

# Vyöhykeharvennusmenetelmän vaikutus hakkuun ajanmenekkiin ja tuottavuuteen

---

Metsätehon tuloskalvosarja 10/2021

Heikki Ovaskainen<sup>1</sup>, Asko Poikela<sup>1</sup> ja Matias Karhumaa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metsäteho Oy, <sup>2</sup>Helsingin yliopisto

# Tiivistelmä

- Vyöhykeharvennusmenetelmän keskeisenä ideana on tehostaa koneellista hakkuutyötä laskemalla harvennusvoimakkuutta kuormaimen maksimiulottuvuudelta (eli lyhentämällä puiden keskimääräistä ottoetäisyyttä).
- Menetelmässä jätetään ensiharvennuksessa ajourien väliin käsittelemätön vyöhyke, johon ajoura avataan vasta toisessa harvennuksessa. Toisessa harvennuksessa ei harvenneta enää ensiharvennuksessa avatun ajouran varsia, sillä ne on harvennettu jo ensiharvennuksessa myöhemmän harvennuksen jälkeiseen tavoitetiheyteen.
- Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hakkuun ajanmenekki- ja tuottavuserot vertailevana aikatutkimuksena seuraavilla harvennusmenetelmillä:
  - perinteinen harvennus 20 metrin ajouravälillä (kontrollimenetelmä)
  - vyöhykeharvennus 24 metrin ajouravälillä
  - vyöhykeharvennus 30 metrin ajouravälillä.
- Tutkimuksen harvennushakkuut tehtiin ammattikuljettajien toimesta hakkuukonesimulaattoriympäristössä tutkimusasetelman mukaisilla puustoilla.
- Vyöhykeharvennusmenetelmä kasvatti hakkuutyön tuottavuutta ensiharvennusvaiheessa 7–8 % ja toisessa harvennuksessa 8–10 %.
- Vyöhykeharvennusmenetelmän muina etuina nähdään monimuotoisuustekijöiden kasvu vaiheittaisen harventamisen ja harventamattomuuden myötä. Samalla tarjoutuu mahdollisuus lisätä metsän eri-ikäisrakenteisuutta.



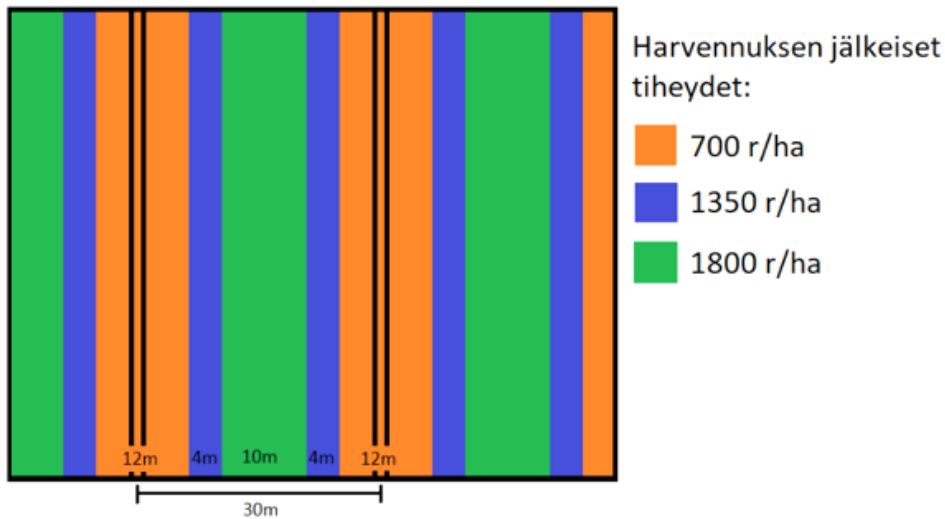
# Johdanto

- Harvennushakkuiden tuottavuuskehitys on ollut viime vuosina hidasta, mikä on johtanut puunkorjuun positiivisen kustannuskehityksen hidastumiseen (Strandström 2021).
- Toisaalta hakkuukoneiden tekninen kehitys, leimikoiden valmistelu harvennukseen (ennakkoraivaus, korjuukelpoisuuskartat) ja työmallien luominen koneelliseen harvennustyöhön ovat osaltaan edistäneet tuottavuuskehityksen ylläpitoa (Venäläinen ym. 2017).
- Pyrittäessä parantamaan korjuun tuottavuutta tulevaisuudessa harvennuksilla, potentiaalinen ja kustannustehokas keinovalikoima on tällä hetkellä kuitenkin niukka.
- Eräänä keinona on poikkeaminen ja tinkiminen siitä korjuutyön jäljestä ja laadusta, mihin perinteisessä tasaisessa harventamisessa on totuttu.
- Esimerkkinä tästä on käytäväharvennusmenetelmä, jossa tingitään puuston tasaisesta tilajärjestyksestä, yksittäisten puiden valikoinnista ja siten jäävien puiden laadusta, mutta saadaan työn tuottavuutta kasvatettua (Bergström ym. 2010; Nuutinen ym. 2020).
- Eräänä vaihtoehtona myös on, että puita ei poisteta samalla intensiteetillä koko hakkuukoneen puomin ulottumalta, jolloin harvennusvoimakkuus laskee vyöhykkeittäin edettäessä ajouralta kauemmaksi koneen sivuille. Työn tuottavuuden ja korjuujäljen oletetaan kasvavan toimittaessa lähempänä konetta puomin tehokkaalla työskentelyalueella.



