

Heikki Ovaskainen, Pirkko Pihlaja ja Teijo Palander

Kantobiomassan määrän mallintaminen leimikoissa hakkuukonemittausten avulla

Taustaa

Kanto- ja juuripuusta tuli potentiaalinen raaka-aine energian ja sellun tuotantoon energiakriisin aikaan 1970-luvulla, mutta tuolloin tekniset ja taloudelliset tekijät rajoittivat sen käyttöä. Energian hinnan nousua, kannoista on taas tullut tärkeä raaka-aine bioenergian tuottamiseen. Tämän tutkimuksen aineiston keruun aikaan vuonna 2006 kanto puuta käytettiin energian tuotantoon yli 900 GWh. Viime vuonna 2010 kantoja käytettiin jo 2 TWh.

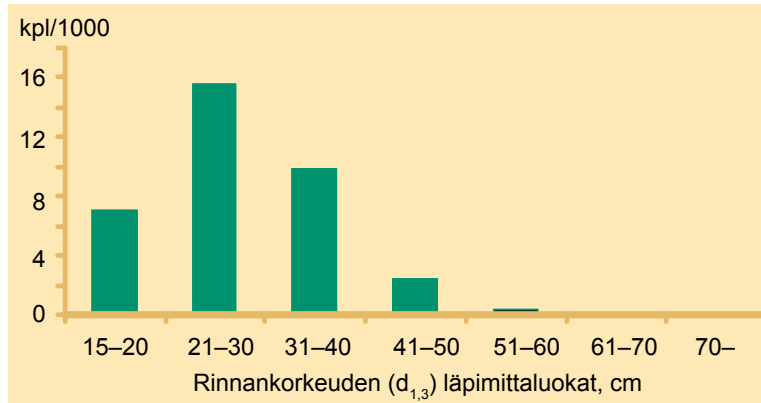
Kannonnosto on kuusivaltaisissa leimikoissa yleinen käytäntö ja uusia kustannustehokkaita nostomenetelmiä on kehitetty kantojen korjuuseen ja kuljetukseen. Esimerkiksi nykyisin kantoja voidaan punnita ajokoneen kuormaimen asennetulla kuormainvaalla. Kuormainvaaka ja sitä tukeva mittausjärjestelmä yhdessä ovat hyödyllisiä apuvälineitä arvioitaessa nostettua kantokertymää. Kantojen nostomäärien voimakas lisääntyminen on aiheuttanut myös puunhankinnan suunnittelumenetelmien kehittymistä. Kantojen energiasisällön ennakoarvioinnissa on kuitenkin ollut suurta vaihtelua. Tarkat arviot leimikoiden kantobiomassakertymistä ovat tärkeitä sekä tehtaan energiapolttoaineiden hankinnan näkökulmasta että puunhankintaorganisaation arvioissa niiden toimituspotentiaalia operatiivisella toimintatasolla. Yleisen tason arviot kantojen potentiaalisesta määrästä esim. bioenergian lähteenä ovat vaikeasti hyödynnettäviä käytännön puunhankinnan ohjauksessa.

Pirkko Pihlajan pro gradu -tutkimuksessa verrattiin Marklundin; Peterssonin ja Ståhlin sekä Repolan ym.:n kantobiomassamalleilla laskettuja biomassa-arvioita toisiinsa. Samalla arvioitiin Marklundin kantobiomassamallin soveltuvuutta operatiiviselle toimintatasolle, kun tavoitteena oli kehittää hakkuukoneesta yleisesti saatavilla olevaan tietoon perustuva paikallisesti kalibroitu malli ennustamaan kuusen kantobiomassaa. Laskennassa hyödynnettiin selittävinä muuttujina pääasiassa hakkuukoneiden keräämää runkokohtaista informaatiota sekä rungon suhteellisilta korkeuksilta kerättyjä läpimitta-arvoja. Referenssiaineistona käytettiin leimikoiden kantojen kuivapainoa.

