

Liisa Huttunen

Muuttuvan ilmaston ja lehtivaurion vaikutukset rauduskoivun kasvuun

Seloste artikkelista: Huttunen, L., Ayres, M. P., Niemelä, P., Heiska, S., Tegelberg, R., Rousi, M. & Kellomäki, S. (2013). Interactive effects of defoliation and climate change on compensatory growth of silver birch seedlings. *Silva Fennica* 47(3).

<http://dx.doi.org/10.14214/sf.964>

Kohonneiden ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden arvioidaan keskimäärin parantavan kasvien kasvumahdollisuuksia, varsinkin pohjoisella pallonpuoliskolla. Tähän vaikuttavat muun muassa kiihtynyt yhteyttäminen eli fotosynteesi, mutta myös maaperän nopeampi rapautuminen, jolloin ravinteita vapautuu kasvien saataville. Toisaalta ilmastomuutoksen pelätään lisäävän hyönteistuhoja, jolloin esimerkiksi mittariperhosten massaesiintymisten yhteydessä laajoja alueita koivumetsiä voi tulla syödyksi täysin lehdettömiksi. Vaikka puilla olisikin kyky korvata menetetty lehtibiomassa kasvattamalla uudet lehdet, hyönteisten aiheuttama lehvästön menetys yleensä heikentää kasvua ja siementuotosta. Toisaalta useimpien puuvartisten kasvien kasvu lisääntyy kohonneessa lämpötilassa ja hiilidioksidipitoisuudessa, joten vaurioituneiden kasvien tuhosta toipumisen arvioidaan nopeutuvan ilmastomuutoksen edetessä.

Itä-suomen yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin kohotetun lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden sekä lannoituksen vaikutuksia rauduskoivujen toipumiseen lehtivauriosta. Tutkimuksen aineistona käytettiin siemensyntyisiä, itäsuomalaista alkuperää olevia rauduskoivun taimia. Taimet altistettiin kasvukausina 2002 ja 2003 kaikkiaan 32 eri

käsittelylle. Käsittelyt muodostuivat eritasoisista lämpötilan, hiilidioksidipitoisuuden, lannoituksen ja lehtivaurion yhdistelmistä. Ilmastokäsittelyitä oli neljä; 1) luontaisesti vaihtelevan lämpötilan ja luontaisesti vaihtelevan hiilidioksidipitoisuuden yhdistelmä, 2) kohotetun lämpötilan ja luontaisesti vaihtelevan hiilidioksidipitoisuuden yhdistelmä, 3) luontaisesti vaihtelevan lämpötilan ja kohotetun hiilidioksidipitoisuuden yhdistelmä ja 4) kohotetun lämpötilan ja kohotetun hiilidioksidipitoisuuden yhdistelmä. Kussakin ilmastokäsittelyssä taimet jakautuivat lannoittamattomiin ja lannoitettuihin taimiin, ja edelleen eri tavoin vaurioitettuihin taimiin, jolloin taimien lehtiä revittiin 0, 25, 50 tai 75 % kokonaislehtipinta-alasta. Lehtivaurio toteutettiin kasvukauden 2002 aikana ajankohtia vaihdellen. Kasvukauden 2003 päätyttyä taimien vuotuinen pituuskasvu, kokonaisbiomassa, juuri-versosuhde ja lehtipinta-ala määritettiin.

