objective: To measure, model and compare operational efficiency, productivity and cost of boom-corridor and selective thinning treatments in pine stands
- Time study, productivity, cost birch stands incl. preclearing costs, Baltic Forestry (must be open access!)
Objective: To measure, model and compare operational efficiency, productivity and cost of boom-corridor and selective thinning treatments in two storied birch/spruce stands
- Economical analysis throughout rotations of conifer stands, vertaisarvioitu tiedejulkaisu
- Economical analysis throughout rotations of two-storied birch/spruce stands, vertaisarvioitu tiedejulkaisu

5 Johtopäätökset

5.1 Tavoitteiden toteutuminen

Hankkeen päätavoitteena oli edistää metsien käyttöä ja terveyttä kehittämällä käytäväharvennuksen kustannustehokas työmenetelmä nuorten mäntyvaltaisen metsien ensimmäiseen harvennukseen käytössä oleville hakkuukoneteknologioille. Työmenetelmän kehittämisen lähtökohta oli, että se täyttää Suomen metsäkeskuksen soveltamat hyvän metsänhoidon ja korjuujäljen kriteerit. Lisäksi tavoitteena oli, että aineistosta laaditaan käytäväharvennuksen koulutuspaketti hyödynnettäväksi hankkeen jälkeen.

Tavoitteiden saavuttamiseksi hankkeesta kerätystä aineistosta käytäväharvennuksesta tuli selvittää perinteiseen valikoivaan harvennukseen verrattuna:

- Hakkuu tuottavuus,

- Vaikutukset kasvatettavan ja poistettavan puuston rakenteeseen
- Vaikutukset kasvatettavan puuston korjuuvaurioihin
- Vaikutukset puuston kasvuun ja puutavaralajikertymään koko kiertoajalla

5.1.1 Hakkuun tuottavuus ja kustannustehokkuus

Kolmessa puustoltaan erilaisessa testimetsikössä kehitettiin käytäväharvennuksen uusi työmenetelmä, jolla testihakkuissa harvennettujen kuutioiden määrä tuntia kohden oli merkittävästi suurempi kuin perinteisessä valikoivassa harvennuksessa.

Testikuljettajat olivat harjaantuneita perinteiseen valikoivaan harvennuksen. Käytäväharvennuksesta heillä ei ollut aikaisempaa kokemusta. Hankkeen edetessä käytäväharvennuksen työmenetelmää kehitettiin vaiheittain samalla kuljettajia kouluttaen. Työmenetelmän kehittäminen oli aktiivista työntutkijan ja kuljettajan vuorovaikutusta. Työtekniikkamuutosten vaikutukset hakkuun tuottavuuteen ja työn liikeratojen nopeuteen laskettiin ja analysoitiin jokaisen testihakkuun jälkeen, joiden perusteelle kehittämis-prosessi eteni.

Käytäväharvennuksessa jäljelle jääviä puita jouduttiin varomaan vähemmän kuin valikoivassa harvennuksessa, mikä nopeutti menetelmän työskentelyä. Myös hakkuutähteiden siirtely ja valmiiden pölkkyjen järjestely veivät selvästi vähemmän aikaa käytäväharvennuksessa kuin valikoivassa harvennuksessa. Käytäväharvennuksessa poistettavien puiden koon kasvaminen parantaa tuottavuutta, mikä on myös menetelmän etu varsinkin huonopuustoissa hoitamattomissa metsissä. Myös alikasvoksesta on pienempi haitta käytäväharvennuksessa.

5.1.2 Vaikutukset kasvatettavan puuston ja poistuman rakenteeseen, laatuun ja kehitykseen

Testimetsiköiden puustomittausten pohjalta käytäväharvennuksen välitön hakkuun jälkeinen vaikutus kasvatettavan puuston rakenteeseen ja hakkupoistumaan laskettiin ja vaikutus puutuotannon kannattavuuteen metsikön koko kiertoajalla simuloitiin.

