



Soili Kojola



Maarit Haavisto



Jori Uusitalo



Timo Penttilä

Soili Kojola, Maarit Haavisto, Jori Uusitalo ja Timo Penttilä

Vähäpuustoisten ojitusaluemetsiköiden harvennuspuunkorjuun ja jäävän puuston kasvatuksen kannattavuus kolmessa esimerkkileimikossa

Kojola, S., Haavisto, M., Uusitalo, J. & Penttilä, T. 2013. Vähäpuustoisten ojitusaluemetsiköiden harvennuspuunkorjuun ja jäävän puuston kasvatuksen kannattavuus kolmessa esimerkkileimikossa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2013: 19–31.

Tutkimuksessa simuloitiin harvennushakkuu, optimoitiin lähikuljetus sekä ennustettiin jäävän puuston kehitys kolmessa, puustorakenteeltaan erilaisessa esimerkkileimikossa erilaisilla metsänkasvatusvaihtoehdoilla. Esimerkkileimikot kuvasivat monille kunnostusojituskohteille tyypillisiä vähäpuustoisia tai puustorakenteeltaan ryhmittäisiä suon osa-alueita. Puunkorjuun kannattavuutta selvitettiin leimikoille simuloitujen korjuuvaihtoehtojen avulla. Simuloimalla jäävän puuston myöhempi kehitys arvioitiin ensiharvennusvaiheen toimenpiteiden vaikutuksia metsänkasvatuksen kannattavuuteen pitkällä aikavälillä. Tulokset osoittivat, että puuston harventaminen kunnostusojituksen yhteydessä ei aina ole edullisin ratkaisu. Harvennuksen myöhentäminen kunnostusojitusajankohdasta 15–25 vuodella lisäsi oleellisesti harvennuksen ainespuukertymää ja paransi pitkän aikavälin tuotos- ja taloustulosta. Mikäli harvennus kuitenkin tehtiin kunnostusojituksen yhteydessä, voimakas kertaharvennus oli sekä puunkorjuun että pitkän aikavälin tuoton kannalta paras ratkaisu. Harvennuskertymien suureneminen alensi korjuukustannuksia vajaalla 10 prosentilla korjuukelpoisen vähimmäiskertymän tuottavaan harvennusvaihtoehtoon verrattuna. Liian voimakkaissa harvennuksissa, jäävän puuston määrän laskiessa alle asetuksessa säädetyn minimivaatimuksen, kasvutappiot lisääntyivät selvästi ja myös pitkän aikavälin taloustulos heikentyi. Metsänkasvatusvaihtoehtojen väliset erot tuotos- ja taloustuloksissa olivat pienimmillään karuimman kasvupaikan esimerkkileimikossa.

Asiasanat: ojitetut suot, metsänhoito, puunkorjuu, harvennus, kunnostusojitus, simulointi

Yhteystiedot: Metla, Vantaa

Sähköposti soili.kojola@metla.fi

Hyväksytty 17.12.2012

Saatavilla <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff13/ff131019.pdf>

I Johdanto

Ensimmäisen kunnostusojituksen ajankohdalla mäntyvaltaisten ojitusalueiden metsät ovat kehitysluokaltaan pääosin nuoria kasvatusmetsiä. Kaikilla kuvioilla puusto ei ole vielä harvennuskypsää. Kuitenkin, jotta kunnostusojitushankkeesta saataisiin teknisesti selkeä ja toteuttamiskelpoinen kokonaisuus, nämäkin kuviot yleensä sisällytetään hankealueeseen. Kun ojalinjojen avaamisen ohella harvennetaan myös näiden kuvioiden puustot, on useimmiten tuloksena joko pieni ainespuukertymä tai vähäinen jäävän puuston määrä.

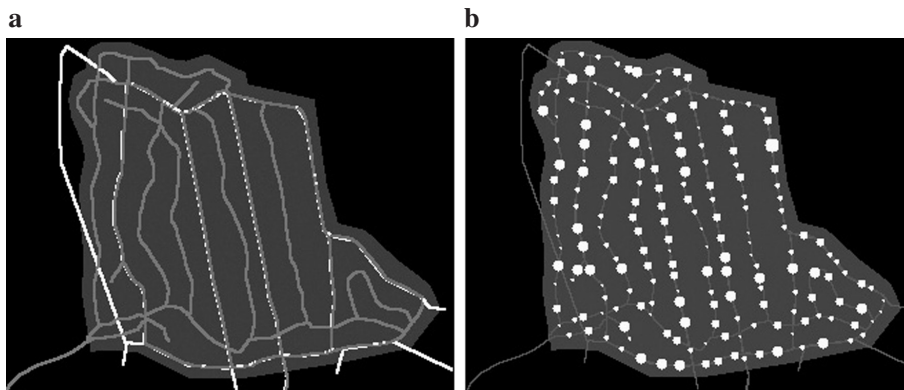
Ojitusaluemetsiä, joiden kunnostusojitus- ja ensiharvennusajankohta lähestyvät, on runsaasti. Ensiharvennukset ovat ajankohtaisia lähes miljoonalla ojitusaluehehtaarilla (Tomppo 2005), ja Valtakunnan metsien inventoinnissa lähimmän kymmenvuotiskauden kunnostusojitustarpeeksi on arvioitu 1,5 miljoonaa hehtaaria (Metinfo 2011). Suurin osa nuorista kasvatusmetsistä on puustoltaan mäntyvaltaisia. Ojitusalueiden metsänhoidon kannattavuuteen kiinnitetään yhä enemmän huomiota, ja etuja haetaan esimerkiksi yhteishankkeista (Aarnio 2005) ja ns. 'kerralla kuntoon' -menettelystä (Hyvän metsänhoidon... 2007). Kasvavat työmäärät tuovat paineita korjuumenetelmien kehittämiseen ja mm. ympärivuotiseen korjuuseen (Sirén 2000, Airavaara ym. 2008, Väättäinen ym. 2010). Hoidettavan alueen suuretessa kunnostusojituksen toteutus vesiensuojelutoimenpiteineen helpottuu (Kittamaa ym. 2010, 2012). Kun kunnostusojituskustannuksia voidaan

kattaa harvennustuloilla ja valtion tukirahoituksella, on hankkeen markkinointi metsänomistajille helpompaa.