Vaurioitettujen rauduskoivuntaimien pituuskasvu oli suurempi kuin vaurioittamattomien taimien, ja ne saavuttivatkin jopa kaksinkertaisen kasvun edellisvuotiseen verrattuna. Tällainen vuosikasvu oli havaittavissa etenkin kohotetussa lämpötilassa lannoitetuilla taimilla. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa kohotetun lämpötilan ja lannoituksen on havaittu lisäävän verson kasvua. Tässä tutkimuksessa verson pituuskasvuun näytti vaikuttavan eniten, missä vaiheessa kasvukautta ja kuinka usein lehdistö vaurioitui. Tämä selittyy sillä, että loppukasvukaudelle ajoittuvan lehtivaurion on todettu viivästyttäneen kasvien talveentumista eli lepotilaan siirtymistä, jolloin vaurioitettut kasvit voivat kerryttää juuriston hiilihydraattivarastoa kauemmin syksyllä. Suurempi hiilihydraatti- eli energiavarasto edistää kasvua seuraavalla kasvukaudella. Lehtivaurio kuitenkin pienensi taimien juuri-versosuhdetta, toisin sanoen juurten massaa suhteessa verson massaan. Pienimassainen juuristo on usein suppea, jolloin kasvin ravinteiden ja veden saatavuus kuivina aikoina saattaa heikentyä. Juuri-versosuhdetta pien-

sivät myös lannoittaminen ja kohotettu lämpötila, jotka yksittäisinä tekijöinä lisäävät verson kasvua juuriston kustannuksella. Myös suurempi lehtipinta-ala ja biomassaa lannoitetuilla ja kohotetussa lämpötilassa kasvaneilla taimilla selittyy kasvutekijöiden voimakkaammalla ohjautumisella verson kasvuun.

Tässä tutkimuksessa havaitut erot vaurioitettujen ja vaurioittamattomien taimien välillä osoittavat, että lehtivaurio kohonneessa lämpötilassa ja hiilidioksidipitoisuudessa ravinteikkailla kasvupaikoilla ei välttämättä johda puunaimien alentuneeseen netto-vuosituotokseen.

■ MMT Liisa Huttunen, Turun yliopisto, Ekologian osasto, Biologian laitos. Sähköposti liisa.huttunen@utu.fi

Marjut Turtiainen, Jari Miina, Kauko Salo ja Juha-Pekka Hotanen

Mittausaineistoihin perustuvat puolukan peittävyys- ja satomallit

Seloste artikkelista: Turtiainen, M., Miina, J. Salo, K. & Hotanen, J.-P. (2013). Empirical prediction models for the coverage and yields of cowberry in Finland. *Silva Fennica* 47(3).

<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1005>

Puolukka on yleisin ja taloudellisesti merkittävin metsämarjamme, jota kerätään runsaasti sekä kotitalouksien käyttöön että myyntiin. Jotta metsän käsittelyn vaikutusta puolukkasatoihin ja puolukkasadon vuotuista vaihtelua voitaisiin tarkastella numeerisesti metsäsuunnitteluohjelmistoissa, tarvitaan matemaattisia yhtälöitä, joilla voidaan laskea puolukan satoennusteita yleisesti mitattavien metsikkötunnusten avulla.

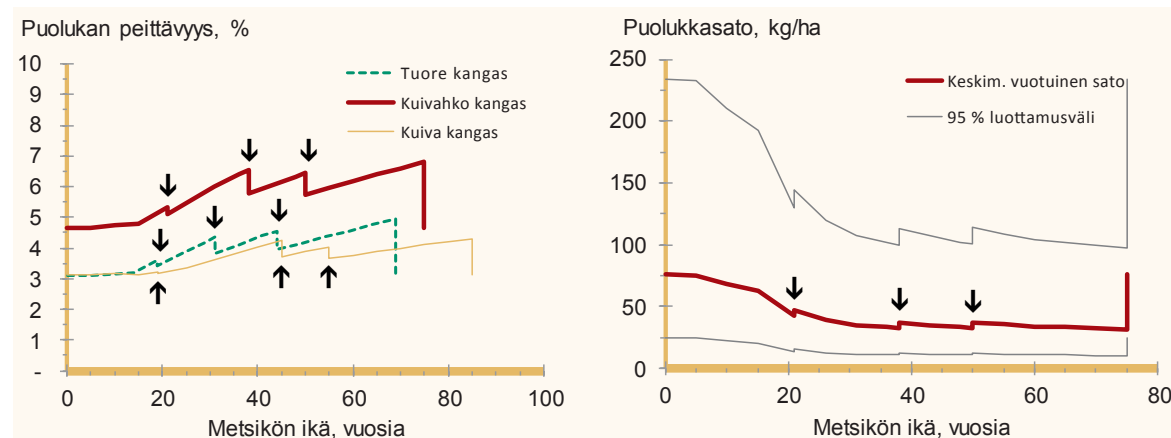
Marjasatomallinnustutkimuksen tavoitteena oli laatia ensimmäinen mitattuihin tunnuksiin perustuva puolukkasatomalli koko maan alueelle. Aikaisemat vastaavat puolukkasatomallit on laadittu lähinnä Itä- ja Keski-Suomen alueille. Tutkimuksessa laadit-

