Metsäteho

Kokopuun paalauksen kilpailukyky

Tuomas Ala-Varvi
Heikki Ovaskainen

Metsätehon tuloskalvosarja 8/2013

Johdanto

- Fixteri kokopuupaalain on pienpuun paalaukseen kehitetty laite
- Paalain valmistaa hakatuista kokopuista helposti käsiteltäviä paaleja
- Paalainyksikkö asennetaan kuormatraktorin takarungolle
- Paalainyksikköjä valmistaa Fixteri Oy Vaajakoskella http://www.fixteri.fi/

Johdanto ja tutkimuksen tavoite

- Fixteri pyrkii vastaamaan metsähakkeen kasvavien hankintamäärien mukanaan tuomiin haasteisiin
- Kokopuiden paalauksella pyritään ensisijaisesti metsä- ja kaukokuljetuksen tehostamiseen materiaalia tiivistämällä
- Menetelmä soveltuu eritoten nuorten metsien hoitokohteille ja ensiharvennuksille

- Tämän tutkimuksen tavoitteina oli:
  - Selvittää uusimman Fixteri FX15a -version paalainyksikön tuottavuus
  - Määrittää kokopuun paalauksen tämänhetkinen kilpailukyky
  - Tunnistaa tuottavuutta rajoittavat tekijät

Aineisto

- Hakkuu
  - Uuraisilla vertailtiin kokopuun paalausta (FX15a) ja karsitun rangan hakkuuta (JD 1070D) joukkokäsitellen, kelloaikatutkimus
    - Pinta-ala vajaa 0,5 ha/kone
    - Lähes puulajipuhdas ensiharvennusmännikkö
    - Hyvin kantava kivennäismaa
    - Yhteensä 35 paalia
  - Loviisassa FX15 kokopuupaalain, ”paalidata”
    - Pinta-ala yhteensä noin 3 ha
    - Ensiharvennuskuusikko (1 ha) ja ylispuustoinen koivu-kuusi sekametsä (2 ha)
    - Yhteensä 384 paalia
  - Pornaisissa FX15 kokopuupaalain, ”paalidata”
    - Pinta-ala yhteensä vajaa 19 ha, kolme korjuulohkoa
    - Puusto melko eri-ikäistä ja kokoista
    - Yhteensä 2 793 paalia

Aineisto, koneet

Uurainen

- Fixteri FX15a -paalainyksikkö
  - alustakone Logman 811FC, Loglift F91 FT 100 kuormain ja Nisula 280E+ joukkokäsittelevä hakkuulaite
  - FX15a:n tekniikka edustaa viimeisintä Fixteri-teknologiaa
- John Deere 1070D
  - John Deeren H412 -joukkokäsittelevä hakkuulaite

Pornainen ja Loviisa

- Fixteri FX15
  - FX15 on samaa sukupolvea kuin FX15a, mutta tekniikaltaan edellinen versio FX15a:sta

Aineisto

Uurainen

- Fixteri FX15a:n työ videoitiin ja aikatutkimus tehtiin sen perusteella
  - Paalidatasta paalien painot
  - Puusto- ja korjuuvauriomittaukset maastossa

Pornainen ja Loviisa

- Fixteri FX15 -koneen työskentelystä saatiin ns. ”paalidataa” eli aineistoa, joka sisälsi paalin painon ja punnitusajankohdan → toimii seuranta-aineistona koneen työskentelystä.
  - Fixteri FX15 -työmaiden olosuhdetiedot mitattiin maastossa

Fixteri FX15a

Uuraisten testikoneet

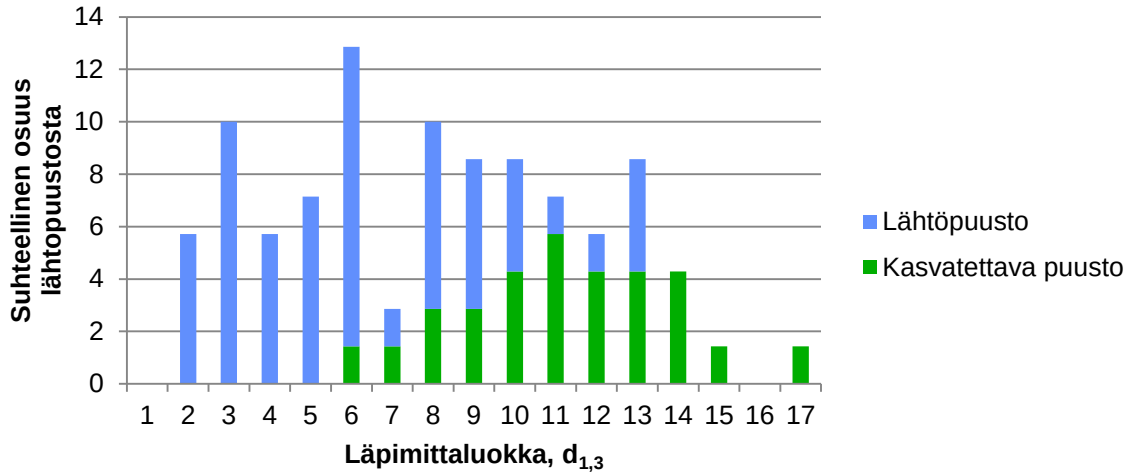
John Deere 1070 D

Puustotiedot, Uurainen

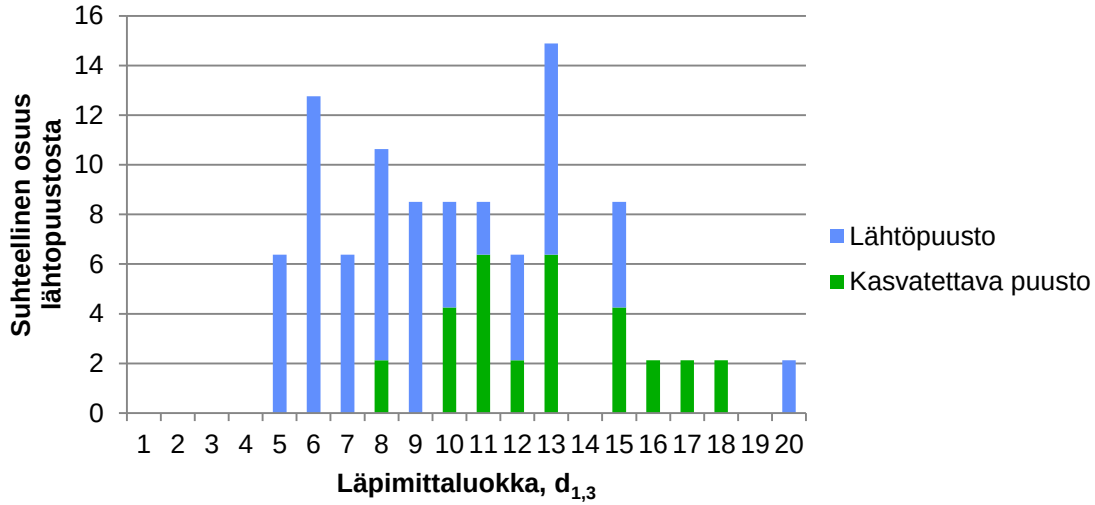
	Tiheys, r/ha	Keski-pituus, h	Keskiläpimitta, $D_{1,3}$	Pohjapinta-ala, m^2	dm^3/kokopuu
Ennen hakkuuta					
FX15a	2260	9,4	8,3	17,2	45,34
JD 1070D	2833	11,5	10,7	23,2	75,74
Poistuma					
FX15a	1300	8,6	6,3	7,2	37,3
JD 1070D	2133	11	9,5	13,5	52,4
Kasvatettava puusto					
FX15a	960	10,5	11,4	10	70,1
JD 1070D	700	12,5	13,4	9,7	103,5

- Rankahakkuussa poistuman keskikoko rankana oli 45,8 dm^3/r.
- Hakkuukertymät
  - FX15a: 62 m^3/ha
  - JD 1070D : 85 m^3/ha