Testihakkuissa valikoivan harvennuksen ja käytäväharvennuksen koealat harvennettiin samaan pohjapinta-alaan. Käytäväharvennuskoealat jäivät runkoluvultaan 20-40 % tiheämmiksi, koska käytävien välisiä alueita ei harvennettu niin niihin jäi myös vallittuja pieniä puita. Kasvatuskelpoisia rinnankorkeusläpimitaltaan 11-15 cm valtapuita oli käytäväharvennuksen koealoilla keskimäärin 540 puuta/ha ja valikoivan harvennuksen koealoilla 478 puuta/ha.

Testihakkuun ensimmäisen vaiheen määrävälein avatut käytäväverkostot kohdistuivat yhtä voimakkaasti kaikkiin puuston latvuskerroksiin, jolloin jäävän puuston keskutilavuus säilyi lähellä harvennusta edeltäneissä arvoissa. Mutta kun kuljettaja suunnitteli käytävien sijainnin kasvatettavan puuston ehdoilla kohosi kasvatettavan puuston tilavuus selvästi, joskaan ei niin paljon kuin valikoivassa harvennuksessa.

Testihakkuiden kertymät olivat käytäväharvennuksessa ja valikoivassa harvennuksessa samalla tasolla. Käytäväharvennuksen etu valikoivaan harvennukseseen on kuitenkin, että poistettavia puita on lukumääräisesti vähemmän ja ne ovat suurempia.

Kasvusimuloinnin toisessa harvennuksessa käytäväharvennusten kertymät olivat selvästi suuremmat kuin perinteissä valikoivassa harvennuksessa. Eroa selittää se, että käytäväharvennuksen koealat jäivät ensimmäisen testihakkuuharvennuksen jälkeen 28 % tiheämmiksi kuin valikoivan harvennuksen koealat. Päätehakuussa ja koko kiertoajalla käytäväharvennuksen ja valikoivan harvennuksen kokonaiskertymässä ja tukkipuusaannossa ei ollut suurta eroa. Tämä selittyy todennäköisesti sillä, että toisessa harvennuksessa myös käytäväharvennetut metsiköt harvennettiin valikoivalla harvennuksella, jolloin käytäväharvennettujen metsiköiden mahdollinen tiheämmän tilajärjestyksen vaikutus poistui. Simuloidut testimetsiköt olivat hoidettuja männiköitä, joten simulointitulokset eivät sovellu ylitiheisiin hoitamattomiin riukumetsiin. Hoitamattomien tiheiden metsien kehityksen ennustamiseen liittyy enemmän epävarmuutta (mm. puiden kasvu, laatu ja tuhoriski).

Testimetsiköiden metsänhoidollinen tila ja korjuuvauriot hakkuun jälkeen tarkastettiin Metsäkeskuksen mittausohjeiden mukaan. Tarkastusten mukaan käytäväharvennus täytti Metsäkeskuksen soveltamat hyvän metsähoidon ohjeet ja käytäväharvennus aiheutti vähemmän korjuuvaurioita kuin perinteinen valikoiva harvennus.

5.2 Hankesuunnitelman toteutuminen

5.2.1 Tuotokset

Hankkeen viestintä ja koulutus toteutui hankesuunnitelman mukaisesti. Ylimääräisiä olivat käytäväharvennushankkeen esittely video ja hankkeessa tehdyt kolme opinnäytetyötä.

5.2.2 Hankkeen aikataulu ja toimenpiteet

Hankkeen kenttätyöt päästiin aloittamaan syyskuussa 2017 kun suunnitelman mukainen aloitus olisi ollut toukokuussa. Tämä johtui hankkeen rahoituspäätöksen viivästymisestä. Testihakkuita varten perustettiin kolme testimetsikköä:

1. *Mäntyvaltainen hoidettu ensiharvennusmetsikkö*, jossa taimikonhoito on tehty oikea-aikaisesti ja jossa ei ole hakkuuta haittaavaa alikasvosta. Tämä testimetsikkö oli suunnitelman mukainen.
2. *Mäntyvaltainen hoidettu ensiharvennusmetsikkö*, jossa taimikonhoito oli myös tehty mutta jossa oli hakkuuta jonkin verran haittaava alikasvos. Suunnitelmassa oli hoitamaton metsikkö, jossa on selvästi hakkuuta haittaava alikasvos; tällaista metsikköä ei löydetty.
3. *Koivuvaltainen hoitamaton ensiharvennusmetsikkö*, jossa taimikonhoitoa ei ole tehty ja jossa on voimakkaasti hakkuuta haittaava alikasvos. Tämä testimetsikkö oli ylimääräinen, jota ei ollut suunnitelmassa.

