

Vesa Imponen

Puutavaralogistiikka pelkistää hankinnan toimintamallit



Erilaisia tuotteita valmistavien tehtaiden ja metsien välisten puuvirtojen hallinta on keskeinen tehtävä metsäteollisuuden arvoketjussa. Puutavaran ominaisuuksille asetetaan yhä täsmällisempiä tuote- ja asiakaskohtaisia vaatimuksia. Toisaalta samoja runkoja ja rungon osia voidaan usein hyödyntää eri jalostusmuodoissa. Korjuukohteiden valinta ja puuraaka-aineen kohdistaminen eri tehtaille ja tuotteille ovat keskeisiä tutkimus- ja kehittämisiongelmiä.

Puutavaralogistiikan kehittämisellä saavutettavien lisätuottojen on arvioitu olevan merkittävästi suurempia kuin pelkän kuljetusvaiheen optimoinnilla saavutettavat kustannussäästöt. Kehitys ei johda välttämättä toimintamallien monimutkaistumiseen kuten usein koetaan. Informaatiotekniikan hyödyntäminen ja organisatoriset uudistukset pikeminkin yksinkertaistavat liiketoimintaprosesseja.

Kuljetukset alkavat olla hallinnassa

Metsäteollisuuden puutavaralogistiikassa painopiste on ollut pitkään kuljetuksen kehittämisessä. Kaikki suuremmat hankintaorganisaatiot ovat panostaneet mittavasti kuljetusta tukevien optimointi- ja ohjausjärjestelmien kehittämiseen. Tämän kehittämistyön tuloksena katkotun puutavaran varastot on saatu hallintaan ja kuljetuskaluston käyttö on tehostunut.

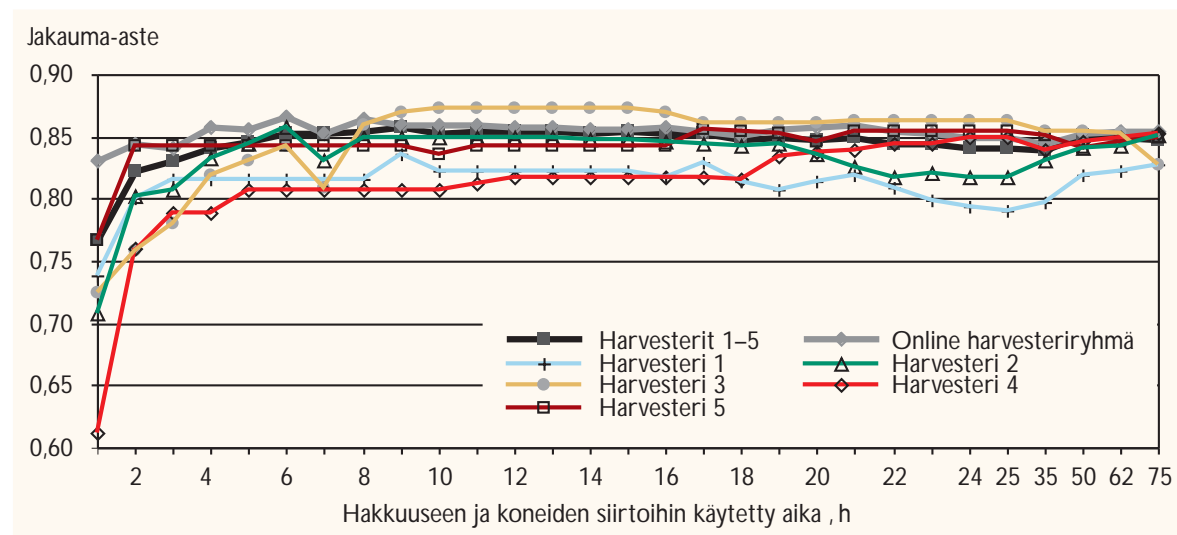
Kuljetuksen optimoinnin ja ohjauksen menetelmät on luotu ja kehitetty pääosin metsäalan ulkopuolella. Tosin puunhankinnan ensimmäisiä kausisuunnittelun optimointisovelluksia kehitettiin verraten ai-

kaisessa vaiheessa jo 1970-luvulla. Muut teollisuusalat ja kauppa olivat autokuljetuksen yksityiskohtaisessa reittien optimoinnissa edelläkävijöitä, ja teknilliset tutkimuslaitokset ja insinööritilat vastasivat menetelmien tuotteistamisesta. Myös puunhankinnan kokeilukäytössä olevat sovellukset syntyivät tämän saman insinööriosaamisen pohjalta.

