

Ulf Sikström ja Hannu Hökkä

Puuston ja kasvupaikan väliset vuorovaikutukset ja niiden merkitys kunnostus- ojituksissa – kirjallisuuskatsaus

Tutkimuseloste artikkelista: Interactions between soil water conditions and forest stands in boreal forests with implications for ditch network maintenance. *Silva Fennica* vol. 50 no. 1 article id 1416.
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1416>

Metsäojituksen tavoitteena on ojittamalla vähentää märkien maiden vesipitoisuutta ja lisätä hapen saatavuutta juuristokerroksessa ja sitä kautta parantaa puiden kasvuedellytyksiä. Metsäojituksia on tehty erityisesti Fennoskandiassa, Baltiassa ja Venäjällä. Vaikka jotkut vuosikymmeniä vanhat metsäojat toimivat edelleen hyvin, valtaosa ojista rappeutuu ajan myötä turvekerroksen painumisen, ojiin syntyvän kasvillisuuden, ojanluiskien romahtamisen, liettymisen ja eroosion vaikutuksesta. Ojastojen toiminnan ylläpitämiseksi ja puustojen kasvun turvaamiseksi tehdään kunnostusojituksia perkaamalla vanhoja ojia ja kaivamalla täydennysojia. Suomessa kunnostusojituspinta-alan tavoitteeksi on asetettu noin 60 000 ha vuodessa. Artikkelissa tehdään katsaus turvemaiden kunnostusojitustarpeen määrittymiseen, kunnostusojitettujen puustojen kasvuvasteeseen ja kunnostusojituksen taloudelliseen tulokseen aiempien tutkimusten tulosten pohjalta. Siinä käsitellään myös metsänhoidon merkitystä maan vesitalouden ja puuston välisessä vuorovaikutuksessa sekä esitetään kunnostusojitustarpeen määrittämiseen liittyviä tietotarpeita.

Puiden kasvun on todettu alenevan ojien kunnan heiketessä, mutta toisaalta kasvun heikkeneminen on jatkuva prosessi, joka voi kestää vuosia ja mitään selvää optimihetkeä kunnostusojituksen tekemiselle ei voida määrittää. Mikäli ojitetun suon pohjaveden pinta nopeasti nousee lähelle maan pintaa loppukesällä, puuston kasvun on todettu heikkenevän merkittävästi jo seuraavana kasvukautena. Yleisesti tiedetään kasvukauden aikaisen tulvimisen vaikuttavan monella tapaa haitallisesti useiden puulajien juuriston aineenvaihduntaan ja kasvuun.

Käytäntöä varten ei ole olemassa menetelmää määrittellä kasvupaikan vesitalouden tilaa ja kunnostusojitustarvetta suoraan maastossa. Niinpä tarvemäärittely perustuu pitkälti ojien kuntoon, vaikka myös puuston, kasvupaikan ja ilmaston on todettu vaikuttavan kunnostustarpeeseen. Edellisestä kunnostuksesta kulunut aika on yksi mittari ojien kunnostustarpeelle. Kunnostusojitusta todennäköisesti tarvitaan, jos edellisestä ojituksesta on kulunut 25–30 vuotta. Pelkkä silmämääräinen arvio voi kuitenkin johtaa kunnostustarpeen yliarviointiin, mikäli muita tekijöitä ei oteta huomioon.

Puuston määrä ja puuston käsittely vaikuttavat latvuspidännän ja haihdunnan kautta merkittävästi maan kuivatustilanteeseen ja edelleen puuston kasvuun. Puuston määrän vaikutuksen pohjaveden syvyyteen on havaittu olevan loppukesällä 1–2 cm jokaista 10 m³/ha lisäystä kohden puuston tilavuudessa kuitenkin niin, että tilavuuden ylittäessä 150 m³/ha puuston määrän lisäys ei enää vaikuta pohjaveden syvyyteen. Puustobiomassan väheneminen hakkuussa pienentää puuston veden käyttöä ja kohoaa pohjaveden pintaa sekä turvemaidella että määrittä kivennäismailla. Eri tutkimuksissa on raportoitu pohjaveden pinnan kohonneen 0–15 cm eriasteisten harvennushakkuiden jälkeen ja jopa 40 cm avohakkuun jälkeen. Pohjaveden kohoamista voidaan osittain kompensoida ojituksella. Kunnostusojitusten tarve on suurin kiertoajan alussa, eli metsikön uudistamisesta ensiharvennusvaiheeseen.