tiin myös ensimmäistä kertaa tutkimukseen perustuva valtakunnallinen malli puolukan peittävyydelle.

Mallit laadittiin ns. yleistettyjen lineaaristen sekamallien (GLMM) avulla. Mallissa 1 puolukan peittävyys ennustettiin kasvupaikkaa ja puustoa kuvaavien tunnusten avulla. Tunnukset ovat peräisin v. 1995 Metsäntutkimuslaitoksen toimesta mittaamasta (v. 1985–86 perustamasta) valtakunnan metsien inventoinnin (VMI 1995) noin 3000 koalaa kattavasta kasvillisuuskuvausaineistosta. Pysyviltä koaloilta oli määritetty kenttä- ja pohjakerroksen kasvilajien peittävyudet prosentteina. Koska em. aineisto oli hyvin kattava, se mahdollisti peittävyysmallin laadinnan paitsi metsämaan kivennäismaille, myös monille muille kasvupaikoille, joilla puolukka esiintyy yleisesti (korpjen muuttumat ja turvekankaat, rämeiden muuttumat ja turvekankaat, tunturimetsät ja avotunturit). Puolukan keskimääräistä vuotuista satoa sekä puolukkasatojen ajallista (vuosien välistä) vaihtelua (Malli 2) ennustettiin puolukan peittävyuden ja puustotunnusten avulla hyödyntäen Metsäntutkimuslaitoksen pysyviltä koeruduilta vuosina 2001–2012 keräämää marjainventointiaineistoa (ns. MASI-aineisto; MASI viittaa luonnonMARjojen ja syötävien SInten inventointijärjestelmään). Pysyviä koeruujuja on perustettu eri puolille Suomea metsiköihin, joissa on havaittu hyviä puolukkasatoja. Puolukan satomalli laadittiin ainoastaan kangasmetsille.

Korkeimmat puolukan peittävyudet havaittiin kuivahkoilla kankailla (ns. ravinteisuustaso 4); kuivilla ja tuoreilla kankailla (ns. ravinteisuustasot 5 ja 3) puolukan peittävyys oli 66 % kuivahkon kankaan puolukan peittävydestä (Malli 1, kuva 1). Myös vastaavan ravinteisuustason korvet (kuten puolukkakorvet, muurainkorvet) ja rämeet (kuten kangsrämeet, pallosararämeet, korpärämeet sekä sararämeiden turvekankaat ja se osa sararämeiden muuttumista, jotka jo osoittivat ravinteisuustasoa 4) osoittautuivat parhaaksi puolukan peittävyuden suhteen. Tunturimetsissä puolukan peittävyys oli noin viidesosa ja avotuntureilla vain 5 % kuivahkojen kankaiden puolukan peittävydestä.

