

Aines- ja energiapuuharvennusten kannattavuus Lapissa

Jaakko Repola, Anssi Ahtikoski, Juha Laitila ja Sampo Honkanen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Repola, Jaakko, Ahtikoski Anssi, Laitila, Juha ja Honkanen, Sampo			
Nimeke Energiapuuharvennusten kannattavuus Lapissa			
Vuosi 2014	Sivumäärä 27	ISBN 978-951-40-2490-0 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Pohjois-Suomen alueyksikkö / Forest Energy2020 / 7459 Lapin metsistä uusiutuvaa energiaa			
Hyväksynyt Antti Asikainen, professori, 8.9.2014			
Tiivistelmä Lapissa metsähakkeen asema on vahvistunut viime vuosina, ja tavoitteena on moninkertaistaa metsähaketuotanto (1–1,5 milj. m ³) nykykäyttöön verrattuna (0,3 milj. m ³) vuoteen 2030 mennessä. Metsähaketuotanto Lapissa perustuu merkittävältä osin pienpuun hyödyntämiseen. Korkeat korjuukustannukset heikentävät pienpuutuotannon kannattavuutta. Yksityismetsissä valtion tuki (Kemera) on kuitenkin mahdollistanut pienpuun kannattavan korjuun. Energiapuutuki on muuttumassa ja sillä tulee olemaan merkittävä vaikutus niin kohdevalintaan kuin energiapuunkorjuun ja koko metsähaketuotannon kannattavuuteen Lapissa. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää hoitamattomien nuorten metsien energiapuukorjuun kannattavuus eri leimikko-olosuhteissa käyttämällä eri korjuutapoja ja vaihtelemalla energiapuun korjuutukea. Tutkimusaineisto koostui Etelä- ja Keski-Lapissa sijaitsevista yksityisten maanomistajien hoitamattomista nuoren metsän energiapuukohteista eli nk. Kemera-kohteista. Korjuukohteiden kannattavuuteen vaikuttivat leimikon rakenne, puutavaralajien tienvarsihinat, energiapuutuki ja korjuutapa. Leimikkotekijöistä hakkukertymän määrä (m ³ /ha) ja erityisesti kertymän keskijäreys (dm ³) vaikuttivat kohteen kannattavuuteen. Korkea keskijäreys merkitsi alempia korjuukustannuksia, ja täten myös korkeampia nettotuloja. Energiapuun korjuutuella oli merkittävä vaikutus leimikon nettotulokseen. Nykyisellä tukijärjestelmällä (Kemera) nettotulot olivat positiivisia kaikissa leimikoissa kaikilla energiapuun korjuutavoilla. Energiapuutuen ollessa 5 €/m ³ päästiin positiiviseen nettotulokseen kaikissa leimikoissa, jos korjuutapa valittiin oikein. Sen sijaan ilman energiapuutukea nettotulot pienenevät leimikosta ja korjuutavasta riippuen ja johtivat negatiiviseen nettotulokseen useissa tapauksissa. Energiapuutuki vaikutti myös eri korjuutapojen välisiin kannattavuuseroihin. Energiapuutuen pieneminen paransi aines- ja energiapuun yhdistelmäkorjuun asemaa suhteessa energiapuun erilliskorjuuseen. Nykyinen energiapuun tukijärjestelmä (Kemera) suosii energiapuun erilliskorjuuta. Sen sijaan ilman tukia yhdistelmäkorjuumenetelmät osoittautuivat kannattavuudeltaan parhaiksi vaihtoehdoiksi.			
Asiasanat Metsäenergia, energiapuuharvennus, Lappi, kannattavuus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp305.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Jakko Repola, Metla, Rovaniemi, Eteläranta 55, 96300 Rovaniemi, jaakko.repola@metla.fi			
Muita tietoja taitto: Anne Siika/Metla			

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Aineisto	8
3 Menetelmät	9
3.1 Menetelmän yleiskuvaus.....	9
3.2 Vaihtoehtoisten korjuutapojen simulointi.....	9
3.3 Korjuukustannusten laskenta.....	10
3.4 Nettotulojen laskenta.....	10
3.5 Break-even hintojen laskenta ja mallinnus.....	10
4 Tulokset	11
4.1 Hakkuukertymät	11
4.2 Korjuukustannukset.....	13
4.3 Harvennuksen nettotulot.....	15
4.1.1 Energiapuutuen vaikutus nettotuloihin.....	15
4.1.2 Harvennuksen nettotulot leimikoittain.....	16
4.4 Break-even hinnat ja mallit	18
4.4.1 Kemera-tuen vaikutus	18
4.4.2 Hakkuupoistuman rakenteen vaikutus break-even hintoihin	20
4.4.3 Korjuutapojen vertailu	22
5 Tulosten tarkastelua	24
Lähteet	27

1 Johdanto

Taustaa

Bioenergian tuotannolle niin EU:ssa kuin Suomessakin on asetettu 2000-luvulla kunnianhimoiset kasvutavoitteet (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008). Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Uusiutuvista polttoaineista suurimmat kasvutavoitteet on asetettu puuperäisiin polttoaineisiin, etenkin metsähakkeeseen [2]. Suomessa metsähakkeen käyttö onkin lisääntynyt merkittävästi 2000-luvun aikana. Vuonna 2013 lämpö- ja voimalaitoksissa metsähaketta käytettiin 8,0 milj. m³ (Torvelainen ym. 2014) Tavoitteiden mukaan metsähakkeen käyttö tulisi nostaa 13,5 milj. m³:in vuoteen 2020 mennessä (Uusiutuvan energian velvoitepaketti, Työ- elinkeinoministeriö 2010).

Kansalliset tavoitteet ovat merkinneet bioenergian aseman vahvistumista myös Lapissa. Lapin energiastrategiassa (2009) on määritelty kunnianhimoiset tavoitteet metsähakkeen käytölle. Tavoitteena on nostaa vuotuinen metsähakkeen käyttö 1–1,5 milj. m³:in vuoteen 2030 mennessä. Tämä merkitsee hakkeen käytön nelin- jopa viisinkertaistamista nykytasosta (0,3 milj. m³)

Lapissa metsähakkeen käyttö oli vähäistä (< 0.07 milj. m³) pitkälle 2000-luvulle asti. Vasta viimeisen viiden vuoden aikana metsähakkeen kysyntä on lähtenyt voimakkaaseen kasvuun. Tänä aikana metsähakkeen käyttö on lähes viisinkertaistunut, ja se ylitti 0,3 milj. m³:n rajan vuonna 2011. Vuosina 2011–2013 metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on ollut reilu 0,3 milj. m³ vuodessa. Lapissa metsähakkeen käytön lisääntymisen taustalla ovat olleet uudet lämpö- ja voimalaitokset sekä energiaturpeen sekä metsäteollisuuden sivutuotepuun saatavuusongelmat. Esimerkiksi Kemijärven sellutehtaan lakkauttamisen myötä loppui myös sivutuotepuun toimitukset paikallisille lämpölaitoksille.

Metsähakkeen kasvunäkymät ovat Lapissa hyvät, sillä metsähakkeen kysyntä on ollut kasvussa ja energiapuumarkkinoille on tullut uusia toimijoita. Lisäksi Lappiin on suunnitteilla uusia laitos-hankkeita, jotka toteutuessaan lisäävät metsähakkeen kysyntää merkittävästi maakunnan alueella. Kuitupuun käytön vakiintuminen tai jopa mahdollinen kysynnän lasku yhdessä metsien hyvän kasvun ja kuitupuun hakkuusäästöjen kanssa voivat Lapissa johtaa siihen, että yhä suurempi osa ensiharvennusleimikoista ohjautuu tulevaisuudessa energiatuotantoon, jolloin perinteinen jako aines- ja energiapuuhun tai aines- ja energiapuuleimikoihin häipyä.

Lapin metsäenergiavarat ja metsähaketuotanto

Lapin metsäenergiavarat ovat huomattavat, varsinkin metsähakkeen nykykäyttöön (0.3 milj. m³) verrattuna. Metsäenergiapotentiaaliksi on arvioitu noin 1.7–2.8 milj. m³ vuodessa (Lapin Liitto 2009, Työ- ja elinkeinoministeriö 2010). Metsäenergiavarat koostuvat useista eri raaka-ainelähteistä. Metsähakkeen raaka-ainetta, energiapuuta ovat kuusivaltaisten päätehakkuiden hakkuutähteet (latvusmassa ja hukkarunkopuu) ja kannot sekä nuorten metsien pienpuu. Toisin kuin Etelä-Suomessa nuoret metsät ovat selvästi Lapin tärkein metsähakkeen raaka-ainelähde, sillä yli 70 % Lapin metsähakevaroista on nuorissa metsissä ja vain alle kolmannes uudistuskypsissä metsissä. Tämä näkyy myös metsähakkeen tuotannossa, sillä noin 80 % metsähakkeen raaka-aineesta tulee nuorista metsistä ja vain 20 % on uudistusaloilta kerättävästä hakkuutähteestä ja kannoista. Etelä-Suomessa pienpuun osuus metsähaketuotannosta on ollut selvästi pienempi, 20–40 %, mutta myös sen merkitys on viime vuosina ollut ripeässä kasvussa.

Vaikka Lapin energiapuuvaihtoihin nähden metsähakkeen tuotanto voitaisiin moninkertaistaa nykytasosta, voi energiapuun saatavuutta rajoittaa useat tekijät, jotka on syytä ottaa huomioon arvioitaessa energiapuun riittävyyttä alue- ja laitostasolla. Metsähaketuotanto tulee Lapissa tulevaisuudessakin perustumaan merkittävältä osin pienpuun hyödyntämiseen, sillä energiapuun korjuun kannalta sopivia kuusivaltaisia päätehakkukohteita on varsin rajallisesti. Korkeat korjuukustannukset ovat kuitenkin heikentäneet pienpuutuotannon kannattavuutta, mikä rajoittaa energiapuun saatavuutta nuorista metsistä. Yksityismetsissä valtion tuki (Kemera) on mahdollistanut pienpuun kannattavan korjuun. Sen sijaan toimijoilla (esim. Metsähallitus), jotka eivät kuulu tukien piiriin, on ollut huomattavasti rajallisemmat mahdollisuudet toimittaa pienpuuta markkinoille. Esimerkiksi Lapissa Metsähallituksen asema korostuu metsäsektorilla, sillä sen omistuksessa on noin 60 % metsämaasta ja sen osuus markkinahakkuista on ollut noin 40 %. Energiapuun korjuutuki on muuttumassa ja sen sisältöä ei ole vielä vahvistettu, mikä on aiheuttanut epävarmuutta energiapuun markkinoille. Tuen muutoksella voi olla kuitenkin merkittävä vaikutus energiapuunkorjuun kannattavuuteen ja kohdevalintaan. Käytännön toimijoiden kannalta olisi ensiarvoisen tärkeää, että saadaan aikaiseksi johdonmukainen ja pitkäkestoinen energiapuun tukijärjestelmä.

Pienpuunkohteet ja korjuuvaihtoehdot

Lapissa tyypilliset energiapuunkohteet ovat nuorten metsien ”rästikohteet” eli mäntyvaltaiset metsiköt, joissa taimikonhoito on jäänyt tekemättä tai se on tehty liian lievästi. Nämä ylitiheät metsiköt ovat yleensä ensiharvennusvaiheessa tai lähellä ensiharvennusvaihetta olevia kuivahkon tai tuoreen kankaan mänty-koivumetsiköitä, jossa kuitupuukertymä on alhainen, jääden yleensä alle 20 m³ hehtaarilla. Taimikon hoitamattomuus, johtaa puuston ylitiheyteen ja puiden järeyskehityksen hidastumiseen, jolloin ensiharvennus joudutaan tekemään ajankohdassa, jolloin ainespuukertymä ja poistettavien puiden koko eivät täytä kannattavan ensiharvennuksen edellytyksiä. Tällöin energiapuun talteenotto (energiapuuharvennus tai integroitu energia- ja ainespuun korjuu) voi olla ainoa taloudellisesti perusteltu vaihtoehto. Jos energiapuuharvennuskin osoittautuu kannattamattomaksi vaihtoehdoksi, joudutaan tyytymään myöhästyneeseen taimikonhoitoon, josta metsänomistajalle aiheutuu ajallaan tehtyä taimikonhoitoa huomattavasti korkeammat kustannukset.

