

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU

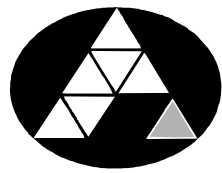
Metsätalouden koulutusohjelma

Mikko Anttilainen

KATKONTAOHJEIDEN KEHITTÄMINEN SIMULOINNIN AVULLA
KUUSITUKKIJAKAUMAN PARANTAMISEKSI

Opinnäytetyö

Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2012
Metsätalouden koulutusohjelma

Sirkkalantie 12 A
80100 JOENSUU
p. (013) 260 6906

Tekijä(t)
Mikko Anttilainen

Nimeke
Katkontaohjeiden kehittäminen simuloinnin avulla kuusitukkijakauman parantamiseksi
Toimeksiantaja
Yritys X

Tiivistelmä

Katkonnanohjaustiedoston sisältämällä katkantaohjeilla ohjataan hakkuukoneiden puutavaralajien valmistusta. Katkantaohjeet sisältävät tiedot valmistettavien puutavaralajien pituus-läpimittayhdistelmistä ja arvosuhteista. Puunjalostusteollisuudessa halutaan sovittaa metsähakkuiden tukkikertymä markkinoilla kysytyjen sahatavaralajien mukaan. Tämän takia toiset puutavaralajit ovat halutumpia kuin toiset. Puutavaralajit ja niiden haluttavuus kerrotaan katkantaohjeen arvo- ja jakaumamatriisissa, joihin syötetään puunjalostusteollisuuden tilaus toimitettavista puutavaralajeista.

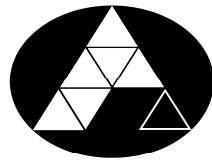
Tämä työ tehtiin toimeksiantona Yritys X:n sahalle tavoitteena lisätä 5,5 metrin kuusitukin kertymää metsähakkuissa. Yritys X:n sahalle 5,5 metrin kuusitukkipituus on halutuin pituusmitta, ja siksi hyvä tutkimuskohde. Kertymää haluttiin kasvattaa kehittämällä katkantaohjeita apteeraussimulaation avulla.

Tutkimuksen aineistona oli kuusi kuusivaltaista pääte- ja harvennushakkuuleimikkoa, joiden runkopankkia simuloitiin apteeraussimulaatiolla. Simulaatiot toteutettiin Ponsse OptiSimu-tietokoneohjelmalla. Tutkimuksessa suoritettiin useita simulaatioita erilaisilla variaatioilla, joista tutkittiin oleelliset tunnusluvut. Näiden lukujen perusteella tehtiin pisteytys eri katkantaohjeiden välillä ja paremmuus saatiin selville. Tutkimuksessa esitettiin toimeksiantajalle erilaisia vaihtoehtoja, jotka olisivat potentiaalisia ottaa käyttöön metsähakkuissa.

Kieli
suomi

Sivuja 37
Liitteet 4
Liitesivumäärä 5

Asiasanat
Apteeraus, simulointi, runkopankki, matriisi



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2012
Degree Programme in Forestry
Sirkkalantie 12 A
FIN 80100 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6900

Author(s)
Mikko Anttilainen

Title
Marking for bucking to Improve Distribution of Spruce Logs with Bucking Simulation
Commissioned by
Enterprise X

Abstract

Bucking instruction files contain bucking instructions which are used in the harvester to guide the cut-to-length logging. The bucking instructions include the information on desired log lengths and dimensions of timber assortments and value rates. The wood processing industry wants to customise the timber flow and meet the demand for marketable timber. This is why some wood assortments are more in greater demand than others. Wood assortments and their desirability are found in the price list and distribution matrix in to which the wood processing industries orders for specific timber assortments are fed.

This thesis was made for the Enterprise X sawmill, and its aim was to increase the volume of 5.5 metre spruce logs in harvesting. For the Enterprise X sawmill, the 5.5 metre spruce log length is the most desired log length, and that is why this was a good subject of survey. The purpose was to increase the distribution by developing bucking instructions by means of bucking simulation.

The material of the survey consisted of six spruce dominated stands, marked for clear cutting and thinning. And this stem bank was used in bucking simulation. The simulations were carried out with the Ponsse OptiSimu computer program. In the survey, several simulations were conducted with different variations, from which relevant characteristics were researched. Based on these characteristics, grading was done between the different bucking instructions. In the survey, the client was given different bucking instruction options, which could be potential alternatives in harvesting.

Language
Finnish

Pages 37
Appendices 4
Pages of Appendices 5

Keywords
Marking for crosscutting, simulation, stem bank, matrix

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto.....	6
2	Katkonnanohjaus	8
2.1	Apteeraus	8
2.2	Ponsse Opti -järjestelmä	8
2.3	Arvo- ja jakaumamatriisit.....	9
2.4	Jakauma-apteeraus.....	11
2.5	Hakkuukoneapteerauksen toimintaperiaate.....	12
2.6	Hakkuukonemittaus	16
2.7	Katkontaohjeiden vaikutus leimikon myyntiarvoon	18
3	Tutkimus.....	20
3.1	Tutkimusongelma	20
3.2	Leimikoiden valinta.....	20
3.3	Aineiston hakkuun tulokset	21
3.4	Tutkimuksen toteutus ja valmistelu.....	23
4	Simuloinnit	26
4.1	Tulokset	27
4.2	Johtopäätökset	30
5	Pohdinta.....	34
5.1	Opinnäytetyöprosessi	34
5.2	Tutkimuksen tarkastelu	34
5.3	Tavoitteen toteutuminen.....	35
	Lähteet.....	37

Liitteet

- Liite 1 Sahan tilaus ja jakaumatavoite
- Liite 2 Aineiston runkojakauma
- Liite 3 Alkuperäinen arvo- ja jakaumamatriisi
- Liite 4 Arvo- ja jakaumamatriisi simuloiteja varten

Lyhenteet ja käsitteet

Apt-tiedosto	Apt-tiedostoon on sisällytetty tehtaan tilaus valmistettavista puutavaralajeista ja niiden mitoista. Niiden haluttavuus ja arvosuhteet kerrotaan apt-tiedoston arvo- ja jakaumamatriisissa
Arvomatriisi	Apt-tiedostossa oleva matriisi, johon on syötetty puutavaralajien pituuksien ja läpimittojen väliset arvosuhteet
Bnk-tiedosto	Ponsen käyttämä tiedostomuoto runkopankista. Katso runkopankki
Jakaumamatriisi	Apt-tiedostossa oleva matriisi, johon on syötetty toivottu puutavaralajien läpimitta-pituussuhdejakauma
Katkonnanohjaustiedosto	Katso apt-tiedosto
Katkontaohje	Apt-tiedoston sisältämät määritelmät valmistettaville puutavaralajeille
Leimikko	Alue, joka on käsitelty tai tullaan käsittelemään metsähakuilla
Lankeava tukkipituus	Tukkipituus, joka on ei-toivottu ja tulee sivutuotteena metsähakuissa
Prd-tiedosto	Hakkuukoneen tuotostiedosto, joka sisältää tiedot koneen valmistamista puutavaralajeista
Puutavaralaji	Rungosta katkottu pölkky, jolle on määritelty läpimitta-pituusrajat ja laaturajat
Runkopankki	Sisältää tiedot runkoprofiileista. Runkopankki luodaan simulointia varten ja koostuu useista stm-tiedostoista
Stm-tiedosto	Hakkuukoneen ohjelman tallentama tiedosto, joka sisältää tiedot hakattujen puiden runkoprofiilista

1 Johdanto

Metsätaloudessa tarvitaan suuri määrä tietoa käytettävissä olevista metsävaroista. Tiedon käyttötarkoituksen määrää se, missä metsätalouden toimintaympäristössä tietoa tarvitaan. Metsävarojen mittaukseen ja arviointiin on nykyään olemassa monipuolinen välineistö läpi koko metsäsektorin. Tietoa tarvitaan aina puutasolta metsikkötasolle asti ja tietoa hyödyntämällä voidaan tehdä erilaisia päätöksiä metsien hakkuissa, logistiikassa, metsäluonnon turvaamisessa, metsän tulevaisuuden suunnittelussa, maisema-arvojen säilyttämisessä sekä metsien virkistyskäytössä. (Ärölä 2002, 323.)

