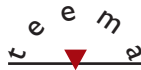


Jussi Rasinmäki, Antti Mäkinen ja Jouni Kalliovirta

Puukohtainen inventointitieto metsätalouden suunnittelun päätöstukijärjestelmässä



Johdanto

Metsätalouden toimintaa suunnitellaan vertailemalla vaihtoehtoisia metsän käsittelytapoja seuraavan, yleensä 10 vuoden mittaisen, suunnittelukauden ajalle. Vertailun apuväline on päätöstukijärjestelmä, jolla voidaan ennustaa puiden kasvu ja metsässä tehtävien toimenpiteiden vaikutus siihen.

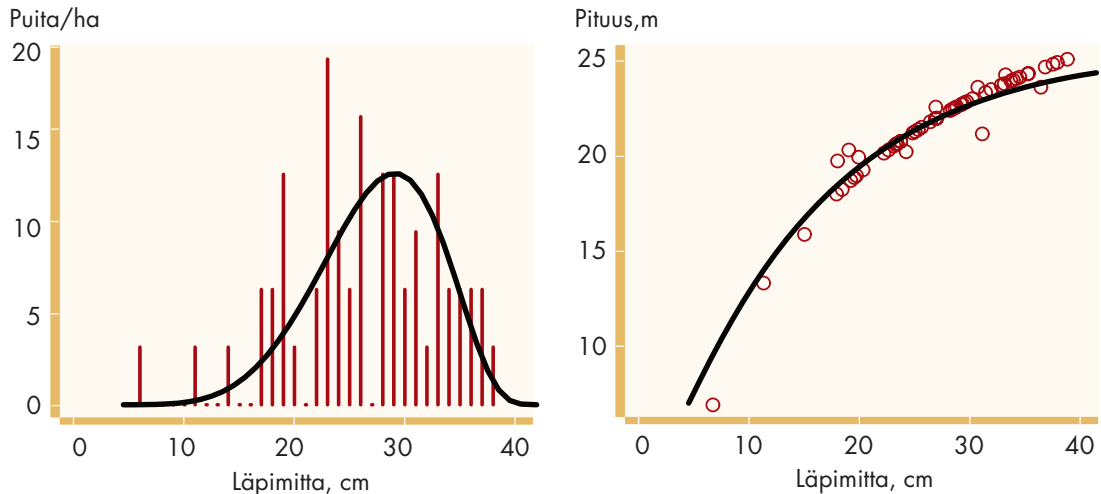
Puiden kasvun ennustamiseen vaikuttaa merkittävästi se, tiedämmekö laskentaa aloittaessa, millaisista puista metsä koostuu. Nykyisin vallitseva tapa inventoida metsää, siis mitata metsän puut, on jakaa metsäalue puustoltaan mahdollisimman tasaisesti alueisiin, metsikkökuvioidiin, ja arvioida puiden keskitunnukset. Keskitunnuksia ovat puiden läpimitta rinnankorkeudelta, pituus ja ikä. Lisäksi puuston tiheyttä mitataan arvioimalla puuston pohjapinta-ala eli puiden poikkileikkauspinta-ala 1,3 m korkeudelta neliömetreinä hehtaarilla. Pienissä taimikossa tiheys mitataan puiden lukumääränä hehtaarilla.

Kasvun ennustaminen aloitetaan siis syöttämällä päätöstukijärjestelmään lähtötiedoksi metsikkökuvioidia, joiden puista tiedetään niiden keskimääräinen koko ja ikä, sekä kuinka tiheässä puita on. Tämän jälkeen on kaksi vaihtoehtoa: joko metsikkökuvioiden kasvua ennustetaan suoraan keskitunnusten kehittymisen kautta niin sanotuilla kuviotason kasvumalleilla, tai keskitunnusten perusteella ennustetaan ensin kuviolle puut, jonka jälkeen ennustetaan yksittäisten puiden kasvua puutasoin kasvumalleilla. Ennustettaessa kuvion puut keskitunnuksista kulle-

kin puulajille ennustetaan pienin ja suurin kuviolla esiintyvä läpimitta, jaetaan näin saatava vaihteluväli tasaisiin läpimittaluokkiin, esim. 1 cm jaolla, ja ennustetaan kuinka pitkiä puut kussakin läpimittaluokassa ovat ja montako niitä on hehtaaria kohti. Näin saatua joukkoa lukuja (läpimitta, pituus, lukumäärä) kutsutaan runkolukusarjaksi.