Puuston jakautuminen läpimittaluokkiin

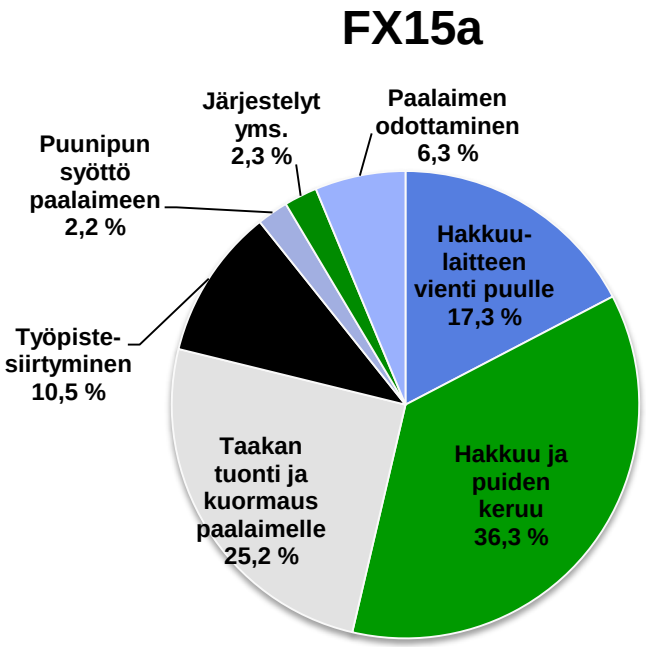


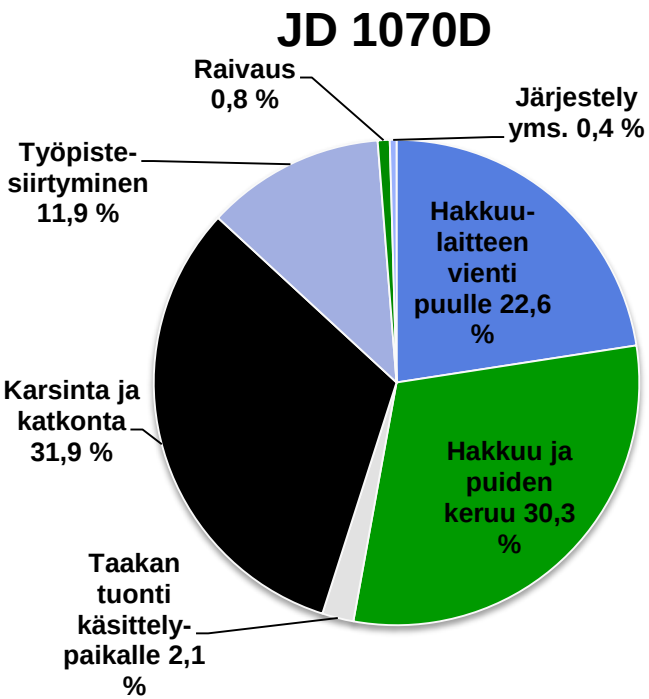
- Lähtöpuuston ja kasvatettavaksi jätetyn puuston jakautuminen läpimittaluokkiin Fixterin käsittelemällä kuviolla.



- Lähtöpuuston ja kasvatettavaksi jätetyn puuston jakautuminen läpimittaluokkiin karsitun rangan hakkuukuviolla.

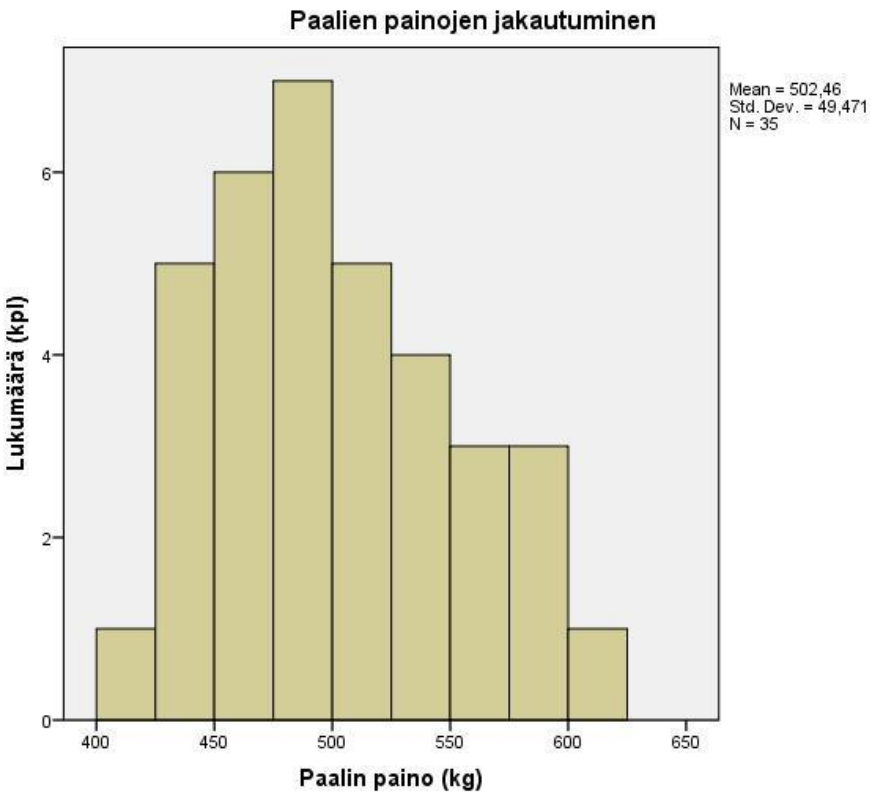
Hakkuun tehoajan rakenne Uuraisilla

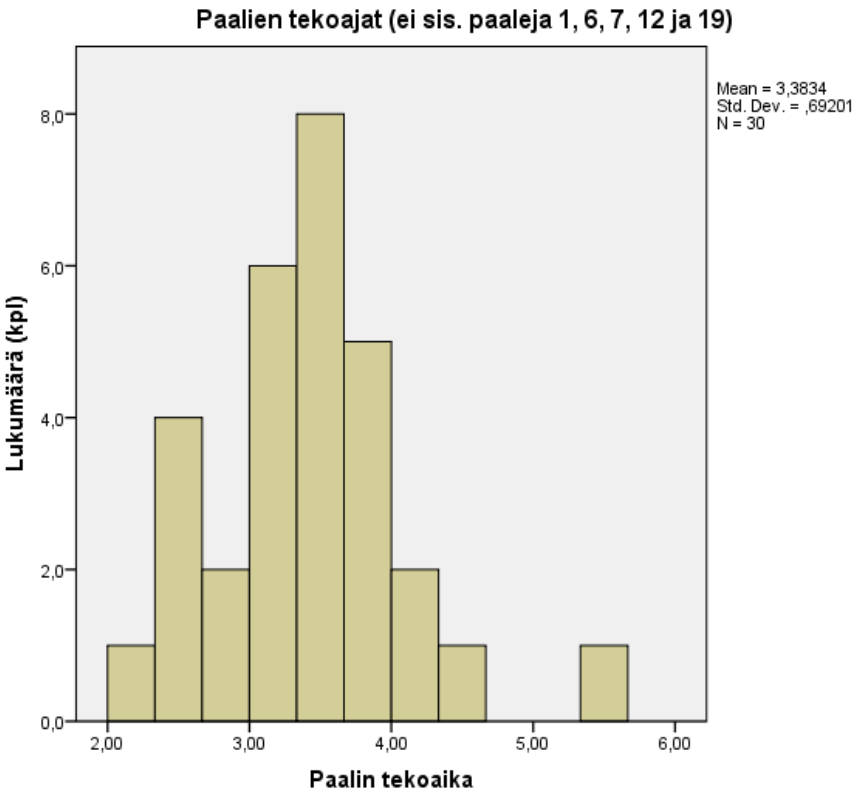




- Menetelmien väliset erot joukkokäsiteltyjen runkojen osuudessa näkyy harvesterilla suurempana ajankäyttönä hakkuulaitteen viennissä puulle, kun vastaavasti hakkuuseen ja puiden keruuseen Fixterillä kului suhteellisesti enemmän aikaa.
- Fixterillä taakan tuonti ja kuormaus paalaimelle kulutti suhteellisesti lähes yhtä paljon aikaa kuin harvesterilla karsinta ja katkonta.
- Puunipun syöttö paalaimeen rekisteröitiin, kun kuljettaja joutui kuormaimella avustamaan paalainyksikön syöttöä.