Yksi metsävarojen mittausväline on monitoimikoneen mittauskalusto. Monitoimikoneen mittaamana saadaan tarkkaa tietoa kaadetuista puista ja tietoa siitä, paljonko leimikolla todellisuudessa on puustoa. Monitoimikoneen hakkuukourassa sijaitsevat mittaus-sensorit mittaavat kouran läpi juoksevaa runkoa. Puun tiedot tallentuvat hakkuukoneen tietokoneelle, ja puu katkotaan mitattujen tietojen perusteella ohjelman ehdottamalla tavalla puutavaralajeihin. Se, mitä kone ehdottaa milloinkin katkottavaksi linkittyy olennaisesti puunjalostusteollisuuteen. Hakkuukoneen katkontaohjeet sisältävät tehtaan tilauksen leimikoilta toimitettavista puista, joten näiden ohjeiden oikeellisuus on tärkeää puita katkottaessa.

Yritys X:n sahalle tukkia tulevista metsähakkuista 5,5 metrin kuusitukin osuuden kasvattamiseen liittyy monia tekijöitä, eikä ongelman ratkaisu ole yksiselitteinen. Puutavaralajimenetelmässä rungot päätetään osiin jo hakkuukohteella. Yksi keskeisimmistä asioista, jolla pyritään vaikuttamaan eri puutavaralajien ja niiden pituuksien kertymiin, on apteraus. Muita tekijöitä, joilla voitaisiin parantaa pitkän tukin saantoa, voisivat olla hakkuukonekuljettajien koulutuksen lisääminen sekä pitkän tukin laatuvaatimusten löysentäminen. Hakkuukoneenkuljettajien koulutusta ja laatuvaatimusten löysentämistä pitkällä tukilla on jonkin verran kokeiltu ja vaikutukset ovat olleet positiivisia. Ne voisivat olla hyviä jatkotutkimuskohteita 5,5 metrin tukin lisäämiseksi. Jonkinlainen palkkioon sidottava järjestelmä haluttujen tukkipituuksien osalta harvesterikuljettajille ja puunhankintatiimille voisi myös kannustaa tavoittelemaan parempaa tulosta.

Tämä työ tehtiin toimeksiantona Yritys X:n sahalle ja yhteistyössä sahan puunhankintatiimin kanssa. Työn tekemisen alkuvaiheessa mietittiin toimeksiantajan sekä opinnäytetyön ohjaaja Pekka Kärkkäisen kanssa, miten lähteä rakentamaan tutkimusta. Kaikkein parhaaksi lähestymistavaksi osoittautui, että työssä keskitytään apteraukseen ja sen parantamiseen, koska sitä kautta päästään parhaiten vaikuttamaan tukkipituuksien kokonaiskertymään. Tutkimusongelman olennaisin asia on apterauksen kehittäminen niin, että 5,5 metrin kuusitukin saanto olisi mahdollisimman suuri kuitenkin niissä puitteissa, että koko tukkiosuus tulisi hyödynnettyä rungosta mahdollisimman tehokkaasti.

Tämä opinnäytetyö rakentuu kolmesta eri osuudesta. Ensimmäinen osuus koostuu teoriasta, jossa kerrotaan katkonnanohjauksen ja siihen liittyvän käsitteistön kaikki tarpeelliset termit. Tutustutaan monitoimikoneen mittalaitteistoon ja mittauksen periaatteisiin, sekä perehdytään siihen miten katkonnanohjaustiedosto toimii, mihin sitä käytetään ja miksi. Teoriaosuuden jälkeen keskitytään itse tutkimukseen. Tutkimusosassa käydään läpi opinnäytetyössä käsiteltävä tutkimus. Tässä osiossa esitellään tutkimusongelma, tutkimusmenetelmä ja perehdytään tutkimuksen toteutukseen sekä tuloksiin. Viimeisenä osuutena tulee pohdinta. Tässä osuudessa arvioidaan opinnäytetyön onnistumista, hyödyllisyyttä, luotettavuutta ja sitä, mitä olisi voinut tehdä paremmin.

2 Katkonnanohjaus

2.1 Apteeraus

Termi apteeraus tarkoittaa puurungon katkomista halutun pituisiin pätkiin. Katkontakohdat määräytyvät erilaisten haluttujen mitta- ja laatuvaatimusten mukaan, joiden perusteella optimaalinen rungon katkenta suoritetaan. Apteerausta tehdään nykyään kaupallisissa metsänhakkuissa lähes poikkeuksetta vain monitoimikoneella. Monitoimikoneet tekevät Suomessa pystykauppoina ostetut metsähakkuut yli 95 prosenttisesti, joten metsurityönä suoritettavat hakkuut ja apteeraukset ovat harvinaisia. (Kivinen 2007.)

Metsurityössä apteeraus suoritetaan mittanauhan tai kepin avulla. Pätkiminen tapahtuu moottorisahalla metsurin päättäessä katkontakohdat pyrkien noudattamaan tehtaan tilausta haluttujen puutavaralajien ja pituuksien osalta. Puutavaralajilla tarkoitetaan puurungosta katkottavia pölkköjä, esimerkiksi tukkia, pikkutukkia tai kuitua. Monitoimikonehakkuissa apteeraus tapahtuu tietokoneohjelmalla pohjaisesti. Monitoimikoneen ohjelmaan on syötetty apteerauksen ohjaustiedosto eli apt-tiedosto, joka sisältää katkontaohjeen tehtäville puutavaralajeille ja näiden mitoille. Katkontaohjeeseen on sisällytetty puunjalostusteollisuuden tilaus toimitettavista puutavaralajeista. Tätä ohjetta myötäillen ohjelma pyrkii ohjaamaan apteerausta tilauksen suuntaan. Apt-tiedosto sisältää tiedon valmistettavista puutavaralajeista, puutavaralajien arvojen välisistä suhteista ja jokaisen puutavaralajin pituusläpimittayhdistelmät. (Räsänen 2008.)