Suonenjoen ensimmäisessä testimetsikössä testihakkuu eteni suunnitelman mukaisesti. Testissä 1 testattiin ensin kahta erilaista systemaattista käytäväharvennusmenetelmää. Testin 1 tulosten ja kokemusten pohjalta muotoutui osittain kuljettajavalintainen käytäväharvennuksen malli, joka mitattiin ja analysoitiin testissä 2.

Paiholan toisessa testimetsikössä suunnitelmasta poiketen testihakkuuta ei toteutettu kuten Suonenjoella. Paiholan koivuvaltaiseen metsikköön sovellettiin Suonenjoella aikaansaata osittain kuljettajavalintaista käytäväharvennuksen työmenetelmää. Myös Konneveden kolmannessa testimetsikössä edettiin suunnitelmasta poiketen. Siellä Suonenjoen ja Paiholan tulosten pohjalta syntyi kuljettajavalintainen käytäväharvennus, jossa kuljettaja valitsi käytävien sijainnin kasvatettavan puuston mukaan ja poisti tarvittaessa käytävien välisiltä alueilta yksittäisiä puita.

Testihakkuun työntutkimus, korjuujäljen inventointi sekä alkupuuston ja poistuman mittaukset tehtiin suunnitelman mukaisesti. Hakkuun jälkeisen puuston kehityksen seurantaan ja kasvun simulointiin mitattiin suunnitelmasta poiketen Suonenjoen ja Konneveden testimetsiköiden kaikki koealat (suunnitelmassa oli vain osa koealoista mittavaksi). Samoin kasvun simulointi tehtiin kaikille em. koealoille. Paiholan testimetsikössä mitattiin hakkuu lisäksi metsäkuljetuksen tuottavuus, jota ei ollut suunnitelmassa.

5.3 Hankkeen hyödyt

5.3.1 Välittömät hyödyt osallistuville tahoille

Hankkeeseen osallistuivat Luonnonvarakeskus, UPM, Suomen metsäkeskus sekä koneyritykset VarisForest Oy ja Metsäkoneurakointi Teemu Tiitinen Oy. Testihakkuissa hankkeeseen osallistuneille muodostui kuva menetelmän tulevaisuuden mahdollisuuksista ja tämän hetken käytäntöön soveltuvuudesta. Hankkeessa mukana olleet käytännön toimijat kuvasivat kehitetyn työmenetelmän ”mahdolliseksi uus-innovaatioksi”.

Hanke on lisännyt yhteistyötä Luonnonvarakeskuksen, Metsäkeskuksen, UPM:n ja metsäkoneyrittäjien kesken. Hankkeeseen osallistuvat tahot saavat konkreettisen käytäväharvennuksen menetelmän käyttöönsä.

5.3.2 Hankkeen yleiset hyödyt

Käytäväharvennuksen hakkuupään liikuttelun nopeutumisesta, helpottumisesta ja sen tuomasta kustannussäästöstä tulisi todennäköisesti monia etuja edellyttäen että menetelmän käyttö yleistyy:

- vähentäisi nuorten metsien hakkuurästejä ja korjuuvaurioita

- mahdollistaisi metsien monimuotoisuuden lisäämisen
- voisi tuoda helpotusta kuljettajapulaan, koska se on helpompi oppia kuin periteinen valikoiva harvennustapa.
- käytäväharvennuksesta saatava hyöty on mahdollista perustella ja jakaa urakoitsijalle, metsäomistajalle ja metsäteollisuudelle.