Kangasmetsissä ja korvissa vallitsevalla puulajilla oli merkitystä puolukan peittävyteen siten, että mäntyvaltaisissa metsissä peittävyys oli suurempi kuin lehtipuu- tai kuusivaltaisissa metsissä. Tämä riippuvuus oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevä vain ravinteisuustasoilla 1–3 (ts. tuoreilla tai sitä



Kuva 1. Malleilla ennustettu puolukan peittävyys eri kasvupaikkoja edustavissa männiköissä (Malli 1; vasemmalla) ja keskimääräinen vuotuinen puolukkanasato kuivahkon kankaan männikössä Etelä-Suomessa (Malli 2; oikealla). Metsikön kehitys on ennustettu Motti-simulaattorilla, ja harvennukset (nuolet) ja päätehakkuu on simuloitu metsänhoidon suositusten mukaisesti.

rehevämmillä kankailla ja ravinteisuudeltaan vastaavissa korvissa). Puuston pohjapinta-alan kasvulla oli positiivinen vaikutus puolukan peittävyteen kangasmetsissä, korvissa ja rämeillä.

Sekä lämpösomma että korkeus olivat merkittäviä selittäjiä puolukan peittävyysmallissa (Malli 1). Vaikka nämä muuttujat korreloivat voimakkaasti keskenään, ne molemmat sisällytettiin malliin, sillä ne yhdessä kuvaavat peittävyden alueellista vaihtelua suuressa mittakaavassa. Mallin mukaan puolukan peittävyys näyttäisi olevan hieman suurempaa pohjoisessa Suomessa eteläiseen Suomeen verrattuna.

Puolukan satomallissa (Malli 2) kasvupaikan ravinteisuus ei ollut tilastollisesti merkittävä selittäjä, mikä johtui todennäköisesti siitä, että ko. MASI-aineiston koeruudut sijaitsivat pääasiallisesti kuivahkoilla kankailla. Puuston pohjapinta-alan kasvu vaikutti negatiivisesti puolukan satoisuuteen (Malli 2, kuva 1). Puolukkanasato kasvoi puolukan peittävyden kasvaessa tiettyyn rajaan (58 %) asti; tämän jälkeen sato aleni peittävyden kasvaessa. Myös satomallissa sekä lämpösomma että korkeus olivat tilastollisesti merkittäviä selittäjiä, mutta näiden muuttujien vaikutusta sadon suuralueelliseen vaihteluun tulee vielä selvittää jatkotutkimuksissa.

Puolukan peittävyden ja puolukkanasatojen kehitystä havainnollistettiin rinnan männikön kehityksen kanssa simulointien avulla. Puuston kehitys erilaisilla kasvupaikoilla ja eri puolilla Suomea (Etelä-Suomi: lämpösomma 1200 d.d. ja korkeus 100 mpy, ja Pohjois-Suomi: 900 d.d. ja 200 mpy) ennustettiin Metsäntutkimuslaitoksen Motti-simulaattorilla. Malleilla laskettujen ennusteiden mukaan keskimääräinen vuotuinen puolukkanasato oli suurimmillaan siemenpuumetsiköissä ja pienissä taimikoissa (kuva 1). Esimerkiksi Etelä-Suomessa siemenpuumännikön vuotuinen keskisato oli 75 kg/ha (95 %:n luottamusväli 25–234 kg/ha). Taimikkovaiheen jälkeen puolukkanasato laski melko voimakkaasti ja kohosi sitten vain väliaikaisesti aina harvennusten jälkeen.

Tutkimuksessa esitetyt puolukkamallit laadittiin liitettäväksi metsikkösimulaattoreihin, joita käytetään metsäsuunnittelun apuvälineinä. Puolukan satomallia tulisi parantaa keräämällä lisää marjasatointiaineistoa erilaisilta kasvupaikoilta ja eripuulajisista metsiköistä eri puolilta Suomea.