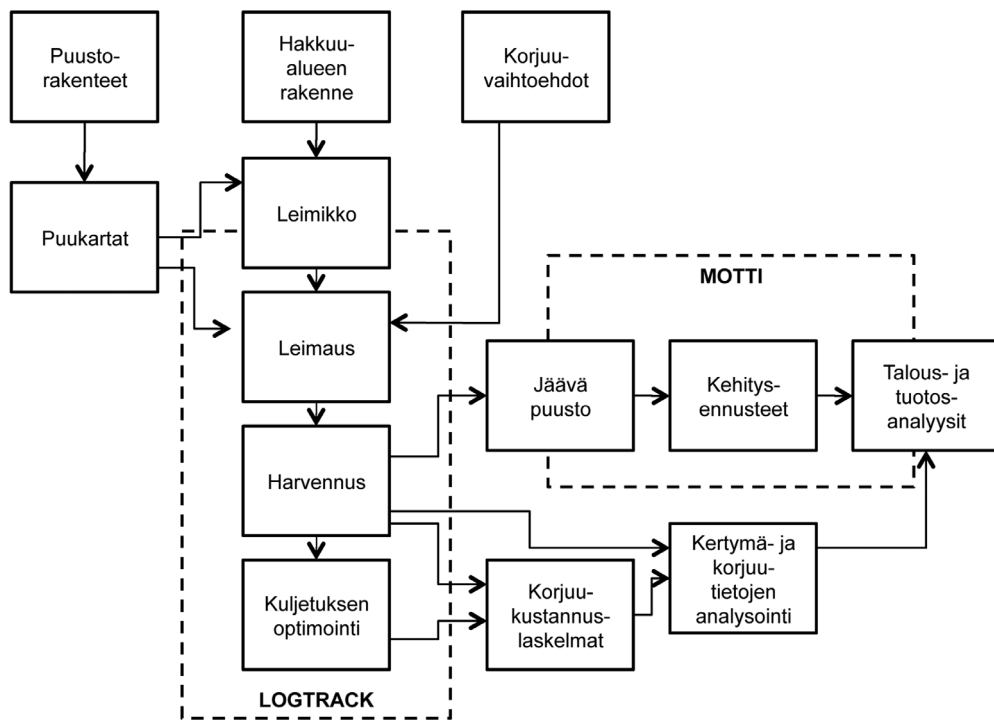
Ensiharvennuksen kannattavuutta pyritään usein parantamaan ainespuukertymää kasvattamalla eli harvennusta voimistamalla (Ylimartimo ym. 2001, Heikkilä 2007). Esiin nousee mm. seuraavanlaisia kysymyksiä: Miten harvennusvoimakkuus vaikuttaa vähäpuustoisten alueiden korjuukustannuksiin? Kuinka ainespuukertymän määrä vaikuttaa metsäkuljetuksen ajanmenekkiin? Mikä on ojalinjojen aukaisun osuus hakkuukertymästä? Entä mitä tapahtuu jäävälle puustolle harvennuksen jälkeen? Tässä tutkimuksessa selvitettiin korjuukustannuksia ja lähikuljetuksen ajanmenekkiä vähäpuustoisten kunnostusojituskohteiden erilaisissa käsittelyissä sekä jäävän puuston kehitystä ensiharvennusvaiheen jälkeen tuotos- ja talousvaikutuksineen. Tarkastelu perustui kolmen esimerkkileimikon yksityiskohtaiseen, lähikuljetuksen optimoinnin sisältävään korjuun simulointiin LOGTRACK-korjuusimulaattorilla (LOGTRACK... 2009). Esimerkkileimikoilla kuvattiin monille kunnostusojituskohteille tyypillisiä vähäpuustoisia tai puustorakenteeltaan ryhmittäisiä suon osa-alueita. Puuston myöhempi kehitys ennustettiin MOTTI-simulaattorilla (Hynynen ym. 2005).

2 Aineisto ja menetelmät

Korjuusimulointeja varten tarvittavat tiedot harvennushakkuualueen oja- ja ajouraverkostosta saatiin Parkanossa sijainneen yksityismetsien ojitusalueen



Kuva 1. LOGTRACK-simulaattorin kuvatulosteet a) hakkuualueen oja- ja ajouraverkostosta ja b) puutavarakasojen sijainneista simuloidun hakkuun jälkeen.



Kuva 2. Tutkimuksen työvaiheet.

harvennushakkuukohteesta. Tästä 4,4 hehtaarin hakkuualueesta kartoitettiin GPS-paikannuksena leimikon rajat, ojasto sekä ajouraverkosto. Ajourien yhteispituus oli varastolle menevät urat mukaan lukien noin 3200 m (kuva 1a). Noin puolet uraverkostosta sijoittui vanhojen ojien päälle ja lähes kaikkien ojalinjosten päällä oli ajoura. GPS-koordinaatit siirrettiin paikkatietojärjestelmään (ArcGIS 1999–2009), jossa muodostettiin korjuusimulointiin tarvittavat kuvioraja-, ojasto- ja ajouratiedostot konvertoimalla vektorimuotoiset tiedostot LOGTRACK-simulaattorille sopivaan matriisimuotoon.

Tutkimuksen kolme leimikkoa muodostuivat, kun hakkuualueelle sijoitettiin rakenteeltaan erilaisten metsiköiden puustotiedot (kuva 2). Puustot valittiin Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) suometsien harvennuskokeilta (Penttilä 2001) ja ne olivat rakenteeltaan esimerkkejä kunnostusojitushankkeisiin usein sisältyvistä, puunkorjuun kannalta ongelmallisista kohteista. Valituista puustorakenteista kaksi (A, B) edusti harvennuskypsyyden nähden aikaista puuston kehitysvaihetta ja yksi (C) ryhmittäistä ja koi-vusekapuustoista metsikkörakennetta (taulukko 1).

Ojitusaluepuustojen harvennustarve määritellään helposti ennen aikaiseksi. Mm. Salomäki ym. (2012) totesivat ojitusalue metsiköiden puunkorjuun ja jatkokasvatuksen kannattavuutta selvittäneessä tutkimuksessaan, että maastoluokittelussa kiireellisiksi harvennuskohdeiksi merkityistä vain noin kolmannes oli saavuttanut harvennussmallien (Hyvän metsänhoidon... 2007) mukaisen harvennuskypsyyden, muiden saavuttaessa sen vasta 5–20 vuoden kuluttua.

Koalapuustot kattoivat 1200–3000 m²:n alueet, jotka ulottuivat saran yli ojalta ojalle. Koalapuustot monistettiin 4,4 ha:n leimikolle 15–35 kertaa säilyttäen ojien ja sarkajaon mukanaan tuoma vaihtelu puuston tilajärjestyksessä. Koeala-aineistojen perusteella tiedettiin yksittäisten puiden sijainti, läpimitta ja läpimittaluokittainen keskipituus sekä laatutunnuksia. Siten kaikki hakkuissa poistettavat puut voitiin valita puukohtaisesti. Kehityssimulointeja varten kukin leimikko sijoitettiin niihin kasvupaikka- ja lämpösummaoloihin, joista puustorakenteet oli valittu (taulukko 1).

Taulukko I. Leimikoiden puustokuvauksiin käytetyt Suometsien harvennuskokeet ja niistä johdetut puustojen lähtötilanteet.

Leimikko	Kokeen tiedot Kunta, koenumero	Kasvu- paikka	Ojitus- ikä ^a , v	Leimikon lähtöpuusto			Keski- läpimitta ^b , cm	Tilavuus, m ³ /ha			Koivun osuus, % tilavuudesta
				Runko- luku, Kpl/ha	Pohja- pinta-ala m ² /ha	Valta- pituus, m		Elävä puusto	Tukki	Kuitu	
A	Viitasaari, 5916	Vatkg	36	752	12	14	16	81	4	74	0
B	Rovaniemi, 5932	Ptkg II	64	1519	16	10	13	82	0	76	0
C	Pyhäjärvi, 5958	Ptkg II	15	2500	19	12	12	101	0	78	22

^a Aika ensimmäisestä ojituksesta simulointien alkuketkeen.

^b Pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta.