Kunnostusojituksella voidaan alentaa ojitusalueen pohjaveden pintaa 5–10 cm, jopa enemmänkin, mikäli pohjamaa on hyvin vettä läpäisevää. Tutkimusten mukaan suopuuston kasvu lisääntyy 0,5–1,8 m³/ha/v 15–20 vuoden aikana kunnostuksen jälkeen mäntyvaltaisissa suopuustoissa. Suomen oloissa kasvunlisäys on suurempi ja kestää kauemmin pohjoisessa kuin etelässä. Kun lisäkasvu on tarkasteltu kunnostusta edeltävän pohjaveden syvyyden suhteen, on todettu että suurimmat kasvuvasteet ovat olleet metsiköissä, joissa pohjaveden pinta on ollut lähempänä kuin 30 cm turpeen pinnasta. On arvioitu, että varsinkin Etelä-Suomessa vähäinen lisäkasvu johtuu siitä, että varsinaista kunnostusojitustarvetta ei ole ollut. Kasvunlisäykselle onkin todettu kaksi ehtoa: kunnostusojitusta edeltävä pohjaveden pinta on oltava loppukesällä lähempänä kuin 25–30 cm turpeen pinnasta ja puuston määrän oltava alle 150 m³/ha. Puustossa ei myöskään saa olla selkeitä ravinnepuutoksen merkkejä. Kuusen reaktiosta kunnostusojitukseen on hyvin vähän tietoa.

Ojitus muuttaa turpeen ominaisuuksia suon pinnan painumisen ja pintaturpeen maatumisen vuoksi. Turpeen painuminen lisää turpeen tiheyttä ja pienentää huokoskokoa. Lisääntynyt mikrobiotominta nopeuttaa turpeen maatumista. Turpeen tiheyden ja maatumisasteen kasvaessa turpeen vedenjohtavuus pienenee ja vedenpidätyskyky suurenee. Näiden muutosten vuoksi kunnostettujen ojien kyky kuivattaa uudelleen soistunut ojitettu suo ei ole yhtä tehokas kuin uudisojituksen hetkellä.

Kunnostusojitus on useimmiten taloudellisesti kannattava toimenpide, mutta ei aina. Kannattavuutta parantaa suhteellisen runsas alkupuusto, hyvä tai keskivinteinen kasvupaikka sekä riittävän korkea lämpösomma. Kannattavuutta lisää myös, jos kunnostusojitetussa metsikössä voidaan tehdä vähintään yksi kaupallinen harvennushakkuu ennen pätehakkuuta. Simulointitutkimuksissa kunnostusojitus on lisännyt metsänkasvatuksen nettohyötyä 4–14 % suhteessa kunnostusojittamattomaan kasvatukseen Pohjois-Suomen oloissa.

Koska kunnostusojitukset lisäävät merkittävästi vesistöjen kiintoaineskuormaa, ne tulisi kohdentaa oikein ja toimenpiteiden tulisi tuottaa odotetut kasvuvasteet, jotta ne olisivat taloudellisesti perusteltavissa.



Kuva 1. Vuosikymmeniä vanha umpeenkasvanut oja, joka ei kasvupaikkaa enää kuivata.

Kunnostusojituksen perusteiden selvittämiseen liittyy joitakin tutkimustarpeita. Keskeisimpiä on tarve ymmärtää paremmin puiden kasvun ja kasvupaikan vesitalouden välistä yhteyttä. Lisää tietoa tulisi kerätä eri kunnostusojitustilanteista ja erityisesti kuusen reaktiosta kunnostusojitukseen, sillä valtaosa aiemmista tutkimuksista perustuu melko kapeapohjaiseen aineistoon. Edelleen tulisi tarkemmin selvittää kunnostusojitustarpeen kriittiset rajat, eli ne tilanteet pohjaveden syvyyden ja puuston määrän suhteen, milloin kunnostusta ei tarvita. Käytäntöä varten tarvittaisiin menetelmä, jolla kunnostustarve voitaisiin nykyistä tarkemmin arvioida maastossa.