Ainoastaan kaikkien tahojen saama hyöty mahdollistaa sen merkittävän yleistymisen.

Hankkeessa saatiin pitkän ajan metsikkökoealat käytäväharvennuksen jatkokehityksen seurantaan, uutta opetusmateriaalia käytäväharvennuksesta metsäomistajien ja metsäammattilaisten koulutukseen sekä edistettiin käytäväharvennuksen soveltuvan teknologian kehittämistä. Hankkeen tulokset ovat julkisia ja hyödynnettävissä valtakunnallisesti hankkeen jälkeenkin.

Jatkokehittämisen jälkeen menetelmä on kaikkien toimijoiden käytettävissä. Menetelmän havaittiin mahdollistavan metsän kerroksellisuuden ja peitteisyyden lisäämisen. Tämä tarjoaa metsäomistajalle vaihtoehdon parantaa metsän monimuotoisuutta, riistan suojapaikkoja ja maan sienirihmaston tilaa. Hankkeessa kehitetyllä käytäväharvennuksen työmenetelmällä on mahdollista lisätä sopivalla kohteella ensiharvennusten korjuun kustannustehokkuutta.

Käytäväharvennuksella on mahdollista saada kannattavan korjuun piiriin myös ne metsät, jotka perinteisellä harvennustavalla jäisivät hoitamatta.

Esimerkkinä tästä Paiholan testimetsikkö, jossa oli vallitsevan koivu puuston alla tiheä hakkuuta haittaava alikasvos. Metsikköä ei ilman ennakkoraivausta ollut mahdollista hakata perinteisellä harvennus menetelmällä, mutta testihakkuussa käytäväharvennusmenetelmällä hakkuu onnistui tehokkaasti:

- käytäväharvennuksen tehollinen tuottavuus oli 15 % ennakkoraivattua perinteistä harvennustapaa korkeampi. Ennakkoraivauksen kustannus jäi pois ja kohde todettiin silti olevan hakkuun jälkeen Kemera-tukikelpoinen.
- Menetelmä toi mahdollisuuden tehdä alikasvoksen raivauksen hakkuun jälkeen mikä tuottaa kustannussäästön. Alikasvoksen raivaus hakkuun jälkeen mahdollistaa paremmin lisätä metsän peitteisyyttä.

Menetelmän hyödyn leviäminen laajemmalle kuin osallistuvien organisaatioiden käyttöön on mahdollista, koska kaupallista suojaamista mm. patentin kautta ei ole tehty.

Käytäväharvennuksen hyväksyntä tutkimukseen perustuvana metsänhoitomenetelmänä laajentaa jatkossa sen käyttöä Suomessa sekä metsäyhtiöiden mailla, että yksityismetsissä.

5.5 Esitykset jatkotoimenpiteiksi

Ensimmäiset tulokset käytäväharvennuksen mahdollisuuksista nuorten metsien hoidossa ovat lupaavia. Käytäväharvennuksen kuitenkin jatkossa tarvitaan yhtä perusteellista tutkimusta kuin käytössä olevasta ja oikeaksi harvennustavaksi osoittautuneesta perinteisestä valikoivasta harvennuksesta on tehty. Työmenetelmän käyttöön ottaminen edellyttää puunkorjaajien, koneyrittäjien sekä tutkimus- ja opetusorganisaatioiden yhteistyötä. Käytäväharvennuksen kohdevalintakriteeristö tulee laatia puunkorjuun ja puutuotannon kannattavuuden sekä monimuotoisuuden synteisinä. Taulukko 3 kuvaa näitä näkökulmia.

Hakkuulaitteen liikutteluun kului suurin osa käytäväharvennuksen tehollisesta työajasta. Hakkuulaitteen liikuttelu sisältää hakkuulaitteen viennin puulle, puiden kaadon ja hakkuulaitteeseen keruun sekä täyden taakan tuonnin ajouran varteen. Myös Bergströmin ym. (2007) ja Bergströmin ym. (2010) tutkimuksissa hakkuulaitteen liikuttelu oli käytäväharvennuksen tärkein työprosessi.