■ Marjut Turtiainen, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto; Jari Miina, Kauko Salo & Juha-Pekka Hotanen, Metla, Joensuu
Sähköposti marjut.turtiainen@uef.fi

Eero Muinonen, Perttu Anttila,
Jaakko Heinonen ja Jukka Mustonen

Latvusmassan ja kantojen korjuumahdollisuudet satelliittikuvatulkintaan perustuen

Seloste artikkelista: Muinonen E., Anttila P., Heinonen J. and Mustonen J. (2013). Estimating the bioenergy potential of forest chips from final fellings in Central Finland based on biomass maps and spatially explicit constraints. *Silva Fennica* 47(4).
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1022>

Suomi on EU:ssa sitoutunut lisäämään uusiutuvien energiamuotojen käyttöä merkittävästi vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi eräs pääkeino on puuntuotannon operaatioiden sivutuotteena saatavan metsähakkeen käytön lisääminen. Tilastojen mukaan metsähakkeesta v. 2012 noin puolet oli peräisin harvennusten pienpuusta, 34 % päätehakkuiden latvusmassasta, 14 % päätehakkuiden kannoista ja 5 % järeästä runkopuusta. Latvusmassan, kantojen ja runkopuutähteen talteen ottaminen on kytköksissä ainespuun korjuutoimintaan, kun taas pienpuun korjuu tapahtuu erikseen tai yhdistettynä ainespuun korjuuseen.

Metsäenergian tuottamisen raaka-ainepohja-arvioinnit ovat osoittaneet, että asetettujen tavoitteiden saavuttaminen on mahdollista metsähakkeen käyttöä lisäämällä. Arvioinnit esim. metsähaketaseesta ovat perustuneet Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) koalatietoihin, hakkuutilastoihin sekä energiantuotannon ja puun käyttötilastoihin. Käytävissä tulisi olla paikkaan sidottua, alueellisesti kattavaa metsäinventointitietoa, jotta paikkaan sidotut energiapuun korjuun rajoitteet, kuten esim. suojelualueet tai etäisyys tiestä, voitaisiin yhdistää korjuumahdollisuuksien arviointiin. Tällaisen kattavan inventointitiedon tarjoaa Suomessa käytössä oleva monilähde-VMI, joka perustuu maastokoealatiedon yleistämiseen satelliittikuvien ja muun aputiedon perusteella.

Tutkimuksessa tuotettiin päätehakkuilta saatavan metsähakkeen tekniset korjuumahdollisuusarviot. Tutkimuksessa sovellettiin Keski-Suomen metsä-

keskuksen alueella menetelmätettä, jonka aluksi tehdään metsikkökuviorajojen tulkinta satelliittikuva-aineiston segmentoinnin avulla. Segmentoinnilla tarkoitetaan kuvan jakamista toisensa poissulkeviin, alueellisesti jatkuviin ja sisäisesti yhtenäisiin yksiköihin. Segmentoinnin tulos (kuviorajat) sekä rasterikartat biomassamuuttujista ja monilähdeinventoinnilla tulkituista metsikkömuuttujista yhdistetään paikkatietojärjestelmässä muun numeerisen paikkatiedon (mm. suojelualueet, hallinnolliset rajat, tiet) kanssa. Tuloksena paikkatietoanalyysistä saadaan puuntuotannon alalta kuviomuotoinen lähtötieto korjuumahdollisuuksien arviointia varten.

Laskentajärjestelmässä perusrajoitteina sovellettiin normaaleja metsänkäsittelyn ohjeita (uudistuskypsiin kohteiden määrittäminen) sekä metsikkötason rajoitteita, joilla pyrittiin ohjaamaan latvusmassan ja kantojen korjuuta oikeanlaisiin kohteisiin. Rajoitteita asetettiin kasvupaikkatiedon, pinta-alan, aines- ja energiapuun kertymien sekä maaston kaltevuuden suhteen. Lisärajoitteet perustuivat metsäkuljetusmatkaan sekä kantojen korjuukohteiden pääpuulajiin. Lisäksi oletettiin, että kuvion latvusmassasta 70 % ja kannoista 90 % on teknisesti mahdollista korjata.