# Vyöhykeharvennusmenetelmä

- Vyöhykeharvennusmenetelmän ensiharvennusvaiheessa metsään muodostuu kolme koneen kulkusuuntaista korjuuvyöhykettä:
  - Ajouran varret harvennetaan suoraan toisen harvennuskerran jälkeiseen tavoitetiheyteen, esimerkiksi 700 r/ha (oranssi).
  - Välialue käsitellään tavallista ensiharvennusta lievemmin, kaadetaan yksittäisiä helposti otettavia puita (sininen).
  - Käsittelemättömältä vyöhykkeeltä ei poisteta puita ensiharvennuksessa (vihreä).
- Toisessa harvennuksessa ajoura avataan käsittelemättömään vyöhykkeeseen (vihreä):
  - Harvennetaan käsittelemätön vyöhyke suoraan toisen harvennuksen jälkeiseen tiheyteen.
  - Harvennetaan myös välialue toisen harvennuskerran jälkeiseen tiheyteen.



Kuva 1. Vyöhykeharvennusmenetelmän mukaisen ensiharvennuksen havainnekuva 30 metrin ajouravälillä toteutettuna. Käsittelemättömän vyöhykkeen (vihreä) leveys ajourien välissä on 10 metriä.

# Vyöhykeharvennusmenetelmän näkökohtia

- Harvennusvoimakkuus suurempi lähellä konetta
  - Suurempi osa poistettavista puista on koneen lähellä, jolloin
    - rungon hakuaika ja -matka ovat pienemmät
    - kouran ohjaaminen on tarkempaa
    - kuljettajalla on parempi näkyvyys
    - kuormain on optimaalisella tehoalueella.
  - Ajouran varressa on enemmän työskentelytilaa → Vähemmän vaurioita kasvatettavaiin puihin
- Suurempi kertymä ajourametriä kohden
  - Siirtymisaika työpisteeltä toiselle on pienempi hakkuussa
  - Puutavaran lähikuljetus tehostuu suuremman ajouranvarsitiheyden myötä
  - Enemmän hakkuutähdettä ajouralle
- Ensiharvennuksessa jätetään käsittelemätön vyöhyke
  - Talousmetsän monimuotoisuus lisääntyy
  - Samoja hakkuu-uria ei käytetä uudestaan
  - Harvaksi hakatulle ensiharvennusvyöhykkeelle voi alkaa syntyään alikasvosta, jonka hyödyntämistä metsän uudistamisessa tai eri-ikäisrakenteisessa kasvattamisessa voi harkita



# Tutkimuksen tavoite ja toteutus

- Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hakkuun ajanmenekki- ja tuottavuuserot seuraavilla harvennusmenetelmillä:
  - perinteinen harvennus 20 metrin ajouravälillä (kontrollimenetelmä vyöhykeharvennuksille)
  - vyöhykeharvennus 24 metrin ajouravälillä, käsittelemättömän alueen leveys 8 m
  - vyöhykeharvennus 30 metrin ajouravälillä, käsittelemättömän alueen leveys 10 m.
- Kaikkiin kolmeen käsittelyketjuun sisältyi ensiharvennus ja toinen harvennus.
- Tutkimus toteutettiin vertailevana aikatutkimuksena tutkimusta varten muodostetuissa harvennusleimikoissa hakkuukonesimulaattorilla.
- Tämä tuloskalvosarja perustuu Metsätehossa tehtyyn Matias Karhumaan Helsingin yliopiston maisterin tutkielmaan.



# Tutkimusleimikot

- Tutkimusleimikoiden puustojen tiheydet laskettiin vyöhykkeittäin ajouran suhteen.
- Leimikoiden puustojen muodostamisessa hyödynnettiin Tapion metsänhoidon suosituksia käyttäen Väli-Suomen tuoreen kankaan männikön ja kuusikon harvennusmalleja (Äijälä ym. 2019).
- Lähtöpuuston tiheys oli 1 800 runkoa hehtaarilla sisältäen mäntyjä ja kuusia.
- Ensiharvennusten jäävä runkoluku oli kontrollileimikossa 1 000 runkoa hehtaarilla ja vyöhykeharvennuksissa 1 200 runkoa hehtaarilla.
- Kahden harvennuksen jälkeinen puuston tiheys oli kaikissa menetelmissä noin 660 runkoa/ha.
- Kaikki puut poistettiin 2 metrin etäisyydeltä uran keskilinjasta, jolloin todellinen ajouraleveys Metsäkeskuksen inventointiohjeen mukaisesti asettui noin 4,5 metriin.