Hakkuutekniikan ja metsänhoidon näkökulmasta työmenetelmää kuvaa hyvin *väyläharvennus*: menetelmän ydin on työskentelyväylä, jonka kuljettaja aukaisee ensin ajouralta kasvatettava puusto huomioiden. Puuston harvennus ja prosessointi tapahtuu aina työskentelyväylältä käsin toisin kuin perinteisessä menetelmässä, jossa puut harvennetaan pääsääntöisesti yksitellen ajouralta käsin. Väylien sijoittelu ei ole itsetarkoitus vaan ne sijoitetaan kasvatettava puusto huomioiden helpottamaan hakkuulaitteen liikuttelua.

Tämän hankkeen tulokset viittaavat, että käytäväharvennus soveltuu pienpuustoihin ylitiehenä kasvaviin ensiharvennuksiin, jossa perinteinen valikoiva harvennus ei ole kannattavaa. Tällöin nämä metsiköt olisi mahdollista saada kannattavan puutuotannon piiriin myös ilman valtion Kemera-tukea. Kemera-tukea voidaan myöntää yksityiselle metsäomistajalle metsänhoidon tukemiseen silloin kun se on huonosti kannattavaa (Suomen metsäkeskus 2019). Käytäväharvennuksen potentiaalisia jatkokehittämiskohteita ovat juuri valikoivalle harvennustavalle haastavat Kemera-tuen ehdot täyttävät nuoret metsät. Paiholan testimetsikössä käytäväharvennus onnistui hyvin ilman ennakkoraivausta. Harvennusjälki täytti myös ilman ennakkoraivausta Kemera-tuen metsähoidon vaatimukset. Tämä antaa mahdollisuuden alikasvoksen raivaukselle ennen hakkuuta tai vasta sen jälkeen. Mikäli hakkuu voidaan tehdä ilman ennakkoraivausta, on raivattavaa alikasvosta hakkuun jälkeen vähemmän, jolloin kasvatettava alikasvos voidaan valita paremmin todellisen tarpeen mukaan. Joten raivauksen ajankohdan metsikkökohtainen kaipaa jatkoselvitystä. Hakkuun jälkeen jäänyt alikasvos nostaa kysymyksiä käytäväharvennuksen mahdollisuuksista kaksijaksoisen tai erirakenteisen metsän kasvatukseen ja alikasvoksen raivauksen ajankohtaan. Jatkossa tarvitaan myös lisätietoa voidaanko käytäväharvennusta laajentaa eri pääpuulajin hoidettuihin harvennusmetsiin ja soveltuuko käytäväharvennus kohteille, joissa puiden väliset laatuerot ovat suuria.

Testihakkuissa testimetsiköiden valtapuuston tiheys ennen hakkuuta vaihteli 1600-2000 puuta/ha. Testimetsiköt olivat puuston tilajärjestykseltään ja laadultaan tasaisia. Testihakkuissa kuljettajat sovittivat kasvatettavan puuston mukaan käytäväverkoston, jossa käytävien leveys oli noin 2-2,5 m ja niiden välimatka 4-5 m. Ajoura mukaan lukien käytävät poistivat puustosta noin puolet, jolloin kasvatettavaa puustoa jäi 800-1000 puuta/ha.

Myös nuoremmissa energiapuuvaltaisissa metsiköissä, joissa runkoluku ennen hakkuuta on tiheämpi, tulee löytää sellainen käytäväverkosto, jossa kasvatettava puusto täyttää hyvän metsähoidon suositukset ja jossa hakkuutyön tuottavuus paranee verrattuna perinteiseen valikoivaan harvennustapaan. Käytäväharvennuksen oikea metsikkökohdennus edellyttää testausta monipuolisissa metsikköranteissa.