Hoitamattoman nuoren metsän käsittely- ja korjuuvaihtoehdot ovat myöhästynyt taimikonhoito, energiapuuharvennus, integroitu energia- ja ainespuun korjuu, ainespuun korjuu tai hieskoivikoissa jopa avohakkuu aines- ja energiapuuksi (Laitila ym. 2014). Energiapuuharvennuksessa korjataan pelkästään energiapuuta joko kokopuuna tai rankana (energiaranka). Kokopuukorjuussa otetaan talteen rungon lisäksi myös latvusmassa, jolloin hakkuukertymä on keskimäärin 20–25 % suurempi kuin rankapuun korjuussa. Integroidussa energia- ja ainespuun korjuussa korjataan sekä energia- että ainespuuta. Myös integroidussa korjuussa energiapuuta voidaan ottaa talteen joko kokopuuna tai rankana. Kokopuun menetelmässä ainespuun mittavaatimukset täyttävistä rungoista otetaan tyveltä kuitupölkky, ja loppuosa (rungon loppuosa latvusmassoineen) korjataan energiapuuksi ja kuitupuun mittavaatimuksia pienemmät puut korjataan suoraan energiapuuksi. Integroidussa korjuussa, jossa energiapuuta korjataan rankana, sekä aines- että energiapuuta karsitaan, jolloin latvusmassa jää kokonaisuudessaan metsään. Kokopuukorjuu perustuu yleensä runkojen joukkokäsittelyyn, mutta joukkokäsittely on päämenetelmä myös energiarangan sekä aines- ja energiapuun integroiduissa korjuussa. Ainespuukorjuu sopii sellaisenaan yleensä huonosti nuoriin hoitamattomiin metsiin, ja yleensä joudutaankin tekemään alle ainespuumittaisten runkojen ennakkoraivaus, ettei hakkuussa pystyyn jäävien runkojen lukumäärä jää liian suureksi. Ennakkoraivaus parantaa myös korjuuolosuhteita merkittäväällä tavalla, mutta toisaalta aiheuttaa merkittävästi lisäkustannuksia etenkin kun raivattava puusto on suurta.

Korjuumenetelmän valintaan vaikuttavat useat tekijät. Leimikon rakenne etenkin hakkukertymän määrä ja poistuman keskijäreys vaikuttavat eri hakkuuvaihtoehtojen käyttökelpoisuuteen ja kannattavuuteen toimituslogistiikan ohella. Myöhästynyt taimikonhoito ja kokopuukorjuu soveltuvat parhaiten leimikoihin, joissa on alhainen hakkukertymä ja rungon keskijäreys. Poistuman ja rungon keskijäreiden kasvaessa kokopuukorjuun vaihtoehtona voi olla integroitu energia- ja ainespuun korjuu tai pelkkä ainespuukorjuu. Energia- ja ainespuun väliseen korjuun kannattavuuteen (edullisuuteen) vaikuttavat merkittävästi energia- ja ainespuun väliset hintasuhteet. Vastaavasti energiapuukorjuumenetelmän valintaan vaikuttavat kokopuun ja energiarangan väliset hintasuhteet. Kokopuun tienvarsihintaa on ollut alhaisempi kuin energiarangan. Energiarangan hinta on ollut lähellä kuitupuun hintaa alueesta riippuen. Korjuumenetelmän valinnassa pitää ottaa huomioon koko hankintaketjun eri osavaiheet, hakkuu, metsäkuljetus, välivarastointi, haketus, kaukokuljetus, varastointitappiot ja hakkeen laatu. Kaikki korjuumenetelmät eivät kuitenkaan sovellu kaikkiin leimikoihin. Energiapuun korjuusuositukset ohjaavat korjuumenetelmien soveltamista (Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen 2010). Suositusten mukaan esim. kokopuukorjuuta voidaan käyttää vain mäntyvaltaisilla kuivahkoon kankaan ja tätä viljavimmilla kasvupaikoilla.

Korkeat korjuukustannukset hoitamattomissa metsissä rajoittavat nuorten metsien hyödyntämistä energiantuotannossa. Useimmiten ilman valtion tukea energiapuun korjuu nyky menetelmillä ja -kohteissa olisi kannattamatonta. Yksityismetsissä valtion tuki (Kemera) on mahdollistanut pienpuun kannattavan korjuun (esim. Petty & Kärhä 2011), mikä on samalla ohjannut energiapuun kohdevalintaa. Esimerkiksi Lapissa valtaosa nuorten metsien energiapuusta korjataan kokopuuna. Energiapuun korjuutuki on kuitenkin muuttumassa, millä voi olla merkittävä vaikutus energiapuunkorjuun kannattavuuteen, korjuumenetelmän ja myös leimikon valintaan.

Nuorten metsien energiapuuharvennuksen kannattavuutta on toistaiseksi Pohjois-Suomen olosuhteissa tutkittu kuitenkin varsin vähän. Käytännön toimijoiden kannalta olisi ensiarvoisen tärkeää selvittää, millaiset kohteet voivat olla liiketaloudellisesti kannattavia. Kohdevalinnan tueksi olisi perusteltua määrittää nuorille metsille kannattavan energiapuun talteenoton kriteerit. Kriteereillä tarkoitetaan tässä kolmea leimikko-olosuhteita kuvaavaa muuttujaa: minimikertymää (m^3/ha), rungon keskimääräistä kokoa (litraa/runko) ja puulajisuhteita. Kannattavuustarkasteluissa pitää ottaa huomioon myös valtion tuki, energian hinta, energia- ja ainespuun hintasuhteet, korjuukustannukset, kaukokuljetuskustannukset, korjuutapa ja haketus kustannukset. Lisäksi tulisi tuntee kannattavuuden minimirajat vaihtoehtoisilla kustannus- ja hintaskenaarioilla. Edellä kuvattu tarkastelukehikko mahdollistaisi jatkossa entistä tehokkaamman energiapuuharvennuskohteiden ja korjuumenetelmän valinnan, ja edelleen omalta osaltaan aikaisempaa tehokkaamman metsähaketuotannon Lapissa.

Tämän selvityksen tavoitteena on määrittää, millaisissa leimikko-olosuhteissa nuorten metsien energiapuun talteenotto on liiketaloudellisesti perusteltua vaihtoehtoisissa markkinatilanteissa (kantohinta, energiapuun tuki). Liiketaloudelliset laskelmat tehdään vaihtoehtoisilla aines- ja energiapuun korjuutavoilla. Tavoitteena on määrittää myös korjuutapojen väliset kannattavuuserot eri leimikko-olosuhteissa ja energiapuun tukitasoilla. Kannattavuusanalyysit tehdään Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyillä työkaluilla ja hyödyntämällä maastossa kerättyä leimikkoaineistoa.

2 Aineisto

Tutkimusaineisto koostuu Etelä- ja Keski-Lapissa sijaitsevista yksityisten maanomistajien hoitamattomista nuoren metsän energiapuukohteista. Kohteet valittiin metsänhoitoyhdistysten tietokannoista paikallisen metsäsuunnittelijan avustuksella. Tavoitteena oli saada kaikista Etelä- ja Keski-Lapin metsänhoitoyhdistysten alueilta vähintään yksi tyyppikohde. Kaikilta alueilta ei kuitenkaan ollut tarjolla kohteita, joten lopulliseen aineistoon valittiin 12 nuoren metsän kohdetta (taulukko 1). Kohdevalinnan tavoitteena oli saada tutkimusaineistoon nk. tyypilliset energiapuu-harvennuskohteet. Kohdevalinnassa käytettiin seuraavia kriteerejä:

- Kasvupaikka joko kuivahko tai tuore kangas
- Mäntyvaltaiset metsiköt, jossa lehtipuusekoitus
- Valtapituus 8–12 m
- Runkoluku 2500–6000 ha⁻¹
- Taimikonhoito tekemättä tai tehty liian lievänä (Kemera-kelpoinen kohde)
- Kuviolle ehdotettu energiapuuharvennus

Metsiköistä suurin osa oli viljeltyjä 30–40-vuotiaita aurasalueita, joihin useimpaan oli luontaisesti syntynyt lievä koivusekoitus (taulukko 1). Kohteista kaikki, lukuun ottamatta Pellon kohdetta, olivat hoitamattomia nk. ”rästikohteita” eli ”Kemera-kohteita”. Koemetsiköiden puuston keskitilavuus oli reilu 100 m³/ha vaihdellen välillä 62–176 m³/ha (taulukko 2). Metsiköiden runkoluku oli keskimäärin 3025 kpl/ha ja se vaihteli välillä 1767–4683 kpl/ha. Metsiköiden valtapituus oli keskimäärin 10.2 m vaihdellen 8.8 m–11.4 m:n välillä.

Maastoaineisto kerättiin vuosina 2011 ja 2012. Subjektiiivisen koeala-arvioinnin avulla arvioitiin metsikön puusto. Tavoitteena oli että, yhden metsikön puusto pystytään mittaamaan työpäivän aikana. Lisäksi kustakin metsiköstä pyrittiin mittaamaan 100–200 puuta, minkä katsottiin riittävän metsikön rakenteen kuvaamiseen. Metsikköön sijoitettiin subjektiivisesti 4–9 ympyräkoealaa (koealan koko 10 m²). Koealan kaikista läpimitaltaan > 4 cm:n puista mitattiin läpimitta ja rekisteröitiin puulaji. Koealan joka viides puu oli koepuu, josta mitattiin pituus ja latvusraja.

Taulukko 1. Leimiköiden metsikkötunnukset

Sijainti	Ikä	Kasvupaikka	Maanmuokkaus	Syntytapa
<i>Sonka</i>	30	tuore	auraus	istutus
<i>Ylitornio</i>	60	tuore	ei	luontainen
<i>Salla</i>	30	tuore	auraus	istutus
<i>Keminmaa</i>	30	kuivahko	ei	kylvö
<i>Simo</i>	35	tuore	auraus	istutus
<i>Kemijärvi</i>	25	tuore	auraus	kylvö
<i>Kittilä</i>	34	tuore	auraus	istutus
<i>Posio</i>	30	tuore	auraus	kylvö
<i>Rovaniemi</i>	30	kuivahko	auraus	kylvö
<i>Rovaniemi</i>	25	tuore	auraus	istutus
<i>Sodankylä</i>	35	tuore	auraus	kylvö
<i>Pello</i>	40	kuivahko	ei	luontainen

Taulukko 2. Koemetsiköiden puustotunnukset

Sijainti	Koealoja	N, ha ⁻¹	D, cm	H, m	H _{dom} , m	V, m ³	Koivua, %
Sonka	4	2825	11,8	8,3	8,8	89,9	6,4
Ylitornio	8	2213	11,9	8,8	10,1	61,9	31,6
Salla	5	2480	13,9	9,8	10,5	130,7	12,1
Keminmaa	5	3200	9,2	8,1	10,1	68,1	4,7
Simo	6	3017	10,8	8,5	10,1	80,9	32,1
Kemijärvi	9	3589	10,8	8,5	9,3	107,8	0,1
Kittilä	8	2775	11,6	10,1	11,4	118,3	14,2
Posio	5	3680	10,6	8,4	9,7	101,9	2,9
Rovaniemi	6	4683	12,1	10,0	11,4	175,6	0,0
Rovaniemi	7	3129	12,1	8,5	9,0	112,5	9,0
Sodankylä	8	2938	11,6	9,2	11,0	99,4	24,2
Pello	6	1767	12,6	9,4	11,1	81,5	0,0
Keskiarvo	6.4	3025	11,6	9,0	10,2	102,4	11,4

3 Menetelmät

3.1 Menetelmän yleiskuvaus

Jokaiselle leimikolle simuloitiin harvennus Tapion suositusten mukaan. Hakkuukertymät, -kustannukset ja -tulot laskettiin soveltamalla eri korjuuvaihtoehtoja (energiapuuharvennus, integroitu energia- ja ainespuunkorjuu ja ainespuuharvennus). Joukkokäsittelymenetelmää käytettiin kaikissa korjuuvaihtoehtoissa. Kannattavuustarkastelussa laskettiin leimikoittain ja korjuutavoittain harvennuksen nettotulot soveltamalla kolmea eri energiapuun tukitasoa (0 €/m³, 5 €/m³ ja Kemera-tuki). Laskelmissa käytettiin hankintahintoja (kokopuu 20 €/m³, energiaranka 25 €/m³ ja kuitupuu 28 €/m³). Hinnat perustuivat paikallisilta toimijoilta saatuihin tietoihin. Lisäksi kullekin leimikolle määritettiin korjuutavoittain ja eri tukitasoilla (0 €/m³ ja Kemera-tuki) break-even hinta. Break-even hinta kuvaa puutavarasta tienvarressa maksettavaa vähimmäishintaa (€/m³) jolla katetaan korjuukustannukset ("0-tulos"). Lopuksi break-even hinnalle laadittiin malli, jonka avulla voitiin verrata eri korjuuvaihtoehtojen kannattavuutta varioimalla hakkukertymän määrää ja poistuman keskijäreyttä.

3.2 Vaihtoehtoisten korjuutapojen simulointi

Kullekin koemetsikölle simuloitiin harvennus soveltaen viittä eri korjuutapaa:

1. Energiapuuharvennus kokopuuna (kokopuu)
2. Energiapuuharvennus energiarankana (energiaranka)
3. Integroitu energia- ja ainespuun korjuu I, energiapuu kokopuuna (integroitu I)
4. Integroitu energia- ja ainespuun korjuu II, energiapuu rankana (integroitu II)
5. Ainespuukorjuu + ennakkoarvaus (ainespuu)

Harvennuksissa noudatettiin TAPIO:n (Metsätalouden kehittämiskeskus) energiapuun korjuusuosituksia. Suositusten mukaan energiapuuharvennuksessa jäävän puuston kasvatustiheydet ovat tuoreella kankaalla 1000–1400 kpl/ha ja kuivahkolla kankaalla 900–1300 kpl/ha. Joillakin kohdeilla puuston kasvatustiheys (runkoluku) jouduttiin jättämään suosituksia korkeammaksi, jottei jäävän puuston pohjapinta-alasuositusta alitettaisi. Korjuumenetelmissä, joissa energiapuu korjattiin kokopuuna, 30 % latvusmassasta jätettiin metsään.