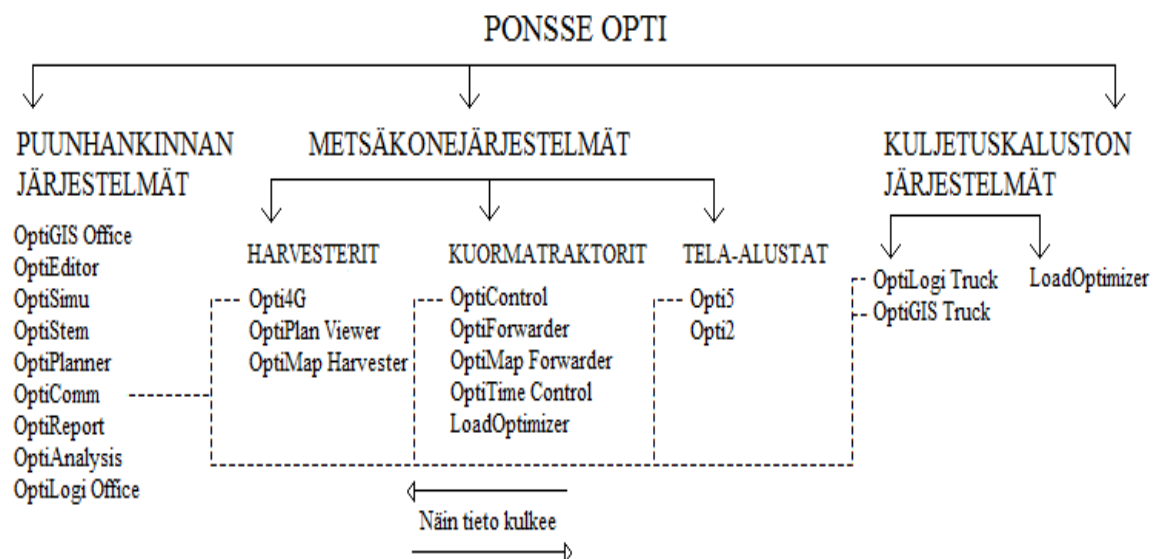
2.2 Ponsse Opti -järjestelmä

Apt-tiedosto luodaan erityisellä suunnitteluohjelmalla. Yleisimmin käytössä olevilla suunnitteluohjelmilla voidaan tehdä kahdentyyppisiä katkontaa sääteleviä apteerausohjeita: arvomatriisi- ja jakaumamatriisi-ohjeita, tai näiden molempien kompromissi. Näistä on kerrottu myöhemmin tarkemmin erillisissä kappaleissa. Ponsse

Opti-tietojärjestelmät kattavat koko puunhankintaketjun kannolta tehtaalle asti. Tässä työssä käytetään Ponsse Opti -järjestelmään kuuluvia katkonnanohjaustiedoston suunnitteluun ja simulaatioon liittyviä ohjelmia.

Katkonnanohjaustiedostot luodaan OptiEditor-ohjelmalla. Ohjelma tukee StanForD-standardin mukaisia apteerausohjeita, joten sillä tehdyt tiedostot käyvät myös muihin standardin mukaisiin järjestelmiin. OptiEditor-ohjelmiston rinnalla käytetään OptiSimu-ohjelmaa. OptiSimulla varmistetaan apteerauksen ohjaustiedostojen toiminta ja tarkastetaan, että ne toimivat virheettömästi ennen lähettämistä harvesterille. OptiSimulla voidaan hakata leimikko virtuaalisesti aikaisemmin kerätyn runkoaineiston pohjalta ja näin nähdään, miten apteerausohjeisiin tehdyt muutokset vaikuttavat saantoon sekä tukkijakaumaan. Runkoaineistoja varten on OptiStem-toiminto, jolla muokataan leimikoiden runkoaineistot OptiSimu-apteeraussimulointia varten. Ponsse Opti-järjestelmät on esitelty taulukossa 1. Näiden lisäksi ohjelmistoon kuuluu 3D-simulaattori, joka on metsäkonekuljettajien koulutuksessa käytettävä ohjelma. (Ponsse Opti- tietojärjestelmät.)

Taulukko 1. Ponsse Opti järjestelmät.



2.3 Arvo- ja jakaumamatriisit

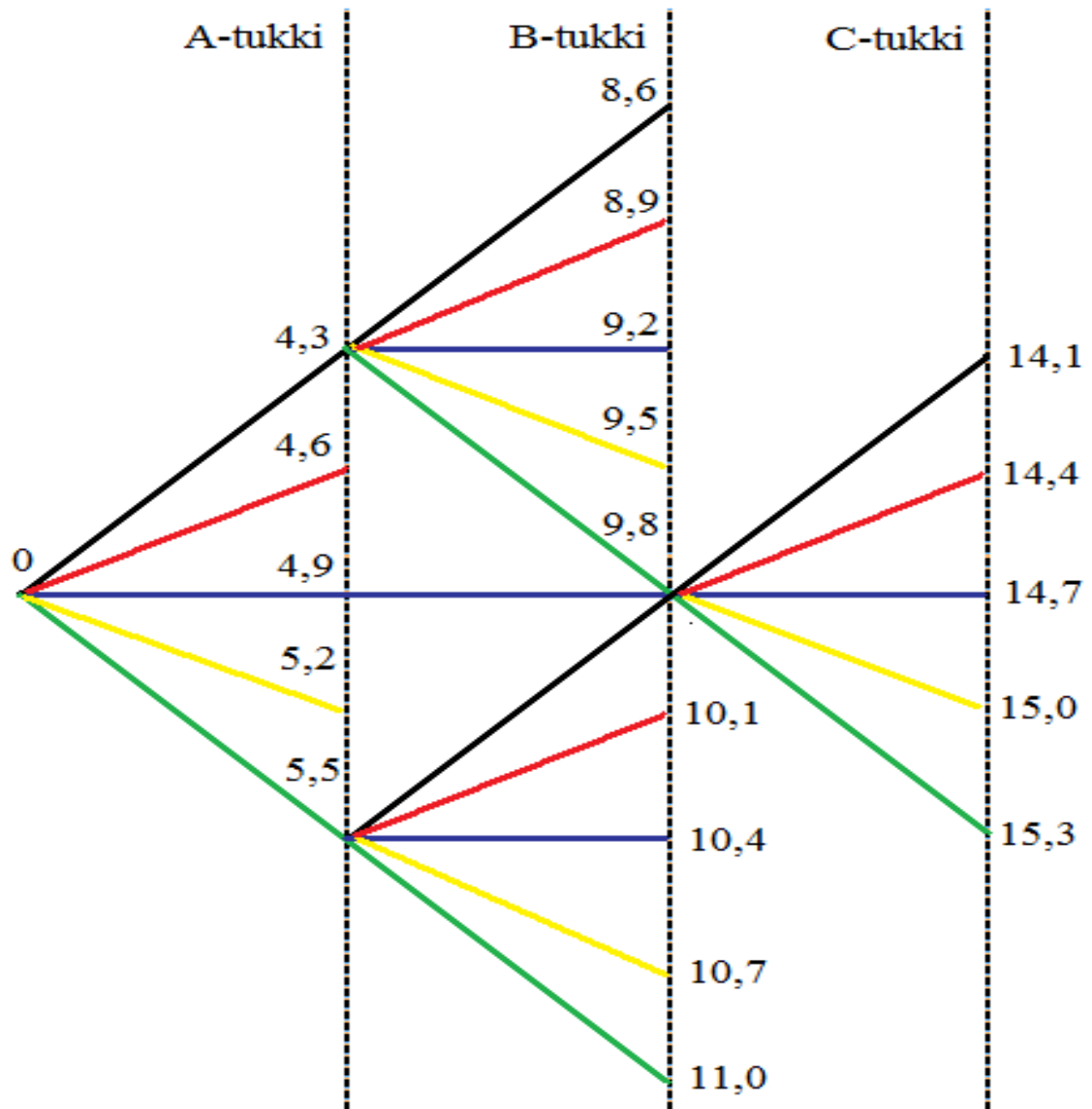
Arvomatriisi on apt-tiedostossa katkontaa ohjaava lista puutavaralajeista ja niiden välisistä arvosuhteista. Ennen arvomatriisin tekoa luetellaan eri puutavaralajit, joita aiotaan tehdä. Esimerkiksi kuusella puutavaralajilista voisi olla seuraavanlainen;