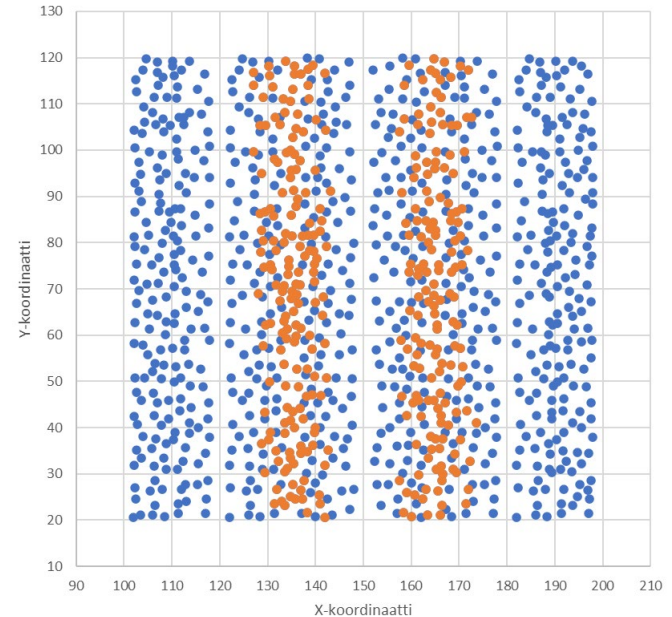
Taulukko 1. Jäävän puuston ja poistuman määrä 2 metrin vyöhykkeissä leimikkotasolla. Yhteensä-luvut sisältävät myös hakkuun ulkopuolelle jäävän käsittelemättömän vyöhykkeen.

Leimikko	Runkoluku, runkoa/ha	Etäisyys ajouran keskilinjaan, m					Yhteensä
		0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	
EH20*	Jäävä	0	1250	1250	1250	1250	1000
	Poistuma	1800	550	550	550	550	800
EH24	Jäävä	0	1000	1150	1450	1800	1200
	Poistuma	1800	800	650	350	0	600
EH30	Jäävä	0	900	900	1200	1500	1200
	Poistuma	1800	900	900	600	300	600
HH20*	Jäävä	0	825	825	825	825	660
	Poistuma	0	425	425	425	425	340
HH24	Jäävä	0	1000	1000	1000	1000	667
	Poistuma	1800	800	400	200	0	533
HH30	Jäävä	0	900	900	900	900	660
	Poistuma	1800	900	600	300	0	540

\*kontrollileimikko

# Tutkimusleimikot

- Tutkimusleimikoiden vyöhykkeittäiset puustotiheydet muodostettiin puukartoiksi, poistettavat puut ennakkoleimattiin ja lopuksi puukartoista muodostettiin virtuaaliset puustot hakkuukonesimulaattoriin.
- Toisen harvennuksen puuston lähtötilanteen tilajärjestys vastasi ensiharvennuksen lopputilannetta.
- Leimikot luotiin 100 metriä pitkinä hakkuukaistoina, joiden jälkimmäinen 50 metrin puolisko oli ensimmäisen peilikuva.
- Poistettavat puut olivat puulajiltaan kuusia ja jäivät puut mäntyjä.
- Jäävän puuston tiheys asetettiin ennakkoleimauksella tutkimusasetelman mukaiseksi.
- Ennakkoleimaus suoritettiin ainoastaan tilajärjestyksen perusteella.



Kuva 2. Vyöhykeharvennusmenetelmän harvennushakkuun (HH30) poistettavat puut merkattuina oranssilla.



# Työntutkimusaineisto

- Tutkimusaineisto kerättiin hakkuukonesimulaattorilla virtuaalileimikoilla suoritetuilla hakkuilla.
- Virtuaaliset tutkimusleimikot (6 kpl) harvensi neljä kokenutta hakkuukoneenkuljettajaa. Kuljettajat ajoivat kunkin leimikon kahdessa 30 minuutin jaksossa.
- Tutkimusajot videoitiin Windowsin ruudunkuvausohjelmalla, ja simulaattorin mittalaitteelta tallennettiin hakkuun toteumatiedot (stm-tiedostot).
- Jokaiselle kuljettajalle laadittiin oma ajojärjestys, jotta eri harvennusmenetelmät olisivat tasaisesti aloittavina ja päättävinä. Näin saatiin eliminoitua mahdollinen simulaattoriajon oppimisreaktion vaikutus tuloksiin.
- Eri puutavaralajit tuli kasata omiin kourakasoihin. Rungoissa ei ollut laatuviikoja, vaan apteeraus tapahtui ainoastaan mittojen perusteella automaattijolla.
- Ensiharvennukselta katkottiin ainoastaan kuitupuuta 2,5–3,0 metrisenä.
- Toiselta harvennukselta katkottiin myös tukkia, jonka minimilatvaläpimitta oli 16 cm.



Kuva 3. Näkymä hakkuukoneesta leimikolla HH20.