Koneellistuminen mahdollistaa muutoksen korjuussa

Korjuuoperaatiot olivat pitkään puolikoneellisten menetelmien varassa. Myös hankintaorganisaatioiden rakenteet ja toimintamallit muotoutuivat tämän peruslähtökohdan rajaamina. Vasta 1990-luvun aikana läpiviety puutavaran valmistuksen koneellistaminen varsinaisesti loi aidosti teknillisesti painotuneen otteen metsäteknologian tutkimukseen ja kehittämiseen, ja korjuu alkoi kytkeytyä tiiviimmin osaksi teollisuuden tuotantojärjestelmää.

Pölkkyjen dimensioita mittaava hakkuukone oli tärkeä kehitysaskel. Suomessa lähdettiin kehittämään konemittausta ensisijaisesti kaupalliseksi luovutusmittausmenetelmäksi 1980-luvulla. Ruotsissa koneen mittausjärjestelmään tukeutuva apteraustekniikka oli samaan aikaan keskeinen tutkimuskohde. Suomalaiset T&K-organisaatiot ja yritykset pääsivät merkittävästi mukaan katkonnan ohjauksen kehittämiseen vasta 1990-luvun alkupuolella saha-teollisuuden ja Tekes:in käynnistämässä *Puun mekaanisen jalostuksen teknologiaohjelmassa*.



Kuva 1. Erillisten hakkuukoneiden ja online koneryhmän jakauma-asteet 75 tunnin simuloinnissa.

Runkojen katkonta ajankohtainen T&K-ongelma

Runkojen katkontavaihtoehtojen optimointiongelma on ollut myös operaatiotutkijoiden mielenkiinnon kohteena jo vuosikymmenien ajan, mutta useimmat aiemman tutkimuksen tuottamat ratkaisut soveltuvat lähinnä runkoasemalla tehtävän katkontan optimointiin. Myös käytettävissä olevat matemaattiset menetelmät ovat vaikuttaneet ongelman jäsentelyyn ja käsittelytapaan, ja nämä puhtaasti menetelmälähtöiset ratkaisutavat eivät yleensä sellaisenaan toimi todellisessa toimintaympäristössä.

Käytännössä hakkuukoneiden katkontaa ohjattiin aluksi arvoapteerausta hyödyntäen. Ruotsalaisissa olosuhteissa kysymyksessä oli tavallaan maksimikantohinnan antavan katkontatuloksen haku puukaupassa sovitun hintamatriisin pohjalta. Tämä asetelma johti kuitenkin siihen, että tuotantolaitosten kannalta tukkijakauma ei ollut sahatavarakysyntää vastaava. Suomessa arvoapteerauksessa voidaan käyttää kauppakirjasta riippumattomia suhteellisia arvoja, jolloin tukkien pituus- ja läpimittajakaumat vastaavat paremmin kysyntää.

Seuraavassa kehitysvaiheessa tukkijakaumien hallinta ratkaistiin asettamalla lähtökohdaksi sahatukien halutut pituus- ja läpimittajakaumat määrittelevä tavoitejakauma. Kun tukkiluokkien suhteel-

linen kysyntä on kiinnitetty, luokkakohtaisten hintojen täytyy jatkuvasti muuttua hakkuun aikana tukkiluokittaisten puutteiden ja ylitysten mukaan. Tätä menetelmää on nimetty suoraan ruotsin kielestä kääntäen jakauma-apteraukseksi.

Mittaus- ja tietojärjestelmillä varustetut hakkuukoneet ovat tavallaan tehtaiden metsään yltävä jatke, joka on osa tuotantojärjestelmää. Langattoman tiedonsiirron avulla yksittäiset hakkuukoneet voidaan liittää kokonaisuutena ohjattavaksi hakkuukoneryhmäksi, joka reaaliaikaista tiedonsiirtoa käytettäessä toimii tavallaan yhtenä isona koneena.

Nykyisin hakkuukoneet toimivat vielä oman itsenäisen tietojärjestelmänsä varassa täysin erillisinä yksiköinä. Katkontan ohjauspäätökset perustuvat yksittäisen koneen tukkiluokittaisiin tuotantotietoihin, joiden perusteella vastaan tulevat uudet runkokohtaiset katkontavaihtoehdot valitaan. Kun katkontaohjeita vaihdetaan nämä kumulatiiviset kertymätiedot eriluokkia edustavista tukkikappalemääristä nollautuvat, minkä seurauksena ohjausjärjestelmän mukautuminen metsikön runkojakaumaan vaatii enemmän aikaa.