kuusitukki, erikoistukki, pikkutukki, parru, kuusikuitu ja laho. Näillä jokaisella puutavaralajilla on omat laatu- ja mittavaatimukset ja jokaiselle annetaan myös omat perushinnat, jotka luetellaan arvomatriisiin. Näillä perushinnoilla ei ole mitään tekemistä oikeiden hintojen kanssa, joten oikea nimitys olisi hintalistan sijaan ennemminkin arvolista ja sen arvot. Näiden perushintojen perusteella erotetaan halutuimmat ja arvokkaimmat puutavaralajit vähemmän arvokkaista puutavaralajeista. Perushintojen täytyy erota toisistaan sen verran, että kun katkontaa ohjataan arvo- ja jakaumaperusteisesti hintoja muuttamalla, niin halvempi laji ei saa mennä kalliimman ohi. Esimerkkinä suurin parrun arvo ei saa ylittää pienintä pikkutukin arvoa ja arvokkaampi pikkutukki jäisi silloin kokonaan tekemättä (Arvo- ja jakaumamatriisien laadintaohje 2012.)

Pelkän arvomatriisin perusteella tehtävä hakkuu johtaa todennäköisimmin siihen, että tukkijakauma vääristyy ja tehtaan tilauksen mukainen jakauma ei täyty. Tämän estämiseksi ohjelma ohjaa apteerausta jakauma-apteerauksella, joka ottaa tehtaan tilauksen huomioon. (Kivinen 2003, 1–4.) Jakauma-apteerauksesta on kerrottu myöhemmin erillisessä kappaleessa. Arvoapteeraus pyrkii maksimoimaan rungosta saatavan hinnan. Jos jakaumatavoitetta ei oteta huomioon ja optimoidaan jokainen runko erikseen, tullaan tilanteeseen, jossa hakkuun jälkeen kaikkien pölkyjen yhteenlaskettu arvo on suurempi, mutta jakauma on vääristynyt. Tästä voidaan todeta, että yksittäisen rungon optimoinnista täytyy jonkin verran tinkiä, että saavutettaisiin toivotunlainen jakauma. (Ovaskainen 2012.)

Taulukossa 2 on esitetty erilaisten katkontavaihtoehtojen polku. Esimerkissä runko voidaan katkoa kolmeen osaan, A-, B- ja C-tukkiin, jossa on annettu viisi tukkipituutta; 4,3 m, 4,6 m, 4,9 m, 5,2 m ja 5,5 m. Harvesterin ohjelma käy kaikki polkuvaihtoehdot läpi ja laskee siten jokaiselle pölkytysvaihtoehdolle hinnan. Näistä poluista valitaan suurimman hinnan saanut polku toteutettavaksi. Tämä menetelmä perustuu Uusitalon (Uusitalo 2012) mukaan Näsbergin (1985) väitöskirjaan, jossa runkojen pölkytys tapahtuu matemaattisten optimointimallien avulla (Verkkoteoria ja dynaamisen optimoinnin yhdistelmä). Uusitalo toteaa, että nämä Näsbergin optimointimallit ovat ilmeisesti nykyäänkin käytössä kaikilla hakkuukonevalmistajilla. (Uusitalo 2012.)

Taulukko 2. Rungon pölkytysvaihtoehtojen polut.



2.4 Jakauma-apteeraus

Jakauma-apteerauksella tarkoitetaan katkonnanohjauksen mukauttamista runkojen pölkytyksen aikana siten, että etukäteen määrätty pituus-läpimitta sekä laatujaakauma saavutetaan halutuille puutavaralajeille. Ponsen OptiOffice-ohjelmassa erilliseen kenttään syötetään arvo prosentteina (0-20) tai hintana (0-100). Jos arvo on 0, jakauma-apteeraus on vähäistä ja vastaavasti isoimmilla arvoilla se voimistuu. Käytettäessä jakaumalistaa katkonnanohjauksessa puutavaralajin hintalistaan laitetaan suhteellisen tasaiset arvot eri pituus-läpimittayhdistelmille kuitenkin niin, että eri tavaralajien välille tulee arvot, jotka poikkeavat selvästi toisistaan. Hakkuun aikana tietokone ohjaa puutavaralajijakauman toteutumista ja vertaa sitä tavoitteena olevaan jakaumaan.

Ohjelma muuttaa hintalistan arvoja sen perusteella, kuinka kaukana kunkin puutavaralajin toteutunut määrä on tavoitejakaumasta. Tätä jakaumamatriisiin perusteella mukautuvaa hintalistaa kutsutaan myös adaptiiviseksi hintalistaksi.

Hintalistan arvojen sallitulle muutokselle annetaan erilliseen kenttään lukuarvo, joka rajoittaa ja kuvaa sallitun hinnan maksimiarvoa suhteessa alkuperäiseen annettuun arvoon. Esimerkiksi, jos alkuperäinen hinta olisi 100 ja sallittu hinnan vaihtelumäärä olisi asetettu 10 %:iin, kyseisen puutavaralajin hinta saa olla ± 10 % alkuperäisestä hinnasta. Tässä tapauksessa ohjelma saisi muuttaa hintaa 90 – 110 välillä riippuen siitä, haluaako se vähentää vai lisätä tätä puutavaralajia tavoitejakauman täyttämiseksi. Jakaumatavoitteen saavuttaminen voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta, jos hakattava leimikko on liian pieni tai leimikon laatu on epäedullinen jakaumaan nähden. Suuremman leimikon valinta ja pidempi tarkastelu-aika auttaa jakaumatavoitteen pääsemistä. (Arvo- ja jakaumamatriisien laadintaohje 2012.)