Tutkimuksen leimikot ja hakkuukonemittaukset

Hakkuukoneista saatava aineisto kerättiin Keski-Suomesta 38 kannonnostoleimikolta, joissa kuusen osuus kokonaispoistumasta oli yli 50%. Ainespuun määrät vaihtelivat leimikoilla 217,1 m³ ja 2173,2 m³ välillä keskiarvon ollessa 652,0 m³.

Tutkimuksessa ei erikseen mitattu metsikkötunnuksia vaan sen sijaan käytettiin tietojärjestelmissä olemassa olevaa puunhankinnan suunnittelu- ja mitaustietoa. Hakkuukonemittauksessa hakkuukoneen mittalaite rekisteröi jokaisesta rungosta runkolajin, läpimitat 10 cm välein ja käyttöosan pituuden. Tästä runkoaineistosta poimittiin seuraavat tiedot: puulaji



Kuva 1. Tutkimusrunkojen jakautuminen rinnankorkeuden suhteen läpimittaluokkiin.

(mänty, kuusi, koivu), runkonumero ja rinnankorkeusläpimitta (kokonaisluku, mm) sekä kuoren päältä mitatut suodattamattomat runkoprofiilin läpimitta-arvot. Hakkuukonemittauksista tarkistettiin runkoprofiilin ensimmäisen läpimitta-arvon tallennuskorkeus, joka tässä aineistossa oli 0,5 m. Tämän ensimmäisen mittauskohdan perusteella laskettiin rungon katkaisuläpimitta eli kantoläpimitta.

Ennen kantojen toimittamista tehtaan varastoon, kantomateriaali punnittiin kuormittain. Kuormien paino muutettiin kuivapainoksi käyttäen apuna keskimääräistä kosteuskerrointa, joka määritettiin tehtaiden päivittäisistä näytemittauksista. Hakkuukoneaineisto sisälsi kaikkiaan 55 490 runkoa, joista kuusen osuus oli 78,8 %, männyn 7,1 % ja koivun 14,1 %. Tästä aineistosta lopulliseen analyysiin valikoitui 35 230 kuusirunkoa seuraavien sääntöjen perusteella:

Vaihe 1: Puulaji on kuusi.

Vaihe 2: Kannon läpimitta ≥ 150 mm.

Vaihe 3: Puun kannon läpimitta kuuluu 75 %:n todennäköisyydellä nostettavien joukkoon.

Lähes puolet valituista rungoista kuului rinnankorkeusläpimittajakauman mukaan (kuva 1) luokkaan 21–30 cm, reilu neljännes luokkaan 31–40 cm ja pienien runkojen (15–20 cm) osuus oli viidennes. Yli 50 cm paksujen runkojen määrä oli vain yksi prosentti.

Valituille rungoille laskettiin kantoläpimittojen kantobiomassaestimaatit Marklundin; Peterssonin

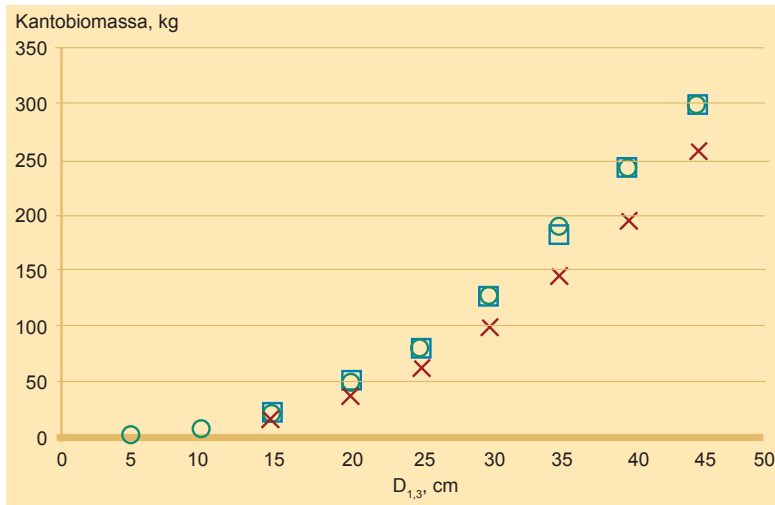
ja Ståhlin sekä Repolan ym. malleilla. Kalibroidun, paremmin käytäntöön soveltuvan biomassamallin, kehittämisessä ja laskennassa käytettiin lineaarista regressioanalyysiä.