Korjuuvaihtoehtojen valinnalla havainnollistettiin niitä vaihtoehtoja, joita tulee harkittavaksi kunnostusojitusta alueelle suunniteltaessa ja 'kerralla kuntoon' -menettelyssä: ei tehdä lainkaan toimenpiteitä, hakataan pelkät ojalinjat tai ojalinjosten aukaisun lisäksi harvennetaan puusto. Jälkimmäisessä tapauksessa harvennusajankohta ja voimakkuus voidaan määrittellä monella tavalla. Vertailtaviksi korjuuvaihtoehtoiksi määriteltiin a) pelkkien ojalinjosten ja ajourien hakkuu, b) harvennus kannattavana pidetyn ensiharvennuskertymän saavuttamiseksi, c) harvennus lakirajan tuntumaan d) harvennus lakirajan alle, e) kuten vaihtoehto a, mutta harvennus simuloituna myöhemmän ajankohtana (15–25 vuoden kuluttua). Lisäksi passiivinen, toimenpiteetön vaihtoehto tuotettiin vertailutasoksi pitkän aikavälin tuotos- ja taloustarkasteluille. Vaihtoehdossa b kannattavana ensiharvennuskertymänä pidettiin 35 m³/ha ainespuukertymää. Tätä pienemmissä ensiharvennuskertymissä puunkorjuun yksikkökustannukset nousevat erittäin korkeiksi ja käytännön puunkorjuussa tätä pidetään yleisesti minimirajana kannattavalle korjuulle. Vaihtoehdossa c ja d lakirajalla tarkoitettiin Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (528/2006) määriteltyä kasvatettavan puuston vähimmäistiheyttä harvennuksen jälkeen. Lopullinen harvennusvoimakkuus ja jäävän puuston tiheys määräytyivät edellä kuvatulla tavalla LOGTRACK-simuloinneissa, joten niitä ei voitu asettaa täsmällisesti etukäteen (vrt. taulukko 4).

Korjuuvaihtoehtot toteutettiin LOGTRACK-simulaattorilla, joka on Metlan ja Tampereen Teknillisen Yliopiston yhteistyössä kehittämä ohjelmisto hakkuun ja metsäkuljetuksen simulointiin (LOGTRACK... 2009, Uusitalo ym. 2010). LOGTRACKin avulla voidaan etsiä metsäkuljetuksen

optimivaihtoehtoja, vertailla ajourien eri osien vahvistamisen vaikutusta kuljetuksen onnistumiseen erilaisilla uraverkostoilla ja puutavarakertymillä sekä tehdä metsäkuljetuksen aikatuotostutkimusta. Simulaatiossa tarvittavista lähtötiedoista urat, ojat ja leimikkorajat luetaan karttapohjaisista tiedostoista ja puuston tiedot taulukkomuotoisesta tiedostosta. Simulaatiota ohjataan asetustiedoston avulla, jossa määritellään halutut ajoasetukset ja -rajoitteet, kuten varastopaikan koordinaatit, urien ajorajoitteet (erilaisille urille erilaiset maksimijokerrat tyhjällä, vajaalla ja täydellä kuormalla), kierroksen maksimipituus, kääntymisten enimmäismäärä ja simulointikierrosten määrä.

Hakkuun simuloinnissa LOGTRACK poistaa ajourapuuston sekä puustotiedostossa leimatuiksi merkityt puut hakkuukoneen ulottuvilta (etäisyys määriteltävissä) kasoihin puutavaralajeittain (kuva 1b). Kuljetussimulaatio alkaa mahdollisten ajokierrosten listauksella. Rajoitteista huolimatta mahdollisten ajokierrosten lukumäärä simuloinnin kohteena olevassa leimikossa (kuva 1a) on yli tuhat. Seuraavassa vaiheessa simulaattori optimoi annettujen rajoitusten vallitessa sen reittikokonaisuusvaihtoehdon, joka minimoi kaikkien ajettujen reittien ajanmenekin. Simulaattori tulostaa optimiratkaisusta ajanmenekki- ja tuotostiedot kuormittain sekä visualisoi ajoreitit ja metsänpohjan vaurioitumisen ajoreitistön eri osissa.

Simuloinnissa käytettäviä ajouraleveyksiä voidaan säätää ajouratyypeittäin (kokooja-, keruu- tai hakkuu-ura) asetustiedoston parametrien avulla. Suurin mahdollinen ajokertojen määrä on asetettavissa erikseen jokaiselle ajouratyypille ja hakkuukonekuormatraktori -yhdistelmälle. Tässä tutkimuksessa normaaliksi ajouraleveydeksi määritettiin 4,5 m.

Osa lähempänä varastopaikkoja sijainneista ajourista määritettiin 6 m leveiksi kokoojauriksi. Suurimman sallitun ajokertojen määrän oletettiin olevan kokoojaurilla 1,5-kertainen normaaliin ajouraan verrattuna.

Tässä tutkimuksessa LOGTRACK-simulaattori hyödynsi hakkuussa ja kuljetuksen optimoinnissa niitä puiden tilavuus- ja puutavaralajitietoja, jotka puiden sijaintitietojen lisäksi oli siirretty koeala-aineistoista esimerkkileimikoille. Ensimmäisessä hakkuusimuloinnissa poistettiin ajourien ja ojalinjien puusto (leimikon ulkopuolisen varastouran osuutta ei puumäärissä huomioitu). Loppuosa puustosta leimattiin puukartan avulla kunkin korjuuvaihtoehdon edellyttämällä tavalla. Leimaustiedot siirrettiin LOGTRACK-simulaattoriin ja hakkuu toteutettiin. Puutavara apteerattiin yleisesti käytössä olevilla mitoilla, kuitupuu 6 cm minimilatvaläpimittaan.

Simuloidut hakkuut toteutettiin keskiraskaan hakkuukoneen ja metsäkuljetus keskiraskaan kuormatraktorin tiedoilla. LOGTRACK optimoi kuljetuksen ajanmenekin sen mukaan, miten eri puutavaralajeja oli kertynyt kasoihin eri puolille leimikkoja (kuva 1b). LOGTRACK laskee valitsemilleen optimaalisille reiteille lähikuljetuksen tehoajanmenekin Nurmisen ym. (2006) malleilla. Näitä estimaatteja käytettiin lähikuljetuksen ajanmenekin laskennan pohjana. Hakkuun ajanmenekin estimaatti johdettiin niin ikään Nurmisen ym. (2006) malleilla, jotka perustuvat harvennuksessa poistettavan puuston runkolukuun ja keskitilavuuteen. Hakkuun ja lähikuljetuksen tehoajanmenekit muutettiin enemmän todellista ajanmenekkiä kuvaavaksi nettoajanmenekeiksi Kuiton ym. (1994) ja Nurmisen ym. (2006) tutkimuksissa ehdotetuilla kertoimilla.

Hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuntikustannuslaskelmat tehtiin Uusitalon (2003) ehdottamalla tavalla. Laskelmissa käytetyt kustannustekijät sekä niiden vaikutukset hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuntikustannuksiin esitetään taulukoissa 2 ja 3. Peruslaskelmassa (taulukko 2), joka perustuu sekä hakkuukoneella että kuormatraktorilla 2978 tunnin kokonaistyöaikaan ja 200 tunnin siirtotyöaikaan (Väätäinen ym. 2006), saatiin vuoden 2010 kustannustasoa käyttäen hakkuukoneen tuntikustannukseksi 91,57 €/h ja kuormatraktorin tuntikustannukseksi 66,59 €/h. Peruslaskelman lähtökohtana oli, että yksittäisen koneen siirto kestää noin 2 h,

siirtoja on yhteensä noin 100 ja niistä noin kolmannes harvennushakkuukohteilla. Mikäli hakkuu tai lähikuljetus vie selvästi oletettua vähemmän aikaa, on siirtotyöaikaa lisättävä ja koneen käyttöaikaa vähennettävä. Siirtojen määrä vaikuttaa myös varsinaisiin siirtokustannuksiin, jotka saadaan kertomalla siirtokaluston matkaperustainen käyttökustannus siirtomatkan yhteismäärällä. Korvaamalla taulukossa 2 lihavoinnilla merkityt kustannusparametrit taulukon 3 kustannusparametriarvoilla päädytään taulukon 3 mukaisiin tuntikustannusarvoihin.