Tarvitaan myös käytäväharvennuksen työmallit käytännön toteutukseen ja opetukseen. Työmallien perusta on lähtöpuuston rakenne ja tavoitepuusto harvennuksen jälkeen. Työmallien kehittämisessä on keskeistä digitalisaation hyödyntäminen metsikön rakenteen selvittämisessä (esim. laser-keilaus) sekä hakkuukonesimulaattorien käyttö hakkuukoneen liikeratojen optimoinnissa.

Jotta käytäväharvennuksen potentiaali saataisiin kokonaan käyttöön, olisi itse työmenetelmän lisäksi kehitettävä myös sille soveltuvaa teknologiaa. Bergströmin ym. (2009) ja Nordfjellin ym. (2011) tutkimusten tuloksiin perustuen puiden hakkuu kerralla koko käytävän leveydeltä toisi pienipuustoisissa ja tiheissä energiapuu metsissä suuremman edun verrattuna perinteiseen joukkokäsittelyhakkuupäähän, jolla puut poimitaan pääasiassa yksitellen. Myös nosturin automaattiliikkeiden hyödyntäminen olisi helpompaa toteuttaa käytävissä.

Tärkeää on selvittää työmenetelmän vaikutus metsäkuljetukseen, hakkuutyön laatuun, puutuotannon kannattavuuteen metsikön koko kiertoajalla sekä monimuotoisuuteen. Kasvunsimuloinneissa käytäväharvennettujen metsiköiden toisen harvennuksen kertymät olivat huomattavasti suuremmat kuin perinteisessä harvennuksessa, joten myös toisen harvennuksen korjuun tuottavuus tulisi selvittää esim. simulaattorilla.

Korjuujäljestä tulisi inventoida ajurien leveys ja painumat, ajourien välimatka, kantojen pituus sekä runko- ja juuristovauriot. Simulointitulokset osoittivat, että kiertoajan käyttöpuutuotos ja tukkipuusuus on samaa suuruusluokkaa käytäväharvennuksessa kuin valikoivassa harvennuksessa. Tämän varmistamiseksi puuston jatkokehityksen seuraaminen ja ennustaminen edellyttää uusien pitkäaikaisten seurantakokeiden perustamista missä keskeistä on selvittää käytäväharvennuksen puutuotannollinen kannattavuus metsikön koko kiertoajalla (= tukkipuun saanto ja laatu).

Taulukko 3. Valikoivan ja käytäväharvennuksen vertailua.

	Valikoiva harvennus	Käytäväharvennus
Harvennusvoimakkuus	-vaihtelee kuljettajittain	-vaihtelee vähemmän, jos käytäväverkosto suunnitellaan oikein -johtaako ylimääräiseen harvennuskertaan?
Harvennustapa	-alaharvennus, jossa poistetaan ensisijaisesti pienimpiä puita -laatuharvennus erityisesti männiköissä	-vaarantaako laatuharvennuksen -antaako mahdollisuuden kaksijaksoisten ja erirakenteisten metsien kasvatukseen?
Hakkuujälki	-riippuu kuljettajasta ja olosuhteista	-kuljettajan ja olosuhteiden vaikutus tasoittuu
Korjuuvauriot	-puustovaurioita syntyy erityisesti kun joudutaan kaatamaan harventamattomaan puustoon -ajourapainumat?	-puiden prosessointi tapahtuu pääsääntöisesti käytävällä, jolloin puustovauriot vähenevät -ajourapainumat?
Metsäkuljetus	-hakkuutähteet karsitaan ajouralle	-saadaanko hakkuutähteet riittävästi ajouralle? -metsäkuljetuksen tuottavuus todennäköisesti paranee
Seuraava harvennus	-poistuman keskikoko suurempi kuin käytäväharvennetussa metsikössä	-harvennuskertymä hehtaarilla suurempi kuin valikoivassa harvennuksessa
Tuuli-/lumituhoriski	-voidaan vaikuttaa harvennuksen ajoituksella ja harvennusvoimakkuudella	-lisääkö riskiä?
Monimuotoisuus	-tuottaapuuntuotannon maksimoimat monokulttuurit -alikasvoksen liian voimakas ennakkoraivaus	-metsän peitteisyys lisääntyy -sienirihmastot lisääntyy -riistaympäristöt paranevat
Kemera-tuki	- koneellisen hakkuun sujuva toteuttaminen ja tuen saaminen haastavalla kohteella voi edellyttää kustannuksia aiheuttavaa ennakkoraivausta ennen hakkuuta	-tuen saamiseksi ennakkoraivaus voidaan tehdä edullisemmin myös hakkuun jälkeen -sopivalla kohteella hakkuu on mahdollista tehdä ilman ennakkoraivausta, jolloin myös tuki saadaan.