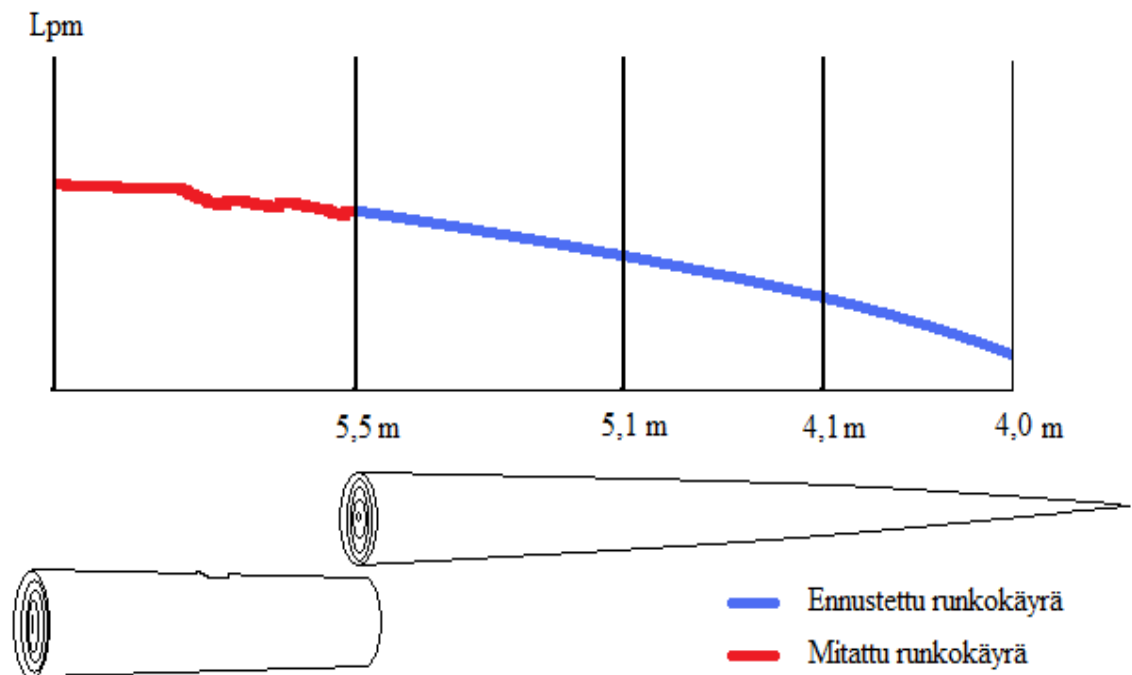
Jakauma-apterauksen toteuttamiselle Ponsen ohjelmassa on olemassa edellä mainitun mukautuvan arvomatriisin lisäksi lähioptimaalimenetelmään perustuva jakauma-apteraus. Lähioptimaalimenetelmän ollessa valittuna hakkuukoneen ohjelma ei katkaise kaikkein optimaalisinta vaihtoehtoa vaan valitsee arvokkaimmasta katkaisuvaihtoehdoista enintään 5 % huonompia katkaisuvaihtoehtoja mukaan tarkasteluun. Huonoimmista vaihtoehdoista valitaan pölkytettäväksi se, jonka pölkyistä on eniten puutteita. (Vuorenpää 1999, 6.)

2.5 Hakkuukoneapterauksen toimintaperiaate

Harvesteriapterauksessa mittauksen kannalta tärkeimmät osat ovat koneen hakkuupäässä sijaitsevat mittaussensorit, jotka mittaavat tukin läpimittaa ja matkaa jopa 10 kertaa sekunnissa. Sensoreilta mittaustiedot menevät harvesterin tietokoneelle, jossa ohjelma suorittaa jatkuvasti matemaattisia laskelmia ja vertailuja löytääkseen optimaalisen katkaisukohtan. Harvesterin ohjelma tallentaa hakkuun edetessä runkopankkia, josta ohjelma ennustaa tuntemattoman rungonosan vertaillen tyveltä mitattuja arvoja runkopankin samankaltaisiin puihin. Toinen vaihtoehto olisi mitata ensin koko runko eli ajaa se kouran läpi, minkä jälkeen voitaisiin tehdä apteraus

mitatuilla arvoilla. Tämä tyyli kuitenkin olisi erittäin hidas, kuormittaisi laitteistoa ja puuta paljon enemmän ja aiheuttaisi mittavirhettä. Tutkimuksien mukaan tämä myös alentaisi tuottavuutta noin 30 %.

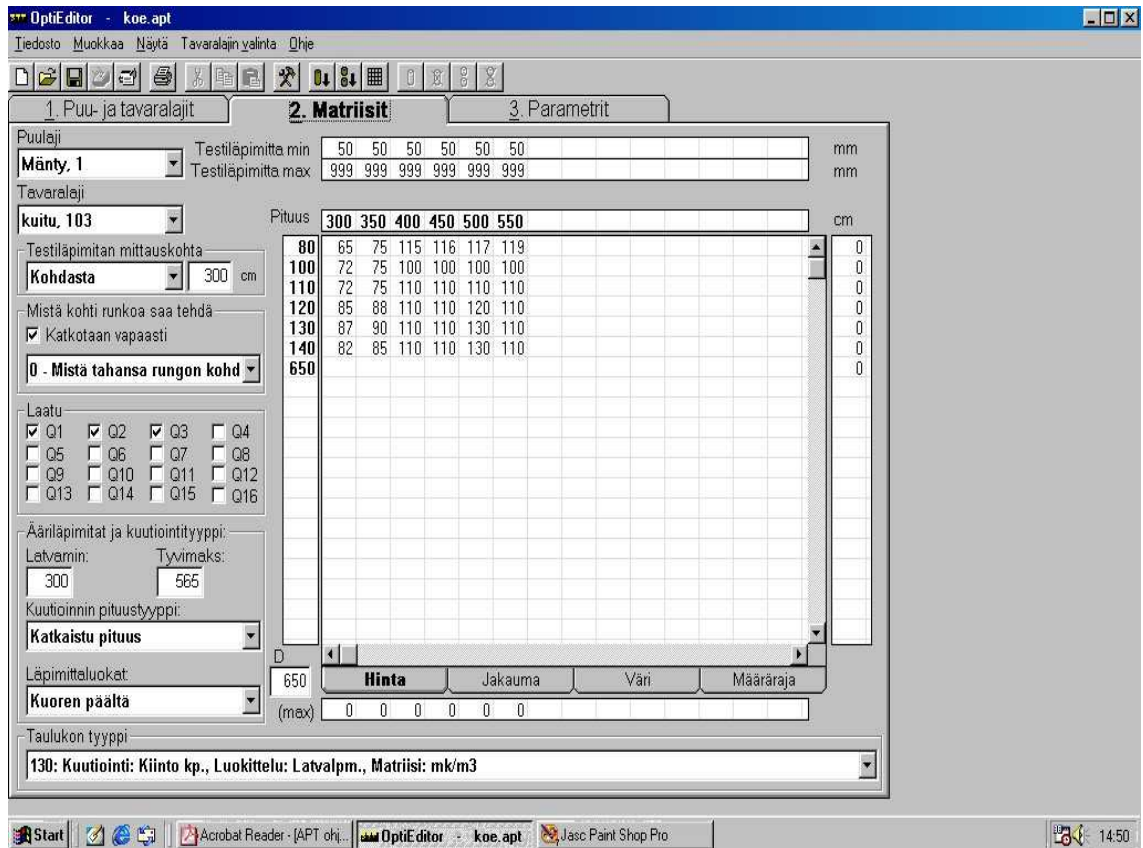
Hakkuukoneenkuljettaja antaa kaadettavalle rungolle puulaji- ja laatu tiedot. Laatu tieto annetaan ennen puun kaatoa laatu näppäimillä joihin kuhunkin on sisällytetty erilainen joukko valmistettavia tavaralajeja. Kuljettaja kertoo koneen tietojärjestelmälle, mitkä puutavaralajit otetaan milloinkin mukaan rungon apteerauslaskentaan. (Sipi 2009, 111–112.) Laadun kertomisen jälkeen ohjelma ehdottaa ennustetun runkomuodon perusteella rungon pölkkytyksen ensimmäisen kerran noin 1 metrin päästä tyveltä koneen kuljettajalle, joka tekee visuaalisen vertailun runkoon. Visuaalisen tarkastelun jälkeen kuljettaja päättää, onko koneen ehdotus hyväksyttävä. Tästä eteenpäin kone tekee tarkastusvertailun runkopankin puihin aina 0,1 sekunnin välein ja suorittaa arvioinnin uudelleen. Kuvassa 1 on havainnollistettu, miten harvesterin ohjelma muodostaa mitatun runkotiedon perusteella koko runkokäyrän ja ehdottaa pölkkytyksen. Kuvasta voidaan nähdä, että harvesteripää on mitannut rungon 5,5 metriin, jossa on suorittanut ensimmäisen katkaisun. Loput rungosta on ennustettu mitatun runkokäyrän pohjalta vertaillen mitattua pätkää runkopankin samankaltaisiin runkoihin ja päätetty katkaisukohtat. (Räsänen 2008.)