Kantobiomassamallien eroja ja hyödyntäminen

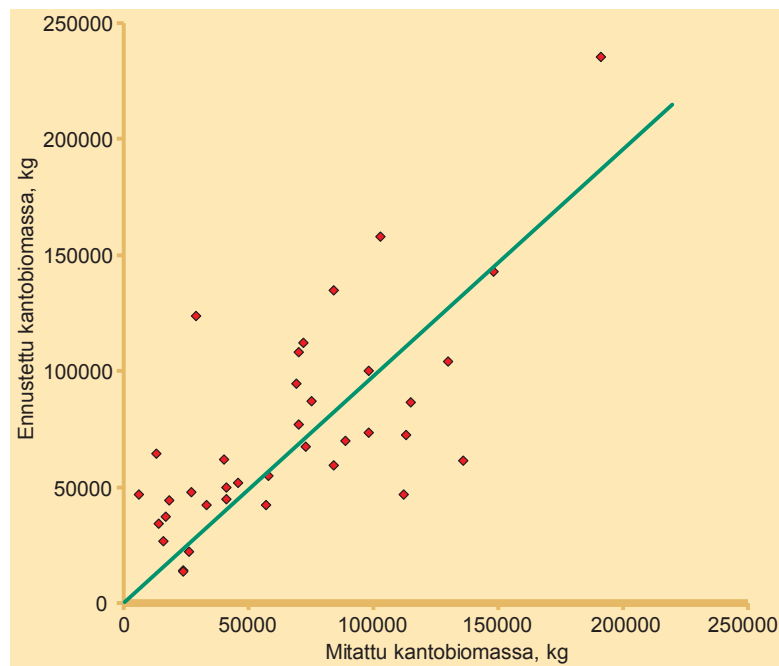
Petersonin ja Ståhlin sekä Marklundin mallilla lasketut kantobiomassat olivat hyvin lähellä toisiaan (kuva 2). Toisaalta Repola ym:n mallilla lasketut biomassat olivat pienempiä. Sen sijaan leimikkotasolla mallit ennustivat kertymää aika hyvin, vaikka kantoja ei yksilöity ennen nostoa. Tulosten arvoa lisää sekä, että kannonhankintaketjun toimijat eivät tienneet tutkimuksesta etukäteen. Tulokset olisivat todennäköisesti olleet tarkempia, jos tutkimuksessa nostetut kannot olisi yksilöity ennen nostoa ja hakkuun aikana.

Marklundin mallin korjattu selitysaste oli tässä aineistossa leimikkotasoon kantobiomassan ennustamisessa 52 % (kuva 3). Marklundin malli pyrki yliarvioimaan todellista kantobiomassaa pienen kantokertymän (kg) omaavilla leimikoilla ja hieman aliarvioimaan suurilla kantokertymillä.

Marklundin mallia kehitettiin lisäämällä uusia selittäviä muuttujia, jotta kantobiomassan ennuste tarkentuisi. Parhaassa kalibroidussa mallissa selittävinä muuttujina olivat siten Marklundin mallilla estimoitu kumulatiivinen kantobiomassa ja kumulatiivinen läpimittojen neliö 30 %:n suhteellisilta rungonkorke-



Kuva 2. Marklundin, Peterssonin ja Ståhlin sekä Repolan ym:n kantobiomas-samallien arvot kuvattuina vastaavasti ympyrällä, neliöllä ja ristillä.



Kuva 3. Marklundin mallilla ennustettujen leimikoiden kantobiomassojen vertailu tehtaalla punnittuihin biomassoihin.

uksilta. Tällä mallilla korjatuksi selitysasteeksi tuli 60%. Tulosten perusteella näytti siltä, että mallin ennusteet hajosivat melko tasaisesti todellisten arvojen ympärille niissä leimikoissa, joissa oli suuret kantokertymät. Tosin havaintojen hajonta on niin

suuri, ettei kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä mallin hyvydestä voi tehdä tämän aineiston perusteella tai se on ainakin vaikeaa. Tässäkin suhteessa pitäisi tehdä hyvin suunniteltuja lisätutkimuksia.