# Aineiston analysointi

- Hakkuuvideot analysoitiin aikatutkimuksen periaatteiden mukaisesti seuraavaa työvaihejakoa käyttäen:
  - hakkuulaitteen vienti kaadettavalle puulle
  - puun kaato ja siirto
  - prosessointi
  - koneella siirtyminen
  - hakkuulaitteen tuonti eteen ennen siirtymistä
  - keskeytykset ja häiriöt.
- Tehoajan laskennassa ei huomioitu keskeytyksiä ja häiriöitä, sillä niiden ei oletettu olevan harvennustavasta riippuvaisia. Lisäksi kuljettajia ohjeistettiin välttämään ylimääräistä järjestelyä ja taukoja.
- Ajanmenekin mallinnuksessa huomioitiin runkokohtaisesti vain ne työvaiheet, joissa ajanmenekki oli tilastollisesti merkitsevästi riippuvainen rungon tilavuudesta. Muiden työvaiheiden ajanmenekki jaettiin tasaisesti kaikille ajokerran rungoille.
  - Korrelaatiotutkimuksen perusteella työvaiheista ainoastaan prosessoinnin ajanmenekki oli kaikissa ajoissa tilastollisesti merkitsevästi riippuvainen rungon tilavuudesta (vientä 4/48 ja kaato-siirto 3/48).



# Aineiston analysointi

- Jokaiselle rungolle laskettiin tehoajanmenekki kaavalla:

$$y = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5, \text{ jossa}$$

$y$  = Hakkuun tehoajanmenekki, s/runko

$x_1$  = Prosessoinnin tehoajanmenekki, s/runko

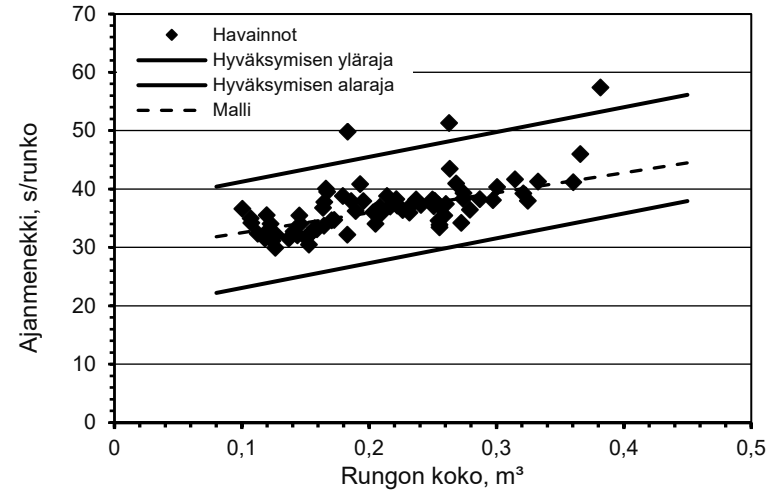
$x_2$  = Viennin tehoajanmenekki keskiarvo ajotapahtumassa, s/runko

$x_3$  = Kaato-siirron tehoajanmenekki keskiarvo ajotapahtumassa, s/runko

$x_4$  = Siirtymisen tehoajanmenekki keskiarvo ajotapahtumassa, s/runko

$x_5$  = Hakkuulaitteen eteen tuonin tehoajanmenekki keskiarvo ajotapahtumassa, s/runko

- Aineistosta poistettiin poikkeavat havainnot
  - Kaikki yli kahden keskihajonnan päässä alkuperäisestä lineaarisesta regressiosuorasta olleet tehoajanmenekkihavainnot. Näin mallinnuksen ulkopuolelle jääneitä poikkeavia havaintoja oli ajotapahtumasta riippuen 0–5 kpl, ja kaikki ajotapahtumat yhteenlaskettuna 87 kpl.
  - Kaikki yhden pölkyn rungot, sillä käytetyillä mitta- ja laatuvaatimuksilla ei yhden pölkyn runkoja olisi pitänyt syntyä. Yhteensä 6 kpl.



Kuva 4. Havainnekuvassa ajokertatasolla yksittäisen leimikon ajanmenekkihavainnot (A\_HH24\_2) sekä runkokohtaisen ajanmenekin lineaarinen malli. Poikkeavat havainnot rajojen ulkopuolella jätettiin pois mallinnuksesta. Hyväksymisen alaraja yläraja on laskettu alkuperäisestä regressiosuorasta ja malli on laskettu ilman poikkeavia havaintoja.

# Tulokset

- Ajokertoja kertyi kaikkiaan 48. Kuljettajatasolla ajokerroista yhdistettiin ajokerrat 1 ja 2, jolloin perusjoukon lukumäärä oli 24. Aineistoa analysoitiin ajokerta-, kuljettaja- ja leimikkotasolla. Leimikkotasolla yhdistettiin kaikkien kuljettajien aineisto, jolloin perusjoukkona olivat leimikot. Tarkastelutason valinnassa huomioitiin analyysissä vaadittu tarkkuus sekä raportoinnin selkeys.
- Yhteensä tehollista työaika oli 31,6 tuntia, jonka aikana kaadettiin 3 565 runkoa.
- Työskentelyaika harvennustapojen ja leimikoiden välillä jakaantui tasaisesti ollen noin 5 tuntia leimikkoa kohden.
- Perinteisen harvennustavan poistuman keskitilavuus, 241,4 dm<sup>3</sup>, poikkesi merkittävästi muista toisen harvennuksen leimikoiden keskitilavuuksista.
- Tuottavuus oli riippuvainen keskitilavuudesta, mutta myös harvennustavasta.
- Vyöhykeharvennukset erottuivat selkeästi runkokohtaisessa ajanmenekissä sekä hakkuulaitteen kulkemassa matkassa.