Kuva 1. Runkokäyrän ennustaminen mitatun runkokäyrän pohjalta.

Monitoimikoneen ohjelmisto valmistajasta riippuen muodostaa leimikolta hakattavista puista stm-tiedoston, joka sisältää leimikon kaikkien puiden yksilökohtaiset pituudet, läpimitat ja kapenevuudet. Näitä puiden tietoja sisältävää tiedostoa kutsutaan stm-tiedostoksi. Kun yhdistetään useampi kuin yksi stm-tiedosto, saadaan aikaan runkopankki. Ponsen hakkuukoneissa ja ohjelmissa runkopankista käytetään lyhennettä bnk-tiedosto. Hakkuukoneen tietojärjestelmä tallentaa jatkuvasti lisää aineistoa runkopankkiin, johon se on kerännyt aikaisemmin hakatuilta leimikoilta jokaisen hakkaaman puun runkokäyrän. Runkopankki edustaa runkojoukkoa, jota simuloimalla voidaan kokeilemalla löytää runkojoukkoa edustavanlaiseen virtuaalilemikkoon oikeanlaista katkontaa suorittava katkonnanohjaustiedosto. Tässä työssä halutaan luoda apteeraustiedosto, joka tuottaa sahan tilauksen (liite 1) mukaisen määrän 5,5 metrin pituisia kuusitukkia, kuitenkin niin, että muiden tukkipituuksien kertymät eivät kärsi ja rungon tukkiosuutta ei jäisi käyttämättä. Toisin sanoen, ettei tukkimitan täyttävää puuainesta menisi normaalia enempää kuitupinoon.

Parhaimman katkaisukohdan määrittämisessä ohjelma käyttää apuna hinta- ja jakaumamatriisia. Jokaisen rungon arvo maksimoidaan siten, että rungosta katkottujen puutavaralajien yhteenlaskettu arvo on maksimaalinen. Tällöin arvokkain tukkiosa tulee käytetyksi mahdollisimman tarkkaan. Kuvassa 2 on mäntykuidun hintamatriisi. Hintamatriisiin syötetään pituus-läpimittayhdistelmien väliset arvosuhdeluvut niille varattuihin kenttiin. Tämän esimerkin arvokkain mäntykuitu olisi 5-metrinen ja läpimitaltaan 130–140 mm.



Kuva 2. Arvomatriisi.

Kuvassa 3 on mäntytukin jakaumamatriisi. Katkonnin edetessä harvesterin ohjelma pyrkii ohjaamaan katkontaa apt-tiedostossa määritellyn tavoitejakauman suuntaan. Esimerkiksi kuvassa 3 olevan mäntytukin halutuimmat pituudet näyttävät olevan 460 cm:n sekä 490 cm:n kaikissa läpimittaluokissa. Näiden molempien jakaumatavoitteeksi on asetettu yhteensä 50 % koko tukkisumasta. Näin ollen tämä apt-tiedosto pyrkii ohjaamaan katkontaa tämän jakauman mukaan. Jos jakauma-apteraus on kytketty päälle, jakauman vääristyessä ohjelma laskee hintaa niiltä puutavaralajeilta, joita on kertynyt liikaa ja nostaa hintaa niiltä joita ei ole kertynyt tarpeeksi. (Arvo- ja jakaumamatriisien laadintaohje 2012.)

Hintalista

Tiedosto Muokkaa Näytä Tavaralajin valinta Ohje

1. Puu- ja tavaralajit 2. Matriisit 3. Parametrit

Puulaji: **Mänty, 1** Testiläpimitta min: 50 50 50 50 50 50 50 mm
 Testiläpimitta max: 650 650 650 650 650 650 650 mm
 Tavaralaji: **tukki, 100** Esivalintanumero: Pituus: 370 400 430 460 490 520 550 cm

Testiläpimitan mittauskohda: **Kohdasta** 0 cm
 Mistä kohti runkoa saa tehdä: Katketaan vapaasti
 0 - Mistä tahansa rungon kohd

Sallittu hinnan vaihtelumäärä: 0 %

	5	10	15	25	25	15	5	
200	5	10	15	25	25	15	5	100
210	5	10	15	25	25	15	5	100
220	5	10	15	25	25	15	5	100
230	5	10	15	25	25	15	5	100
240	5	10	15	25	25	15	5	100
250	5	10	15	25	25	15	5	100
260	5	10	15	25	25	15	5	100
270	5	10	15	25	25	15	5	100
280	5	10	15	25	25	15	5	100
290	5	10	15	25	25	15	5	100
300								0
310								0
500								0
650								0

650 Hinta **JAKAUMA** Väri Määräraja Hakattu %/m³

(max)
 Jakaumaparametrit:
 Jakauma läpimittaluokittain, %/kpl
 Jakauma yli koko matriisin, %/kpl
 Jakauma yli koko matriisin, %/m³
Jakauma läpimittaluokittain, %/kpl
 Jakauma läpimittaluokittain, %/m³

Kuva 3. Jakaumamatriisi.