Lopuksi

Teollisuuden energiapuun hankinnassa on käytävissä useita malleja kanto- ja juuribiomassan arviointiin ja ennustamiseen. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Marklundin, Peterssonin ja Ståhlin sekä Repolan ym:n kantobiomassamalleja. Mallit ennustivat kertymää melko hyvin, vaikka kantoja ei yksilöity ennen niiden nostoa. Tulosten perusteella näitä malleja voi käyttää Suomessa ja vastaavissa kuusikoiden korjuuolosuhteissa pohjoisella havumetsävyöhykkeellä. Näiden mallien lisäksi Suomessa on käytössä Hakkilan malli, jota tarvittaessa korjataan kertoimilla. Hakkilan mallin testaus on jatkotutkimusten aiheena.

Tässä tutkimuksessa kantojen noston huolellisuus vaikutti Marklundin kantobiomassamallin tarkkuuteen. Lisäksi tarkkuuteen vaikutti myös valintamenetelmä, jolla kannot valittiin koko aineistosta laskentaan. Valintamenetelmä pyrki noudattamaan firman käyttämää kannonnostokriteeristöä.

Jos täsmälleen samat kannot olisi nostettu, mitä valikoitiin aineistosta, mallien ennusteet olisivat tarkempia. Tällainen systeemi toimisi hakkuun aikana siten, että nostettavat kannot merkattaisiin maastossa. Samalla kantobiomassamallista tulisi adaptiivinen, hakkuukoneen aineistoon perustuva paikallisesti (kylä, kunta) kalibroituva malli. Järjestelmän soveltuvuutta operatiiviselle toimintatasolle voisi kehittää edelleen lisäämällä se hakkuukoneen tietojärjestelmään.

Tavoitteena oli kehittää Marklundin mallia hyödyntävä hakkuukoneen mittausaineistoon perustuva paikallisesti kalibroitu malli, jolla ennustetaan kuusen kanto- ja juuripuun biomassan määrää. Mallin käyttöönoton edellytyksenä on hakkuukoneen mittausaineistoa käyttävä järjestelmä, jossa voidaan käyttää tilastomatemattisia laskentamenetelmiä. Kuten oli odotettavaa, kanto- ja juuripuun korjuun mittausjärjestelmää pystytään kehittämään nykyisestä käytännöstä. Tutkimuksessa käytetyt laskentamenetelmät ovat helposti liitettävissä hakkuukoneen mittausaineiston jälkikäsitteilyyn, jolloin puunkorjuussa olisi merkittäviä mahdollisuuksia huomioida nykyistä tarkemmin paikallisia kanto- ja juuripuun korjuuolosuhteita operatiivisella toimintatasolla. Samalla olisi mahdollista tehostaa energiapuun ja teollisuuden ainespuun korjuuta.

Kirjallisuutta

- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. *Folia Forestalia* 292. 71 p.
- Marklund, L.G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Department of Forest Survey. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 45.
- Palander, T., Vesa, L., Tokola, T., Pihlaja, P. & Ovaskainen, H. 2008. Modelling the stump biomass of stands for energy production using a harvester data management system. *Biosystems Engineering* 102: 69–74.
- Petersson, H. & Ståhl, G. 2006. Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(7): 84–93.
- Pihlaja, P. 2008. Kantojen energiapuumäärän laskennassa käytettyjen biomassamallien vertailu hakkuukonemittauksen avulla. *Metsäteknologian pro gradu -tutkimus*, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu. 115 s.
- Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M. 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. *Metsäntutkimuslaitos, Working Papers* 53. 27 s.
- Vesa, L. & Palander, T. 2010. Modeling stump biomass of stands using harvester measurements for adaptive energy wood procurement systems. *Energy* 35(10): 3717–3721.

■ MMT Heikki Ovaskainen, Prof. Teijo Palander, Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto, Joensuu; MMM Pirkko Pihlaja, UPM-Kymmene Sähköposti heikki.ovaskainen@uef.fi