Taulukko 2. Hakkuun toteumatiedot koeleimikoilta.

Leimikko	Rungot, kpl	Teho aika min	Tuotos m <sup>3</sup>	Tuottavuus, m <sup>3</sup> /h	Runkoa/h, kpl	Keskitilavuus, dm <sup>3</sup>	Hakkuulaitteen kulkema matka, m/runko
EH20	639	317	54,0	10,2	121	84,4	12,7
EH24	576	267	51,0	11,4	129	88,5	11,4
EH30	719	338	66,5	11,8	128	92,5	12,1
Ensiharvennukset	1934	922	171,4	11,2	126	88,6	12,1
HH20	475	305	114,7	22,5	93	241,4	18,2
HH24	510	298	107,3	21,6	103	210,4	15,4
HH30	646	371	138,3	22,4	105	214,1	15,0
2. harvennukset	1631	974	360,3	22,2	100	220,9	16,0
Yhteensä	3565	1896	532	16,83	113	149,1	14,1

# Työvaiheajanmenekki

- Työvaiheiden keskimääräiset ajanmenekit erosivat ensiharvennuksella kontrollileimikon ja vyöhykeharvennusten välillä prosessoinnissa, siirtymisessä ja hakkuulaitteen eteen tuonnissa. Siirtymisaika poikkesi ensiharvennuksilla myös vyöhykeharvennusten välillä.
- Toisella harvennuksella työvaiheajat poikkesivat kontrollileimikon ja vyöhykeharvennusten välillä kaato-siirrossa, hakkuulaitteen eteen tuonnissa ja siirtymisessä. Vyöhykeharvennusten välillä poikkesivat työvaiheista kaato-siirto sekä hakkuulaitteen tuonti eteen.
- Koko työsyklin tehoaika poikkeaa kontrollileimikossa vyöhykeharvennuksiin niin ensiharvennuksella kuin toisella harvennuksella.
- Hakkuulaitteen absoluuttiset vientiajat poikkeavat systemaattisesti, mutta suuren hajonnan vuoksi ero ei ole tilastollisesti merkitsevä.

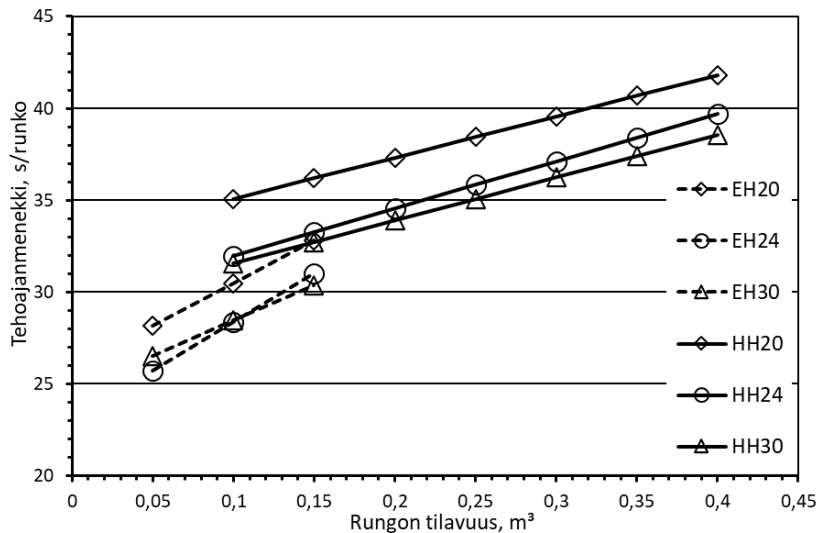
Taulukko 3. Työvaiheiden absoluuttiset ja suhteelliset keskimääräiset ajanmenekit leimikkotasolla.

	Leimikko	Vienti	Kaato-siirto	Prosessointi	Tuonti eteen	Siirtyminen	Tehoaika, s/runko
Ensiharvennuksset	EH20	10,4 0,35	5,8 0,19	7,9** 0,27	3,0** 0,10	2,7* 0,09	29,8**
	EH24	9,7 0,35	5,6 0,20	8,3 0,30	2,1 0,07	2,1* 0,07	27,8
	EH30	9,5 0,34	5,6 0,20	8,5 0,30	2,3 0,08	2,4* 0,08	28,2
Toiset harvennuksset	HH20	10,8 0,28	5,5* 0,14	13,5 0,35	4,5* 0,12	4,3** 0,11	38,6**
	HH24	10,0 0,29	6,7* 0,19	13,5 0,39	2,2* 0,06	2,6 0,07	35,1
	HH30	9,8 0,29	5,9* 0,17	13,4 0,39	2,5* 0,07	2,7 0,08	34,4

\*,\*\*) Yhdellä tähdellä on merkitty työvaiheet, joiden välillä on tilastollisesti merkitsevä ero. Kahdella tähdellä merkityissä vain kyseisen leimikon ero muihin on tilastollisesti merkitsevä. Tilastollisena testinä Mann Whitney U-testi.