Harvennukset simuloitiin käyttämällä Metsäntutkimuslaitoksessa kehitettyä MOTTI-ohjelmistoa. MOTTI-ohjelmiston avulla voidaan tarkastella ja havainnollistaa metsikön erilaisten kasvatushjelmien vaikutuksia puuston kehitykseen, hakkuukertymiin ja taloudelliseen kannattavuuteen. MOTTI tuottaa puuston kehityssennusteita kasvu- ja tuotosmallien avulla. Nämä pohjautuvat laajoihin maastomittauksiin sekä inventointikoealoilta että pitkään seuratuilta kestokokeilta

3.3 Korjuukustannusten laskenta

Korjuukustannukset laskettiin erikseen kullekin leimikolle korjuutavoittain. Ainespuun erillis-korjuuseen sisällytettiin vaihtoehtoisesti myös ennakkoraivaus, 287 €/ha (www.metla.fi/metinfo), joka sisällytettiin korjuukustannuksiin. Kuitupuun, rangan ja kokopuun hakkuun tuottavuus joukkokäsittelymenetelmällä perustui Laitila & Väättäinen (2013) ajanmenekkimalleihin sekä erillis-korjuussa että yhdistelmäkorjuussa. Kuitupuun ja rangan metsäkuljetuksen tuottavuus laskettiin Kuitto ym. (1994) ajanmenekkimallilla ja kokopuun metsäkuljetus Laitila ym. (2007) ajanmenekkimallilla (Laitila ym. 2010, Laitila 2012). Kuormakoko metsäkuljetuksessa oli kokopuulla 6 m³, rangalla 9 m³ ja kuitupuulla 11 m³ (Jylhä ym. 2010, Laitila ym. 2010, Laitila & Väättäinen 2012), ja em. tavaralajit ajettiin omina kuormina tienvarsivarastolle. Laskennassa hakkuun tehotuntituottavuus (E_{0h}) muutettiin käyttötuntituottavuudeksi (E_{15h}) kertoimella 1,393 ja metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,302 (Jylhä ym. 2010, Laitila & Väättäinen 2012). Laskelmassa ajouraväli oli 20 m (Niemistö 1992) ja metsäkuljetusmatka oli 300 m (Kärhä ym. 2009). Hakkuukoneen (Laitila & Väättäinen 2012) metsäalan kustannusindeksillä "MEKKI" (http://www.stat.fi/til/mekki/yht_en.html) ajan tasalle päivitetty käyttötuntikustannus oli 95,4 €/h ja metsätraktorin (Laitila & Väättäinen 2012) 68,9 €/h. Hakkuun ajanmenekkimallissa tuottavuutta selitettiin puun/rungon tilavuudella (dm³) ja poistettavien puiden/runkojen tiheydellä (kpl/ha). Metsäkuljetuksessa tuottavuutta selitettiin hakkuukertymällä (m³/ha) ja metsäkuljetusmatkalla (m).

3.4 Nettotulojen laskenta

Kullekin leimikolle laskettiin korjuutavoittain hehtaarikohtainen harvennuksen nettotulos. Nettotulos saatiin hakkuutulojen ja korjuukustannusten erotuksena. Hakkuutulojen laskennassa käytettiin tienvarsihintoja. Puutavaralajien hankintahintoina (tienvarsihinta) käytettiin; kokopuu 20 €/m³, energiaranka 25 €/m³ ja kuitupuu 28 €/m³. Nettotulot laskettiin kolmella eri energiapuun tukitasolla: ei tukea, Kemera-tuki ja 5 €/m³. Kemera-tuki koostuu tässä raportissa ainoastaan pinta-alatuesta (194 €/ha) ja energiapuun korjuutuesta (7 €/m³), jolloin kuutiometrikohtainen kokonaisuus riippuu osittain korjatusta energiapuumäärästä, mutta on toisaalta riippumaton tästä (kiinteä osa: pinta-alaperusteinen tuki).

3.5 Break-even hintojen laskenta ja mallinnus

Kullekin leimikolle laskettiin korjuutavoittain hehtaarikohtainen nk. break-even hinta. Se kertoo, paljonko puutavaran tievarsihinnan pitää vähintään olla (€/m³), jotta hakkuutulojen ja Kemera-tukien summalla katettaisiin korjuukustannukset. Break-even hinta laskettiin myös ilman tukea. Kemera-tuet otettiin laskennassa huomioon siten, että yksikkökohtaisesta korjuukustannuksesta vähennettiin tuen määrä korjattua energiapuumäärää kohti (€/m³):

Break-even = [(Hakkuutulot + Kemera-tuet) – korjuukustannukset] / talteenotettu energiapuumäärä

Kun break-even = 0, tällöin hakkuutuloista johdettu yksikköhinta on break-even hinta, *ceteris paribus*. Maastoaineiston perusteella laadittiin regressiomallit ilman tukia lasketulle break-even hinnalle (€/m³) korjuutavoittain. Tavoitteena oli mallintaa leimikkotekijöiden vaikutus break-even hintaan. Mallissa selittäjinä käytettiin hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuutta (dm³) ja hakkuupoistuman määrää runkotilavuutena (m³/ha). Malleilla ennustettiin korjuutavoittain break-even hinta kolmella eri runkopuun hakkuukertymällä (30, 50 ja 70 m³/ha) poistuman keskijäreiden vaihdellessa 10–50 dm³:n välillä.

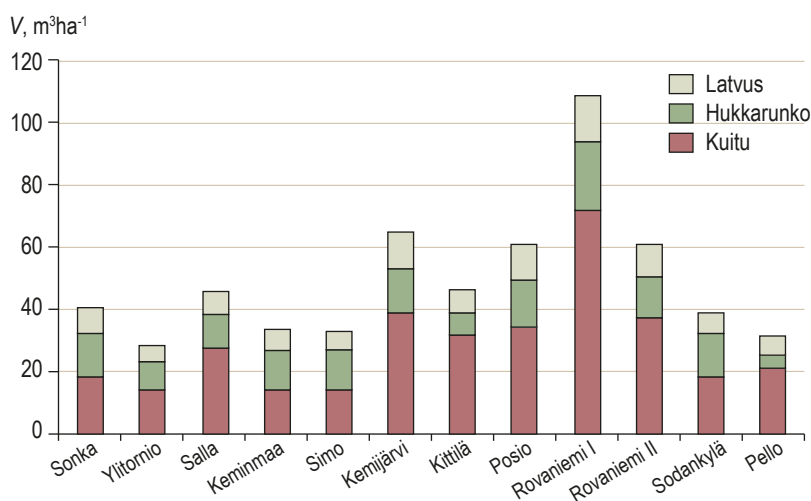
Laadittujen mallien avulla voitiin arvioida korjuutavan kannattavuutta vaihtoehtoisissa leimikko-olosuhteissa ja vaihtoehtoisilla tienvarshinnoilla varioimalla hakkukertymän määrää ja poistuman keskijäreyttä sekä myös eri puutavaralajien hintasuhteita (esim. energiapuu-kuitupuu, kokopuu-energigranka). Malleilla voitiin lisäksi verrata eri korjuuvaihtoehtojen kannattavuuksia vaihtelevissa leimikko-olosuhteissa.

4 Tulokset

4.1 Hakkuukertymät

Hakkuupoistuman yleiskuvaus

Harvennuspoistuma oli korjuutavasta riippumaton, ja se oli keskimäärin 40 % puuston runkotilavuudesta vaihdellen 31–53 prosentin välillä. Alhaisimmillaan runkopoistuma oli 26 m³/ha ja korkeimmillaan 94 m³/ha (kuva 1). Keskimäärin runkopoistuma oli 41 m³/ha, josta koivua oli keskimäärin 27 %. Poistettavia runkoja oli keskimäärin 1685 kpl/ha ja vaihteluväli 655–3000 kpl/ha. Poistettavien runkojen keskijäreys oli 25 dm³ ja leimikoittainen vaihteluväli 17–39 dm³. Energiapuun (hukkarunkopuu ja latvusmassa) osuus hakkuupoistumasta oli keskimäärin 44 % ja kuitupuun osuus vastaavasti 56 %. Leimikoilta saatiin kuitupuuta keskimäärin 29 m³/ha. Neljällä



Kuva 1. Harvennuspoistuma leimikoittain

kohteella kuitupuun tilavuus oli < 20 m³/ha ja vain yhdellä kohteella > 40 m³/ha (kuva 1). Keskimääräinen energiapuupoistuma (hukkarunkopuu ja latvus) oli 21 m³/ha, ja se vaihteli leimikosta riippuen välillä 11–37 m³/ha (kuva 1).

Hakkuukertymät korjuutavoittain

Harvennuskertymät puolestaan vaihtelivat leimikoittain ja korjuutavoittain. Ainespuukorjuussa, jossa korjattiin pelkästään kuitupuuta, hehtaariohtainen hakkuukertymä oli keskimäärin 29 m³, ja se oli 15–72 m³ (taulukko 3). Kokopuukorjuussa, jossa energiapuuksi korjataan runkopuun lisäksi myös latvusmassa, keskimääräinen kertymä oli selvästi suurempi, 50 m³/ha, ja kertymän vaihteluväli 29–109 m³/ha (taulukko 3). Energiapuuharvennuksessa, jossa energiapuuksi korjataan pelkkä runkopuu (energiaranka) ja latvusmassa jätetään metsään, keskimääräinen kertymä oli 41 m³/ha (24–94 m³/ha). Integroiduissa korjuumenetelmissä kuitupuukertymä oli sama kuin ainespuukorjuussa, ja lisäksi kertyi energiapuuta joko kokopuuna tai energiarankana. Vaihtoehdossa, jossa energiapuujae korjattiin kokopuuna (Integroitu I) keskimääräinen energiapuukertymä oli 21 m³/ha (11–37 m³/ha) ja kokonaiskertymä (energia + kuitu) vastaa energiapuuharvennuksen kokopuukertymää. Integroidussa korjuussa, jossa energiapuujae korjataan energiarankana (Integroitu II) keskimääräinen energiapuukertymä oli 12 m³/ha (4–22 m³/ha) ja kokonaiskertymä vastaa energiapuuharvennuksen energiarankakertymää (taulukko 3).

Korjuumenetelmien väliset kertymäsuhteet

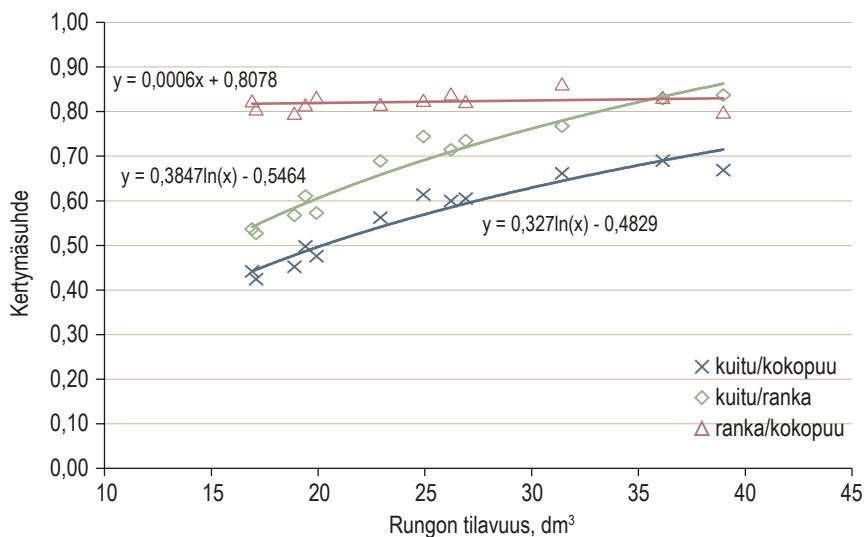
Hakkuukertymät vaihtelivat korjuutavoittain, ja aines- ja energiapuunkorjuun väliset kertymien suhteet riippuivat merkittävästi poistuman keskijäreystä. Ainespuun osuus hakkuukertymästä oli sitä suurempi mitä järeämpää poistettava puusto oli (kuva 2). Ainespuukertymän suhde kokopuukertymään oli keskimäärin 56 % vaihdellen poistuman keskijäreystä riippuen reilusta 40 prosentista 70 prosenttiin (kuva 2). Poistuman keskijäreysten ollessa 20 dm³ ainespuukertymä oli noin 50 % kokopuukertymästä ja keskijäreysten kasvaessa 40 dm³:in ainespuun osuus oli jo 70 %. Ainespuukertymä oli keskimäärin 68 % energiarangan kertymästä, ja se vaihteli poistuman keskijäreystä riippuen 53 prosentista 84 prosenttiin (kuva 2). Poistuman keskijäreysten ollessa 20 dm³ ainespuukertymä oli noin 60 % kokopuukertymästä ja keskijäreysten ollessa 40 dm³ ainespuun osuus oli 85 %.