Paalien painojakauma ja tekoaika Uuraisilla

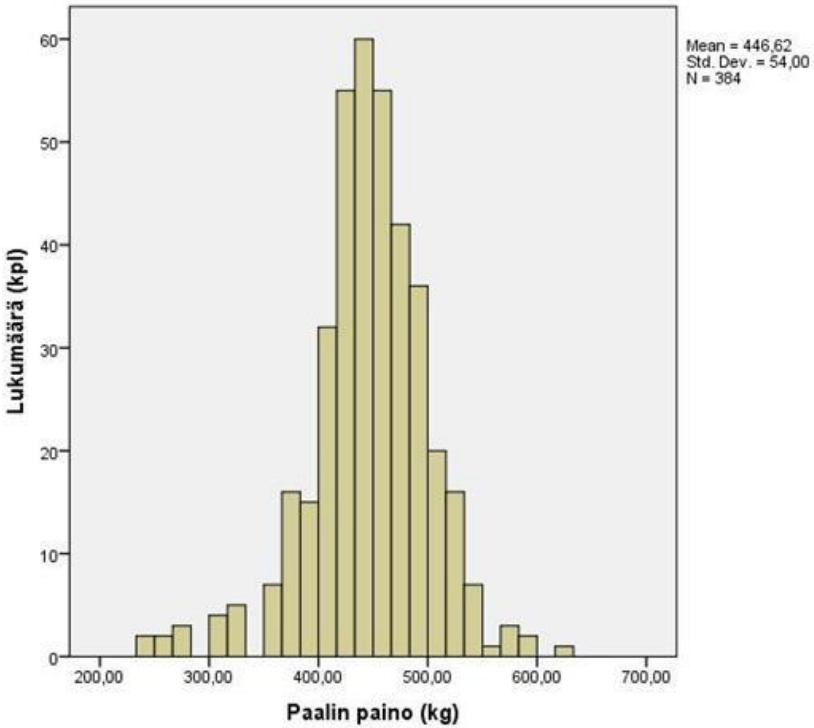


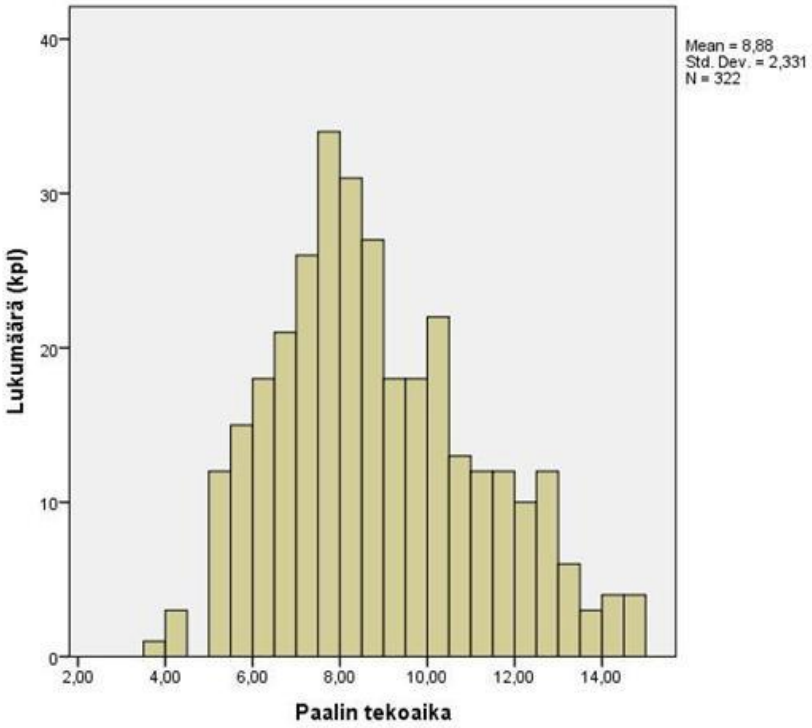


- Paino keskimäärin 502 kg
- Paaleja yhteensä 35 kpl

- Tekoaika keskimäärin 3,4 min
- Tekoaikakuvaajasta poistettu 5 virheellisiksi tulkittua havaintoa

Paalien painojakauma ja tekoaika Loviisassa

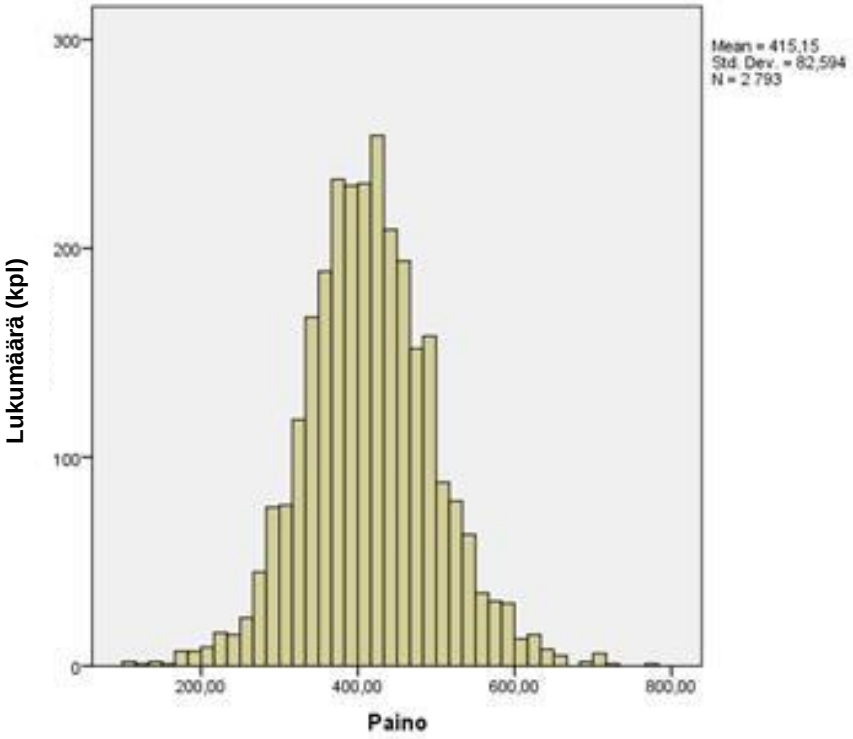


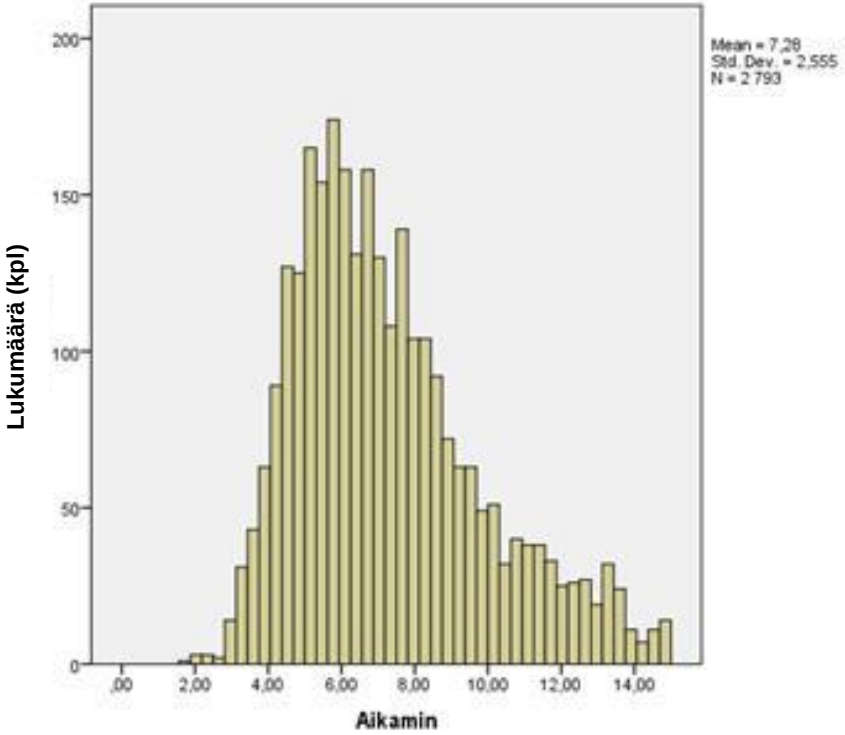


- Paino keskimäärin 447 kg
- Paaleja yhteensä 384 kpl

- Valmistusaika keskimäärin 8,9 min
- Tekoaikakuvaajasta poistettu 62 virheellisiksi tulkittua havaintoa
- Aineistoon valittujen paalien tekoaika oli 1–15 min.