Erilaisten korjuuvaihtoehtojen vertailu kunnostusojituksen ajankohdalla ('kerralla kuntoon' -menettelyssä) oli ensimmäinen tarkastelun kohde. Toinen oli pitkän aikavälin metsänkasvatuksen kannattavuus alkutilanteessa toteutettujen toimenpiteiden jälkeen. Jälkimmäistä tarkoitusta varten laadittiin kunkin leimikon kasvupaikka- ja ilmasto-olojen mukaiset puustojen kehityssennusteet MOTTI-simulaattorilla. MOTTI on Metlassa kehitetty puuston kehitystä kuvaava ohjelmisto (Matala ym. 2003, Hynynen ym. 2005, Salminen ym. 2005), joka sisältää mallit myös ojitettujen soiden puuston kasvun ja kuoleamisen sekä toimenpiteiden vaikutusten enustamiseen (mm. Hökkä 1997, Hökkä ym. 1997, Hökkä ym. 2000, Hynynen ym. 2002, Jutras ym. 2003, Hökkä ja Salminen 2006).

Jäävän puuston kehitys simuloitiin kunnostusojitusajankohdasta päätehakkuuseen saakka erilaisilla metsänkasvatusvaihtoehdoilla. Kannattavuutta tarkasteltiin tämän ajankohdan ja päätehakkuun välisellä ajanjaksolla vertaamalla kullekin leimikolle simuloituja vaihtoehtoja keskenään. Päätehakkuut toteutettiin metsänhoitosuosituksen (Hyvän metsänhoidon... 2007) mukaisesti puuston keskiläpimitan perusteella leimikoilla A ja C (40 v. ja 50 v. simuloinnin alusta) ja puuston iän perusteella leimikolla B (45 v. simuloinnin alusta). Päätehakkuuajankohdat määritettiin samoiksi kunkin leimikon kaikissa metsänkasvatusvaihtoehdoissa, jolloin erilaiset hakkuut eivät vaikuttaneet puuston keskiläpimitan kautta päätehakkuuajankohtaan, eivätkä päätehakkuutulojen odotusaikoihin, jotka haluttiin vakioida.

Kehityssennusteiden perusteella selvitetiin eri metsänkasvatusvaihtoehtojen tuottamat käyttöpuun tuotokset sekä taloustulokset tarkasteluajankohdasta päätehakkuuseen ulottuvalta jaksolta. Puutavaralajit hinnoiteltiin vuosien 2001–2010 keskimääräisin

Taulukko 2. Hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuntikustannuslaskelma, joka perustuu vuoden 2010 kustannustasoon. Laskelmassa on lihavoitu ne kustannusparametrit, joiden tilalla tässä tutkimuksessa käytettiin taulukossa 3 esittyjä lukuja.

Kustannustekijä	Hakkuu- kone	Kuorma- traktori	Yksikkö	Kustannustekijä	Hakkuu- kone	Kuorma- traktori	Yksikkö
Työskentely yhdessä työvuorossa	6	6	kk/v	Työvoimakustannukset			
Työskentely kahdessa työvuorossa	5	5	kk/v	Työmaa-ajan palkka	12,5	11,50	€/h
Kokonaisaika	52	52	vko	Iltavuorolisä	0,80	0,80	€/h
Seisonta-aika	4	4	vko	Välilliset palkkakustannukset	66	66	%
Työaika	48	48	vko	Kulkemiskorvaukset	0,45	0,45	€/km
Työvuoron pituus	8	8	h	Korvattavan työmatkan pituus	60	60	km/vuoro
Työpäiviä kuukaudessa	21,7	21,7	pv	Ateriakorvaus	8,75	8,75	€/pv
Työpäiviä yhteensä	239	239	pv	Ateriakorvaus	100	100	pv/v
Työvuoroja yhteensä	347	347	kpl	Muuttuvat kustannustekijät			
Työmaa-aika	2778	2778	h	Polttoaineen kulutus	12,00	10,75	litraa/h
Käyttöaika (85%/90% työmaa-ajasta)	2361	2500	h	Polttoaineen hinta	0,63	0,63	€/litra
Muu työmaa-aika	417	278	h	Moottoriöljyn kulutus	0,10	0,10	litraa/h
Siirtoaika	200	200	h	Moottoriöljyn hinta	0,97	0,97	€/litra
Kokonaistyöaika	2978	2978	h	Vaihteistoöljyn kulutus	0,10	0,10	litraa/h
Kiinteät kustannustekijät				Vaihteistoöljyn hinta	1,25	1,25	€/litra
Alustakoneen uushankintahinta (lisävarusteineen)	298500	245000	€	Hydrauliöljyn kulutus	0,20	0,20	litraa/h
Alustakoneen pitoajan käyttötunnit	13000	15000	h	Hydrauliöljyn hinta	1,30	1,30	€/litra
Alustakoneen pitoaika	5,51	6,0	v	Teräketjuöljyn kulutus	0,57		litraa/h
Alustakoneen arvonalenemis-%	23	20	%	Teräketjuöljyn hinta	1,35		€/litra
Alustakoneen vaihtoarvo	70784	64220	€	Teräketjun kesto	0,055		kpl/h
Hakkuulaitteen hankintahinta	52500		€	Teräketjun hinta	16,00		€/kpl
Hakkuulaitteen pitoajan käyttötunnit	7000		h	Laipan kulutus	0,02		kpl/h
Hakkuulaitteen pitoaika	3		v	Laipan hinta	55,00		€/kpl
Hakkuulaitteen arvonalenemis-%	35		%	Värimerkkausaineen kulutus	0,30		litraa/h
Hakkuulaitteen vaihtoarvo	14638		€	Värimerkkausaineen hinta	1,25		€/litra
Korko	2,5	2,5	%	Korjaus ja huolto keskim.	11,00	8,30	€/h
Vakuutukset (liikenne, palo, jne.)	2700	1850	€/v	Siirtokustannukset	1,62	1,62	€/km
Hallinto ja ylläpito	7400	4800	€/v	Konesiirtomatkat vuodessa	7000	7000	km
Yrittäjäriski (lisätään vuotuisiin käyttökustannuksiin)	5	5	%	Kustannukset yht. (sisältää yrittäjäriskin)	216194	166462	€/v
					91,57	66,59	€/h

Taulukko 3. Koneen keskimääräisen leimikkokohtaisen ajanmenekin vaikutus vuotuisen siirtotyöaikaan, käyttöaikaan, konesiirtojen km-määriin sekä hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuntikustannuksiin. Lihavoidut luvut vastaavat taulukossa 2 esitettyä peruslaskentaa.