Taulukko 3. Hakkuukertymät (m³/ha) eri korjuutavoilla

Leimikko	Ainespuu	Kokopuu	Energiaranka	Integroitu I		Integroitu II	
	Kuitu	Energia	Energiaranka	Kuitu	Energia	Kuitu	Energia
Sonka	19	41	33	19	22	19	14
Ylitornio	14	29	24	14	15	14	9
Salla	28	46	39	28	19	28	11
Keminmaa	14	34	27	14	20	14	13
Simo	15	33	27	15	19	15	13
Kemijärvi	39	65	54	39	26	39	14
Kittilä	32	47	39	32	15	32	7
Posio	34	61	50	34	27	34	16
Rovaniemi I	72	109	94	72	37	72	22
Rovaniemi II	38	61	51	38	24	38	13
Sodankylä	19	39	33	19	21	19	14
Pello	21	32	26	21	11	21	4
Keskimäärin	29	50	41	29	21	29	12

Energiapuuharvennuksien (kokopuu ja energiaranka) väliset suhteelliset kertymäerot olivat pienemmät ja ne eivät juurikaan muuttuneet poistuman keskijäreyden kasvaessa (kuva 2). Energiarankakertymä oli keskimäärin 82 % kokopuukertymästä ja se vaihteli leimikosta riippuen 80–84 %:n välillä. Samat suhteet pätevät myös integroitujen korjuutapojen (integroitu II / Integroitu I) välillä: esimerkiksi jos energiajaje korjataan rankana (integroitu II) kertymä oli keskimäärin 18 % pienempi kuin jos energiajaje korjataan kokopuuna (integroitu I).

Integroiduissa korjuumenetelmissä energiapuun osuus laskee selvästi rungon keskikoon kasvaessa. Poistuman keskikoon ollessa 20 dm³ aines- ja kokopuukertymä ovat lähes yhtä suuret (integroitu I), mutta 40 dm³:n rungon keskikoolla kokopuun osuus hakkuukertymästä oli enää 30 % (kuva 2). Integroidussa korjussa, jossa energiapuu korjataan rankana (integroitu II) energiapuun osuus oli alhaisempi; keskijäreydellä 20 dm³ 40 % ja keskijäreydellä 40 dm³ vain 15 % (kuva 2).



Kuva 2. Hakkuukertymäsuhteet hakkuutavoittain rungon keskitilavuuden funktiona.

4.2 Korjuukustannukset

Korjuun yksikkökustannukset (hakkuu + metsäkuljetus) vaihtelivat leimikoittain ja korjuutavoittain. Ainespuukorjuu ennakkoraivauksella johti eri korjuuvaihtoehdoista keskimäärin korkeimpiin korjuukustannuksiin, 30,8 €/m³, vaihdellen 20,2 ja – 41,2 €/m³ välillä (taulukko 4). Ainespuukorjuussa ilman ennakkoraivausta keskimääräiset korjuukustannukset olivat selvästi alhaisemmat 18,8 €/m³ (16,4–22,2 €/m³). Hoitamattomissa metsissä ainespuun erilliskorjuun edellytyksenä on useimmiten ennakkoraivaus, joten sen huomioiminen laskelmissa on perusteltua.

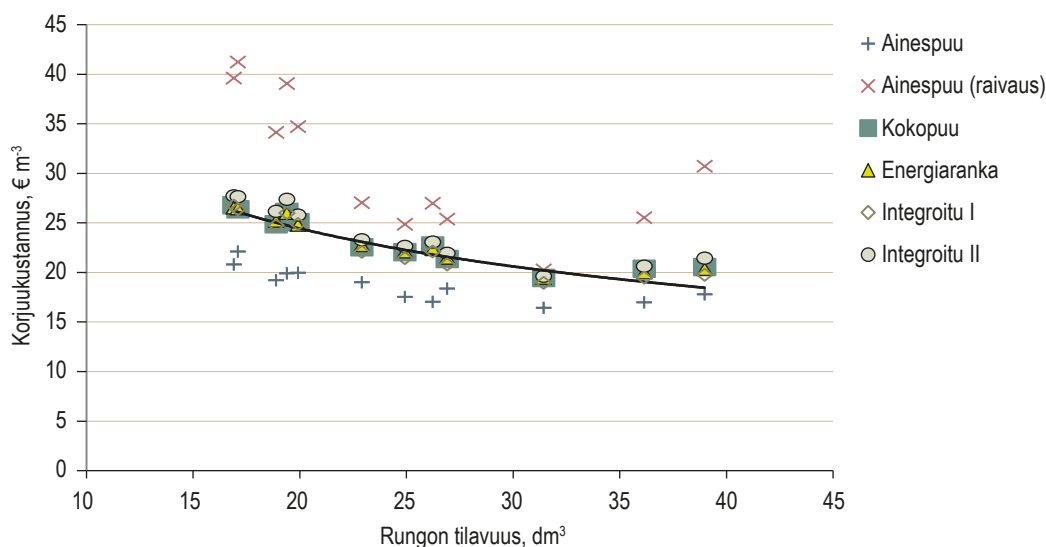
Energiapuuharvennusten välillä keskimääräiset korjuukustannukset olivat lähes yhtä suuret; kokopuukorjuussa 23,2 €/m³ (19,4–26,8 €/m³) ja energiarankakorjuussa 23,1 €/m³ (19,4–26,5 €/m³). Yhdistelmäkorjuussa (integroitu I), jossa energiapuu korjataan kokopuuna, päästi keskimäärin hieman alhaisempiin korjuukustannuksiin 22,8 €/m³ (18,9–26,7 €/m³). Integroidussa korjussa, jossa energiapuu jaje korjataan energiarankana (Integroitu II) keskimääräinen korjuukustannus oli energiapuun korjuuvaihtoehdoista korkein, 23,9 €/m³ vaihdellen leimikosta riippuen 19,6 ja 27,7 €/m³:n välillä.

Taulukko 4. Leimikkokohtaiset korjuukustannukset (hakkuu + metsäkuljetus) eri korjuuvaihtoehdoilla. Sulkeissa ainespuukorjuu, jossa mukana ennakkoraivauskustannus.

Korjuukustannukset, €/m ³					
Leimikko	Ainespuu	Kokopuu	Energiaranka	Integroitu I	Integroitu II
Sonka	19,2 (34,1)	24,8	25,2	24,7	26,2
Ylitornio	19,9 (39,1)	26,1	26,0	26,0	27,4
Salla	17,0 (27,0)	22,7	22,3	22,1	23,1
Keminmaa	22,2 (41,2)	26,3	26,4	26,4	27,6
Simo	20,8 (39,6)	26,8	26,5	26,7	27,7
Kemijärvi	18,4 (25,4)	21,3	21,4	20,8	21,9
Kittilä	17,0 (25,5)	20,3	19,9	19,5	20,6
Posio	19,0 (27,0)	22,5	22,7	22,1	23,3
Rovaniemi I	16,4 (20,2)	19,4	19,4	18,9	19,6
Rovaniemi II	17,5 (24,8)	22,0	22,1	21,4	22,6
Sodankylä	20,0 (34,7)	25,1	24,8	24,9	25,8
Pello	17,8 (30,7)	20,5	20,3	19,7	21,4
Keskim.	18,8 (30,8)	23,2	23,1	22,8	23,9

Korjuukustannukset koostuivat sekä hakkuu- että metsäkuljetuskustannuksista. Hakkuukustannukset olivat keskimäärin alhaisimmat (14,6 €/m³) vaihtoehdoissa, joissa energiapuu korjattiin kokopuuna (kokopuukorjuu, integroitu I). Runkojen karsiminen (energiaranka ja integroitu II) nosti hakkuukustannuksia keskimäärin 2,3 €/m³, mutta toisaalta laski metsäkuljetuskustannuksia kokopuuvaihtoehtoihin verrattuna. Metsäkuljetuskustannukset olivat kokopuukorjuussa 8,6 €/m³ ja energiarankakorjuussa 6,2 €/m³. Yhdistelmäkorjuun keskimääräiset korjuukustannukset olivat kokopuuvaihtoehdossa (integroitu I) 8,2 €/m³ ja energiarankavaihtoehdossa (integroitu II) 7,0 €/m³.

Hakkuussa poistettujen runkojen keskikoko vaikutti merkittävästi korjuukustannuksiin kaikissa vaihtoehdoissa; mitä alhaisempi runkojen keskijäreys sitä korkeammat korjuukustannukset (kuva 3). Leimikoissa, joissa runkojen keskijäreys oli < 20 dm³, korjuukustannukset nousivat yli 25 euron kuutiometriltä kaikissa energiapuun korjuuvaihtoehdoissa. Alle 20 euron korjuukustannuksiin päästiin leimikoissa, jossa rungon keskijäreys oli > 30 dm³. Ainespuukorjuussa kustannukset vaihtelivat rungon tilavuudesta riippuen välillä 16,4–22,1 €/m³. Ennakkoraivaus, mikä on usein välttämätön ennakkotoimenpide etenkin ennen ainespuuharvennusta, nosti merkittävästi korjuun kokonaiskustannuksia (kuva 3).



Kuva 3. Runkojen keskitilavuuden (hakuussa poistettu) vaikutus korjuukustannuksiin (€/m³) eri korjuuvaihtoehtoisissa.

4.3 Harvennuksen nettotulot

4.1.1 Energiapuutuen vaikutus nettotuloihin

Kullekin leimikolle laskettiin korjuutavoittain hehtaarikohtainen harvennuksen nettotulos kolmella eri tukitasolla (0 €/m³, ja 5 €/m³ ja Kemera-tuki) ja käyttämällä tämänhetkisiä tienvarsihintoja (kokopuu 20 €/m³, energjaranka 25 €/m³ ja kuitupuu 28 €/m³). Lisäksi vaihtoehtoisina tievarsihintoina käytettiin: kokopuu 22 €/m³, energjaranka 27 €/m³ ja kuitupuu 27 €/m³.

Energiapuun tukitaso vaikutti merkittävästi korjuuvaihtoehtojen kannattavuuteen. Energiapuun korjuuvaihtoehtoisista ilman tukia (0 €/m³) lasketut nettotulot olivat suurimmat integroiduilla korjuumenetelmillä, energjarankana 166 €/ha ja kokopuuna 130 €/ha (taulukko 5). Energiapuuharvennus kokopuuna johti negatiiviseen nettotulokseen (-123 €/ha) ja energjarankakorjuussa nettotulokseen 109 €/ha. Ainespuukorjuussa nettotulos oli ilman ennakkoraivausta 285 €/ha ja ennakkoraivauksen kanssa 9 €/ha.

Energiapuutuki paransi kaikkien energiapuukorjuuvaihtoehtojen kannattavuutta, mutta se suosi eniten energiapuun erilliskorjuuta. Tuen ollessa 5 €/m³ korkein nettotulos, 315 €/m³ saatiin kun korjattiin pelkästään energjarankaa (taulukko 5). Tuki paransi selvästi myös kokopuun korjuun kannattavuutta; nettotulot olivat 126 €/ha eli nousua oli lähes 250 €/ha verrattuna ilman tukea laskettuihin nettotuloihin. Integroiduissa korjuumenetelmissä nettotulot nousivat selvästi vähemmän, mutta nettotulot olivat kuitenkin kokopuun erilliskorjuuta korkeammat, noin 230 €/ha (taulukko 5).

Kemera-tuki paransi edelleen energiapuun korjuun kannattavuutta, mutta korjuutapojen edullisuusjärjestys ei kuitenkaan muuttunut. Nettotulot olivat suurimmat 592 €/ha vaihtoehdossa, jossa korjattiin pelkästään energjarankaa. Kokopuun erilliskorjuussa nettotulot olivat keskimäärin 421 €/ha ja ero integroiduihin korjuumenetelmiin pieneni selvästi (taulukko 5).

Tukien lisäksi aines- ja energiapuun hintasuhteet vaikuttivat korjuutapojen välisiin kannattavuuseroihin. Vaihtoehtoisten tienvarsihintojen oletuksena oli, että energiapuun, sekä kokopuun että energiarangan hinnat, nousevat 2 €/m³ ja kuitupuun hinta on sama kuin energiarangan (27 €/m³). Vaihtoehtoisilla hinnoilla energiarangan erilliskorjuu osoittautui kannattavimmaksi korjuuvaihtoehtoiksi sekä ilman energiapuutukea että tukien kanssa (taulukko 6). Kokopuun erilliskorjuu ilman tukia oli kannattamatonta, nettotulot keskimäärin -24 €/ha, mutta tukien kanssa kannattavuus parani, ja Kemera-tuilla kokopuukorjuun nettotulot olivat suuremmat (520 €/ha) kuin integroiduissa korjuuvaihtoehtoissa (485 €/ha ja 444 €/ha).

Taulukko 5 Leimikoiden keskimääräiset nettotulot (€/ha) korjuutavoittain eri tukitasoilla nykyisillä tienvarsihinnoilla (kokopuu 20 €/m³, energiaranka 25 €/m³, kuitupuu 28 €/m³).