Paalien painojakauma ja tekoaika Pornaisissa

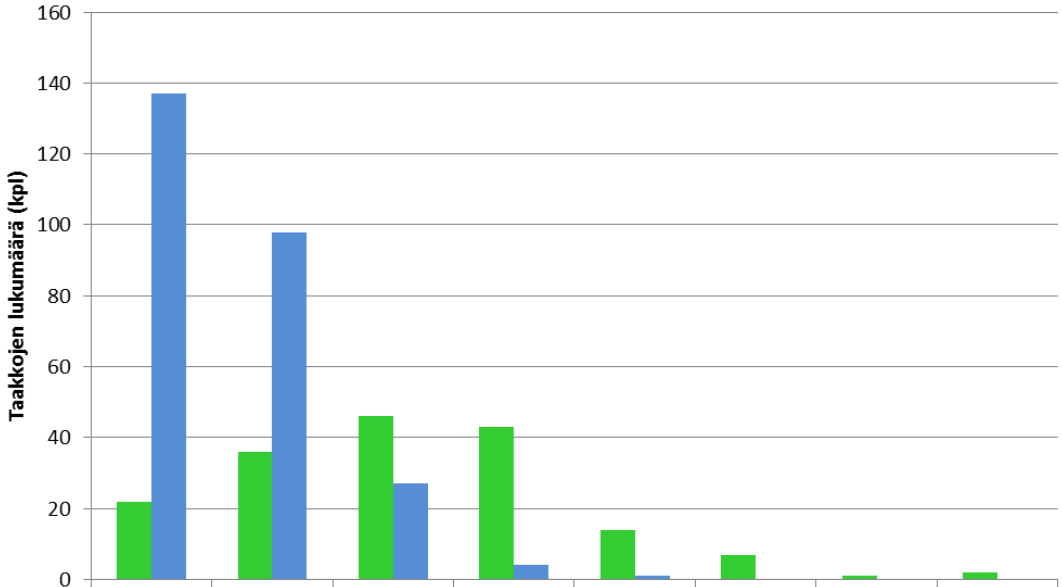




- Paino keskimäärin 415 kg
- Paaleja yhteensä 2 793 kpl

- Valmistusaika keskimäärin 7,3 min
- Aineistosta poistettu virheellisiksi tulkitut havainnot
- Aineistoon valittujen paalien tekoaika oli 1–15 min

Joukkokäsittely
(Uurainen)

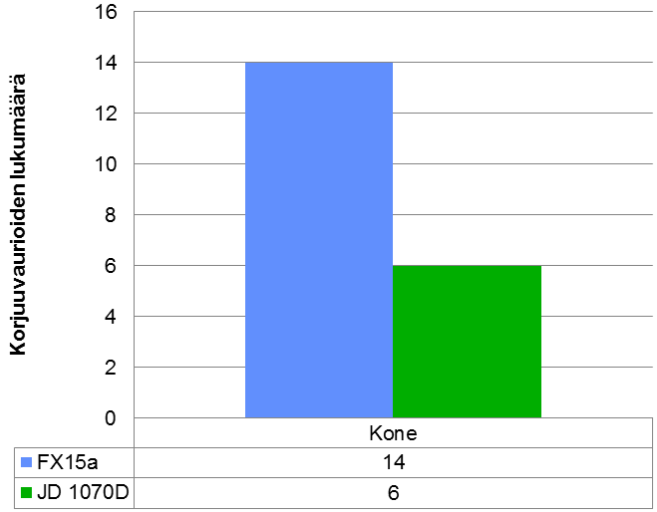


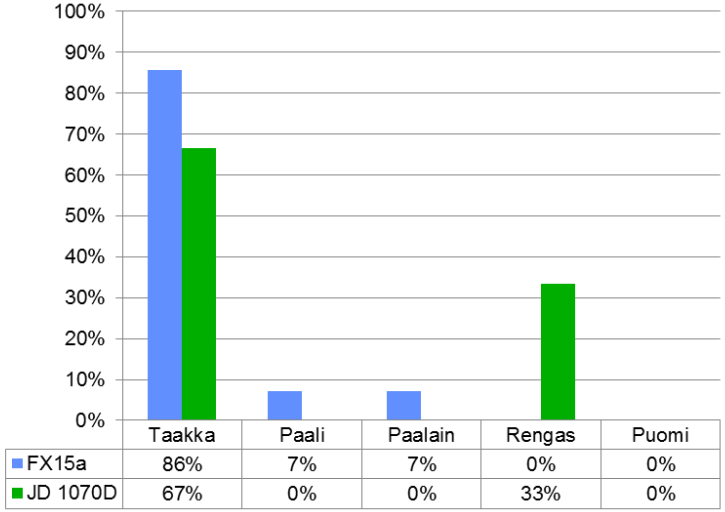
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fixteri FX15a	22	36	46	43	14	7	1	2
John Deere 1070D	137	98	27	4	1			

Runkojen lukumäärä taakassa (kpl)

- Fixterillä joukkokäsittelyprosentti oli 96, kun harvesterilla se oli 69.
- Fixterillä kourataakassa oli keskimäärin 3,1 puuta, kun harvesterilla puita oli keskimäärin 1,6 kappaletta.
- Harvesterilla poistettujen runkojen suurempi koko nosti yksinpuin käsiteltyjen runkojen osuutta.

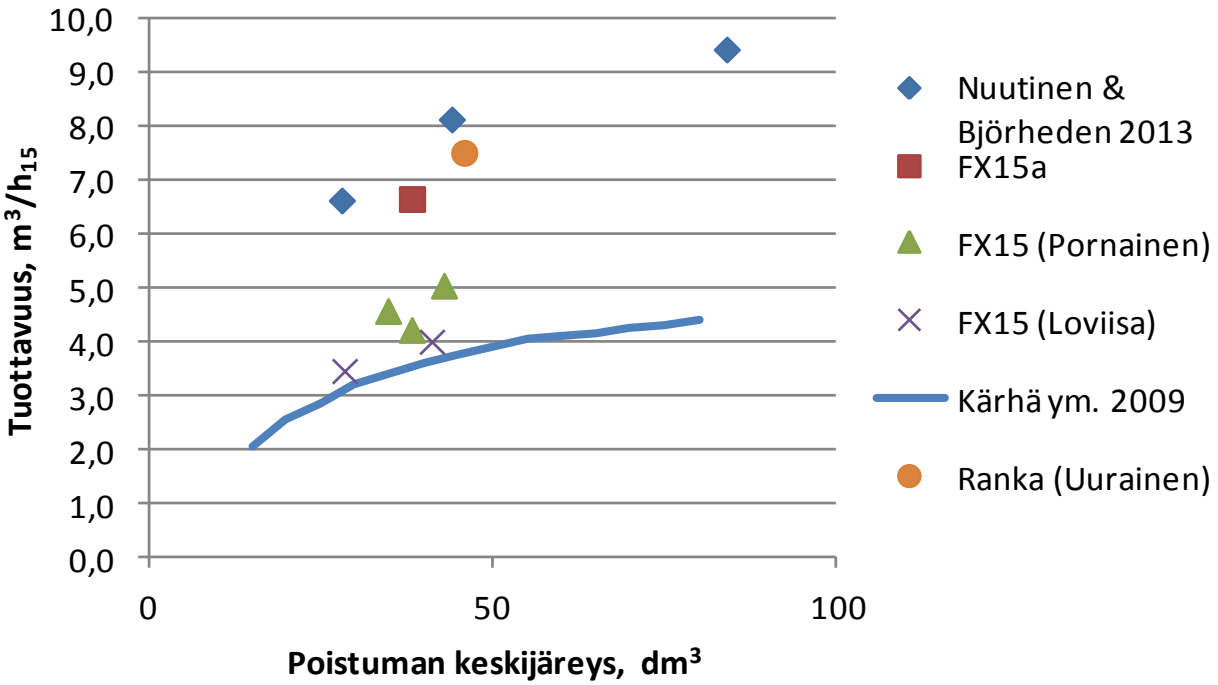
Korjuujälki
(Uurainen)