Kuntatason markkinahakkuutilastoa ja uudistushakkuun arvioituja osuuksia apuna käyttäen määritettiin ajanjakson 2000–2009 ajalta kolme päätehakkuun tasoa. Korjuumahdollisuusarviot laskettiin näille kolmelle hakkuutasolle. Arvio metsähakkeen määrästä yli tarkastelualueen (kunta, metsäkeskus) riippuu kuitenkin siitä, mitkä metsikkökuviot päätehakkuuseen on valittu. Tästä syytä toistettiin laskelma riittävän monta kertaa valitsemalla hakattavat kohteet aina satunnaisesti uudistuskypsiin kuvioiden joukosta. Arvio korjuumahdollisuuksista on keskiarvo näistä toistoista. Riittävä toistojen määrä (500 kertaa) haettiin erillisellä tarkastelulla. Latvusmassan ja kantojen määrät laskettiin olemassa olevilla malleilla ja summattiin erikseen kunnittain raporttia varten.

Kun hakkuutasona oli keskimääräinen taso (arvioitua uudistushakkuut hieman alle 3,5 milj. m³/v) ja kaikki perusrajoitteet ja lisärajoitteet otettiin mukaan, saatiin vuotuisten korjuumahdollisuuksien arvioksi latvusbiomassalle 183 000 tonnia (409 000 m³) ja kantobiomassalle 81 000 tonnia (181 000 m³). Potentiaaliarvioita vertailtaessa on

huomioitava lähestymistapa ja sovelletut rajoitteet, joilla havaittiin tässäkin tutkimuksessa olevan suuri vaikutus lisärajoitteiden (metsäkuljetusmatka, kuusivaltaisuus) osalta.

Sovelletulla laskentamenetelmällä kyettiin ottamaan huomioon paikkasidonaiset metsähakkeen saatavuuteen vaikuttavat rajoitteet, esimerkkeinä metsäkuljetusmatka ja kuusivaltaisuus kantojen nostokohteita rajattaessa.

■ Eero Muinonen, Perttu Anttila & Jaakko Heinonen,
Metla; Jukka Mustonen, Stora Enso
Sähköposti perttu.anttila@metla.fi

Jussi Manner, Tomas Nordfjell ja
Ola Lindroos

Ajouranvarsitiheyden vaikutus ajokoneyön ajanmenekkiin*

Seloste artikkelista: Manner J., Nordfjell T., Lindroos O. (2013). Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. *Silva Fennica* 47(4).
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1030>

Suomessa ja Ruotsissa puunkorjuu toteutetaan lähes poikkeuksetta ns. pohjoismaista puutavaralajimenetelmää käyttäen. Puutavaralajimenetelmässä harvesteri kaataa puut ja karsii rungot sekä lopuksi katkoo rungot eri kuitu- ja tukkipölleiksi eli ns. puutavaralajeiksi. Tämän jälkeen ajokone kuljettaa katkotut pöllit (metsä)autotien varteen, missä se purkaa katkotut pöllit puutavaralajeittain eri pinoihin kaukokuljetusta varten.

Harvesterityötä on tutkittu viime vuosikymmenen aikana erittäin paljon. Sitä vastoin ajokoneyötä, vaikka se on puunkorjuutyön aikaa vievin osa, on tutkittu erittäin vähän.

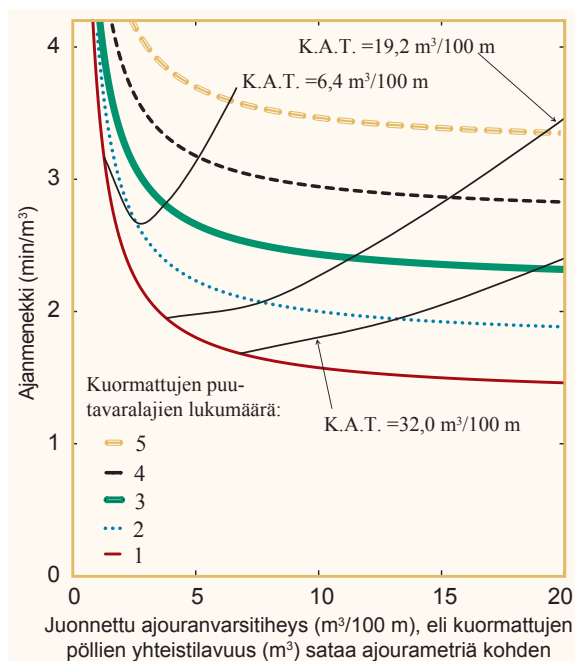
Tiedossa on kuitenkin ollut, että ajouranvarsi-