Koneen keskim. ajanmenekki leimikossa, tpv	Koneen siirtotyöaika, h/v	Siirtoja vuodessa, kpl	Konesiirto- matkat vuodessa, km	Hakkuu- koneen käyttö- aika, h/v	Kuorma- traktorin käyttöaika, h/v	Hakkuu- koneen tunti- kustannus, €/h	Kuorma- traktorin tunti- kustannus, €/h
7,2	100	50	3500	2446	2590	87,23	62,78
4,8	150	75	5250	2403	2545	89,36	64,65
3,6	200	100	7000	2361	2500	91,57	66,59
2,9	250	125	8750	2318	2455	93,85	68,59
2,4	300	150	10500	2276	2410	96,22	70,67
2,1	350	175	12250	2233	2365	98,66	72,82
1,8	400	200	14000	2191	2320	101,2	75,02

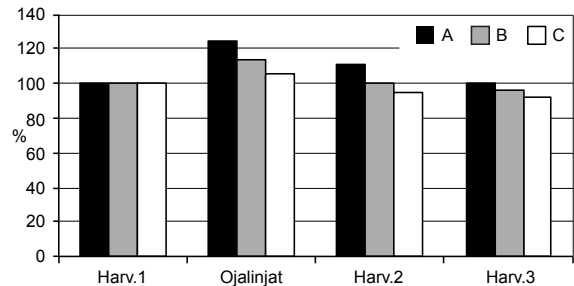
kantohinnoin (Metinfo 2011). Kunnostusojitukselle käytettiin 240 euron hehtaarikustannusta. Kannattavuusvertailussa käytettiin nettotulojen nykyarvoa (NNA) 2 % ja 3 % korkokannoilla. Yksityismetsätalouden kannattavuustarkasteluissa käytetään yleisesti 2–4 % korkoa. Tässä tutkimuksessa käytettiin kantohintoja, jolloin noin 2 % korko vastaa yksityismetsätaloudessa tuotto-odotusta verojen jälkeen, kun inflaatio oletetaan hyvin pieneksi (Hyytiäinen ja Tahvonen 2005). Karuhkoilla kasvupaikoilla 3 %:a korkeampi metsänkasvatuksen keskimääräinen tuotto olisi epätodennäköinen. Lisäksi hyvin pitkän aikavälin tarkastelut puoltavat suhteellisen alhaisen tuotto-odotuksen käyttöä (Hepburn ja Koundouri 2007). Kuhunkin metsänkasvatusvaihtoehtoon sisältyvien toimenpiteiden nettotulot diskontattiin tarkasteluhetkeen, joka oli kunnostusojituksen ajankohta ('kerralla kuntoon' -menettelyn ajankohta).

Vähäpuustoisissa kohteissa tai suhteellisen varhain toteutettavissa harvennuksissa korjuukertymä voi nousta kynnyskysymykseksi toimenpiteen kannattavuudelle. Kertymän pieni määrä ja runkojen pieni koko nostavat korjuun yksikkökustannuksia. Jotta tämä vaikutus saatiin edes jossain määrin huomioituksi, skaalattiin hintoja seuraavasti: noin 35 m³/ha tuottavassa ensiharvennuksessa säilytettiin alkuperäiset hinnat ja muissa hintoja nostettiin tai laskettiin korjuukustannusten suhteessa. Skaalautut hinnat mahdollistivat ensiharvennuskertymän määrän vaikutuksen huomioon ottamisen pitkän aikavälin laskelmissa, ja samalla saatiin eräänlainen herkkyysoanalyysi kunnostusojitusajankohdan korjuuvaihtoehdoille.

3 Tulokset

3.1 Puunkorjuun kannattavuus kunnostusojitusajankohdalla

Hehtaarikohtainen ainespuukertymä oli ojalinjat ja ajourat aukaisevassa hakkuussa 16–19 m³/ha eli noin puolet kannattavana kertymänä pidetystä määrästä. Noin 35 m³/ha ainespuukertymän tuottavan hakkuun jälkeen jäävän puuston pohjapinta-ala oli 6–11 m²/ha. Leimikolla B kannattava kertymä edellytti lakirajan mukaisiin tiheyksiin johtavaa hakkuu-



Kuva 3. Korjuukustannukset suhteutettuna kunkin leimikon 35 m³/ha ainespuukertymän tuottavan vaihtoehdon (Harv.1) korjuukustannuksiin. Hakkuutavat ks. taulukko 4.

ta ja leimikolla A vieläkin voimakkaampaa hakkuuta (taulukko 4). Myöhemmin toteutuvaksi simuloitu harvennus (A 20, B 25 ja C 15 vuoden kuluttua) tuotti 43–81 m³/ha ainespuukertymän.

Korjuukustannukset olivat ojalinjahakkuissa enimmillään 24 % suuremmat ja voimakkaammassa harvennuksissa 8 % pienemmät verrattuna 35 m³/ha tuottavaan hakkuuseen (kuva 3). Kertymän suureneminen alensi hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannuksia yhteensä enimmillään 2–3 €/m³. Kalteinta korjuu oli alhaisimman puustotiheyden esimerkkileimikolla A.

Runkojen keskitilavuudet olivat korjuuvaihtoehdossa a 72 (vaihteluväli 54–105) dm³, vaihtoehdossa b 66 (50–97) dm³, vaihtoehdossa c 65 (51–91) dm³ ja vaihtoehdossa d 68 (52–97) dm³. Hakkuun ajanmenekit vaihtelivat puumäärän mukaan 1,2–6,5 työpäivään (taulukko 5). Kuljetuksen ajomatkat ja ajanmenekit vaihtelivat puumäärän, puutavaralajien määrän (leimikolla C myös koivua) sekä kullakin uralla mahdollisten ajokertojen määrän mukaan (taulukko 5).

Kunnostusojitusajankohdan vaihtoehdoista voimakkaaimman harvennuksen vaihtoehto d oli kannattavin (suurin ainespuukertymä (taulukko 4) ja alimmat korjuukustannukset (kuva 3)). Kun kunnostusojitusajankohdan vaihtoehtoja vertailtiin kantohintatuloina, joissa otettiin huomioon hakkuukertymän määrän vaikutus, voimakkaaimman harvennuksen edullisuus luonnollisesti korostui. Hintojen skaalaus vaikutti siten, että esimerkiksi leimikolla C kantohinta oli ojat ja urat -vaihtoehdossa a noin 5 % alempi (kerroin 0,94), lakirajan mukaisiin tiheyk-

Taulukko 4. Simuloidut hakkuukertymät (m^3/ha) ja jäävän puuston tiheys (pohjapinta-ala, ppa , m^2/ha) eri korjuuvaihtoehdoissa. Vaihtoehdoissa a–d hakkuu toteutettiin heti (kunnostusojituksen ajankohdalla), vaihtoehdossa e harvennus toteutettiin myöhemmin. Leimikon koko kaikissa vaihtoehdoissa oli 4,4 ha.

Tavoite	a Ojalinjahakkuu Ojat+ajourat		b Harvennus 1 Ainespuukertymä 35 m^3/ha		c Harvennus 2 Puusto lakirajan tuntumaan		d Harvennus 3 Puusto alle lakirajan		e Myöh. harvennus ^a	
	Jäävä ppa, m^2/ha	Kertymä, m^3/ha	Jäävä ppa, m^2/ha	Kertymä, m^3/ha	Jäävä ppa, m^2/ha	Kertymä, m^3/ha	Jäävä ppa, m^2/ha	Kertymä, m^3/ha	Jäävä ppa, m^2/ha	Kertymä, m^3/ha
A	9,6	17,4	6,4 ^b	37,7 ^b	8,0	27,3	6,4 ^b	37,7 ^b	10	43
B	12,8	16,2	8,5 ^b	35,4 ^b	8,5 ^b	35,4 ^b	6,4	45,5	11	62
C	14,8	18,7	10,9	32,7	8,7	43,0	6,4	53,3	14	81

^a Leimikko A 20 v kuluttua, leimikot B ja C leimausrajalalla.