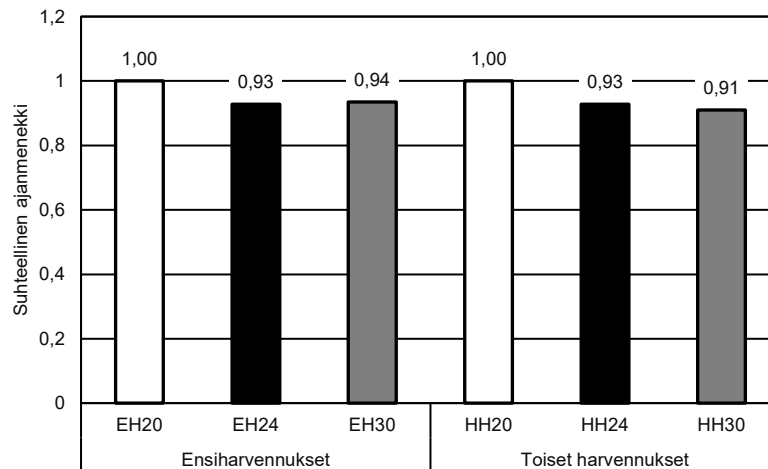
# Tehoajanmenekki

- Työsyklin tehoajanmenekkiä mallinnettiin rungon tilavuuden suhteen.



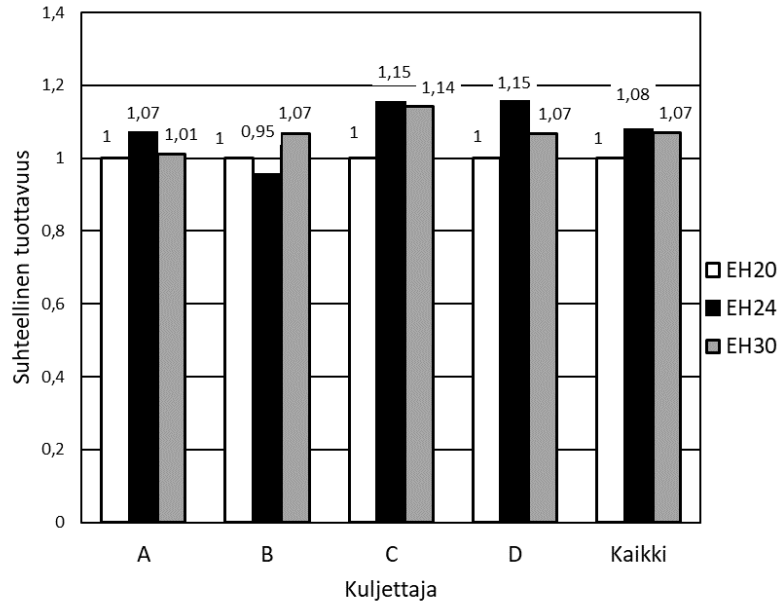
Kuva 5. Ajanmenekkimallit leimikoittain. Ajanmenekkien laskennassa on mukana kaikki kuljettajat ja ajokerrat.

- Vyöhykeharvennus pienensi hakuun tehoajanmenekkiä ensiharvennuksella keskimäärin 7 % ja toisella harvennuksella keskimäärin 8 %, kun ajanmenekkejä verrattiin vakioidulla rungon koolla.

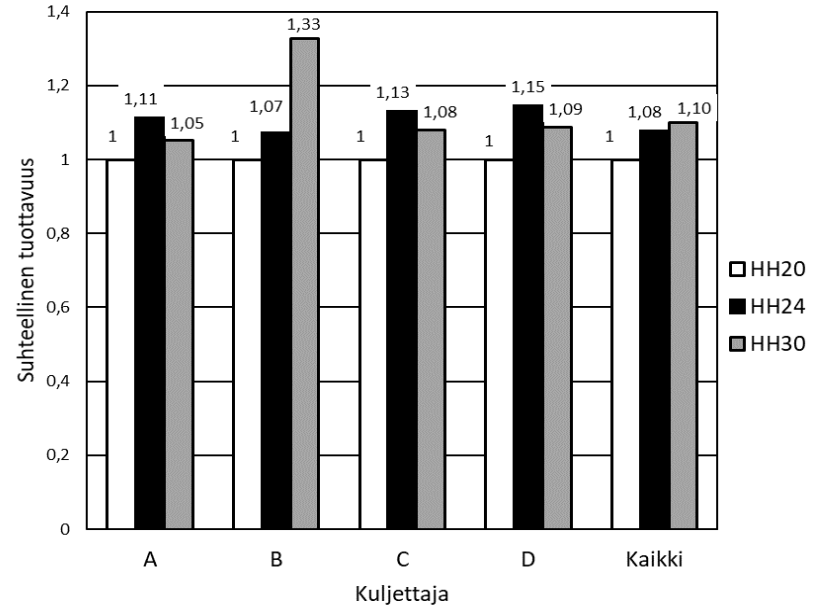


Kuva 6. Ajanmenekkimalleista lasketut suhteelliset ajanmenekit leimikoittain. Ensiharvennusten ajanmenekit on laskettu 90 dm³ ja toisten harvennusten ajanmenekit 220 dm³ runkotilavuudella.

# Tuottavuus



Kuva 7. Suhteelliset tuottavuusarvot kuljettajittain ensiharvenuksessa.