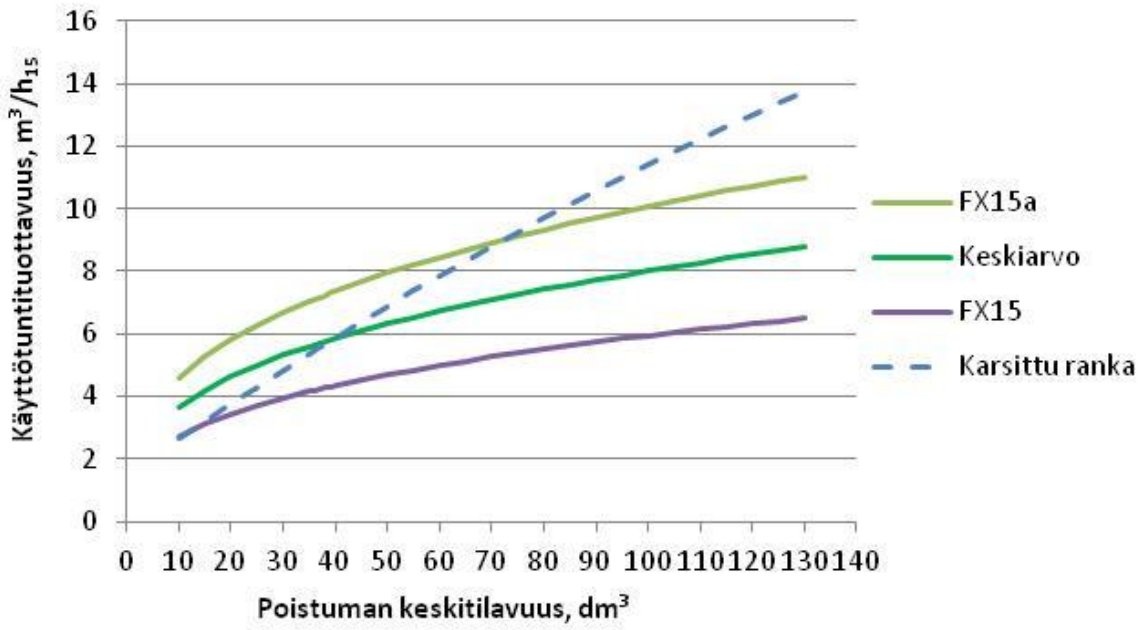
- Kaikki korjuuvauriot ja niiden olettu aiheuttaja kirjattiin
- Kokopuun paalauksessa puustovaurioprosentti oli 4,6 ja rankahakkuussa 3,6.
- Ajouraväli ja uraleveys
  - FX15a: 17,4 m ja 4,6 m
  - JD 1070D: 19,8 m ja 3,9 m
- Suurin osa vaurioista aiheutui taakassa olevien puiden osumisesta kasvatettavaksi jätettyjen puiden runkoihin.
- Harvesterin telat vaurioittivat kahta kasvatettavaa puuta telan luiskahtaessa kiven päältä runkoa vasten.
- Kokopuun palauksen yhteydessä puustovauriot syntyivät, kun kourataakka jouduttiin tuomaan työskentelyalueen äärilaidoilta koneen lähettyville syötettäviksi paalainyksikköön.

Tuottavuuksia eri Fixteri tutkimuksista



- Sama FX15a paalainyksikkö oli käytössä tässä kuin Nuutisen & Björhedenin (2013) tutkimuksessa.
- FX15 seurantakone kävi Pornaisten ja Loviisan työmaiden välissä konevalmistajalla päivityksessä.
- Fixterin tehoaika muutettiin käyttöajaksi kertoimella 1,46. Rankahakkuussa käytettiin kerrointa 1,393.
- Kärhän ym. (2009) tutkimuksessa käytetty paalainyksikkö oli Fixteri II -mallia.

Hakkuun tuottavuus

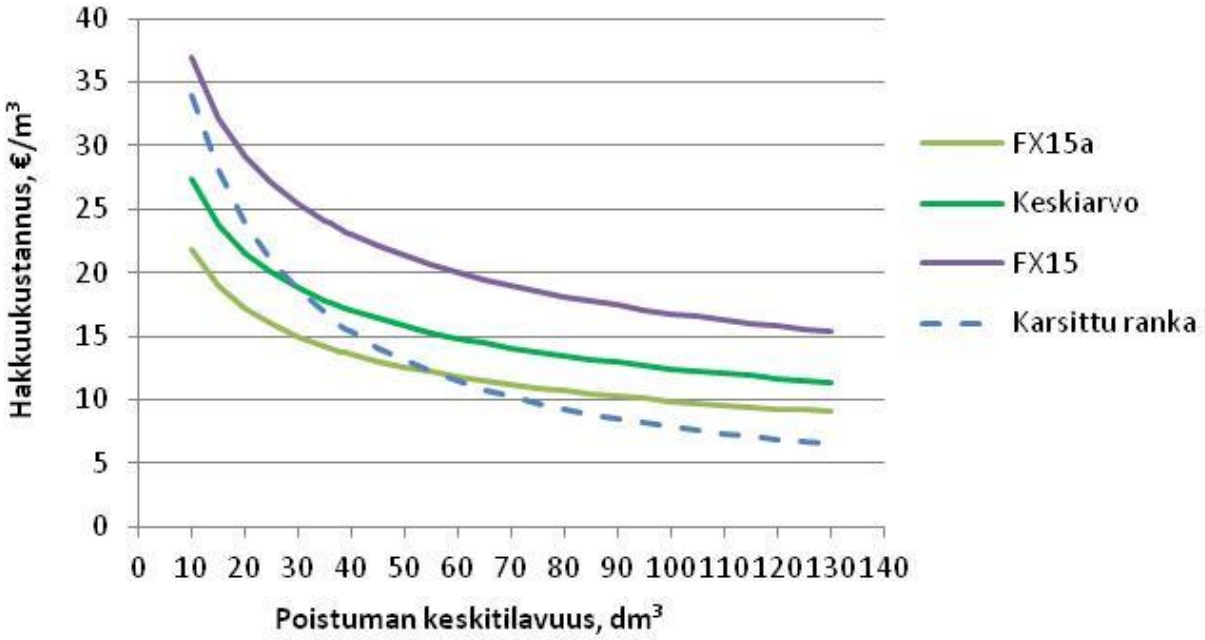


- Kokopuun paalauksen tuottavuuskäyrä *FX15a* on laskettu huomioiden tämän tutkimuksen ja Nuutisen & Björhedenin (2013) tulokset. Tehotuntituotokset on muutettu käyttötuntituotoksiksi.
- *Karsittu ranka* -kuvaajan laskennassa ei käytetty Uuraisilla määriteltyä tuottavuutta, vaan laskelma perustuu viiteen aikaisempaan tutkimukseen rangan joukkohakkuusta.
- *FX15a* paalainyksiköllä oli rankahakkuun tuottavuutta korkeampi tuottavuus poistuman keskikoon ollessa alle 70 dm³.
- *Keskiarvo* -kuvaaja on muodostettu FX15a:n ja FX15:sta keskiarvona.
- *FX15* koneen tuottavuus ylitti rankahakkuun tuottavuuden ainoastaan poistuman keskikoolla 10 dm³.