■ Ulf Sikström, Skogforsk, Uppsala, Sverige;
 Hannu Hökkä, Luonnonvarakeskus, Rovaniemi
 Sähköposti: hannu.hokka@luke.fi

Kalle Karttunen, Juha Laitila ja
Tapio Ranta

Ensiharvennusvaihtoehtojen toimitusketjuvertailu, joka perustuu Etelä-Savon alueellisiin männikkösimulointeihin sekä harvennus- ja kuljetustuottavuuksiin

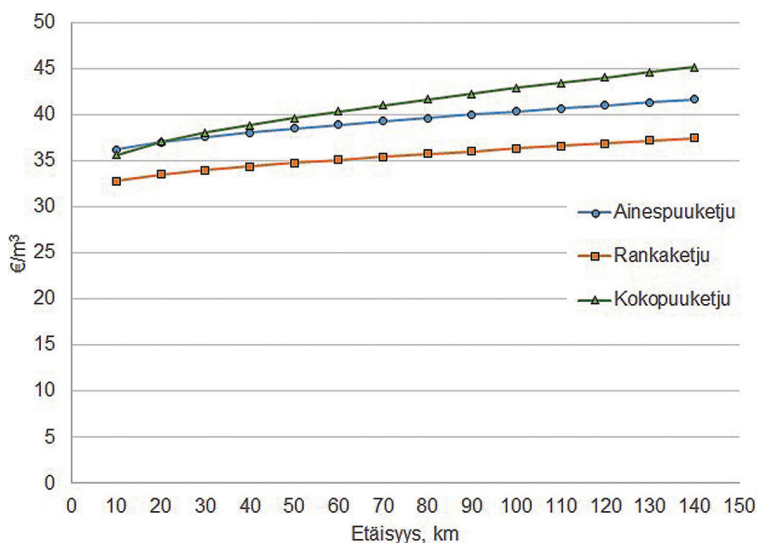
Seloste artikkelista: Karttunen K, Laitila J., Ranta T. 2016. First-thinning harvesting alternatives for industrial or energy purposes based on regional Scots pine stand simulations in Finland. *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1521. 16 s.

<http://www.silvafennica.fi/pdf/article1521.pdf>

Tutkimuksessa selvitettiin eteläsavolaisten nuorten männikkökohteiden kasvatusvaihtoehtojen ja korjuutapojen vaikutusta ensiharvennuspuun toimituskustannuksiin metsästä käyttöpaikalle. Perinteistä ainespuun ensiharvennusta verrattiin rangan ja kokopuun korjuuseen energiakäyttöä varten. Tutkimuksessa yhdistettiin metsänkasvatuksen si-

muloinnin tutkimusmenetelmää toimitusketjujen tuottavuus- ja kustannusanalyysiin. Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin Etelä-Savon alueellisia metsikköaineistoja muihin alueisiin Suomessa. Tulosten perusteella voitiin osoittaa, että metsänkasvatus-, korjuu- ja kuljetusketjun valinnat sekä alueelliset erot vaikuttavat toimitusketjujen kokonaiskustannuksiin.

Metsikköaineisto koostui männikkövaltaisista nuoren metsän koealoista, jotka perustuivat valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä tehtyihin mittauksiin (VMI11). Näitä koeala-aineistojen puustotunnuksia kasvatettiin MOTTI-metsikkösimulaattorilla ensin ensiharvennusvaiheeseen asti, jossa toteutettiin erilaiset korjuutoimenpiteet. Tämän jälkeen puustoja kasvatettiin kiertoajan loppuun. Metsikön kasvatuksen kustannukset sekä harvennus- ja päätehakkuukertymien tulot diskontattiin yli ajan kiertoajan alkuun, jolloin kasvatusketjujen kannattavuutta voitiin luotettavammin vertailla keskenään. Ainespuun hintoina käytettiin alueellisia reaalisia inflaatiokorjattuja trendikantohintoja eroteltuna tilastoista ensiharvennuksen, muiden harvennusten ja päätehakkuun hinnat. Energiapuun ensiharvennushinta määräytyi suhteessa ainespuun ensiharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Vaihtoehtojen energiapuuharvennuksien sisältämän metsänkasvatusketjun paljaan maan arvo (= nettonykyarvo yli ajan) mää-