^b Leimikoiden kaksi tavoitetta toteutui samalla simuloinnilla.

Taulukko 5. Hakkuun ajanmenekit ja kuljetuksen optimiratkaisujen bruttoajanmenekit työpäiviksi (tpv) muutettuna sekä kokonaisajomatkat.

Tavoite	a Ojalinjahakkuu Ojat+ajourat			b Harvennus 1 Ainespuukertymä 35 m^3/ha			c Harvennus 2 Puusto lakirajan tuntumaan			d Harvennus 3 Puusto alle lakirajan		
	Ajanmenekki, tpv Hakkuu	Ajo- Kuljetus	matka, m	Ajanmenekki, tpv Hakkuu	Ajo- Kuljetus	matka, m	Ajanmenekki, tpv Hakkuu	Ajo- Kuljetus	matka, m	Ajanmenekki, tpv Hakkuu	Ajo- Kuljetus	matka, m
A	1,2	2,2	19572	2,8 ^a	3,2 ^a	25340 ^a	2,2	2,5	21421	2,8 ^a	3,2 ^a	25340 ^a
B	2,0	1,4	10292	4,6 ^a	2,4 ^a	17270 ^a	4,6 ^a	2,4 ^a	17270 ^a	5,7	2,9	20938
C	2,2	1,6	11630	4,2	2,2	16307	5,4	2,8	20104	6,5	3,4	24750

^a Leimikoiden kaksi tavoitetta toteutui samalla simuloinnilla.

siin johtavassa hakkuussa c 5 % parempi (kerroin 1,05) ja voimakkaimmassa hakkuussa d noin 10 % parempi (kerroin 1,08) kuin 35 m^3/ha tuottavassa vaihtoehdossa b. Myöhemmälle harvennukselle käytettiin kerrointa 1,2. Kunnostusojituskustannus saatiin välittömästi katettua kaikissa varsinaisten harvennusten vaihtoehdoissa, mutta ojat- ja urat -vaihtoehdossa ainoastaan leimikolla C.

3.2 Metsänkasvatuksen kannattavuus pitkällä aikavälillä

Jäävän puuston (taulukko 4) kehitysnusteiden mukaan kunnostusojitusajankohdan korjuuvaihtoehtojen a–d seurauksena kokonaistuotokset olivat 117–349 m^3/ha ja keskimääräiset vuotuiset käyttöpuun kasvut kunnostusojituksen ja päätehakkuun välisellä ajanjaksolla 3,5–6,3 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$ (taulukko 6). Kokonaistuotos pienentyi harvennusvoimakkuuden kasvaessa. Myöhemmän harvennuksen vaihtoehdos-

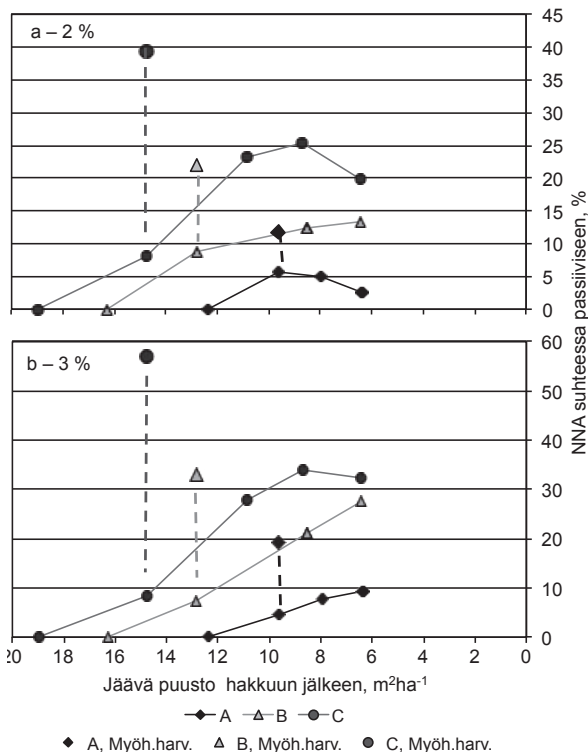
sa saavutettiin päätehakkuuseen mennessä 159–326 m^3/ha kokonaistuotos ja 3,4–6,5 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$ keskimääräinen vuotuinen käyttöpuun kasvu (taulukko 6). Harvennuksen myöhentämisellä saavutettiin keskimäärin 37 % suurempi kokonaistuotos ja keskimäärin 7 % suurempi käyttöpuun kasvu ($\text{MAI}_{\text{merch}}$) verrattuna kunnostusojituksen yhteydessä tehtävän voimakkaimman harvennuksen tuottamaan tulokseen.

Paras pitkän aikavälin taloustulos kunnostusojitusajankohdan ja päätehakkuun välisellä ajanjaksolla saavutettiin poikkeuksetta myöhemmän harvennuksen tuloksena sekä 2 % että 3 % korolla (kuva 4). Kunnostusojituksen yhteydessä tehdyistä harvennuksista parhaan pitkän ajan taloustuloksen antoivat suhteellisen voimakkaat hakkuut (kuva 5). Myöhemmän harvennuksen vaihtoehto säilyttäisi paremmuutensa (leimikot A ja C) tai olisi samaa suuruusluokkaa (leimikko B) kuin välittömien hakuiden vaihtoehdot myös silloin, jos kasvatusajalla toteutettaisiin toinenkin kunnostusojitus.

Taulukko 7. Nettotulojen nykyarvo (NNA, €/ha) eri vaihtoehdoissa 2 ja 3% korolla kunnostusajankohdan ja päätehakkuun välisellä ajanjaksolla.

Tavoite	0		a		b		c		d		e	
	Passiivinen Ei toimenpiteitä ennen päätehakkuuta		Ojalinjahakkuu Ojat+ajourat		Harvennus 1 Ainespuukertymä 35m ³ /ha		Harvennus 2 Puusto lakirajan tuntumaan		Harvennus 3 Puusto alle lakirajan		Myöh. harvennus ^a	
Leimikko	NNA, 2%	NNA, 3%	NNA, 2%	NNA, 3%	NNA, 2%	NNA, 3%	NNA, 2%	NNA, 3%	NNA, 2%	NNA, 3%	NNA, 2%	NNA, 3%
A	2353	1593	2486	1664	2412	1744	2472	1717	2413	1744	2631	1900
B	1610	1038	1754	1117	1809	1256	1809	1256	1825	1325	1964	1379
C	2817	1729	3046	1873	3468	2211	3531	2317	3378	2287	3922	2712

^a Leimikko A 20 v kuluttua, leimikot B ja C leimausräjällä



Kuva 5. Metsänkasvatusvaihtoehtojen tuottamat taloustulokset a) 2% ja b) 3% korolla. Harvennuksia sisältävien vaihtoehtojen suhteellinen nettotulojen nykyarvojen lisäys passiiviseen vaihtoehtoon verrattuna kuvattuna suhteessa harvennusvoimakkuuteen. Katkoviivat osoittavat kunkin leimikon ojalinjahakkuun ja myöhemmän harvennuksen yhdistelmällä saavutettavan taloustuloksen.

voimistuessa vaikutti korjuukustannuksiin verrattain vähän, vaikka laskelmassa oli huomioitu hakkuun ja ajon leimikkokohtaisen ajanmenekin vaikutus hakkuun ja lähikuljetuksen vuotuiseseen siirtotyöaikaan ja siirtokustannukseen.