Tuotantoketjuvertailu
(Kokopuupaalit vs. karsittu ranka)

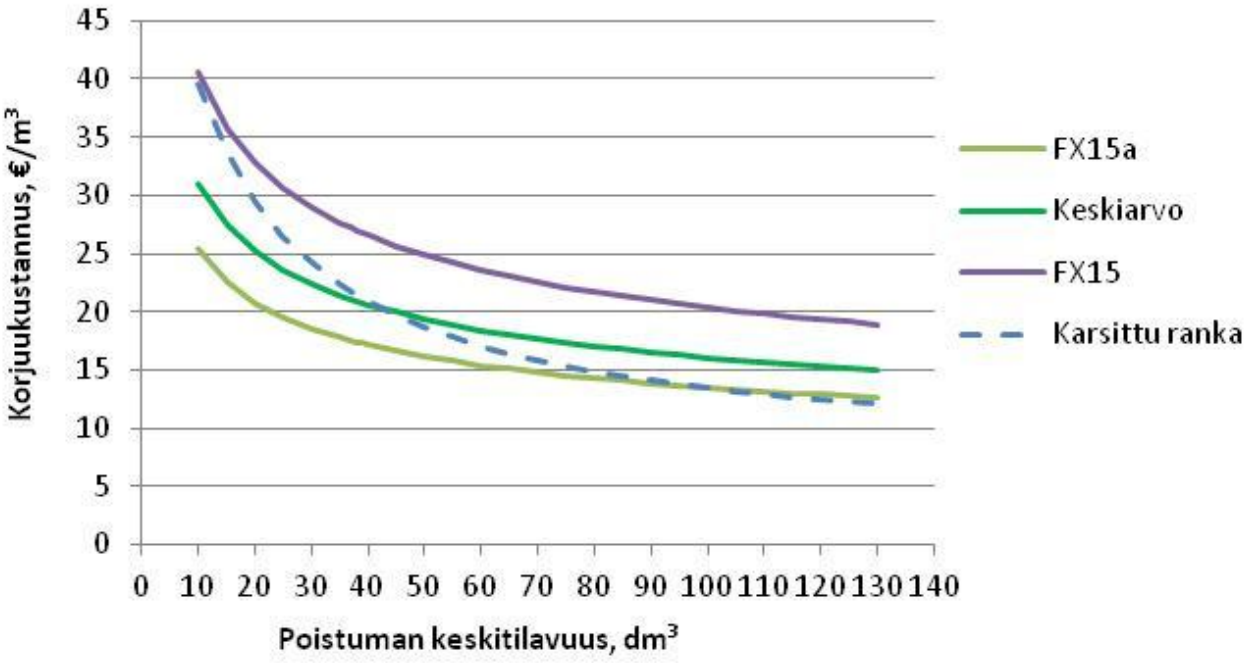
- Uuraisten tuloksista kokopuun paalauksen tuottavuutta käytettiin kustannuslaskelmissa. Lähikuljetuksessa hyödynnettiin aiempia tutkimuksia.
- Joukkokäsitellyn, karsitun rangan hakkuun tuottavuus, on johdettu suhteuttamalla Kärhän ym. (2011 & 2012) aikatutkimustulokset aikaisempiin tuloksiin kuitupuun yksinpuinhakkuusta (Rajamäki ym. 1996, Kärhä ym. 2006, Nurminen ym. 2006).
- Kokopuupaalaimen oletettiin työskentelevän kahdessa vuorossa yhteensä 46 viikkoa vuodessa.
- Kustannusperusteet:
  - Käyttötuntikustannus: Fixteri 100 €/h_{15} (hankintahinta 500 000 € (alv 0 %)), harvesteri 90 €/h_{15} (hankintahinta 320 000 € (alv 0 %))
  - Käyttötuntikustannus (kuormatraktori): 75 €/h_{15}
  - Kantohinta: 12 €/m³
  - Hankinnan yleiskulut: 3 €/m³
  - Metsäkuljetuksen yksikkökustannus: Fixteri 3,57 €/m³, harvesteri 5,56 €/m³
  - Kaukokuljetuksen yksikkökustannus (100 km): Fixteri 8 €/m³, harvesteri 7,7 m³
  - Terminaalihaketus: 3 €/m³
  - Terminaalitoiminnot: 1 €/m³
  - Kuljetus terminaalista tehtaalle (15 km): 2,6 €/m³

Hakkuukustannus



- Kokopuun paalaus FX15a paalainyksiköllä oli rankahakkuuta edullisempaa, kun poistuman keskikoko oli alle 55 dm³.
- FX15a ja FX15 koneiden keskiarvokäyrä leikkaa rankahakkuun käyrän poistuman keskikoolla 25 dm³.
- Seurantakoneen FX15 hakkuukustannus oli alhaisen tuottavuuden vuoksi rankahakkuuta kalliimpaa riippumatta poistuman koosta.

Korjuukustannus



- Korjuukustannus sisältää hakkuun ja lähikuljetuksen kustannukset.
- Kokopuun paalauksen korjuukustannusten havaittiin olevan rangan korjuuta edullisempaa Fixteri FX15a:lla poistuman koon ollessa alle 95 dm^3.
- FX15 seurantakonetta käytettäessä korjuukustannukset jäivät rangan korjuuta korkeammiksi riippumatta poistuman koosta.

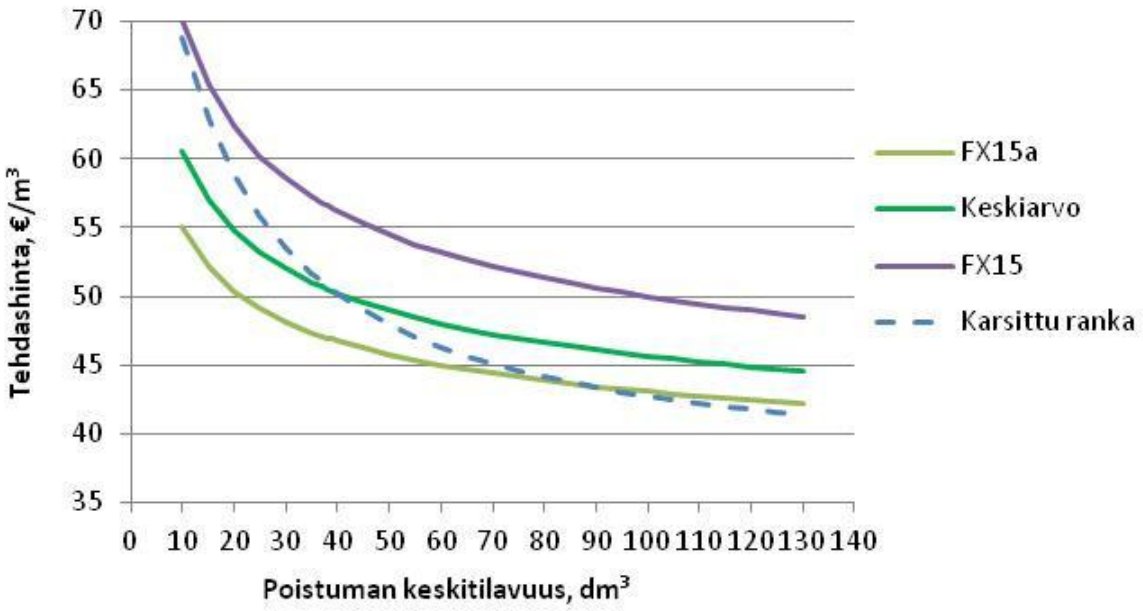
Pienpuuhakkeen tuotantokustannusten laskenta

Kustannustekijä	Kokopuun paalaus	Karsittu ranka	
Kantohinta, €/m³	12	12	(1)
Hankinnan yleiskulut, €/m³	3	3	(1)
Hakkuu			
Käyttötuntikustannus, €/h_{15}	100	90	
Tuottavuus, m³/h_{15}	7,4	5,9	
Yksikkökustannus, €/m³	13,6	15,3	
Lähikuljetus, 300 m, kertymä 60 m3/ha			
Käyttötuntikustannus, €/h_{15}	75	75	(2)
Tuottavuus, m³/h_{15}	21	13,5	(4)
Yksikkökustannus, €/m³	3,57	5,56	
Kaukokuljetus, 100 km			
Yksikkökustannus, €/m³	8	7,7	(3)
Haketus, terminaali, €/m³	3	3	(3)
Terminaalitoiminnot, €/m³	1	1	(3)
Kuljetus terminaalista tehtaalle, 15 km, €/m³	2,6	2,6	(3)
Yhteensä, €/m³	46,7	50,2	