Metsätehossa C++-ympäristöön kehitetyn, saman aikaiset tapahtumat huomioon ottavan koneryhmäsimulaattorin avulla voidaan tutkia tiedon siirron intensiivisyyden sekä erilaisten ohjausalgoritmien vaikutuksia tavoitetukkijakauman toteutumiseen

(kuva 1). Tiedon siirtoyhteyksien avulla toisiinsa liitettyistä koneista muodostuvan hakkuukoneryhmän reagointinopeus on parempi kuin erillisten koneiden. Tämä johtuu siitä, että koneryhmä tuntee kaikkien samaan ryhmään kuuluvien ja tietylle tuotantolaitoksella sahatukkia valmistavien koneiden tosiaikaiset kumulatiiviset tukkiluokittaiset tuotantomäärät, jolloin jokaisen rungon katkonta voidaan tehdä kokonaistarpeiden kannalta edullisimmalla tavalla.

Valmistettujen tukkien osumista tavoitejakauman mukaisiin luokkiin kuvataan jakauma-asteella, ja kuvassa 1 koneryhmän jakauma-aste nousee nopeammin maksimitasolle kuin viiden erillisen koneen summakäyrä. Koneryhmän jakauma-aste pysyy myös jatkuvasti hieman parempana erillisiin hakkuukoneisiin verrattuna. Ero ei kuitenkaan ole muutaman kymmenen tunnin hakkuutyön jälkeen enää kovin suuri.

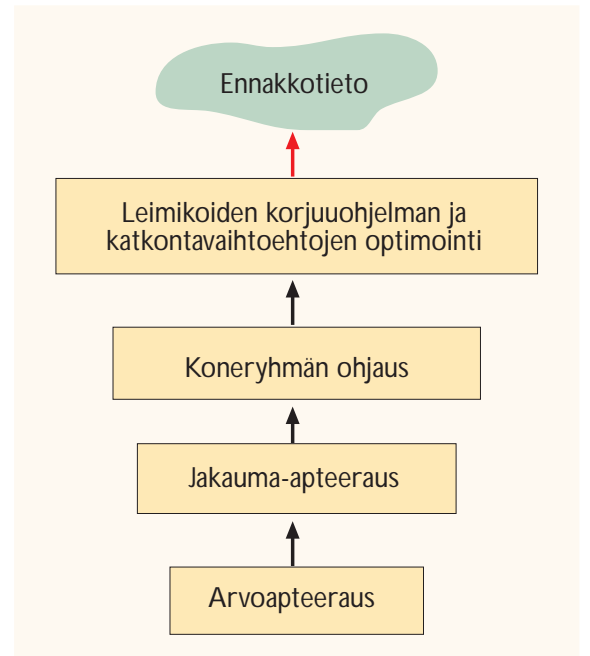
Nykytilanne puutavaralogistiikan T&K-työssä

Puutavaralogistiikan ja katkonnan ohjauksen kehittäminen on edennyt bottom up -tyyppisesti. MATEMAATTISEN OHJELMOINNIN TEORIALÄHTÖISET, IDEALISOIDUT MALLIT OVAT VAIKUTTANEET LÄHESTYMISTAPOIHIN, MUTTA KEHITYS ON EDENNYT ASKELEEN KERRALLAAN KÄYTÄNNÖN TOIMINTATAPOJEN JA KÄYTETTÄVISSÄ OLEVIENTEKNIKOIDEN ANTAMIENTEN MAHDOLLISUUKSIEN MUKAAN (kuva 2).

Hakkuukoneapteeraus on tärkeä kehittämiskohde pohjoismaissa. Osaamisen tasoa on päästy vertailemaan viimeksi *Production and marketing of timber in Europe* – EU-tutkimushankkeessa (Promote), joka päättyy vuoden -99 loppuun mennessä. Tällä hetkellä Ruotsissa ja Suomessa edetään katkonnan ohjauksessa samassa vaiheessa, ja hakkuuvaihetta ollaan liittämässä koko tuotantoketjun kattavaan puutavaralogistiikkaan.

Eräs kynnyskysymys uuden ohjaustekniikan hyödyntämisessä on ollut hakkuukoneiden mittaustarkkuus. Uusimpien, vielä raportoimattomien tutkimusten mukaan myös hakkuukonemittauksen ja sahojen tukkimittareiden tuottamat tukkijakaumatiedot poikkeavat verraten vähän toisistaan.