Myöhempiin ajankohtiin simuloituissa harvennuksissa saatiin suuremmat ainespuukertymät kuin kunnostusajituksen yhteydessä tehdyissä harvennuksissa. Lisäksi saavutettiin pitkällä aikavälillä paremmat metsänkasvatuksen tuotos- ja taloustulokset. Vaihtoehdon paremmuus säilyi myönteisessä toisen kunnostusajituksen kustannus myöhemmän harvennuksen yhteyteen. Salomäen ym. (2012) tutkimuksessa Etelä-Pohjanmaan varpu- ja puolukkaturvekankaiden ensiharvennuskertymät olivat keskimäärin 60 m³/ha nykysuositusten mukaisella harvennustavalla ja ajouraleveydellä. Samalla menettelyllä oli saatu myös parhaat koko kasvatusajan ainespuutuotokset ja taloustulokset (NNA 3%) erilaisten ajoura- ja hakkuutapavaihtoehtojen vertailussa.

Ainespuukertymän määrän huomioon ottaminen kantohinnoissa paransi voimakkaimpien ensiharvennusten välitöntä kannattavuutta. Pitkän aikavälin tarkasteluissa vaikutus oli kuitenkin vähäinen ja myöhäisemmän harvennuksen vaihtoehto pysyi edullisimpana kaikista tarkastelluista metsänkasvatusvaihtoehdoista, vaikka sen hintatasossa kertymän vaikutusta ei olisikaan huomioitu. Näin ollen kunnostusajitusalueella olevia vähäpuustoisia osia ei kaavamaisesti kannattaisi harventaa 'kerralla kuntoon' siitäkään huolimatta, että ojalinjat ja osa ajourista on avattava kunnostusajitusta ja muiden kuvioiden harvennusta varten. Vähäpuustoisten kuvioiden harvennusten myöhentäminen parikymmentä vuotta kunnostusajituksen ajankohdasta eteenpäin paransi

kokonaistulosta riippumatta siitä oliko vähäpuustoisuuden syynä riukuasteen kehitysvaihe vai harva-asetoinen, hieman järeämpirunkoinen puusto. Kunnostusojitusalueilla, joilla vähäpuustoisia osia on runsaasti, tulisi osista muodostaa omia selvästi myöhemmin käsiteltäviä toimenpidekokonaisuuksia (Kojola ja Penttilä 2012).

Esimerkkipuustojen erilaiset kasvuolosuhteet vaikuttivat pitkän ajan tuotos- ja taloustuloksiin jossain määrin. Karuimmalla kasvupaikalla metsänkasvatustavoitteiden väliset erot jäivät pieniksi ja eniten eroja syntyi paremmilla kasvupaikoilla, näistä eniten runsaspuustoisimmalla leimikolla. Pohjoisimman esimerkkileimikon vähäiset erot metsänkasvatustavoitteiden välisissä taloustuloksissa selittyvät ainakin osittain puuston hitaalla arvokasvulla (Ahtikoski ym. 2012).

Kasvupaikkojen tuotoserot vaikuttavat voimakkaasti metsänkasvatuksen taloustulokseen (Kojola ym. 2012). Näissä esimerkkitapauksissa kasvupaikkojen keskimääräisen käyttöpuutuotoksen (MAI_{merch}) tasoerot olivat kuitenkin varsin pienet. Leimikoiden järjestys ($C > A > B$) käyttöpuutuotoksen suhteen säilyi kaikissa metsänkasvatustavoitetoissa ja sama järjestys toteutui myös taloustulosten perusteella. Kunnostusojitusajankohdan puuston tiheys ja rakenne olivat keskeisiä tekijöitä pitkän aikavälin taloustuloksissa. Suurempi puuston määrä paransi pitkän aikavälin taloustulosta. Puuston rakenne taas vaikutti arvokasvun ylittymiseen hukkupuusta kuitupuuksi ja sitä kautta hakkuukertymän määrään.

Ojitusalueilla puuston vedenkäytöllä on tärkeä merkitys pohjavesipinnan säätelyssä (Sarkkola ym. 2010). Kun ensimmäisessä harvennuksessa puuston määrää ei pienennetä liiaksi, puusto pystyy ylläpitämään kuivatusta suurella osalla kasvatusaikaa. Tässä tutkimuksessa kahden vähäpuustoisimman kohteen voimakkaimmissa harvennuksissa puuston määrä jäi niin alhaiseksi, että kunnostusojituksen tarpeettomaksi tekevää runkopuutilavuutta ($125\text{--}130\text{ m}^3/\text{ha}$; Sarkkola ym. 2010) ei lainkaan saavutettu ennen päätehakkuuta.

LOGTRACK-simulaattoriin sisältyvien Nurminen ym. (2006) mallien on useassa vertailussa (Purfürst 2009, Väättäinen ym. 2010, Eriksson ja Lindroos 2012) todettu ennustavan hakkuutyötä ja lähikuljetusta luotettavasti. LOGTRACK ottaa huomioon ajoreiteille annetut rajoitteet, jotka sää-

televät kuormatraktorin ajokertojen lukumääriä yksittäisellä ajouraosuudella. Simulaatio lähtee siitä oletuksesta, että näillä rajoituksilla korjuu voidaan toteuttaa myös sulan maan aikana. Koneiden tuntikustannusten laskentaan sen sijaan liittyy enemmän epävarmuutta. Ei esimerkiksi ole olemassa vakiintunutta mallia, kuinka hakkuun tai lähikuljetuksen yksittäisen leimikon kokonaisajanmenekki tulisi ottaa huomioon siirtotyöajan tai siirtokustannusten laskennassa.

Puuston kehityssimulointeihin liittyvä epävarmuus kasvaa ennustettaessa vähäpuustoisten tai voimakkain harvennuksin käsiteltyjen metsiköiden kehitystä. Malleja sovelletaan silloin niiden laadinta-aineiston reuna-alueilla. Tämän tutkimuksen simulointituloksia verrattiin mitattuihin puustokehityksiin samoilta harvennuskokeilta, joista leimikoiden lähtöpuustot tehtiin. Simuloidut pohjapinta-alan kehitykset suhteessa valtapituuksiin noudattelivat hyvin mitattuja puustokehityksiä. Elävän puuston tilavuuskehitys oli kuitenkin simuloitua kehitystä nopeampaa (mitattu keskimääräinen vuotuinen kasvu 20 ensimmäisen vuoden ajalta oli lähes kaksinkertainen leimikon A ja B puustoissa ja saman suuruinen leimikon C puustossa simulointeihin verrattuna). Tämä tarkoittaa sitä, että simuloinneissa ei ainakaan yliarvioitu puustojen kehitysnopeutta. Vastaavasti passiivisen vaihtoehdon tulokseen, eli puuston kasvattamiseen ilman kunnostusojituksia ja harvennuksia, sisältyy simuloinneissa yliarvion riski. Simuloinnit keskiarvoistavat tuloksia, joten yksittäisen metsiköiden tulos voi poiketa ennusteesta huomattavastikin. Mitatuissa koemetsiköiden kasvuissa näkyy lisäksi mitä todennäköisimmin 2000-luvun suotuisat lämpöolot, joten pitkän ajan kehityssuunnitelmien varovaisuus on aiheellista. Suotuisen olojen jatkuessa ja simuloitujen ennusteiden osoittautuessa selvemmin aliarvioiksi myöhemmän harvennuksen vaihtoehto säilyttäisi edelleen paremmuutensa. Paremmen kasvun myötä harvennus aikaistuisi hieman ja siten lisäisi kasvatusajan nettotulojen nykyarvoa. Välittömien 'kerralla kuntoon' -harvennusten nettotuloaikutus sen sijaan säilyisi ennallaan.