Tuki	Ainespuu	Ainespuu + ennakkoraivaus	Kokopuu	Energiaranka	Integroitu I	Integroitu II
0 €/m ³	285	9	-123	109	130	166
5 €/m ³	285	9	126	315	235	228
Kemera	285	9	421	592	472	448

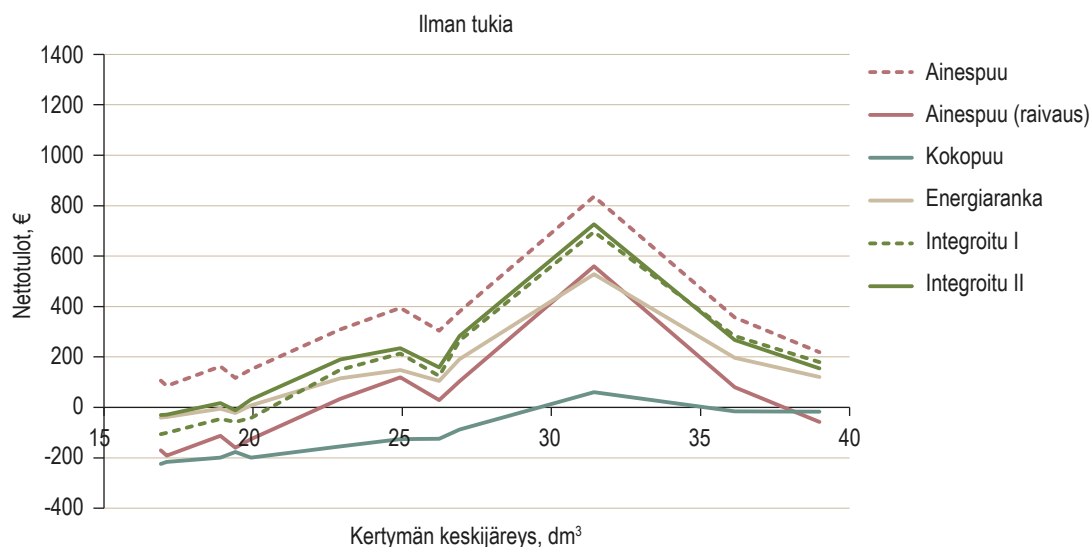
Taulukko 6. Leimikoiden keskimääräiset nettotulot (€/ha) eri tukitasoilla vaihtoehtoisilla tienvarsihinnoilla (kokopuu 22 €/m³, energiaranka 27 €/m³, kuitupuu 27 €/m³).

Tuki	Ainespuu	Ainespuu + ennakkoraivaus	Kokopuu	Energiaranka	Integroitu I	Integroitu II
0 €/m ³	256	-20	-24	191	143	162
5 €/m ³	256	-20	226	398	248	224
Kemera	256	-20	520	675	485	444

4.1.2 Harvennuksen nettotulot leimikoittain

Nettotulot kuten myös korjuuvaihtoehtojen väliset kannattavuuserot vaihtelivat leimikoittain. Energiapuutukien lisäksi nettotuloihin vaikuttivat hakkupoistuman keskijäreys ja hakkuukertymän määrä. Hakkuussa poistettujen runkojen keskikoko vaikutti merkittävästi nettotuloihin kaikissa vaihtoehtoissa; alhainen keskijäreys merkitsi useimmiten myös alhaisempaa nettotulosta (kuvat 4 ja 5). Vastaavasti alhainen hakkuukertymä heikensi myös nettotulosta.

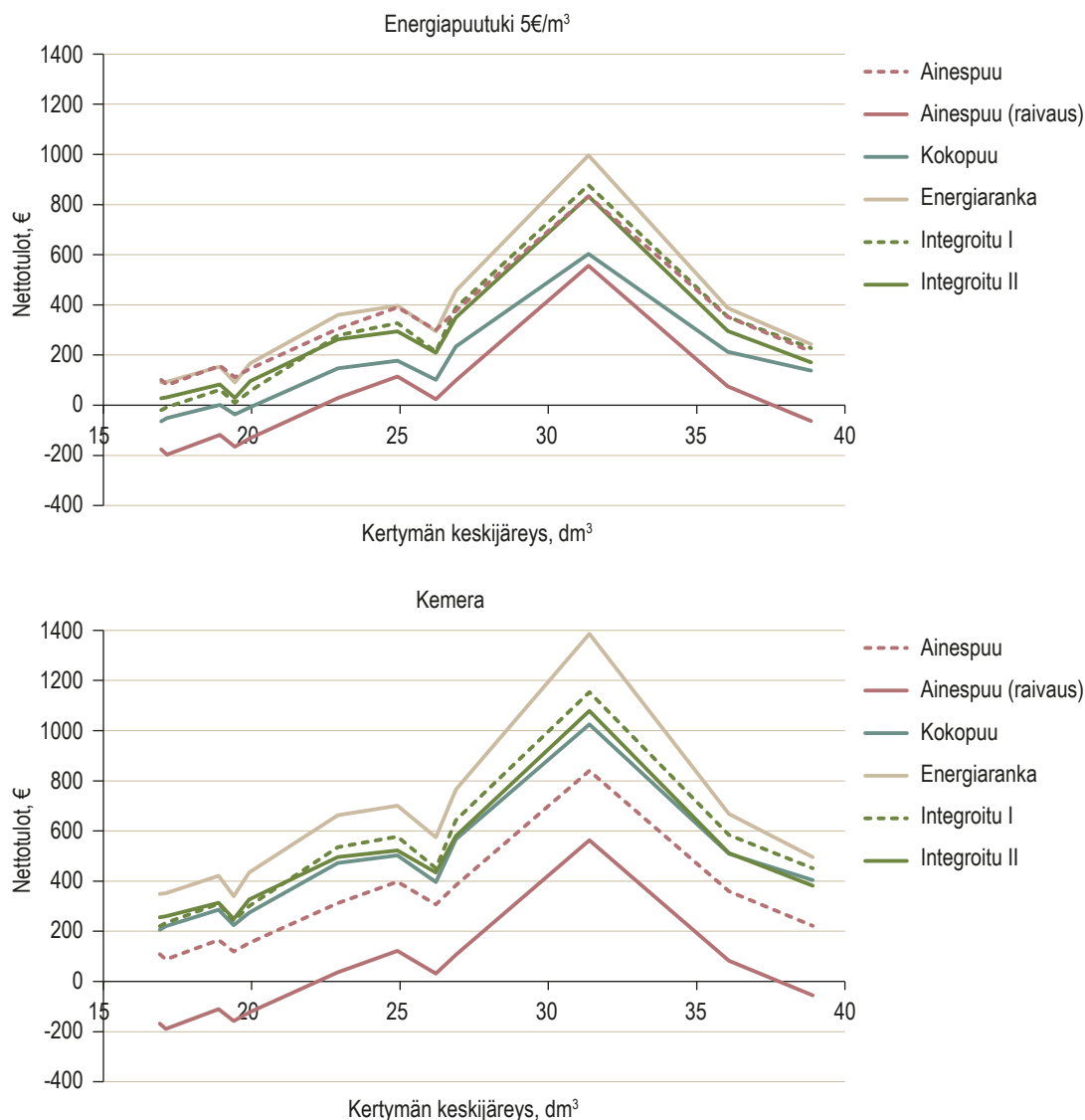
Ilman tukia kokopuukorjuu osoittautui kannattavuudeltaan heikoimmaksi vaihtoehdoksi, ja nettotulos oli negatiivinen kaikissa leimikoissa, joissa poistuman keskijäreys oli < 30 dm³ (kuva 4). Muilla energiapuun korjuutavoilla positiiviseen nettotulokseen päästiin poistuman keskijäreiden ylittäessä 20 dm³. Ainespuuhakkuussa (+ennakkoraivaus) päästiin 0-tulokseen, rungon keskijäreys ollessa hieman korkeampi, 23 dm³. Korjuutapojen väliset kannattavuuserot vaihtelivat jonkin verran leimikon rakenteen mukaan. Integroidut korjuuvaihtoehdot, etenkin integroitu II (energiapuun rankana), tuotti korkeimman nettotuloksen leimikon keskijäreystä riippumatta. Ero erilliskorjuumenetelmiin oli sitä suurempi mitä suurempi oli poistuman keskijäreys ja kuitupuun osuus hakkuukertymästä. Parhaassa leimikossa integroidulla korjuulla päästiin noin 700 euron hehtaarikohtaiseen nettotulokseen, kun vastaavat luvut olivat energiarankakorjuussa reilu 500 €/ha ja kokopuukorjuussa vain 60 €/ha (kuva 4).



Kuva 4. Leimikoiden nettotulot rungon keskikoon (hakkuupoistuma) suhteen kuvattuna korjuutavoittain ilman energiapuun korjuutukea.

Energiapuun tuet paransivat oleellisesti energiapuun korjuun kannattavuutta kaikissa leimikoissa (kuva 5). Jos energiapuun tuki oli 5 €/m³, energiapuukorjuu rankana ohitti kannattavuudessa integroidut korjuumenetelmät poistuman keskijäreystä riippumatta saavuttaen parhaimmassa leimikossa noin 1000 euron nettotulon hehtaarilta. Vastaavassa leimikossa integroiduilla korjuumenetelmillä jäätin 800 euron, kokopuukorjuulla 600 euron ja ainespuukorjuulla (+ennakko-raivaus) 560 euron nettotuloihin hehtaarilta. Negatiivisia nettotuloksia saatiin vain leimikoissa, joissa poistuman keskijäreys oli < 20 dm³. Nollatulosraja oli kokopuukorjuussa 20 dm³:n keskijäreyksillä ja yhdistelmäkorjuussa 17 dm³:n keskijäreyksillä. Ainespuuhakkuiden kannattavuuteen energiapuutuki ei vaikuttanut.

Nykyinen energiapuun tukijärjestelmä (Kamera) paransi edelleen energiapuukorjuun kannattavuutta, erityisesti energiapuun erilliskorjuuta, kaikissa leimikoissa. Samalla energiapuukorjuumenetelmien väliset kannattavuussuhteet muuttuivat. Energiarangan erilliskorjuussa nettotulot olivat edelleen suurimmat, ja ero integroituihin korjuumenetelmiin kasvoi. Parhaimmassa leimikossa energiarangan erilliskorjuussa päästiin 1400 euron nettotulokseen, ja integroiduilla korjuumenetelmillä n. 1100 euroon hehtaarilta (kuva 5). Kokopuun erilliskorjuun kannattavuus kipusi integroitujen korjuumenetelmien tasolle leimikosta riippumatta. Energiapuun korjuumenetelmillä nettotulos jäi positiiviseksi kaikissa leimikoissa, myös leimikoissa, joissa poistuman keskijäreys oli < 20 dm³.



Kuva 5 Leimikoiden nettotulot rungon keskikoon (hakuupoistuma) suhteen kuvattuna korjuutavoittain energiapuun eri tukitasoilla (5 €/m³ ja Kemera).

4.4 Break-even hinnat ja mallit

4.4.1 Kemera-tuen vaikutus

Break-even hinta kuvaa, paljonko puutavaran tievarsihinnan pitäisi vähintään olla (€/m³), jotta harvennuksen nettotulo ei olisi negatiivinen. Break-even hinta laskettiin sekä ilman tukea että Kemera-tuen kanssa.

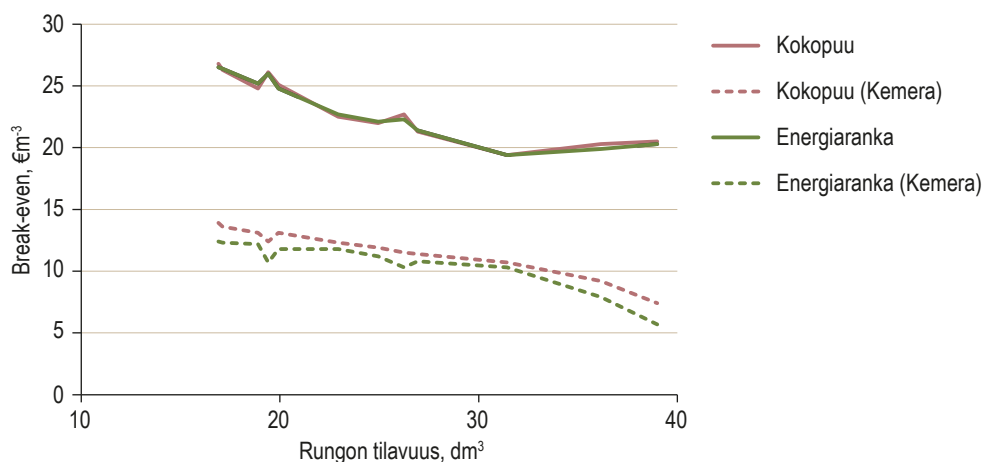
Kemera-tuen määrä talteen otettua puumäärää kohti (€/m³) vaihteli leimikoittain ja korjuutavoittain, mikä johtui Kemera-tuen pinta-alapohjaisesta kiinteästä osasta, joka on riippumaton talteen otetusta puumäärästä (taulukko 7). Korkeammasta energiapuukertymästä johtuen energiapuun erilliskorjuussa (kokopuu, energiaranka) tuen määrä kuutiometriä kohti oli selvästi alhaisempi kuin integroiduissa korjuumenetelmissä. Kokopuulla tuki oli keskimäärin 11,5 €/m³ (8,8–13,7 €/m³) ja energiarangalla 12,5 €/m³ (9,1–15,0 €/m³). Vastaavat luvut yhdistelmäkorjuussa olivat 17,2 €/m³ (energiaosite kokopuuna) ja 25,6 €/m³ (energiaosite rankana).