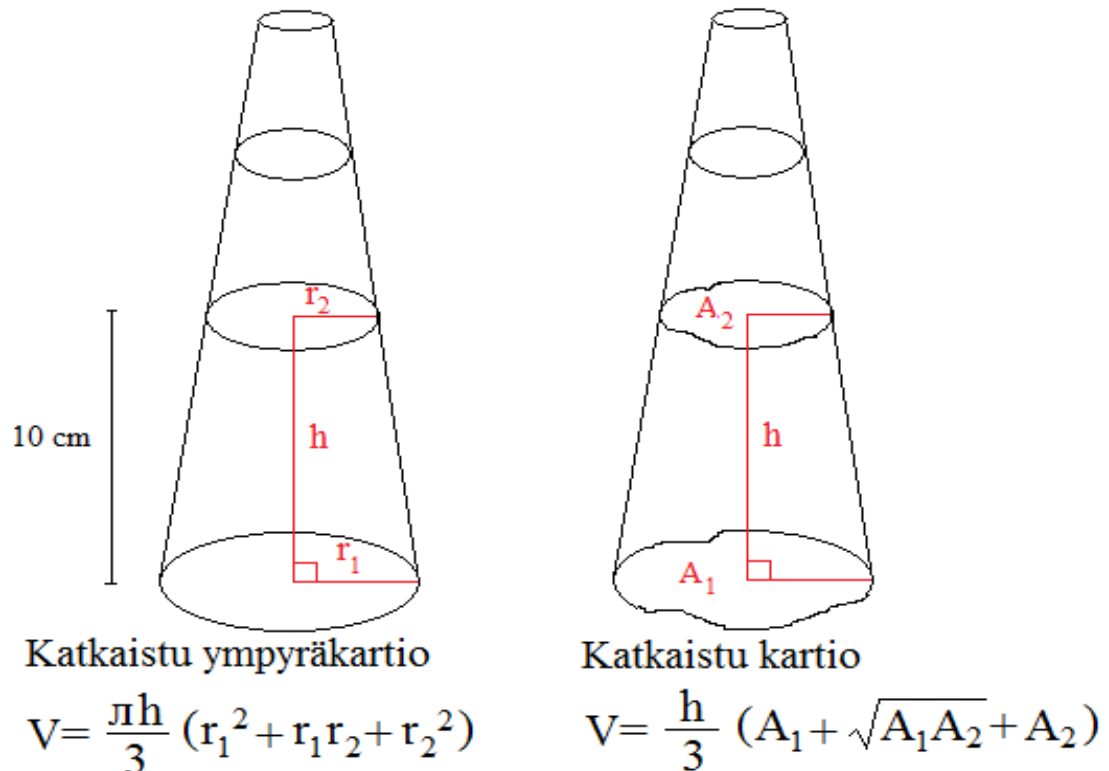
2.6 Hakkuukonemittaus

Monitoimikoneen harvesteripäässä olevat mittauslaitteet ovat tärkeässä asemassa onnistuneessa apterauksessa ja runkojen kuutioinnissa. Mittaukset ovat myös usein perusta metsänomistajalle maksettavalle puun hinnalle, joten mittauksen onnistumista on syytä valvoa jatkuvasti. Tavallisesti harvesterinkuljettaja säätää tai tarkastaa mittalaitteet 1-2 kertaa ajovuorossa. Harvesteripäässä paksuuden mittaus tapahtuu valmistajasta riippuen mekaanisesti karsintaterien asentotunnistimien avulla tai samalla periaatteella syöttörullilta. Karsintaterät myötäilevät runkoa karsien ja samalla mitaten kouran läpi kulkevaa puuta. Karsintaterien asentoa tarkkailevat anturit lähettävät mittausdataa, jotka harvesterin tietokone muuntaa millimetreiksi. Menetelmää kutsutaan kolmiomittaukseksi. Lisäksi hakkuupäässä on pituutta mittaavat laitteet. Yleisimmin pituutta mitataan erillisellä mittarullalla, jota kutsutaan myös pituudenmittauskehäksi.

Pituudenmittauskehä pyörii puun rungolla syöttörullien liikutellessa runkoa kouran läpi. Mittarullan akselissa on hampaita, joiden liikkeessa pulssianturi tunnistaa pyörähdykset ja anturi mittaa pulssit. Pulssitiedot välittyvät harvesterin tietokoneelle, joka muuntaa ne senttimetreiksi.

Pituudenmittauskehän paine puunrunkoon tapahtuu jousivoimalla tai hydraulisesti. Mittarullan painauman on erityisen tärkeää olla juuri sopiva aina vuodenaikaan ja säähän nähden. Esimerkiksi keväällä nilapuun aikaan puunkuori irtoaa herkästi puuta karsittaessa. Mittausrullan eteen kasaantuva irtonainen kuori vaikeuttaa kehän pyörimistä rungolla ja näin aiheuttaa mittavirhettä. Mittarullan asento myös vaikuttaa mittaustarkkuuteen. Liian ulkona kouran pohjaan nähden oleva mittarulla painuu syvemmälle runkoon ja aiheuttaa puuainekseen vaurioita, jotka näkyvät pintapuusta sahattavissa pintalaudoissa. Liian ulkona oleva mittarulla myös hajoaa herkemmin. Liian matalalla oleva mittarulla kouran pohjaan nähden vastaavasti aiheuttaa mittauskehän pomppimista puun rungolla, mikä puolestaan aiheuttaa mittavirhettä. Näiden virhelähteiden lisäksi on monia muita tekijöitä, jotka aiheuttavat mittavirhettä. Hakkuukoneenkuljettajalla on pääasiallinen vastuu koneen mittatarkkuudesta.

Mittausdatan pohjalta rungon tilavuuden laskeminen tapahtuu katkaistun kartion tai ympyräkartion laskentakaavalla. Tilavuus lasketaan kerrallaan 1-10 senttimetrin mittaiselle pätkällä ja näiden pätkien yhteenlaskettu tilavuus vastaa katkaistun pölkyn tilavuutta. Näin saadaan koko rungon tilavuus lukuun ottamatta tyvipätkän tilavuuden määrittämistä, jolle on oma tyvikorjaustaulukko. Puun tyvellä on usein paksuja juurenniskoja sekä muuta puuta paksumpi kuori, jonka takia taulukointimenetelmällä oikaistaan puun tyvestä aiheutuvat mittavirheet. (Rantala 2005, 153–159.) Kuvassa 4 on katkaistun ympyräkartion ja katkaistun kartion tilavuuden laskentakaavat, joita harvesterin kuutiointiohjelma käyttää hyödyksi laskiessaan puutavaralajille tilavuutta. Kuvan 4 katkaistun ympyräkartion kaavassa r_1 tarkoittaa alemman pohjan sädettä ja r_2 ylemmän pohjan sädettä. Pohjien etäisyyttä toisistaan eli kartion pituutta kuvaa h molemmissa kaavoissa. Katkaistun kartion kaavassa A_1 kuvaa alemman pohjan alaa ja A_2 ylemmän pohjan alaa.



Kuva 4. Katkaistun ympyräkartion ja katkaistun kartion laskentakaavat.

Harvesterin mittalaitteiden huolto, säännöllinen kalibrointi sekä kalibrointitulosten arkistointi kuuluu yhtenä osana harvesterikuljettajien säännöllisiä rutiineja. Pituudenmittausrullan painauma puun runkoon vaihtelee kulkiessa sen pintaa pitkin. Oksan kohdat, korot ja muut puun vikaisuudet sekä puun pinnalla oleva lumi ja jää aiheuttavat mittavirhettä. Siksi mieluummin tehdään hieman ylimittaa kuin vedetään mitta liian tiukalle. Muutaman millin alimittainen tukki putoaa alempaan pituusluokkaan ja siinä tapauksessa hukkaa syntyy useita kymmeniä senttejä. Onnistunut rungon mittaus on perusta myös onnistuneelle apteraukselle. Yritys X:n sahan tilauksessa tukkien pituudelle sallitaan 3 cm alimittaa ja 13 cm ylimittaa. Esimerkiksi 5,5 metrin tukin alin hyväksyty mitta saa olla 547 cm ja ylin 563 cm.