tiheys vaikuttaa ajokoneyön ajankulutukseen. Ajouranvarsitiheydellä tarkoitetaan yleensä kokonaisajouranvarsitiheyttä eli tietylle ajourapituudelle (esim. 100 m) laskettua kokonaishakkuukertymää (m^3 puuta). Tutkimuksessamme huomioitiin myös ns. juonnettu ajouranvarsitiheys. Juonnetulla ajouranvarsitiheydellä tarkoitetaan samaan kuormaan kuormattujen pöllien yhteistilavuutta jaettuna kuormausajomatalla. Kuormausajomatalla puolestaan tarkoitetaan ensimmäisen ja viimeisen kuormaus-tapahtuman välistä ajomatkaa. Juonnettuun ajouranvarsitiheyteen voidaan vaikuttaa kuormakoh-taisella puutavaralajivalinnalla. Mikäli, ajouran kaikki puutavaralajit kuormataan systemaattisesti ilman minkäänlaista valikointia, niin juonnetusta ajouranvarsitiheydestä muodostuu yhtä suuri kuin kokonaisajouranvarsitiheydestä.

Tutkimustavoitteemme oli selvittää ajankulutuk-sellisesti tehokkain yhdessä kuormassa kuljetettava eri puutavaralajien määrä korjuukohteen puutavara-lajikohtaisesta ajouranvarsitiheydestä riippuen. Tutkimus suoritettiin standardisoituna kenttäkokeena, mikä tarkoittaa, että kunkin yksittäisen toiston (eli kuorman) jälkeen samat pöllit palautettiin takaisin ajouralle seuraavaa toistoa varten.

Kuvassa 1 on esitetty ajokoneyön kokonaisajan-menekki (pois lukien tyhjänä ja kuormattuna ajo) kolmen eri kokonaisajouranvarsitiheyden (esim. kolme eri kuvioita) ja kuormausvaihtoehdon (1–5 eri puutavaralajia kuormassa) mukaan. Puutavaralajeja ei tässä tutkimuksessa tutkittu vaan ne standardi-soitiin. Kokonaisajouranvarsitiheyden ollessa 6,4 $m^3/100$ m on kahden puutavaralajin kuorma ajan-kulutuksellisesti tehokkain vaihtoehto, koska kokonaisajouranvarsitiheyden käyrä saavuttaa alimman arvonsa leikatessaan kahden puutavaralajin kuorman käyrän. Vastaavasti, kokonaisajouranvarsitiheyden ollessa 19,2 tai 32,0 $m^3/100$ m on yhden puutavara-lajin kuorma, eli ns. puutavaralajipuhdaskuorma, ajankulutuksellisesti tehokkain vaihtoehto. Ana-lyysimme osoitti, että vallinneissa koeolosuhteissa puutavaralajipuhdaskuorma oli ajankulutuksellisesti tehokkain vaihtoehto juonnetun ajouranvarsitiheyden ollessa yli 2,8 $m^3/100$ m (kuva 1). Juonnetun ajouranvarsitiheyden ollessa vähemmän kuin 2,8 $m^3/100$ m useamman puutavaralajin kuormat eli ns. sekakuormat olivat ajankulutuksellisesti tehok-kaampia vaihtoehtoja.