Taulukko 7. Kemera-tuen määrä hakattua energiapuukuutiometriä kohti (€/m³).

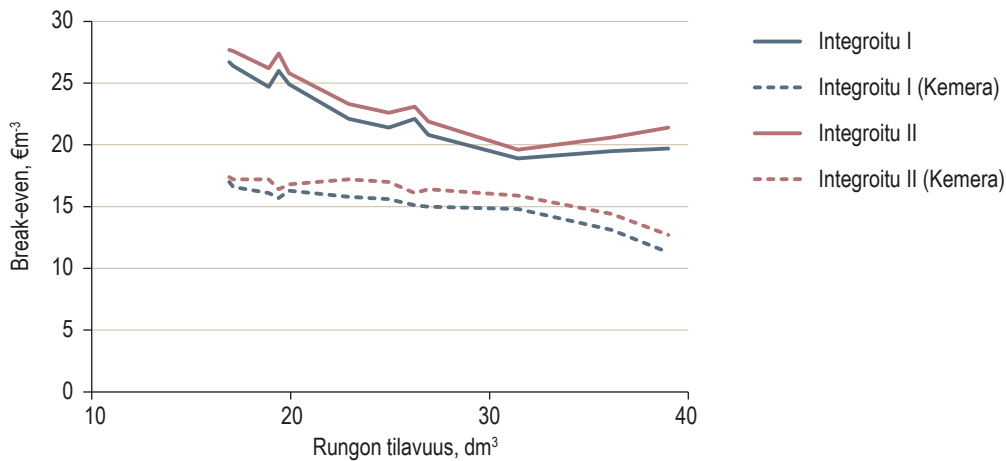
Leimikko	Kemera-tuki, €/m ³			
	Kokopuu	Energiaranka	Integroitu I	Integroitu II
Sonka	11,7	13,0	15,7	20,8
Ylitornio	13,7	15,2	20,4	28,2
Salla	11,2	12,0	17,5	24,5
Keminmaa	12,7	14,1	16,9	22,0
Simo	12,9	14,1	17,5	22,3
Kemijärvi	10,0	10,6	14,5	20,7
Kittilä	11,2	12,0	20,4	36,2
Posio	10,2	10,9	14,3	19,5
Rovaniemi I	8,8	9,1	12,3	15,9
Rovaniemi II	10,2	10,8	15,2	22,0
Sodankylä	11,9	12,9	16,4	20,9
Pello	13,1	14,6	25,4	53,8
Keskim.	11,5	12,5	17,2	25,6

Kemera-tuki alensi merkittävästi break-even hintaa; energiapuun erilliskorjuussa keskimäärin noin 12 €/m³ ja yhdistelmäkorjuussa reilu 7 €/m³ (kuvat 6 ja 7). Kemera-tuen vaikutus break-even hintaan korostui erityisesti leimikoissa, joissa leimikon hakkuukertymä oli alhainen. Energiapuun korjuutuki lievensi myös hakkuupoistuman keskijäreiden (dm³) vaikutusta Break-even hintaan (kuvat 6 ja 7).

Kokopuukorjuussa break-even hinta vaihteli ilman tukia 19,4–26,8 €/m³ ja tukien kanssa 7,4–13,9 €/m³ Kemera-tuki pienensi break-even hintaa keskimäärin 11,4 €/m³ (8,7–13,1 €/m³). Runkakorjuussa Kemera-tuki pienensi break-even hintaa vielä hieman enemmän, keskimäärin 12,5 €/m³ (9,1–15,3 €/m³). Yhdistelmäkorjuussa tuen vaikutus oli vähäisempi. Kemera-tuki pienensi break-even hintaa yhdistelmäkorjuussa; kokopuukorjuussa keskimäärin 7,6 €/m³ (4,1–10,3 €/m³) ja energiारankakorjuussa 7,7 €/m³ (3,7–11,0 €/m³) (kuva 6).



Kuva 6 Aineiston keskimääräiset break-even hinnat (€/m³) energiapuun erilliskorjuussa rungon keskikoon mukaan sekä ilman tukea että Kemera-tuen kanssa.

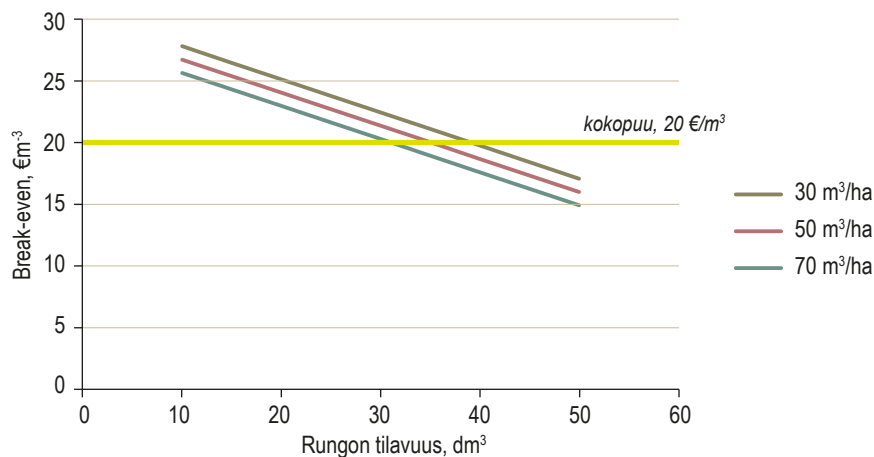


Kuva 7. Aineiston keskimääräiset break-even hinnat (€/m³) yhdistelmäkorjuussa runگون keskikoon ja tukitason mukaan.

4.4.2 Hakkuupoistuman rakenteen vaikutus break-even hintoihin

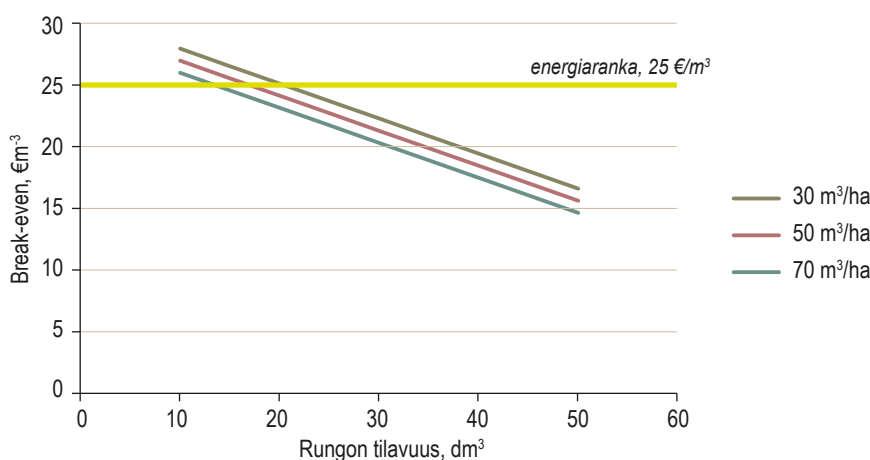
Break-even hinnalle (€/m³) laadituissa regressiomalleissa korjuutavoittain selittäjinä käytettiin hakkuussa poistettujen runگوں keskutilavuutta (dm³) ja hakkuupoistuman määrää rungotilavuutena ilmaistuna (m³/ha). Malleilla ennustettiin korjuutavoittain break-even hinta kolmella eri runkopuun hakkuukertymällä (30, 50 ja 70 m³/ha) ja poistuman keskijäreuden vaihdella 10–50 dm³:n välillä.

Kokopuukorjuussa 20 m³:n lisäys hehtaarikohtaiseen hakkuukertymään (rungotilavuus) merkitsi 1.3 euroa pienempää break-even hintaa (€/m³). Vastaavasti keskijäreuden muutos 10 dm³:llä muutti break-even hintaa 2.7 euroa kuutiometriltä (kuva 8). Määritetty break-even hinta vastasi nykyisiä tienvarsihintoja (20 €/m³) kokopuukorjuussa, kun poistuman keskijäreys oli 30 dm³ ja runkokertymä 70 m³/ha (kokopuukertymä 85,4 m³/ha) (kuva 8). Vastaavasti, runkokertymän ollessa 30 m³/ha (kokopuukertymä 36,6 m³/ha) break-even hinta vastasi nykyistä kokopuun tienvarsihintaa vasta n 40 dm³:n keskijäreudellä. Jos energiapuun korjuutuki olisi 5 €/m³, nollatulokseen päästäisiin kullakin kertymätasolla noin 15 dm³ pienemmällä runگون keskijäreyksillä.



Kuva 8. Kokopuukorjuun break-even hinta hakkuupoistuman keskijäreuden suhteen eri runkopuun hakkuukertymillä.

Energiarankakorjuussa hakkuukertymän vaikutus break-even hintaan oli vähäisempi kuin kokopuukorjuussa; 20 m³:n muutos hehtaarikohtaiseen hakkuukertymään merkitsi noin yhden euron muutosta break-even hintaan (€/m³). Sen sijaan keskijäreiden vaikutus oli hieman voimakkaampi: keskijäreiden muutos 10 dm³:llä muutti break-even hintaa 2,8 euroa kuutiometriltä (kuva 9). Verrattuna kokopuukorjuuseen energiarangan erilliskorjuussa päästiin nykyhinnoilla (25 €/m³) samaan taloustulokseen hieman alhaisemmilla poistuman keskijäreyksillä. Runkokertymän ollessa 70 m³/ha energiarangan erilliskorjuussa päästiin nykyhintojen (ranka 25 €/m³) mukaiseen taloustulokseen alimmillaan alle 15 dm³:n keskijäreidellä (kuva 9). Vastaavasti, runkokertymän ollessa 30 m³/ha tarvittiin 20 dm³:n rungon keskijäreys, ja 50 dm³ hehtaarikohtaisella kertymällä 17 dm³:n keskijäreys jotta päästiin nykyhintojen mukaiseen taloustulokseen.

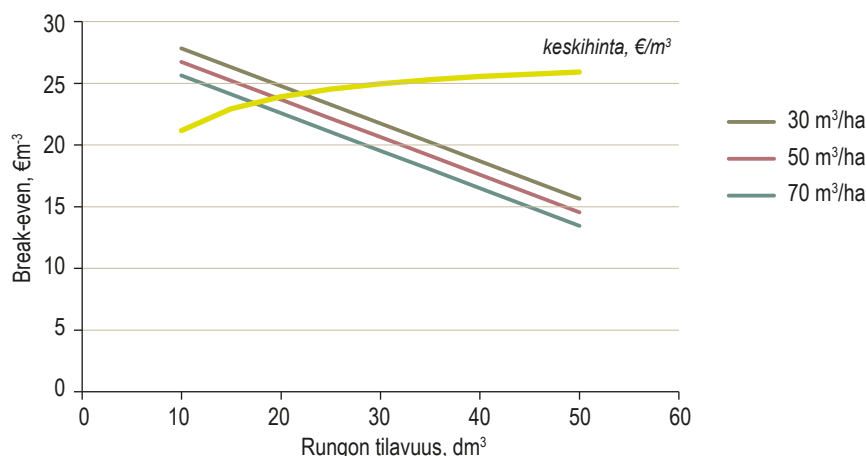


Kuva 9. Energiarangan erilliskorjuun break-even hinta hakkupoistuman keskijäreiden suhteen eri runkoon hakkuukertymillä.

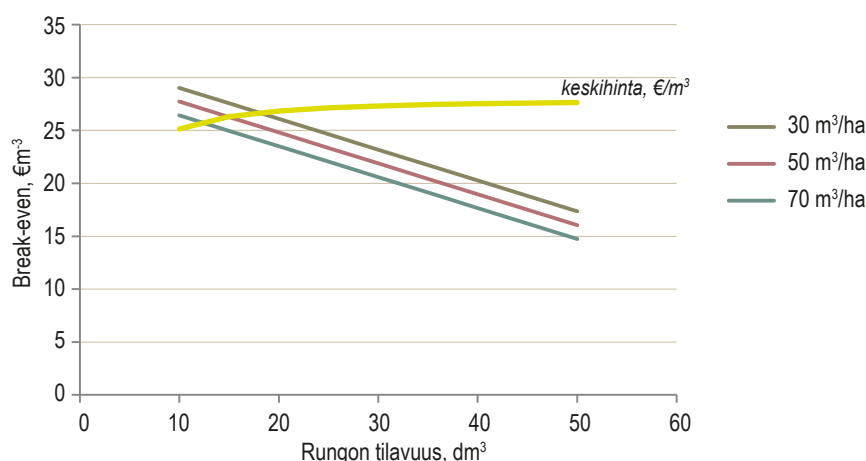
Yhdistelmäkorjuussa puusta saatava keskimääräinen yksikköhinta (€/m³) riippui energia- ja ainespuun osuuksista hakkuukertymästä (kuvat 10 ja 11). Alhaisilla rungon keskijäreyksillä energiapuun osuus oli suurempi, ja puusta saatava yksikköhinta oli lähempänä energiapuun hintaa. Järeiden kasvaessa puusta saatava yksikköhinta lähestyi kuitupuun hintaa.