Tähän saakka apterauksen kehittämistyössä on keskitytty tehtaiden prosessin ohjaussovelluksia



Kuva 2. Bottom up -lähestymistapa katkonnan ohjauksen kehittämisessä.

vastaavien järjestelmien rakentamiseen. Leimikoiden puustoa ja runkojen ominaisuuksia kuvaavaa ennakkotietoa ei ole toistaiseksi hyödynnetty. Korjattavissa olevien hakkuukohteiden puutavaralaji- ja sahatukkijakaumien ennustamisen onnistuessa koko puutavaralogistiikan lähtökohdat muuttuvat.

Leimikoiden katkontavaihtoehtojen valinta

Hankinnan ja korjuun lyhyen tähtäyksen suunnittelussa pystyvarannossa olevista kohteista tarvitaan runkojen laatua ja mittoja kuvaavia tietoa, jotta eri toimituspaikka- ja tavaralajivaihtoehtoja voidaan vertailla systemaattisesti ja kattavasti. Mekaanisen metsäteollisuudessa ennusteet tukkiluokkien dimensio- ja laatujaumista voidaan hyödyntää tuotannon ja myyntien suunnittelussa.

Leimikoiden ennakkomittauksista on kehitetty jo pitkään metsänarvioimistieteen ja metsäteknologian piirissä. Lähtökohdaksi on ollut riittävän tarkkojen ennakkotietojen tuottaminen mahdollisimman halvalla. Otantamittaus on edennyt kentälle nihkeästi,

sillä metsäammattilaiset tuntuvat pitävän kaikkea maastotyötä karvahattukauden jäänteinä. Toisaalta myös puusto- ja runkotietoja hyödyntävät hankinnan järjestelmät ovat olleet vielä kehittämävaiheessa, mikä on hidastanut ennakkomittauksen käyttöön-ottoa.

Metsäteho Oy osakkaineen on käynnistänyt hankkeen, jossa tutkitaan kevyen ennakkotiedon sekä siihen kytketyn, hakkuukoneilla kerättävän leimikko- ja runkopankin käyttökelpoisuutta hankinnan suunnittelun ja operatiivisen ohjauksen kannalta. Tavoitteena on löytää tehokkaimmat menetelmät tietojen yhdistelyyn ja luokitteluun sekä vastinkoh- teiden hakuun.

Aiemmin on kiinnitetty liikaa huomiota yksittäisiä leimikoita kuvaavien tietojen tarkkuuteen. Kohdekohtaiset tavaralajipäätökset ovat oikeaan osuvia, mikäli puulajikohtaiset keskijäreydet voidaan ennustaa riittävän tarkasti. Esimerkiksi sorvi- kuusen, kuusisahatukin ja kuusikuitupuun kertymät riippuvat runkojen dimensioista. Toisaalta laajamittakaavaisessa puunhankinnassa ja tehtaiden tuotannon suunnittelussa tarvitaan luotettavia, tiettyä suunnittelukautta koskevia summätietoja useampi- en kymmenien leimikoiden tavaralajisisällöstä ja sahatukkijakaumista, ja kevyet otantamittaukset sekä runkopankki näyttäisivät toimivilta ratkaisuilta sumatasoisten ennusteiden tuottamisessa.

Katkonnan ohjaukseen liittyvä monimutkaisuus on ollut pitkälti näennäistä, ja hankaluudet ovat joh- tuneet apterausvaihtoehtojen suuresta määrästä ja nykyisten puustotietojen sekä tietojärjestelmien puutteellisuudesta. Promote EU -projektissa testatiin laskennallisin kokein tavoiteohjelmointiin pe- rustuvaa menetelmää, joka soveltuisi leimikoiden katkontavaihtoehtojen sekä kuljetuksen yhtäaikai- seen optimointiin. Kohdefunktio ottaa huomioon kuljetuskustannukset, tehtaiden tavaralajitarpeiden ylitykset ja alitukset sekä sahatukkien tavoitejakau- missa esiintyvät luokkien suhteellisten tavoiteosuuk- sien poikkeamat.

Taulukossa 1 on esitetty esimerkki tämän tyyppi- sen lähestymistavan soveltamisesta, jossa tukki- jakaumaa ja tuloksia tarkastellaan Sahan A näkö- kulmasta. Kyseisessä tapauksessa sahat A, B ja C sekä vaneri- ja massatehdas kilpailivat osin samoista kuusivaltaisista korjuukohteista (50 leimikko). Kun minimoitavassa kohdefunktioissa painotetaan sak-

Taulukko 1. Sahalle A toimitettavien tukkien läpimitta- luokittaisen jakauman parantamisen vaikutus kuljetus- kustannuksiin.