Kirjallisuus

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.

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.

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.

Engeström, Y. 1987. Learning by expanding: an activity-theoretical approach to developmental research. Helsinki: Orienta-Konsultit Oy. ISBN: 951-95933-2-2. 368 s.

Antti Isomäki & Jarmo Väisänen. 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.

Kahala M. (1991). Puunkorjuumenetelmät. Julkaisussa: Tapion taskukirja 21. uudistettu painos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki.

Kananen, J. 2014. Toimintatutkimus kehittämistutkimuksen muotona. 179 s.

Lars Karlsson, Urban Bergsten, Thomas Ulvcróna, Björn Elfving. 2012. Long-term effects of growth and yield of corridor thinning in young *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Engineering* 28: 28-37.

Konttinen H., Drushka K. (1997). Metsäkoneiden maailman historia. 254 s.

Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., Nuutinen, Y. & Keskinen, S. (2009). Kokopuun paalaus - tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon Raportti 211. ISSN 1459-773X, 60 s.

Laitila, J. 2012. Methodology for choice of harvesting system for energy wood from early thinnings. Doctoral thesis. University of Eastern Finland. *Dissertationes Forestales* 143. 68 s.

Lauren, A. 2012. Työajanmittausohjelma Microsoftin Visual Basic For Applications - alustalla Excel-sovelluksessa.

Lilleberg, R. 1991. Harvennustapa ja puiden joukkokäsittely ensiharvennusmännikön koneellisessa hakkuussa. Metsätehon tiedotus. 11 s.

Läspä, O. & Nurmi, J. 2018. Geometrical thinning in energy wood harvesting. *International Journal of Forest Engineering*. DOI: 10.1080/14942119.2018.1493845.

Harri Mäkinen, Antti Isomäki & Timo Hongisto. 2006. Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry*, Vol. 79, No. 1: 103-121.

Nordfjell T., Bergström D., Wennberg R., Forsberg J., Bergsten U. (2011). *Formec, Austria 2011 Proceedings: Geometric thinning for forest bioenergy*. 8 p.

Nuutinen, Y. 2013. Possibilities to use automatic and manual timing in time studies on harvester operations. Doctoral thesis. University of Eastern Finland. *Dissertationes Forestales* 156. 68 s.

Ovaskainen., H. 2012. Työmallit koneellisessa puunkorjuussa. *Metsätehon raportti* 221. 45 s.

Ovaskainen, H. 2014. Joukkokäsittelyn työmallit. *Metsätehon tuloskalvosarja* 8a/2014. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/joukkokasittelyn-tyomallit/>.

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.

Remes, M. 2019. Käytäväharvennushankkeen loppuseminaari 5.6.2019: Käytäväharvennuksen mahdollisuudet ja haasteet. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/uutiset/kaytavaharvennus-tehokas-menetelma-nuorten-metsien-ensimmaiseen-koneelliseen-harvennukseen>.

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.

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.

Suomen metsäkeskus. 2018. Maastotarkastusohje. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/maastotarkastusohje.pdf>.

Suomen metsäkeskus. 2019. Kemeratuet. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/kemeratuet>.

Ulvcrona K, Bergström D, Bergsten U. 2017. Stand structure after thinning in 1-2 wide corridors in young dense stands. *Silva Fennica* vol. 51 no. 3 article id 1563. 15 p

Väätäinen K., Ovaskainen H., Ranta P., Ala-Fossi A. (2005). Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 937. 100 s.