Yhdistelmäkorjuussa, jossa energiapuu korjattiin kokopuuna 20 m³:n muutos hehtaarikohtaiseen hakkupoistumaan (runkotilavuus) merkitsi noin 1,3 euron muutosta break-even hintaan (€/m³). Keskijäreiden vaikutus break-even hintaan oli 3,1 €/m³ per 10 dm³. Runkokertymän ollessa 70 m³/ha päästiin noin 18 dm³:n rungon keskijäreidellä nykyhinnan (kuvaajassa keltainen käyrä: ”Keskiahinta, €/m³”) mukaiseen taloustulokseen (kuva 10). Runkokertymän ollessa 30 m³/ha tarvittiin jo 22 dm³:n rungon keskijäreys, ja 50 dm³ hehtaarikohtaisella kertymällä 20 dm³:n keskijäreys (kuva 10).

Yhdistelmäkorjuussa, jossa energiapuu korjattiin rankana 20 m³:n muutos hehtaarikohtaiseen hakkupoistumaan (runkotilavuus) merkitsi 1,3 euron muutosta break-even hintaan (€/m³). Keskijäreiden vaikutus break-even hintaan oli 2,9 €/m³ per 10 dm³. Runkokertymän ollessa 70 m³/ha päästiin 12 dm³:n rungon keskijäreidellä nykyhinnan (kuvaaja: ”keskihinta, €/m³”) mukaiseen taloustulokseen (kuva 11). Runkokertymän ollessa 30 m³/ha tarvittiin jo 19 dm³:n rungon keskijäreys, ja 50 dm³ hehtaarikohtaisella kertymällä 15 dm³:n keskijäreys.



Kuva 10. Ainespuun ja kokopuun yhdistelmäkorjuun (integroitu I) break-even hinta hakkupoistuman keskijäreiden suhteen eri runkokuun hakkuukertymillä.



Kuva 11. Ainespuun ja energiarangan yhdistelmäkorjuu (integroitu II) break-even hinta hakkupoistuman keskijäreiden suhteen eri runkokuun hakkuukertymillä.

4.4.3 Korjuutapojen vertailu

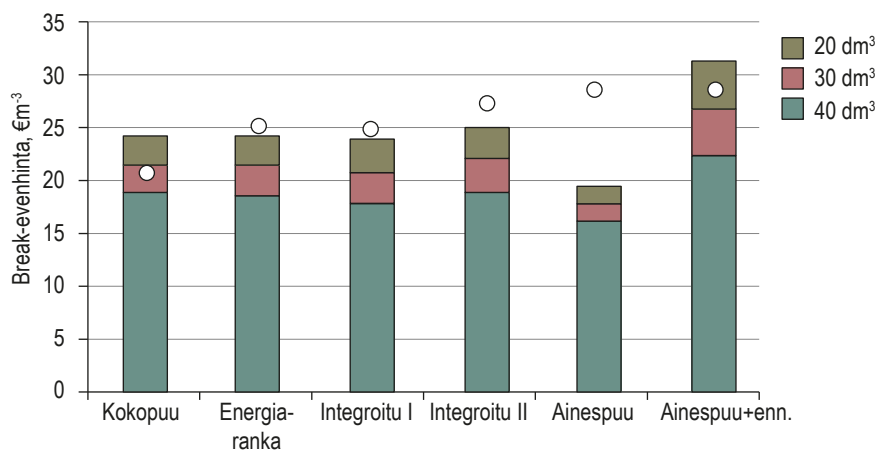
Eri korjuutapojen kannattavuutta verrattiin toisiinsa eri leimikko-olosuhteissa. Malleilla laskettiin break-even hinnat (€/m³) korjuutavoittain vakioimalla hakkupoistuman runkotilavuus (50 m³/ha) ja varioimalla hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuutta (20, 30 ja 40 dm³). Laskelmat tehtiin ilman energiapuun korjuutukea.

Energiapuun korjuutavoista alhaisin break-even hinta (€/m³) kaikilla rungon keskijäreyksillä oli yhdistelmäkorjuussa, jossa energiapuu korjattiin kokopuuna (Integroitu I). Erot energiaranka- ja kokopuukorjuuseen nähden olivat kuitenkin pienet, rungon keskijäreystä riippuen 0,2–1,0 €/m³ (kuva 12). Ero hieman kasvoi keskijäreiden kasvaessa. Yhdistelmäkorjuussa, jossa energiapuu korjataan rankana (Integroitu II), break-even hinta oli puolestaan 1,0–1,3 €/m³ korkeampi. Ainespuukorjuu ennakkoräivauksella johti selvästi korkeimpiin break-even hintoihin kaikilla keskijäreyksillä (kuva 12).

Break-even hinta (€/m³) ei suoraan kuvaa korjuuvaihtoehdon kannattavuutta nykytilanteessa. Korjuuvaihtoehtojen vertailussa tulee huomioida myös puutavarasta maksettava tienvarsihinta: mitä suurempi on tienvarsihinnan ja break-even hinnan välinen erotus, sitä parempi on korjuuta-

van kannattavuus. Energiapuun korjuuvaihtoehdoista kokopuukorjuun kannattavuus oli nykyhinnoilla selvästi heikoin, ja tienvarsihintaa oli break-even hintaa alhaisempi rungon keskijäreiden ollessa 20 ja 30 dm³ (kuva 12). Paras kannattavuus oli yhdistelmäkorjuussa, jossa energiapuun korjataan rankana (Integroitu II): tienvarsihintaa oli 20 dm³:n keskijäreidellä 2,0 euroa korkeampi ja 40 dm³:n keskijäreidellä 8,6 euroa kuin break-even hinta (kuva 12). Energiarangan korjuun ja yhdistelmäkorjuun (Integroitu I) kannattavuus nykyhinnoilla oli samalla tasolla, joskin integroitu korjuu osoittautui kannattavammaksi rungon keskijäreiden kasvaessa. Ainespuuhakkuu ennakkoraivauksella osoittautui kannattamattomaksi vielä 20 dm³:n keskijäreidellä, mutta 30 ja 40 dm³:n keskijäreiksillä tienvarsihintaa oli 1,4 ja 5,8 euroa break-even hintaa korkeampi. Kannattavuus jäi kuitenkin heikommaksi kuin energiarankakorjuussa ja yhdistelmäkorjuussa. Pelkässä ainespuukorjuussa laskennallinen kannattavuus oli selvästi paras, mutta ilman ennakkoraivausta se ei ole kuitenkaan hoitamattomissa metsissä käyttökelpoinen vaihtoehto.

Energiapuutuen ollessa 5 €/m³ kannattavammaksi korjuuvaihtoehdoksi nousi kaikilla keskijäreiksillä energiarangan korjuu (taulukko 8). Yhdistelmäkorjuut olivat seuraavaksi kannattavimmat, joista energiarankamenetelmä (Integroitu II) oli hieman kokopuuvaihtoehtoa (Integroitu I) kannattavampi. Energiapuuvaihtoehdoista kokopuun erilliskorjuun kannattavuus oli heikoin myös tukien (5 €/m³) kanssa, mutta se ohitti kannattavuus vertailussa ainespuuhakkuun ennakkoraivauksella. Energiapuun tuki ei vaikuttanut ainespuun erilliskorjuun tuloksiin.



Kuva 12. Mallien mukainen break-even hinta (€/m³) korjuutavoittain rungon eri keskijäreiksillä (20, 30 tai 40 dm³) hakkuupoistuman ollessa 50 m³/ha (runkopuu). Pylväät esitetty ilman tukia. Eri korjuutapojen mukainen puutavaran nykyinen tienvarsihintaa merkitty ympyrällä.

Taulukko 8. Tienvarsihinnan ja break-even hinnan välinen erotus (€/m³), ilman tukia ja tuen kanssa (5 €/m³) rungon eri keskijäreiksillä kun hakkuupoistuma 50 m³/ha (runkotilavuus). Erotus ilmaisee nettotuloksen tienvarressa hakattua kuutiometriä kohti.

Keskijäreys, dm ³	Ainespuu	Aines+enn.	Kokopuu	Energiaranka	Integroitu I	Integroitu II
<i>Ei tukea:</i>						
20 dm ³	8,7	-3,0	-4,0	0,9	0,2	2,0
30 dm ³	10,3	1,4	-1,3	3,7	4,3	5,4
40 dm ³	11,8	5,8	1,3	6,6	8,0	8,6
<i>Tuki 5 €/m³:</i>						
20 dm ³	8,7	-3,0	1,0	5,9	2,7	4,0
30 dm ³	10,3	1,4	3,7	8,7	6,2	6,6
40 dm ³	11,8	5,8	6,3	11,6	9,4	9,3

5 Tulosten tarkastelua

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää hoitamattomien nuorten metsien energiapuukorjuun kannattavuus eri leimikko-olosuhteissa käyttämällä eri korjuutapoja ja vaihtelemalla energiapuun korjuutukea. Tutkimusaineisto koostui Etelä- ja Keski-Lapissa sijaitsevista yksityisten maanomistajien hoitamattomista nuoren metsän energiapuukohteista eli nk. ”Kemera-kohteista” (12 kpl). Kullekin leimikolle määritettiin kohteen kannattavuus (”tienvarressa”) vaihtehtoisilla korjuutavoilla: energiapuuharvennus kokopuuna (kokopuu), energiapuuharvennus energiarankana (energiaranka), integroitu energia- ja ainespuun korjuu I, (energiapuu kokopuuna), integroitu energia- ja ainespuun korjuu II (energiapuu rankana) ja ainespuukorjuu (ennakkoraivaus). Kaikissa korjuutavoissa sovellettiin runkojen joukkokäsittelyä – siis myös ainespuukorjuussa.

Korjuukohteiden kannattavuuteen vaikuttivat useat eri tekijät kuten leimikon rakenne, puutaveralajien tienvarsihinnat, energiapuutuki ja korjuutapa. Energiapuun korjuutuella oli merkittävä vaikutus leimikon nettotulokseen. Nykyisellä tukijärjestelmällä (Kemera) ja käytetyillä puutaveralajien hinnoilla nettotulot olivat positiivisia kaikissa leimikoissa kaikilla energiapuun korjuutavoilla. Energiapuutuen ollessa 5 €/m³ päästiin positiiviseen nettotulokseen kaikissa leimikoissa, jos korjuutapa valittiin oikein. Sen sijaan ilman energiapuutukea nettotulot pienenevät leimikosta ja korjuutavasta riippuen (keskimäärin 413 €/ha) ja johtivat negatiiviseen nettotulokseen useissa leimikoissa riippuen korjuutavasta ja hakkuukertymän keskijäreystä.

Energiapuutuki vaikutti voimakkaimmin kokopuukorjuun kannattavuuteen: ilman tukia nettotulos pieneni keskimäärin 544 €/ha nykyiseen tukitasoon verrattuna, ja nettotulos jäi negatiiviseksi lähes jokaisessa leimikossa (ainoastaan yhdessä leimikossa positiivinen nettotulos). Sen sijaan viiden euron energiapuutuealla (€/m³) kokopuukorjuussa enää joka kolmannella leimikolla nettotulot jäivät negatiivisiksi. Muilla energiapuun korjuutavoilla 30–40 % leimikoista osoittautui ilman tukia kannattamattomaksi (negatiivinen nettotulos) ja viiden euron energiapuun kuutiotuella negatiiviseen nettotulokseen päädyttiin enää vain muutamassa tapauksessa. Energiapuutuealla oli selvä vaikutus energiapuun leimikon kannattavuuskriteereihin. Ilman tukea energiapuun korjuussa positiiviseen nettotulokseen pääsemiseksi vaadittiin vähintään noin 20 dm³ keskijäreys lukuun ottamatta kokopuukorjuuta, jossa vaadittiin 30–40 dm³ keskijäreys. Energiapuutuen ollessa 5 €/m³ nettotulojen nollaraja saavutettiin keskimäärin noin 10 dm³ pienemmällä keskijäreyksillä. Tämä tulos on käytännön toimijoiden kannalta merkittävä – onhan potentiaalisia energiapuun korjuukohteita merkittävästi enemmän jos kannattavuusraja saavutetaan 10 dm³ pienemmällä keskijäreyksillä.