Kuva 8. Suhteelliset tuottavuusarvot kuljettajittain toisessa harvenuksessa.

- Tehotuntituotos oli vyöhykeharvennusmenetelmässä ensiharvenuksessa 7–8 % (90 dm<sup>3</sup>) ja toisessa harvenuksessa 8–10 % (220 dm<sup>3</sup>) suurempi kuin tavallisessa harvenuksessa vakioiduilla rungon koolla tarkasteltuna.

# Kokonaistuottavuus

- Vyöhykeharvennusmenetelmän piirteenä on, että korjattavien puiden kokojakauma on erilainen niin ensiharvennus- kuin harvennusvaiheessa verrattuna tavallisiin harvennuksiin: ensiharvennuksessa rungot ovat suurempia, mutta toisessa harvennuksessa hieman pienempiä.
- Vyöhykeharvennusmenetelmä kasvatti kaadettujen runkojen keskitilavuutta 11–14 %, sillä suurempi osuus rungoista kaadettiin toisessa harvennuksessa.
- Laskettaessa kokonaistuottavuus yhdistämällä ensiharvennuksen ja toisen harvennuksen rungot, päästään vyöhykeharvennusmenetelmässä 17–21 % suurempaan tuottavuuteen kuin tavallisessa harvennuksessa.

		Harvennustapa		
		Tavallinen harvennus 20 m ajouravälillä	Vyöhykeharvennus 24 m ajouravälillä	Vyöhykeharvennus 30 m ajouravälillä
Ensiharvennus	Tuottavuus, m <sup>3</sup> /h	10,2	11,4	11,8
	Keskitilavuus, dm <sup>3</sup>	84,4	88,5	92,5
	Poistetut rungot, r/ha	800	600	600
Toinen harvennus	Tuottavuus, m <sup>3</sup> /h	22,5	21,6	22,4
	Keskitilavuus, dm <sup>3</sup>	241,4	210,4	214,1
	Poistetut rungot, r/ha	340	533	540
Yhteensä	Tuottavuus, m <sup>3</sup> /h	13,9	16,2	16,8
	Keskitilavuus, dm <sup>3</sup>	131,3	145,9	150,1
	Poistetut rungot, r/ha	1140	1133	1140
	Ajanmenekki, s/runko	34,0	32,4	32,1
Suhteellinen ajanmenekki, tavallinen harvennus = 1		1,00	0,95	0,94
Suhteellinen tuottavuus, tavallinen harvennus = 1		1,00	1,17	1,21
Suhteellinen keskitilavuus, tavallinen harvennus = 1		1,00	1,11	1,14

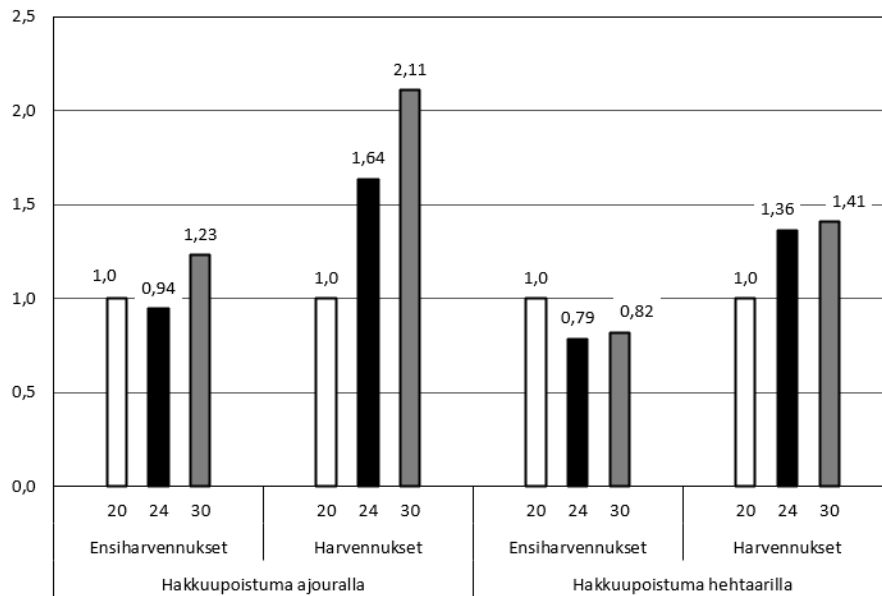
Taulukko 4. Hakkuun toteutuneet tuottavuudet ja keskitilavuudet ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa sekä yhteenlaskettuna. Suhteelliset arvot on laskettu kahdella harvennuksella yhteensä toteutuneista ajanmenekeistä, tuottavuuksista ja keskitilavuuksista.





# Vyöhykeharvennusmenetelmän vaikutus poistumaan

- Hehtaarikohtainen hakkuupoistuma oli ensiharvennuksessa noin 20 % pienempi ja toisessa harvennuksessa noin 40 % suurempi vyöhykeharvennuksella kuin kontrollileimikossa.
- Ajourametriä kohden laskettuna poistumat poikkesivat myös vyöhykeharvennusten välillä merkittävästi.
  - Suurin poistuma ajourametriä kohden oli poikkeuksetta 30 metrin ajouravälillä tehdyssä vyöhykeharvennuksessa.
  - Vyöhykeharvennusmenetelmän poistuma ajourametriä kohden oli 6 % pienempi (24 m) ja 23 % suurempi (30 m) verrattuna kontrollileimikkoon ensiharvennuksella.
  - Toisella harvennuksella vyöhykeharvennusten poistuma oli 64–111 % suurempi kuin kontrollileimikossa.