Kuva 1. Vaihtoehtojen toimitusketjujen keskimääräiset kokonaiskustannukset etäisyyden suhteen Etelä-Savon männikkökoealoilta (ei sisällä haketus-kustannuksia).

rättiin samaksi kuin ainespuun kasvatusketjulla estimoimalla energiapuun ensiharvennushintaa. Energiapuun ensiharvennushintaan vaikuttivat siis ensiharvennuksen korjuuvaihtoehtojen kertymät ja metsänkasvatuksen kannattavuus ainespuun vertailuhintatasoineen.

Tutkimuksen koealakohtaisten simulointien vaihtoehtoisille ensiharvennuksen toteutustavoille laskettiin tuottavuus- ja kustannuslaskentaan perustuvat korjuu- ja kaukokuljetuskustannukset. Korjuun ja kaukokuljetuksen tuottavuuteen ja kustannuksiin vaikuttavat metsikkökoalan ominaisuudet, korjattava puutavaralaji sekä puutavaralajin mukainen korjuu- ja kuljetuskalusto. Koealakohtaiset kantohinnat, hakkuun, metsäkuljetuksen ja kaukokuljetuksen kustannukset laskettiin yhteen. Tämän jälkeen energiapuun toimitusketjujen kustannusvähennyspotentiaalia vertailtiin ainespuun toimitusketjuun. Lisäksi tutkimuksessa Etelä-Savon metsikkökoalakohteiden toimitusketjujen keskiarvoa vertailtiin vastaviihin simulointeihin Etelä-Suomen, Keski-Suomen ja Pohjois-Suomen aineistoilla.

Tutkimustulokset osoittivat, että alhaisimmat kokonaiskustannukset (36,3 €/m³, 100 km) ja siten suurin kustannusvähennyspotentiaali (10 %, 4 €/m³) saavutettiin rankana korjattavan energiapuun toimitusketjulle verrattuna ainespuun ensiharvennuksen sisältämään ketjuun. Tulosten mukaan alueellinen Etelä-Savon kustannusvähennyspotentiaali oli korkeampi kuin muilla alueilla. Rangan toimituskustannuksia laskivat alempi kantohintavaade sekä pienemmät kaukokuljetuskustannukset. Tuoreeseen ainespuuhun verrattuna kuivalla rangalla on mahdollista saada suurempi hyötykuorma autokuljetuksessa. Energiakäyttöön toimitettavan kokopuun toimitusketjun kokonaiskustannukset olivat kalleimmat. Tämä johtui siitä, että kokopuun korjuu heikensi metsän kasvua ensiharvennuksen jälkeen, eikä täten suurempi korjuumäärä kompensoitunut energiarankaa alhaisemmaksi kantohinnaksi. Lisäksi kokopuun metsä- sekä kaukokuljetuksen kustannukset olivat huomattavasti suuremmat pienten hyötykuormien takia.

■ Kalle Karttunen & Tapio Ranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto; Juha Laitila, Luonnonvarakeskus, Joensuu
Sähköposti kalle.karttunen@lut.fi

Jussi Manner

Automaattiseen tiedonkeruuseen perustuva ajokoneyön arviointi

Seloste artikkelista: Manner, Jussi, Palmroth, Lauri, Nordfjell, Tomas, Lindroos, Ola. 2016. *Silva Fennica* vol. 50 no. 3 article id 1546.