Energiapuutuki ei pelkästään vaikuttanut leimikoiden kannattavuuteen vaan sillä oli myös ratkaiseva merkitys eri korjuutapojen välisiin kannattavuuseroihin (paremmuusjärjestys). Energiapuutuen pieneminen paransi aines- ja energiapuun yhdistelmäkorjuun asemaa suhteessa energiapuun erilliskorjuuseen. Nykyinen energiapuun tukijärjestelmä (Kemera) suosii energiapuun erilliskorjuuta, etenkin kokopuukorjuuta. Nykyisellä tukitasolla energiarangan erilliskorjuu osoittautui kannattavimmaksi vaihtoehdoksi kaikissa leimikoissa hakkuukertymän määräästä ja keskijäreystä riippumatta. Aines- ja energiapuun yhdistelmäkorjuu sekä kokopuukorjuun kannattavuudet eivät poikenneet juurikaan toisistaan, ja heikoin taloustulos saatiin kun ainespuu- harvennusta edelsi ennakkoraivaus. Energiapuutuen ollessa 5 €/m³ energiarangan erilliskorjuu oli edelleen paras vaihtoehto, mutta kannattavuusero yhdistelmäkorjuumenetelmiin pieneni selvästi. Sen sijaan kokopuun erilliskorjuun kannattavuus tipahti selvästi ja se jäi energiapuun korjuuvai-

toehdoista selvästi heikoimmaksi. Ilman tukia yhdistelmäkorjuumenetelmät osoittautuivat kannattavuudeltaan parhaiksi vaihtoehtoiksi. Energiarangan erilliskorjuussa taloustulos oli samalla alhaisilla ($< 25 \text{ dm}^3$) hakkuukertymän keskijäreyksillä mutta ero yhdistelmäkorjuun hyväksi näytti lisääntyvän keskijäreiden kasvaessa. Ainespuuhakkuu ennakkoraivauksella osoittautui lähes yhtä kannattavaksi kuin energiarangan erilliskorjuu lukuun ottamatta leimikoita, joissa keskijäreys jää alhaiseksi ($< 25 \text{ dm}^3$). Sen sijaan energiapuun erilliskorjuu kokopuuna osoittautui ilman tukia selvästi huonoimmaksi vaihtoehdoksi. Tulos viittaa siihen, että jonkinasteinen tuki kokopuukorjuuseen on perusteltua, ainakin Pohjois-Suomessa. Tuen suuruus, ja ylipäänsä tuen olemassaolo puolestaan määräytyy hyvin pitkälle Suomen ulkopuolella, EUn tukipolitiikan kautta, mikä tietenkin aiheuttaa epävarmuutta ja vaikeuttaa energiapuukohteiden korjuun suunnittelua.

Leimikkotekijöistä hakkukertymän määrä (m^3/ha) ja erityisesti kertymän keskijäreys (dm^3) vaikuttivat kohteen kannattavuuteen. Kertymän keskijäreiden ratkaiseva merkitys energiapuun talteenoton kannattavuuteen on todettu myös aiemmin (esim. Ahtikoski ym. 2008, Kärhä ym. 2009, Laitila & Väätäinen 2012, Laitila 2012). Korkea keskijäreys merkitsi korjuutavasta riippumatta alhaisempia korjuukustannuksia, ja täten myös korkeampia nettotuloja. Sama vaikutus oli myös hakkukertymän määrällä (m^3/ha), joskin sen merkitys jäi keskijäreyttä vähäisemmäksi. Näiden vaikutusta kannattavuuteen hakattua kuutiometriä kohti analysoitiin break-even hinnan (vähimmäishinta, jolla katetaan korjuukustannukset) avulla. Keskijäreiden vaikutus break-even hintaan oli selvä: rungon keskijäreiden kasvu 10 dm^3 :llä pienensi break-even hintaa yhdistelmäkorjuussa noin 3 €/m^3 ja energiapuun erilliskorjuussa 2.8 €/m^3 . Hakkuukertymän lisäys 10 kuutiometrillä per hehtaari pienensi break-even hintaa noin 0.5 €/m^3 .

Yksiselitteisten kannattavuusrajojen asettaminen esim. leimikon keskijäreiden ja hakkukertymän perusteella on vaikeaa. Lisäksi on huomioitava puutavarasta saatava hinta, energiapuutuet ja korjuutapa sekä eri toimijoiden katevaatimukset (esim. metsänomistaja, puunhankintayritys). Laadittujen break-hintamallien avulla voidaan kuitenkin arvioida kohteen kannattavuutta (tienvarressa) hakattua kuutiometriä kohti (€/m^3) vaihtoehtoisissa markkinatilanteissa. Tällöin leimikkotekijöiden (kertymä, keskijäreys) lisäksi on tunnettava puutavarasta maksettava hinta tienvarressa (€/m^3 , €/kW), energiapuun tuki ja toimijoiden katevaatimus. Leimikon kannattavuusrajoja arvioitaessa on syytä ottaa huomioon, että break-even hinta kuvaa puutavarasta tienvarressa maksettavaa vähimmäishintaa (€/m^3), jolla katetaan korjuukustannukset ("0-tulos"). Jos puutavarasta saatava tienvarsihintaa on sama kuin break-even hinta, päädytään nollatulokseen eli puunmyyntituloilla katetaan juuri ja juuri ainoastaan korjuukustannukset ja muille toimijoille ei jää katetta. Jotta toiminta olisi kannattavaa kaikille osapuolille (ks. Tharakan ym. 2005), puusta maksettava tienvarsihintaa on oltava break-even hintaa korkeampi. Usein puunhankintayritys ostaa metsänomistajalta leimikon, hoitaa puun korjuun tienvarseen, ja myy energiapuun edelleen. Tällöin energiapuusta saatavan hinnan (esim. tienvarsihintaa, energiasisältö) pitää kattaa break-even hinnan lisäksi metsänomistajalle maksettavan kantorahan (€/m^3) ja puunhankintayrityksen katevaatimuksen (€/m^3). Tällöin todellinen kannattavuusraja ei ole tienvarsihinnan ja break-even hinnan leikkauspisteessä vaan sitä suuremmissa järeysluokissa (leikkauspisteessä, jossa tienvarsihintaa = break-even hintaa + kantoraha + katevaatimus). Malli break-even hinnalle laadittiin ilman energiapuun tukea. Tuen vaikutus (riippuen mihin se kohdentuu) voidaan ottaa huomioon joko lisäämällä se tienvarsihintaan tai vähentämällä se break-even hinnasta.

Tutkimuksen tuloksia sovellettaessa laskelmissa käytetyt oletukset ja varaukset on syytä ottaa huomioon. Tutkimusaineisto oli varsin pieni ja se oli koostettu nykyisistä energiapuukohteista nk. "Kamera-kohteista". Tämän seurauksena leimikon vaihteluväli varsinkin kertymän keskijäreys-

den suhteen jäi kapeaksi, mikä heikentää tulosten luotettavuutta aineiston ääripäissä. Tästä syystä tarkasteluun ei myöskään otettu mukaan yksinpuin korjuuta vaan pelkästään runkojen joukkokäsittelyyn perustuvat korjuutavat tyypillisellä korjuukalustolla. Tämä on perusteltua myös siksi, että joukkokäsittely on yleistymässä niin energiaranka- kuin yhdistelmäkorjuussakin. Esitettyihin kannattavuustuloksiin vaikuttaa oleellisesti korjuukustannukset. Korjuukustannusten laskennassa on käytetty tiettyjä taustaoletuksia niin konetyypistä kuin leimikko-olosuhteista (mm. metsäkuljetusmatka, ajouraväli). Poikkeamat näistä voivat johtaa erilaisiin tuloksiin.

Kohteiden kannattavuustarkastelu ulotettiin välivarastolle (tienvarteen) eli laskelmissa käytettiin tienvarsihintoja ja korjuukustannuksia tienvarteen toimitetusta puusta (hakkuu + metsäkuljetus). Tämä oli perusteltua, sillä tutkimuksen tavoitteena oli vertailla eri korjuutapojen kannattavuutta ja määritellä leimikkokriteerit, milloin energiapuun talteenotto on liiketaloudellisesti perusteltua eri markkinatilanteissa. Metsäenergian tuotantoketjuun kokonaiskannattavuutta arvioitaessa on otettava huomioon myös leimikon koko ja sijainti, mahdolliset leimikkokeskittymät, haketus- ja kaukokuljetusmenetelmät ja etäisyys käyttöpaikalle sekä eri tavaralajien haketus- ja kuljetustehokkuus ja -kustannukset. Karsitulla rangalla haketuksen ja kaukokuljetuksen tuottavuus sekä hakkeen laatu on kokopuumenetelmää selvästi parempi (Laitila & Väättäinen 2012, Laitila 2012) ja varastointitappiot oletettavasti pienemmät.

Nykyinen energiapuun tukijärjestelmä (Kemera) on muuttumassa, ja on odotettavissa että se tulee pieneneväksi huomattavasti. Nykyisessä järjestelmässä tuki koostuu energiapuun korjuutuksesta, kiinteästä pinta-alatuesta sekä toteutuspalveluksista, jotka pohjautuvat sekä kiinteään osaan (pinta-alaperusteinen) että muuttuvaan, talteen otetusta energiapuumäärästä riippuvaan osaan. Energiapuutuen määrä energiapuukuutiometriä kohti ($\text{€}/\text{m}^3$) on täten riippuvainen energiapuukertymästä (m^3/ha), mutta myös kiinteästä osasta. Tässä tutkimuksessa Kemera-tuki (joka yksinkertaistettiin kiinteään ja muuttuvaan osaan, ilman toteutuspalveluksia) oli kokopuukorjuussa keskimäärin $11.5 \text{ €}/\text{m}^3$ ja energiarangan korjuussa $12.5 \text{ €}/\text{m}^3$. Uudeksi pienpuun energiatuueksi esitetty $5 \text{ €}/\text{m}^3$ ja se ohjautuisi lämmön- tai sähköntuottajalle. Vaikka tuki siirtyisi suoraan energiapuun hintoihin, merkitsee se huomattavaa heikennystä energiapuun korjuun kannattavuuteen nykyiseen tukijärjestelmään verrattuna. Esimerkiksi kokopuukorjuussa metsänomistajalle maksettu kantohinta Kemera-kohteilla on ollut $5\text{--}10 \text{ €}/\text{m}^3$. Uusi tuki merkitsisi sitä, että kokopuun kantohinta jäisi $< 4 \text{ €}/\text{m}^3$, ja osalla kohteita kantohintaa ei voisi maksaa ollenkaan. Tämä puolestaan johtaisi kokopuukorjuun kannattavuuden heikkenemiseen, ja pienpuu korjattaisiin entistä useammin energiarankana tai aines- ja energiapuun yhdistelmäkorjuuna, ainakin Lapissa.

Lähteet

- Ahtikoski, A., Heikkilä, J., Alenius, V. & Siren, M. 2008. Economic viability of utilizing biomass energy from young stands - The case of Finland. *Biomass & Bioenergy* 32(11): 988–996
- Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen, Metsätalouden kehittämiskeskus TAPIO 2010, 31 s.
- Jylhä, P., Dahl, O., Laitila, J. & Kärhä, K. 2010. The effect of supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine harvested from first thinnings. *Silva Fennica*, 44(4): 695–714.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. *Metsäteho raportti* 410. 38 s.
- Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., Nuutinen, Y. & Keskinen, S. 2009. Kokopuun paalaus -tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. *Metsäteho Raportti* 211. 60 s. + 6 liitettä.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Nuutinen, Y. 2007. Forwarding of whole trees after manual and mechanized felling bunching in pre-commercial thinnings. *International Journal of Forest Engineering* 18(2): 29–39)
- Laitila, J., Heikkilä, J., Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central-Finland. *Silva Fennica* 44(3): 465–480.
- Laitila, J. 2012. Methodology for choice of harvesting system for energy wood from early thinning. *Dissertationes Forestales* 143. 68 p.
- Laitila, J., Väättäin, K. 2012. Truck transportation and chipping productivity of whole trees and delimbed energy wood in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33(2): 199–210.
- Laitila, J., Väättäin, K. 2013. The cutting productivity of the excavator-based harvester in integrated harvesting of pulpwood and energy wood. *Baltic Forestry* (2) 2013.
- Laitila, J., Niemistö, P. & Väättäin, K. 2014. Hieskoivikoiden avo- ja harvennushakkuun tuottavuus aines- ja energiapuun yhdistetyssä korjuussa joukkokäsittelymenetelmällä. *Metlan työraportteja 285 / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 285. 37 s.
- Lapin energiastrategia. Lapin liitto 2009, 62 s.
- Lapin bioenergiaraaka-aineen saannon selvitys, 2009, Lapin liitto, 40 s.
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit (Thinning models based on the number of stems). Finnish Forest Research Institute, Research Papers 432. 18 p. (In Finnish).
- Petty, A., Kärhä, K. 2011. Effects of subsidies on the profitability of energy wood production of wood chips from early thinning in Finland. *Forest Policy and Economics* 13: 575–581.
- Tharakan PJ, Volk TA, Lindsey CA, Abrahamson LP, White EH. 2005. Evaluating the impact of three incentive programs on the economics of cofiring willow biomass with coal in New York State. *Energy Policy* 2005;33:337–47.
- Torvelainen, J., Ylitalo, E., Nouro, P. 2014. Puun energiakäyttö 2013. *Metsätalostatiedote* 31/2014. 7 s.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2008. Vuoden 2008 ilmasto- ja energiastrategia, s.41.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2010. Puupolttoaineiden lisäysmahdollisuudet ja sen kustannukset Suomessa vuoteen 2020, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2010, 66 s.