Kasvun ennustaminen runkolukusarjojen avulla on Suomessa nykyään huomattavasti yleisempää kuin suoraan keskitunnuksiin perustuva kasvun ennustaminen. Menetelmän etuna on se, että eri kokoisten puiden välinen kilpailu voidaan tällaisessa kasvumallinnuksessa kuvata paremmin, minkä ansiosta esimerkiksi erilaisten harvennustapojen vaikutusta jäljelle jäävän puuston kasvuun voidaan mallintaa realistisemmin. Myös keskitunnuksiin perustuvassa kasvunennustamisessa joudutaan turvautumaan runkolukusarjoihin ennustettaessa hakkuista saatavaa hakkuukertymää puutavaralajeittain, mikäli halutaan hyödyntää tietoja eri puutavaralajien hinnoista ja vaadituista mitoista.

Menetelmän kriittinen kohta on se, miten totuudenmukaisesti runkolukusarja pystytään puiden keskitunnuksista ennustamaan. Periaatteessa hyvinkin erilaisista todellisista runkolukusarjoista saadaan samanlaiset puuston keskitunnukset. Kasvumallinnuksen kannalta olisi parempi, mikäli ennustaminen voitaisiin aloittaa suoraan todellisista, mitatuista runkolukusarjoista. Käytännössä tämä siis tarkoittaisi metsän mittaamista puu puulta. Tämä ei ole aiemmin ollut mahdollista kustannussyistä, sil-



Kuva 1. Päätehakuvaiheen kuviolta mitattu todellinen runkolukusarja (pylväät) ja keskitunnusten perusteella ennustettu runkolukusarja (viiva) sekä keskitunnuksista ennustetut puiden pituudet (viiva) ja mitatut puiden pituudet (ympyrät).

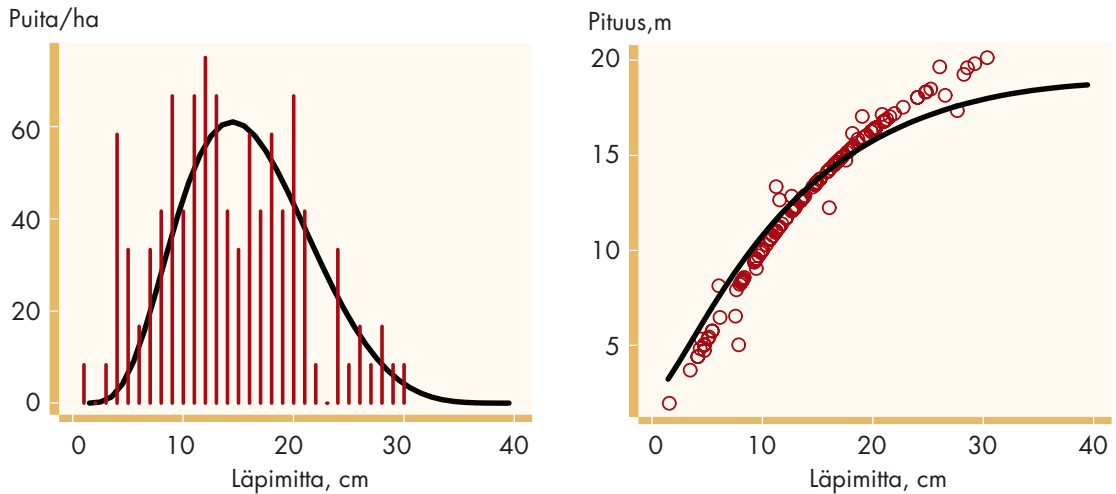
lä metsää on mitattu maan pinnalta, metsässä kävelemällä. Laserkeilaus on esimerkki tekniikasta, joka mahdollistaa yksinpuin mittauksen. Laserkeilauksessa metsää havainnoidaan ylhäältä alaspäin ja keilauksessa tiedonkeruun nopeus vaihtuu kävelynopeudesta 5 km/h lentonopeudeksi 200 km/h. Nykyisellä teknologialla kustannustehokkainta on keilata puustoa edelleen karkeammalla, keskitunnusten tasolla, mutta mitään teknisiä esteitä yksinpuin mittaukselle ei ole.