(1) Arvio (3) Laitila & Väätäinen 2011
(2) Kärhä ym. 2009 (4) Laitila ym. 2009

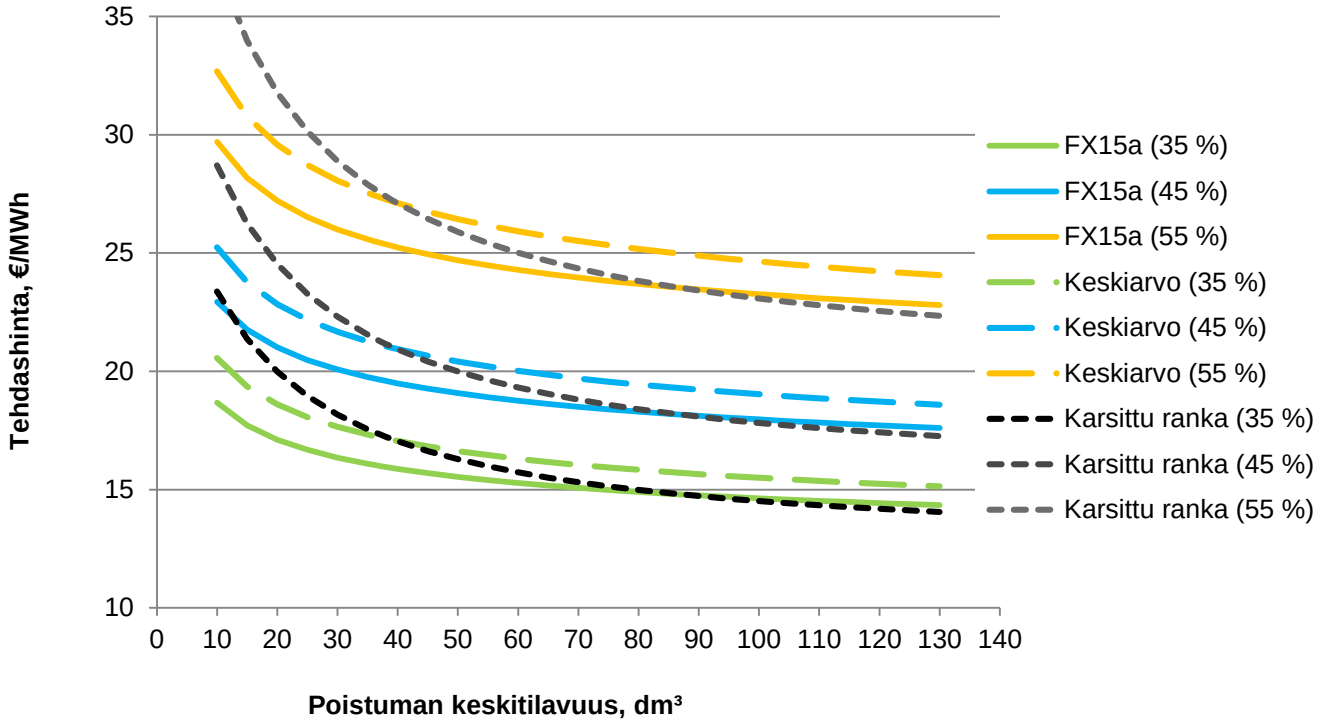
- Laskelma osoittaa kokopuun paalauksen olevan rankahakkuuta 3,5 €/m³ edullisempi metsähakkeen tuotantoketju, kun poistuman koko on tässä laskelmassa kiinnitetty 40 dm³.

Tehdashinta



- Kokopuun paalaus FX15a paalainyksiköllä oli rangan hakkuuta edullisempi metsähakkeen tuotantoketju, kun poistuman koko oli alle 85 dm^3.
- Keski-arvokäyrä leikkaa karsitun rangan käyrän kohdassa 40 dm^3.
- FX15 -koneella tehdyt paalit eivät ole kilpailukykyisiä.

Kosteuden vaikutus tehdashintaan, €/MWh



- Puuaineksen kuivumisella on merkittävä vaikutus koko tuotantoketjun kannattavuuteen.
- Kokopuun paalien tulisi kuivua varastoinnin aikana kuten karsitun rangan.
- Mikäli molempien puutavaralajien kosteus varastoinnin jälkeen on 35 %, on kokopuun paalaus FX15a paalainyksiköllä taloudellisesti kannattavaa poistuman koon ollessa alle 85 dm³.

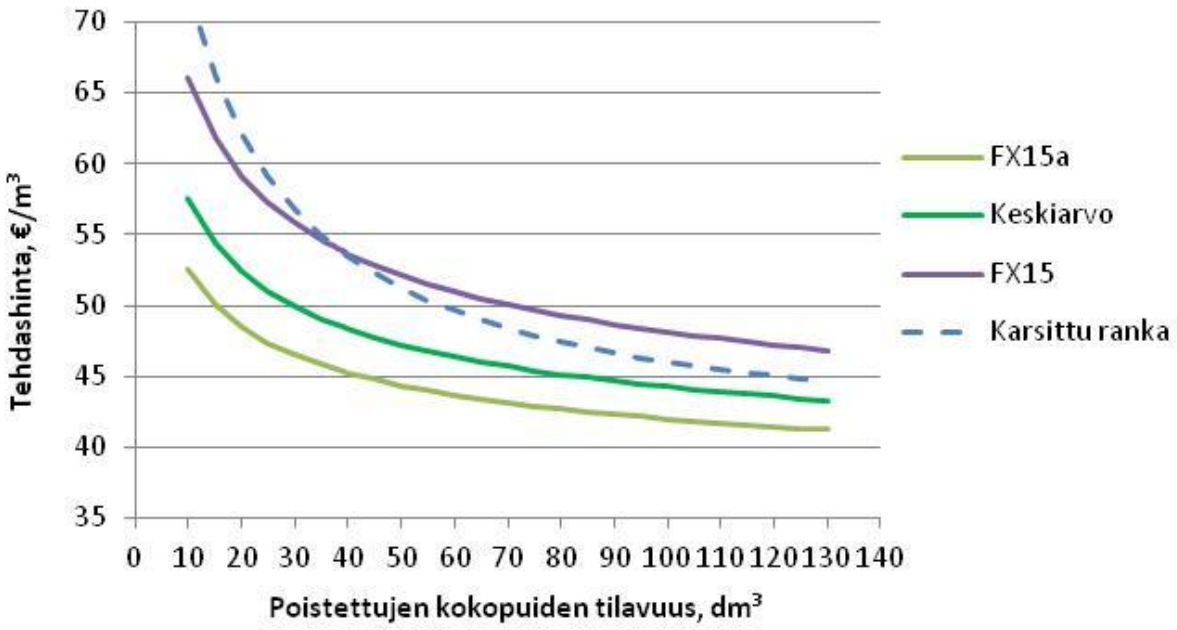
Energiatuen ja ennakkoraivauksen vaikutus

- Energiatuki
  - Työ- ja Elinkeinoministeriö voi myöntää tapauskohtaisen harkinnan perusteella kokopuupaalaimen hankintaan energiatuen.
  - Energiatukea on tähän asti myönnetty 30 %:n suuruisena koko koneyksikölle, ei ainoastaan paalainyksikölle.
  - Myönnetty energiatuki laskee koneen käyttötuntikustannuksia merkittävästi alentamalla koneyksikön hankintahintaa.
  - Nykymuodossaan energiatukea myönnetään vuoden 2013 loppuun saakka.

- Ennakkoraivaus
  - Kokopuuta paalattaessa ei ennakkoraivauksesta koidu lisäkustannuksia, sillä myös alikasvospuut voidaan paalata.
  - Tämä tosin alentaa koneen tuottavuutta, kun korjataan pienempiläpimittaista puuta.
  - Rankahakkuussa ennakkoraivauksen tekeminen nostaa kokonaistuotantoketjun kustannuksia.
    - Jos oletetaan ennakkoraivauksen hinnaksi 200 e/ha ja hakkuukertymäksi 60 m³/ha niin ennakkoraivauksesta koituu 3,3 € lisäkustannus korjattua puukuutiota kohti.