	Sahan A kuusitukkien jakauma-aste, %	Sahan A tukeille kohdistettu lisä- kustannus, mk/m ³
Vaihtoehto 1 Kuljetusoptimi	79,0	–
Vaihtoehto 2 Sahan A tukkien läpimittatavoitteen painotus	82,6	2,02
Vaihtoehto 3 Sahan A tukkien läpimitta- tavoitteen voimakas painotus	83,2	3,53

kojen avulla sahan A kuusitukkien tavoiteläpimita- taluokkajakaumaa, tukkien jakauma-aste paranee kuljetusoptimin mukaiseen vaihtoehtoon 1 verrat- tuna. Samalla kokonaiskuljetuskustannukset nouse- vat kaikkien tehtaiden kannalta. Kun lisäkustannuk- set kohdistetaan sahan A tukeille, voidaan punnita jakauma-asteen paranemista suhteessa aiheuttamis- periaatteen mukaisiin lisäkustannuksiin.

Optimoinnin lopputuloksena saadaan tehtaiden tilausten ja korjuukelpoisen pystyvarannon kannal- ta edullisimmat katkontatavat jokaiselle korjuukohteelle. Tukkipuun osalta otetaan huomioon kunkin tuotantolaitoksen jakaumatavoite. Menetelmää so- vellettaessa tarvitaan ennakkotietoja korjattavissa olevista kohteista. Jatkossa puutavaralaskelmissa tarvittavat korjuukohteiden puuston ominaisuus- tiedot voidaan ennustaa runkopankin avulla. Nykyi- sessä toimintaympäristössä ja kehitysvaiheessa kat- kontavaihtoehtojen optimointimallia voitaisiin käyt- tää hankintatiimien suunnittelemien karkeampien korjuuohjelmien ja leimikkokohtaisten katkonta- vaihtoehtojen viimeistelyssä.

Logistiikan oppien (late binding) mukaan ratkai- sut pitäisi sitoa mahdollisimman myöhäisessä vai- heessa ennen korjuuta. Nykyisin leimikoiden kat- kontavaihtoehdot on lyöty lukkoon jo puukauppaa tehtäessä. Tämän seurauksena korjuussa joudutta- neen joskus toimimaan jo ohi menneen markkina- tilanteen mitta- ja laatuvaatimuksilla. Ongelman

korjaaminen vaatisi pystykauppojen hinnoittelumallin täydellisen uusimisen.

Periaatteessa leimikoiden ja runkojen allokontimenetelmällä voitaisiin tuottaa peräkkäisille suunnittelukausille tarpeiden mukaan priorisoitu korjuukohdejono yhtäaikaisesti kaikkien tehtaiden ja leimikoiden suhteen. Käytännössä kauppasopimukset ja korjuuolosuhteet rajoittavat kuitenkin leimikoiden hakkuuajankohdan valintaa. Lisäksi joudutaan ottamaan huomioon korjuulohkojen sijaintilouutus, jonka seurauksena esimerkiksi saman tien varrella olevat leimikot hakataan silloin, kun korjuukalustoa on alueella. Myös puutavaraerien koolle asetetaan minimivaatimuksia. Idealisessa tilanteessa eräkoot voisivat olla puutavaranippujen kerrannaisia. Kaikki nämä rajoitteet voidaan kuvata optimointimallissa kokonaislukumuuttujia käyttäen, mutta ongelma on käytännössä mahdotonta ratkaista laskennan hitauden vuoksi.

Raaka-aineen käytön tehostaminen edellyttää puutavaraerien arvojen nykyistä parempaa määrittämistä. Monimutkaiset vertailut voidaan kuitenkin antaa laskentasovellusten vaivaksi, ja pystyvarannon hallinta yksinkertaistuu ja tehostuu. Tämän tyyppisten järjestelmien käyttöönotto vaikuttaisi syvästi ja kokonaisvaltaisesti puunhankinnan toimintamalleihin. Uudistuksia on jouduttu toistaiseksi odottamaan, koska koko tuotantoketju on ensin uudelleen suunniteltava ja muutokset olisi vietävä käytäntöön samanaikaisesti.

■ Vesa Imponen (vesa.imponen@metsateho.fi) työskentelee erikoistutkijana Metsäteho Oy:ssä.