Seuraavissa kappaleissa tarkastelemme tilannetta, jossa metsän kasvua ennustetaan kahdesta eri lähtötilanteesta: metsikön keskitunnuksista ja yksinpuin mitatusta aineistosta. Tarkastelussa on käytetty kahden koealaa, joista ensimmäinen edustaa päätehakuvaiheen metsikköä ja toinen metsikköä, jonka seuraava toimenpide on harvennus. Laskennassa molempien koealojen oletettiin edustavan pinta-alaltaan yhden hehtaarin kuviota. Tarkastelun päätöstukijärjestelmänä käytimme SIMO-metsäsuunnitteluohjelmistoa, joka on Helsingin yliopiston ja merkittävimpien Suomessa metsäsuunnittelua tekevien organisaatioiden yhdessä kehittämä avoimen lähdekoodin metsätalouden päätöstukijärjestelmä (www.simo-project.org). Kasvun ennustamisessa käytimme puittaisia niin kutsuttuja MELA-kasvumalleja.

Puittaisen inventointitiedon vaikutus pelkkään toimenpide-ennusteeseen

Puolukkatyyppin päätehakuumännikössä puiden keskiläpimitta oli 29,9 cm, keskipituus 24,6 m ja pohjapinta-ala 11,4 m²/ha. Kuvassa 1 on esitetty näiden tunnusten perusteella ennustettu runkolukusarja ja vastaavat puiden todelliset, maastossa mitatut lukumäärät yhden sentin läpimittaluokissa. Lisäksi kuvassa on keskitunnuksista ennustetut puiden pituudet ja mitatut puiden pituudet. Koska kuvio oli välittömästi uudistettavissa, sille tehtiin laskennallisesti siemenpuuhakkuu ja päätöstukijärjestelmän tehtävänä oli siis ensisijaisesti ennustaa hakkuusta saatavaa hakkuukertymää puutavaralajeittain.

Ennustetuissa puutavaralajikertymissä mitatun runkolukusarjan mäntykuidun hakkuukertymä oli 11,3 m³ ja ennustetun runkolukusarjan kertymä 9,8 m³, eli 13 % pienempi. Mäntytukille vastaavat luvut olivat 57,5 m³ ja 67,3 m³, eli ennustetun runkolukusarjan tuottama tukkikertymä oli 17 % suurempi kuin mitatusta runkolukusarjasta, eli puittaisesta inventointitiedosta, ennustettu. Koska hakkuukertymä painottui tukkiin ja sen kohdalla ero oli suurin, oli hakkuutulojen ennuste 15 % suurempi keskitunnuksiin perustuvassa laskennassa verrattuna mitattuihin puihin perustuvaan laskentaan.



Kuva 2. Harvennusvaiheen kuviolta mitattu todellinen runkolukusarja (pylväät) ja keskitunnusten perusteella ennustettu runkolukusarja (viiva) sekä keskitunnuksista ennustetut puiden pituudet (viiva) ja mitatut puiden pituudet (ympyrät).

Puittaisen inventointitiedon vaikutus kasvu- ja toimenpide-ennusteeseen

Kasvatusvaiheen puolukkatyyppin männikössä puiden keskiläpimitta oli 19,9 cm, keskipituus 15,3 m ja pohjapinta-ala 20,6 m²/ha, eli metsikkö ei ollut välittömästi harvennettavissa. Kuvassa 2 on esitetty metsikön keskitunnuksista ennustettu ja mitattu runkolukusarja sekä puiden ennustetut ja todelliset pituudet. Metsikkö harvennettiin laskennallisesti 11 vuoden kuluttua alkutilanteesta. Kymmenen vuoden kasvatuksen jälkeiset erot metsikön keskitunnuksissa ja tilavuuksissa ovat taulukossa 1. Kasvatuksesta

ei aiheutunut merkittäviä eroja runkolukusarjojen välille, mutta keskitunnuksiin perustuva laskenta yliarvioi selkeästi tukkikertymän ja vastaavasti aliarvioi kuitupuukertymän. Hakkuutulojen osalta erot kuitenkin lähes kumosivat toisensa: vaikka kuitupuulla oli suurempi tilavuusero, sen tilavuuden yksikköhinta oli pienempi ja tukkipuulla päinvastoin.