Kuva 9. Leimikoiden hakkuupoistumat ajouralla ja hehtaarilla suhteutettuna kontrollileimikkoon.

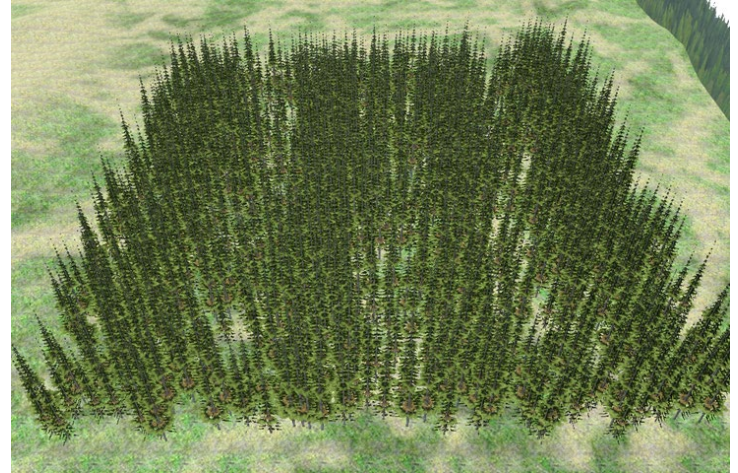
# Johtopäätökset

- Vyöhykeharvennus vaikutti runkojen käsittelyn ajanmenekkiin siten, että hakkuun ajanmenekki oli saman kokoisella rungolla tarkasteltuna pienempi kuin perinteisessä harvennustavassa.
- Vyöhykeharvennusmenetelmässä tuottavuutta nostaa hakkuulaitteen lyhyempi liikuttelumatka sekä ensiharvennusvaiheessa tavallista harvennusta suurempi keskirungonkoko.
- Toisessa harvennuksessa tuottavuutta nostaa suurempi poistettavien puiden runkotiheys yhdistettynä lyhyeen hakkuulaitteen liikuttelumatkaan.
- Lisäksi vyöhykeharvennusmenetelmässä poistettujen puiden keskijäreys (1. ja 2. harvennuksen rungot yhdessä) oli suurempi kuin perinteisessä harvennusmenetelmässä.
- Kuljettajien väliset erot olivat tutkimuksessa suuria ja kuljettajien kehittymistä simulaattorihakkuiden aikana oli havaittavissa. Koejärjestelyillä onnistuttiin vähentämään kehittymisen vaikutusta tuloksiin.
- Menetelmä avaa mahdollisuuden monimuotoisempaan metsien käsittelyyn harvennushakkuin, jos perinteinen tasaiseen tilajärjestykseen perustuva harvennustapa koetaan luonnon monimuotoisuuden kannalta liian homogeeniseksi.



# Jatkotutkimustarpeet

- Vyöhykeharvennusmenetelmän metsätaloudellista kannattavuutta tulisi tarkastella metsätalouden tulojen nettohyötyarvolaskelman avulla: ensiharvennusvaiheessa tuloja jää saamatta, ja ne siirtyvät osin seuraavaan harvennukseen.
- Lisäksi vyöhykeharvennusmenetelmän vaikutus metsikön jatkokehitykseen tulisi selvittää. Kuinka menetelmä vaikuttaa puuston järeytymiseen, kasvutappioon ja tukkiprosenttiin.
- Koko puunkorjuuketjun tuottavuuspotentiaali sekä vyöhykeharvennusmenetelmän vaikutus korjuujälkeen tulisi selvittää maastokokein.
- Kokeita tulisi järjestää vaihtoehtoisilla puulajeilla, kasvupaikoilla sekä puuston tiheyksillä ja tilajakaumilla. Tällöin jokaiseen metsikköön voitaisiin luoda metsätaloudellisesti optimaalinen ajouraväli sekä jäävän puuston tiheys vyöhykkeittäin.



# Kirjallisuutta

- 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* vol 44 no 4 article id 134. <https://doi.org/10.14214/sf.134>.
- Karhumaa M (2021) Hakkuun tuottavuus ja korjuujälki vyöhykeharvennusmenetelmässä. Maisterin tutkielma. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 80 s.
- 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. 26 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-035-9>
- Sirén M (1998) Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 694. 179 s.
- Strandström M (2021) Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2019. *Metsätehon tulosalvosarja* 9/2021. Metsäteho Oy. 32 s.
- Venäläinen P, Alanne H, Ovaskainen H, Poikela A, Strandström M (2017) Kausivaihtelun vähentämisen keinot ja kustannukset puun toimitusketjussa. *Metsätehon tulosalvosarja* 8/2017. 76 s
- Äijälä O, Koistinen A, Sved J, Vanhatalo K, Väisänen P (toim.) (2019) *Metsänhoidon suositukset*. Tapion julkaisuja. 215 s.