Tehdashinta

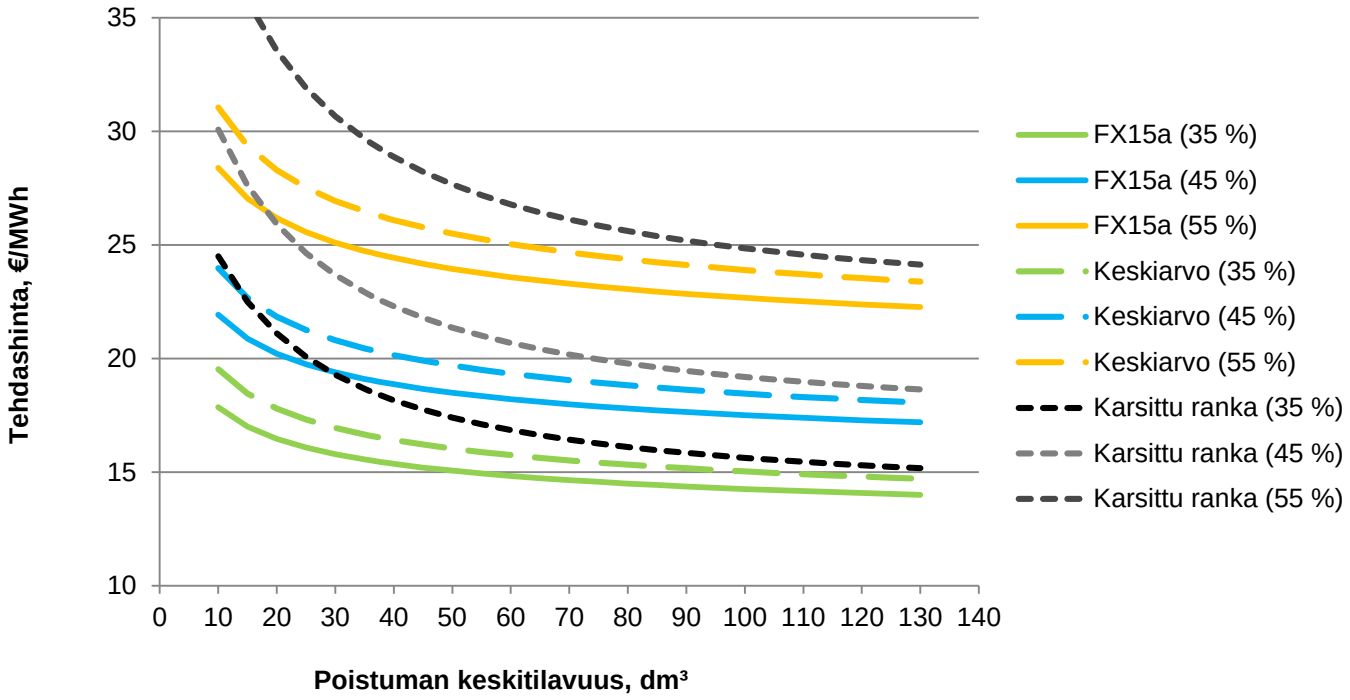
Energiatuki ja ennakkoraivauskustannus huomioitu



- Energiatuki ja ennakkoraivauskustannus yhdessä muuttavat menetelmien kilpailuasemaa merkittävästi kokopuun paalauksen eduksi.
- Kokopuun paalaus FX15a paalainyksiköllä on rankahakkuuta edullisempi riippumatta poistuman koosta. Samoin FX15 ja FX15a koneiden keskiarvo.

Kosteuden vaikutus tehdashintaan, €/MWh

Energiatuki ja ennakkoraivauskustannus huomioitu



- Puutavaralajien kuivuessa samaan loppukosteuteen kokopuun paalaus näyttäisi olevan rangan hakkuuta edullisempi vaihtoehto.

Johtopäätökset

- Kokopuun paalauksen tuottavuus on parantunut merkittävästi Fixteri II prototyyppikoneesta FX15a -mallin Uuraisten testin perusteella
- Tutkimuksessa ei löydetty yksiselitteistä syytä sille, miksi FX15a -mallin ja FX15 seurantakoneen hakkuun tuottavuudet erosivat niin merkittävästi toisistaan
  - On selvää, että uusi FX15a -malli on edeltäjäänsä suorituskykyisempi, mutta mitatut koneiden tuottavuuserot ovat hyvin eritasoiset, seurantakoneen tuottavuuden ollessa vain hieman Fixteri II -mallia korkeampi.
  - Seurantakoneen kuljettajan lyhyehkö kokemus työmenetelmästä, ja leimikkojen tyyppi sekä normaalista poikkeava hakkuuohjeistus voivat selittää osaltaan seurantakoneen alhaista tuottavuutta.

- Tässä työssä mitatulla tuottavuustasolla kokopuun paalaus FX15a paalainyksiköllä oli rankahakkuuta edullisempi menetelmä, kun poistuman keskikoko oli alle 85 dm^3.

Johtopäätökset

- Kokopuupaalien kuivuminen on tärkeässä roolissa menetelmän kannattavuuden kannalta.
  - Mikäli paalien kosteus ei alene kuten rangalla, voi koko menetelmän kilpailukyky vaarantua.
- Menetelmä on kilpailukykyisimmillään nuorissa ensiharvennusleimikoissa, joissa poistuman keskitilavuus on pieni.
- Poisjäävä ennakkoraivauskustannus, sekä mahdollinen energiatuki, parantavat kokopuun paalauksen kilpailukykyä merkittävästi.
- Siistin korjuujäljen ansiosta paalaaminen on varteenotettava vaihtoehto puistohakkuiden kaltaisissa erityiskohteissa.
- Työskentelytavan optimoinnilla ja tuotekehityksellä voidaan kokopuun paalauksen tuottavuutta vielä nostaa
  - Paalaimen käännön automatisointi ja suurempi kääntösäde
  - Nopeampi mittaanajo ja pituusmittakatkaisu
  - Uuraisilla olleet ongelmat paalien sidonnassa

Johtopäätökset

- Vaikka kokopuun paalaus näyttäisi olevan tällä hetkellä kilpailukykyinen vaihtoehto pieniläpimittaisen energiapuun korjuussa, tulisi menetelmää tutkia perusteellisemmin useammilla koneyksiköillä ja kuljettajilla vaihtelevissa korjuuolosuhteissa.
- FX15a paalainyksikköä tulisi tarkastella eritoten pitkän aikavälin seuranta-aineiston avulla.
- Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että tässä tutkimuksessa kerätty kelloaikatutkimusaineisto oli suppea, mikä rajoittaa esitettyjen tulosten yleistettävyyttä.
- Myös kaukokuljetuksen tehostamista ja paalien ominaisuuksia metsähakkeen raaka-aineena tulisi tarkastella tarkemmin.
- Tuloskalvosarja perustuu Metsätehon raporttiin 225.
  - Tuomas Ala-Varvi ja Heikki Ovaskainen. 2013. Kokopuun paalauksen kilpailukyky. Metsätehon raportti 225.

Kirjallisuus

- Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos. J. 2006. Ennakkoraivaus osana harvennuspuun korjuuta. Metsätehon raportti 187.
- Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., Nuutinen, Y., & Keskinen, S. 2009. Kokopuun paalaus - tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 211. 68 s.
- Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. 2011. Valmet 901.4/350.1 rankapuun hakkuussa ensiharvennuksella. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2011. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho /Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2011_11_Valmet_901_350_kk.pdf [Viitattu 20.8.2013]
- Kärhä, K., Perho, A., Kumpare, T., Keskinen, S., Sorsa, J-A., Poikela, A. & Palander, T. 2012. Utilization of multi-tree handling in cutting of thinning wood. Mežzinātne 25. Special issue abstracts for international conferences organised by LSFRI Silava in cooperation with SNS and IUFRO. 74–75 s.
- Laitila, J., Kärhä, K. & Jylhä, P. 2009. Time consumption models and parameters for off- and on-road transportation of whole-tree bundles. Baltic Forestry 15. 105–113 s.
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011. 107–126 s.
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. Silva Fennica 40. 335–363 s.
- Nuutinen, Y. & Björheden, R. 2013. Fixteri-kokopuupaalaimen tuottavuudessa merkittävä parannus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedote 22.4.2013. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.metla.fi/tiedotteet/2013/2013-04-22-kokopuupaalain.htm [Viitattu 18.7.2013]
- Rajamäki, J., Kariniemi, A. & Oijala, T. 1996. Koneellisen harvennushakkuun tuottavuus. Metsätehon raportti 8. 20 s.