Johtopäätökset

Kirjoituksessa esitetyillä laskentatuloksilla pyrimme havainnollistamaan, mitä yksinpuin mitattu inven-

Taulukko 1. Harvennusvaiheen metsikön ennustetut keskitunnukset kymmenen vuoden kasvatuksen jälkeen, sekä vuonna 11 laskennan aloituksesta tehdyn harvennuksen kertymäennusteet.

	Mitattu runkolukusarja	Ennustettu runkolukusarja	Ero
keskiläpimitta	21,6 cm	21,7 cm	1 %
keskipituus	16,4 m	16,0 m	-2 %
pohjapinta-ala	24,8 m ² /ha	24,8 m ² /ha	0 %
tilavuus	198,3 m ³	194,1 m ³	-2 %
harvennuskertymä: mäntykuitu	35,0 m ³	30,0 m ³	-14 %
harvennuskertymä: mäntytukki	15,0 m ³	17,0 m ³	13 %
harvennustulot	1444 €	1418 €	-2 %

tointitieto tarkoittaa päätöstukijärjestelmän laskentojen kannalta. Vaikka kahden kuvion esimerkkilaskennan perusteella ei ole syytä tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä, on luonteavaa, että suurimmat erot löytyivät ennustetuista puutavaralajikertymistä, koska runkolukusarjan yksittäisen läpimittaluokan puiden puutavaralajiosuudet vaihtelevat voimakkaasti puun läpimitan mukaan ja muutokset tukki- ja kuitutilavuuksissa siirryttäessä läpimittaluokasta toiseen eivät ole tasaisia, vaan tapahtuvat hyppäyksittäin. Vaikka tarkempi metsän kuvaus antaa luonnollisesti tarkemmat laskentatulokset, päästään inventoituihin keskitunnuksiin perustuvalla laskennalla kuitenkin useimmiten riittävälle tarkkuustasolle. Mikäli halutaan ennustaa tarkasti eri puutavaralajien kertymiä, silloin yksinpuin inventointi antaa selvästi tarkempia tuloksia.

On kuitenkin selvää, että ennustelaskentojen kannalta inventointimenetelmät, joiden avulla voidaan paikantaa yksittäiset puut ja mitata niiden tunnuksia, tuovat kasvunennustamiseen aivan uusia mahdollisuuksia. Tässä kirjoituksessa käytetyssä mallisysteemissä puitten keskinäinen kilpailu kuvataan puun suhteellisen koon kautta. Mikäli puiden todelliset sijainnit tunnetaan, voidaan käyttää kasvumalleja, jotka ottavat huomioon puun todellisen kasvuympäristön sen naapureiden kautta.

Laserkeilaukseen perustuva inventointi tuo mukanaan myös toisen mallien kehittämistarpeen. Nykyiset mallijärjestelmät on rakennettu sen varaan, että puista on helpointa ja tarkinta mitata niiden läpimita, joten myös ennustemalleissa käytetyt selittävät muuttujat perustuvat suurelta osin puiden läpimitoihin ja puuston pohjapinta-alaan. Kuitenkin kun puuta ryhdytään mittaamaan metsän yläpuolelta maan pinnan sijasta, helpoimmin ja tarkimmin mitattava tunnus on puun pituus. Mielenkiintoisen lisänsä tuo se, että tarkasti paikallistetuista peräkkäisistä mitauksista saadaan helposti myös pituuden muutostietoa laajoille pinta-aloille. Päätöstukijärjestelmien tarvitsemia kasvumalleja tulisikin kehittää siihen suuntaan, että ne hyödyntäisivät paremmin nykyistä huomattavasti tarkemman puuston pituustiedon.

Kirjallisuus

- 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.
- Pukkala, T., Miina, J., Kurttila, M. & Kolström, T. 1998. A spatial yield model for optimizing the thinning regime of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 31–42.
- Rasinmäki, J., Mäkinen, A. & Kalliovirta, J. 2009. SIMO: An adaptable simulation framework for multiscale forest resource data. *Computers and Electronics in Agriculture* 66: 76–84.

- MMT Jussi Rasinmäki, MMM Antti Mäkinen ja MMM Jouni Kalliovirta, Simosol Oy.
Sähköposti jussi.rasinmaki@simosol.fi