<http://www.silvafennica.fi/pdf/article1546.pdf>

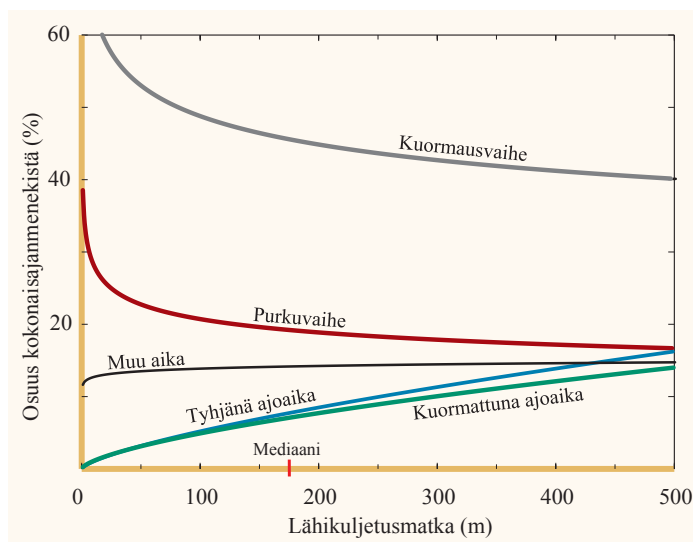
Johdanto

Viiimeisen vuosikymmenen ajan selkeä tavoite on ollut automatisoida korjuutyöntutkimusaineiston keruuta. Harvesterityön osalta automaattinen tiedonkeruu on jo sikäli kehittynyt, että se on syrjäyttänyt perinteisen käsiajanoton tiedonkeruun valtamenetelmänä. Ajokoneyön tiedonkeruun automatisointi on huomattavasti harvesterityötä jäljessä ja käsiajanotto on siinä edelleen tiedonkeruun valtamenetelmänä.

Tutkimuksen tavoite oli kerätä automaattisesti, yhteistyössä metsäkonevalmistajan kanssa (John Deere Forestry Oy), niin kattava ja tarkka työvaihekohtainen ajokoneyönseuranta-aineisto kuin se nykytekniikalla on ylipäättänsä mahdollista.

Aineisto ja menetelmä

Aineisto kerättiin John Deere Forestry Oy:n TimberLink -järjestelmällä Keski-Ruotsissa vuosien 2011–2013 aikana. Aineisto, kokonaisuudessaan 8868 kuormaa, koostuu pelkästään päätehakkukohteista, joiden lähikuljetus tapahtui 19 tonnin hyötykuorman kantavalla John Deere 1910E -ajokoneella. Kaikki yhdeksän tutkimuksessa mukana ollutta kuljettajaa olivat kokeneita koneenkäyttäjiä. Havaintoyksikkönä käytettiin yhtä kuormaa, mutta kuormakohtaisia puumääriä ei ollut saatavilla. TimberLinkin ajokoneyövaiheet ovat määritelty seikka-peräisesti Mannerin *Silva Fennica* -artikkelissa.



Kuva 1. Työvaihekohtaisten tehoaikojen sekä muun ajan %-osuudet kokonaisajanmenekistä lähikuljetusmatkan funktiona. Käytetyt funktiot löytyvät Jussi Mannerin ym. vuonna 2016 julkaisemasta artikkelista.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Lähestulkoon kaikkien ajokoneyötä kuvaavien muuttujien jakaumat olivat positiivisesti, eli oikealle, vinoja, koska suuret ääriarvot nostivat muutujakohtaiset keskiarvot huomattavasti vastaavia mediaaneja korkeammiksi. Täten havaintojen määrä oli keskiarvon vasemmalla puolella huomattavasti suurempi kuin oikealla puolella.

Kokonaisajomatkan, purkuajo mukaan lukien, keskiarvo oli 780 metriä ja mediaani vastaavasti 666 metriä. Juontomatkan keskiarvo oli 219 metriä ja mediaani vastaavasti 174 metriä. Kokonaisjuontojen keskiarvo oli 45,8 minuuttia ja mediaani vastaavasti 42,1 minuuttia kuormaa kohden. Tehokkaan juontojen keskiarvo oli 39,3 minuuttia ja mediaani vastaavasti 36,8 minuuttia kuormaa kohden. Juontomatka määritettiin kuormakohtaisesti tyhjänä ja kuormattuna ajomatkojen keskiarvona. Kyseisellä juontomatkan vaihteluvälillä (174–219 metriä) kokonaisajanmenekki jakautui seuraavasti: kuormausvaiheen tehoaika 45 %, purkuvaiheen tehoaika 19 %, tyhjänä ajon tehoaika 8,5 %, kuormattuna ajon tehoaika 7,5 % ja muu aika 14 % (kuva 1). Kuormausvaiheen keskiarvo oli 21,0 minuuttia kuormaa kohden mediaanin ollessa 18,8 minuuttia kuormalta; purkuvaiheen vastaavat arvot olivat 8,8 ja 7,5 minuuttia, tyhjänä ajon 4,3 ja 3,5, kuormattuna ajon 3,8