* Otsikkoa korjattu tekijän pyynnöstä: Ajourien tiheyden → Ajouranvarsitiheyden



Kuva 1. Ajamenekki ajouranvarsitiheyden funktiona viidelle tilavuudeltaan yhtä suurelle puutavaralajille. Pääkäyrät (5 kpl) ilmoittavat kuormausvaihtoehdon mukaisen (1–5 puutavaralajia kuormassa) kokonaisajamenekin työvaiheille: kuormaus, kuormausajo, purku ja purkuajo. Apukäyrät (3 kpl) ilmoittavat saatavilla olevan kokonaisajouranvarsitiheyden (K.A.T.) (6,4; 19,2; 32,0 m³/100 m). Pää- ja apukäyrien leikkauspisteet ilmoittavat vaihtoehdoisen kokonaisajamenekin kullekin kolmelle kokonaisajouranvarsitiheydelle.

Ajouranvarsitiheyksien ollessa matalia jo pienetkin vaihtelut ajouranvarsitiheydessä vaikuttavat voimakkaasti ajokoneyön ajanmenekkiin, mutta sitä vastoin korkeilla ajouranvarsitiheyksillä vastaavien vaihteluiden merkitys on vähäinen. Puutavaralajien määrä riippuu puuston rakenteesta sekä teollisuuden kysynnästä, minkä seurauksena puutavaralajien määrä vaihtelee korjuukohteesta ja aikakaudesta toiseen. Kymmenen vuotta sitten keskimääräinen eri puutavaralajien määrä suomalaisella hakkuukoh-

teella vaihteli seitsemästä kymmeneen. Asiakaslähtöisen puunhankinnan myötä hakkuussa korjattavien puutavaralajien määrän uskotaan lisääntyvän nykyisestä tasosta, millä puolestaan on keskimääräisiä puutavaralajikohtaisia ajouranvarsitiheyksiä alentava vaikutus.

Tutkimuksemme osoitti, että nimenomaisesti juonnettu ajouranvarsitiheys vaikuttaa ajokoneyön ajanmenekkiin. Mielestämme, artikkelissamme esitettyjen absoluuttisen havaintoarvojen sijaan, tämä havainto on tärkein tutkimustuloksemme. Juonnettu ajouranvarsitiheys on usean päätöksen seuraus, kuten esimerkiksi; mitä puutavaralajeja kohteelta päätetään korjata ja mitä puutavaralajeja päätetään kuormata samaan kuormaan. Ajokoneyö vaikuttaa näennäisen helpolta työltä, mutta todellisuudessa sen tehokas toteuttaminen on päätöksenteollisesti erittäin vaativaa. Tietoisuus juonnetun ajouranvarsitiheyden avainasemasta avaa uuden lähestymistavan ajokoneyön tehostamiseen. Tällaisessa lähestymistavassa, olettaen että hakkuukohteen puutavaralajikohtainen ajouranvarsitiheys tunnetaan, voidaan ajokoneyötä tehostaa valitsemalla kullekin kuormalle kokonaisajamenekillisesti sopivin puutavaralajiyhdistelmä. Modernit harvesterit tallentavat puutavaralajikohtaisesti paikkaan sidottua tuotannon mittausaineistoa, joten ajokoneyön optimointi olisi siltä osin jo periaatteessa mahdollista. Tällaisen teknologian täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin vielä tutkimustietoa mm. pää- ja sivupuutavaralajeista koostuvista ajokoneyökuormista. Meidän tutkimuksessamme sekakuormat eivät koostuneet pää- ja sivupuutavaralajeista, vaan kunkin kuormatun puutavaralajin tilavuus oli yhtä suuri.

■ Jussi Manner, Stora Enso Skog AB:n palkkaama väitöskirjatutkija, Ruotsin maatalousyliopisto (SLU);
Tomas Nordfjell, metsäteknologian professori, SLU;
Ola Lindroos, metsäteknologian dosentti, SLU
Sähköposti: jussi.manner@slu.se