Esimerkkileimikoilla harvennuksen myöhentäminen kunnostusojitusajankohdasta 15–25 vuodella lisäsi oleellisesti harvennuksen ainespuukertymää ja paransi pitkän aikavälin tuotos- ja taloustulosta.

Mikäli harvennus tehtiin kunnostusojituksen yhteydessä, voimakas kertaharvennus oli sekä puunkorjuun että pitkän aikavälin tuoton kannalta paras ratkaisu. Liian voimakkaissa harvennuksissa, jäävän puuston määrän laskiessa alle lakirajan, kasvutapit lisääntyivät selvästi ja myös pitkän aikavälin taloustulos heikentyi.

Kiitokset

Tutkimus toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen 'Suometsätalouden tutkimusohjelmassa' ja osittain yhteistutkimuksena Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion kanssa 'Puuta turvemailta' hankkeessa. Kiitämme maastomittauksiin ja koeala-aineistojen käsittelyyn osallistuneita lukuisia metlalaisia. Kiitämme myös anonyymejä tarkastajia käsikirjoitukseen saamistamme rakentavista kommentteista.

Kirjallisuus

- Aarnio, J. 2005. Suometsätalouden kannattavuus yksityismetsissä. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 194–201.
- Ahtikoski, A., Salminen, H., Hökkä, H., Kojola, S. & Penttilä, T. 2012. Optimizing stand management on peatlands, the case of Northern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 42: 247–259.
- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Siren, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Metlan työraportteja 80. 46 s. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp080.htm>. [Viitattu 16.2.2012]
- ArcGIS. Copyright © 1999–2009. ESRI.
- Eriksson, M. & Lindroos, O. 2012. Comparison of methods for predicting logging 1 productivity based 2 on large, error-contaminated follow-up data sets. Hyväksytty julkaistavaksi *Canadian Journal of Forest Research* -sarjassa.
- Hepburn, C. & Koundouri, P. 2007. Recent advances in discounting: Implications for forest economics. *Journal of Forest Economics* 13: 169–189.
- Heikkilä, J. 2007. Turvemaiden puun kasvatus ja korjuu – nykytila ja kehittämistarpeet. Metlan työraportteja 43. 29 s. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp043.htm>. [Viitattu 16.2.2012]
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA system. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s.
- , Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207: 5–18.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 50 s.
- Hyttiäinen, K. & Tahvonen, O. 2005. Metsänkasvatusketjun edullisuusvertailu ja puuntuotannon kannattavuus. Julkaisussa: Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. (toim.). Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos ja Metsäkustannus Oy, Helsinki. 221 s. + Motti-ohjelmisto. s. 161–173.
- Hökkä, H. 1997. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 97: 63–72.
- & Salminen, H. 2006. Utilizing information on site hydrology in growth and yield modeling: peatland growth models in the MOTTI stand simulator. Julkaisussa: Amatya, D.M. & Nettles, J. (toim.). Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8–12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA. s. 302–308.
- , Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. *Silva Fennica* 31(2): 161–178.
- , Alenius, V. & Salminen H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. Kunnostusojitustarpeen ennustaminen ojitusalueilla. *Suo* 51(1): 1–10.
- Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2003. Modelling mortality of individual trees in drained peatland sites in Finland. *Silva Fennica* 37(2): 235–251.
- Kittamaa, S., Kannisto, K. & Uusitalo, J. 2010. Kustannustehokkuutta suometsien hoitoon – tuloksia työajankäytöstä ja työn laadusta. Metlan työraportteja

156. 44 s. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp156.htm>. [Viitattu 16.2.2012]
- , Kannisto, K. & Uusitalo, J. 2012. Kustannustehokkuutta suometsien hoitoon – erilaiset toimintamallit ja kustannusanalyysi. Metlan työraportteja 232. 33 s. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp232.htm>. [Viitattu 26.10.2012]
- Kojola, S. & Penttilä, T. 2012. Harvennusten ajoittaminen ojitetuilla soilla – metsiköittäin vai kunnostusojituksen yhteydessä kerralla kuntoon? *Suo – Mires and Peat* 63(2): 45–55.
- , Ahtikoski, A., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2012. Profitability of alternative management regimes in Scots pine stands on drained peatlands. *European Journal of Forest Research* 131: 413–426.
- Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. *Metsätehon Raportti* 410. 38 s.
- LOGTRACK hakkuu- ja kuljetussimulaattori 2009. Ohjelman toimintakuvaus. Ver. 0.1. 11 s. Metsäntutkimuslaitos. Länsi-Suomen alueyksikkö. Julkaisematon dokumentti. 11 s.
- Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. *Ecological Modelling* 161: 95–116.
- Metinfo 2011. [verkkosovellus] Metsätietopalvelut. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/vmi/>. [Viitattu 21.3.2011]
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40 (2):335–363.
- Penttilä, T. 2001. Harvennushakkuut ojitetuilla rämeillä. Julkaisussa: Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). *Pohjoisten metsien hoito – 30 vuotta tutkimuspäiviä Rovaniemellä*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 133–141.
- Purfürst, F.T., 2009. Der Einfluss des Menschen auf die Leistung von Harvestersystemen [The operator's influence on harvester productivity]. PhD thesis. Institut für Forstnutzung und Forsttechnik, Technische Universität Dresden. Dresden, Saksa. 307 s.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1): 103–113.
- Salomäki, M., Niemistö, P. & Uusitalo, J. 2012. Ensiharvennuksen toteutusvaihtoehdot ja niiden vaikutukset männikön tuotokseen ja kasvatuksen kannattavuuteen ojitetuilla turvemailla – simulointitutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2012: 163–178.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485–1496.
- Sirén, M. 2000. Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000. 301–307.
- Tomppo, E. 2005. Suomen Suometsät 1951–2003. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (Toim.) *Suosta metsäksi, Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö*. Tutkimusohjelman loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 947: 26–38.
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. *Metsälehti Kustannus*. 230 s.
- , Haavisto, M., Niemistö, L. & Kataja, J. 2010. Assessing the effect of harvesting method on soil disturbances with a spatial harvesting simulator. *Proc. of FORMEC 2010 Conference, July 11–14, 2010, Padova, Italy*. Published in electronic format (CD-ROM). 5 p. <http://www.tesaf.unipd.it/formec2010>. 5 p. [Viitattu 26.10.2012]
- Väättäin, K., Asikainen, A. & Sikanen, L. 2006. Metsäkoneiden siirtokustannusten laskenta ja merkitys puunkorjuun kustannuksissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2006: 391–397.
- Väättäin, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Asikainen, A. 2010. Ympärivuotisen puunkorjuun kustannusvaikutukset ojitetuilla turvemailla - korjuuyrittäjätason simulointitutkimus. Metlan työraportteja 184. 57 s.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemailla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2001: 253–263.