ja 2,8 ja muun ajan vastaavasti 6,5 ja 3,4 minuuttia kuormaa kohden. Kuormaus- ja purkuvaiheet sisältävät sekä kuormaintyön että ajon. Muu aika pitää sisällään kaikki tauot olettaen, että moottori on ollut käynnissä.

Kuormain oli käytössä 74,8 %, ja kone oli kuormausajossa (eli vauhti $\neq 0$) 31,9 % kuormausvaiheen tehoajasta. Toisin sanoen kuormaimen käyttöä ja kuormausajoa tapahtui samanaikaisesti 6,7 % kuormausvaiheen tehoajasta. Tai vaihtoehtoisesti tarkasteltuna kuormain oli käytössä 22,1 % tehokkaasta kuormausajoajasta.

Kuormainsykljen kesto – keskimäärin 23,5 sekuntia sykliltä – oli käytännöllisesti katsoen sama kuormauksen ja purun osalta. Sitä vastoin kuormainsykljen määrä oli kuormausvaiheessa noin kaksinkertainen (34,9 kpl) purkuvaiheeseen (16,7 kpl) verrattuna. Eli syklikohtainen puumäärä oli purkuvaiheessa keskimäärin kaksinkertainen kuormausvaiheeseen nähden.

Lähes kaikissa tapauksissa, eli 96 % tutkituista kuormista, tyhjänä ajon tehoaika vastasi alle 22 % kokonaisajanmenekistä ja kuormattuna ajon vastaava arvo oli 25 %. (On syytä huomata, että tyhjänä ajo vei kuitenkin tyypillisesti 10–15 % enemmän aikaa kuin kuormattuna ajo.) Hieman yli 80 % kaikista tapauksista kuormausvaiheen tehoaika vastasi 30–65 % kokonaisajanmenekistä. Noin 90 % kaikista

tapauksista purun tehoaika vastasi alle 22 %, ja muu aika vastaavasti alle 25 % kokonaisajanmenekistä.

Tyhjänä ja kuormattuna ajomatkat vastasivat yhdessä keskimäärin 56,2 % kuormakohtaisesta kokonaisajomatkasta kun taas kuormaus- ja purkuajomatkat vastaavasti 39,5 %. Keskimäärin 4,3 % kuormakohtaisesta kokonaisajomatkasta ei pystytty selkeästi luokittelemaan. Tyhjänä ajon keskivauhti oli 3,4 km/h, kuormausajon 2,1 km/h, ja kuormattuna ajon vastaavasti 2,9 km/h.

Vaikka kuormakokoja ei dokumentoitukaan, niin niiden keskimääräiseksi kooksi arvioitiin noin 17 m³, mikä vastasi noin 24 m³ tuntituottavuutta. Tulos on yhtenevä Erikssonin ja Lindroosin tekemän seurantatutkimuksen kanssa.

Lähteet

- Eriksson, M. & Lindroos, O. 2014. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in Northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering* 25: 179–200. <http://dx.doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
- Manner, J. 2015. Automatic and experimental methods to studying forwarding work. Sveriges lantbruksuniversitet. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae*. Väitöskirja. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-3069>
- Manner, J., Nordfjell, T., Palmroth, L. & Lindroos, O. 2016. Load level forwarding work element analysis based on automatic follow-up data. *Silva Fennica* vol. 50 no. 3 article id 1546. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1546>
- Nuutinen, Y. 2013. Possibilities to use automatic and manual timing in time studies on harvester operations. Itä-Suomen yliopisto. *Dissertationes Forestales* 156. Väitöskirja. <http://dx.doi.org/10.14214/df.156>.

■ Jussi Manner, Skogforsk, Uppsala, Sverige
Sähköposti jussi.manner@skogforsk.se