Salminen J. (1996). Puunkorjuun tekninen kehitys Suomessa. *Julkaisussa: Väättäjä M. (toim.). Puoli vuosisataa koneellista puunkorjuuta. S. 16–53.*

LIITE: hankkeen ohjausryhmän viimeisen kokouksen pöytäkirja



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



metsäkeskus

The Biofore Company



UPM

Kehittämishanke:

Kokouskutsu 21.8.2019 (1/2019)

Käytäväharvennus –

Menetelmä nuorten metsien

ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen

OHJAUSRYHMÄN KOKOUS

Aika: 19.9.2019, klo 13:00 - 14:00

Paikka: Neuvottelutila 343A, Luke, Yliopistonkatu 6, Joensuu

Esityslista:

1. Kokouksen avaus

Puheenjohtaja avasi kokouksen klo 13.00 ja totesi läsnäolijat. Kokouksen puheenjohtajaksi valittiin Seija-Tiitinen Salmela, ja sihteeriksi Yrjö Nuutinen.

2. Läsnäolijoiden toteaminen

Kokouksessa olivat paikalla Timo Saksa (Luke), Jyri Schildt (UPM Metsä), Seija Tiitinen-Salmela (Suomen Metsäkeskus), Leena Leskinen (Suomen Metsäkeskus) ja Yrjö Nuutinen (Luke). Ohjausryhmästä kokouksessa eivät olleet paikalla Liisa Mäkijärvi (Suomen Metsäsäätiö) ja Terho Sirviö (ELY-keskus) ja Karri Pasanen (Luke).

3. Päätösvaltaisuuden toteaminen

Kokous todettiin päätösvaltaiseksi ja laillisesti koolle kutsutuksi

4. Esityslistan hyväksyminen

Esityslista hyväksyttiin ilman muutoksia.

5. Edellisen kokouksen pöytäkirjan tarkastus

Edellisen kokouksen pöytäkirja 2/2018 (15.10.2018) tarkastettiin ja hyväksyttiin.

6. Hankkeen toteutus vs. hankesuunnitelma: käydään läpi onko hanke toteutettu hankesuunnitelman mukaisesti

Yrjö Nuutinen esitteli taulukkoa, jossa verrataan hankesuunnitelmaa hankkeen toteutukseen sekä hankkeen budjettia. Keskustelussa tuli esille, että hanke on toteutettu hankesuunnitelman mukaisesti. Hankkeen budjetista jäi käyttämättä 1,07 % (1338,21 €).

7. Hankkeen maksuhakemukset 1.8.2018 - 31.12.2018 ja 1.1.2019 - 30.6.2019

Hankkeen maksuhakemukset 1.8.2018 - 31.12.2018 ja 1.1.2019 - 30.6.2019 hyväksyttiin. Maksuhakemus lähetetään rahoittajalle lokakuun aikana.

8. Muut esille tulevat asiat

Loppuraportin hyväksyminen: Loppuraportti hyväksyttiin. Loppuraportin liitteeksi liitetään tämä pöytäkirja ja seuraava lausunto: Ohjausryhmä totesi, että tämä Käytäväharrvennus -hanke on toteutettu hankesuunnitelman mukaisesti. Hankkeen tavoitteet ovat täyttyneet. Loppuraporttiin on kirjattu asiat hyvin ja seikkaperäisesti.

Viimeisen ohjausryhmän osallistujat hyväksyvät allekirjoituksellaan tämän pöytäkirjan.

9. Kokouksen päättäminen

Puheenjohtaja päätti kokouksen klo 14.

Jakelu

Ohjausryhmä: Jyri Schildt, Timo Saksa, Terho Sirviö, Liisa Mäkijärvi, Seija Tiitinen-Salmela (pj.), Karri Pasanen, Yrjö Nuutinen (siht.)

Ohjausryhmän ulkopuoliset: Markku Remes, Leena Leskinen

Seija Tiitinen-Salmela
puheenjohtaja

Yrjö Nuutinen
sihteeri