2.7 Katkontaohjeiden vaikutus leimikon myyntiarvoon

Metsäntutkimuslaitos on selvittänyt katkontaohjeiden vaikutusta leimikon myyntiarvoon. Tutkimuksessa on tutkittu hakattavilta leimikoilta puutavaralajien mittavaatimusten ja jakaumatavoitteiden vaikutuksia leimikon puutavaralajikertymään

sekä myyntiarvoon. Aineistona tutkimuksessa oli 3 411 avohakkuussa hakattua koepuuta ja 666 harvennushakkuussa hakattua koepuuta. Koepuista määritettiin pystyvuina kaikki dimensiotunnukset, rungon kaikki viat ja niiden sijainti. Katkontaohjeiden vaikutuksia puutavaralajien kertymiin ja leimikon myyntiarvoon selvitettiin arvoapteeraussimulaation avulla. Tutkimuksessa havaittiin, että kuusitukin painotetulla arvomatriisilla tehty simulointi vähensi tukkisaantoa enimmillään 2 % ja myyntiarvoa 1,4 % verrattuna tasahintalistaan. Painotetussa arvomatriisissa perushintaa tasahintalistan arvosta muutettiin suurimmillaan ± 9 %. Tutkimuksen perusteella tukkiosuus kuusitukilla ei vähene merkittävästi hintalistan arvoja muuttamalla.

Samassa tutkimuksessa testattiin myös kuusitukin minimilatvaläpimitan muuttamisen vaikutusta tukkisaantoihin ja myyntiarvoon. Vertailukohtana tutkimuksessa oli kuusitukin minimilatvaläpimita 16 cm, jolla saatiin tukkisaannoksi 76,2 %. Kun minimiläpimittaa pudotettiin 15 senttimetriin, tukkisaanto nousi 79,2 %:iin. Myyntiarvo samalla nousi 2,2 prosenttiyksikköä. Jos tukin minimilatvaläpimittaa nostettiin 17 senttimetriin, tukkisaanto väheni 72,4 %:iin. Myyntiarvon muutos oli -2,5 %. (Piira, Kilpeläinen, Malinen, Wall & Verkasalo 2007, 19–35.)

Jos Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksen perusteella tehtäisi tässä opinnäytetyön tutkimuksessa minimilatvaläpimitan nosto yhdellä senttimetrillä, simuloinnissa koeaineistona olevilta leimikoilta saatava tukkiprosentti pienenesi melko paljon. Samalla se kasvattaisi keskimääräistä tukkikokoa, mutta pienentäen samalla apteerattavien runkojen pituutta. Minimitukkiläpimitan nosto vaikeuttaisi 5,5 metrin tukin saantoa harvennuskohteilla, joissa runkojen pituus on muutenkin pieni. Jos minimitukin latvaläpimittaa pienennettäisiin yhdellä senttimetrillä, runkojen tukkiprosentti olisi lähes 80 % ja tukkien keskikoko pienenesi. Tämä toisi lisää haastetta sahausprosessiin ja sahattavien asetteiden kannattavuuteen pienillä tukkiluokilla.

3 Tutkimus

3.1 Tutkimusongelma

Tutkimusongelman lähtökohtana on, että sahan puunhankintatiimin leimikoilta ei saada tarpeeksi 5,5 metrin kuusitukkia. Tämän työn tarkoituksena on parantaa pitkän tukin saantoa Yritys X:n sahan puunhankintatiimin osalta. Näin ollen työn tulos hyödyttäisi puunhankintaa tavoitteeseen pääsemisessä ja asiakasta eli tässä tapauksessa Yritys X:n sahaa, jolle 5,5 metrin tukki on halutuim pituusmitta. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä sellainen katkonnanohjaustiedosto, jolla 5,5 metrin kuusitukkeja kertyisi toimeksiantajan tilaama määrä. Katkonnanohjaustiedon kriteerinä on, että muiden tukkiluokkien jakaumat tai laadut eivät kärsi ja tukkiosuudet tulee käytetyksi mahdollisimman tarkkaan. Katkonnanohjaustiedostolla tarkoitetaan apt-tiedostoa, joka sisältää määritykset sallituille pituuksille, läpimitoille ja puutavaralajeille sekä näiden kaikkien keskinäisille suhteille. Tämän tiedoston ohjaamana hakkuukone suorittaa pölkytysehdotuksen rungolle, jonka monitoimikuljettaja joko hyväksyy tai hylkää.

3.2 Leimikoiden valinta

Aineistona tässä työssä oli kuuden eri leimikoilta hakattujen puiden runkopankki. Nämä leimikot sijaitsivat Itä-Suomessa ja ovat Yritys X:n sahan hakkuutiimin hakkaamia. Aineiston valinta tehtiin siten, että otettiin puunhankintatiimin vuoden 2011 kaikkien hakkuiden pääte-, sekä harvennushakkuiden kuutiometrimäärän suhde vastaamaan koeaineiston pääte- ja harvennushakkuujakaamaa. Valittiin tavoiteltava kuutiometrimäärä, joka olisi riittävä tämän tyyppiseen tutkimukseen. Päätettiin, että aineiston koko tulisi olla yhteensä noin 2 000 m³, joista vuoden 2011 jakauman suhteen mukaan pääte- sekä harvennushakkuiden osuuksien tavoiteltu suhde olisi 84 % päätehakkuita ja 16 % harvennushakkuita. Tämä tarkoittaa, että päätehakkuilta tulisi olla aineistossa noin 1 680 m³ tukkia ja harvennushakkuilta noin 320 m³ tukkia. Pinta-alaltaan päätehakkuuta tulisi noin 7 ha ja harvennushakkuuta 6 ha. Leimikoiden valinta suoritettiin hakkuuseen tulossa olevien leimikoiden listasta, joista kuusi leimikkoa

valittiin koe-aineistoksi. Leimikoiden suunniteltu yhteenlaskettu kuutiometrimäärä oli arvioitu kertymä, joten todelliset kertymät hakkuilta eroavat jonkin verran tavoitteesta.

3.3 Aineiston hakkuun tulokset

Toteutunut tukkikertymä ja muut tutkimuksessa oleelliset tiedot aineistosta saatiin hakkuukoneiden tallentamista prd-tiedostoista. Prd-tiedosto on harvesterin tuotostiedosto, joka sisältää valmistetun puutavaran mittaustiedot ja puumäärät. Sahalle tehtyjen tukkien hakkuukertymä päätehakkuilta oli 1 748,3 m³ ja harvennushakkuilta 462,8 m³. Näin ollen päätehakuiden osuus oli 79 % ja harvennushakkuiden osuus 21 %. Tavoitteeseen nähden päätehakkuilta kertyi 5 % liian vähän tukkeja ja vastaavasti harvennuksilta saman verran liian paljon. Tämä näkyy tuloksissa hieman keskimääräistä pienempänä tukin keskikokona, sekä työn tavoitteen vaikeampana saavuttamisena, koska harvennuksilta kertyi pieniä runkoja enemmän mitä oli suunniteltu. Tukkeja leimikoilta sahalle kertyi 2 211,1 m³, joten tavoiteltu aineiston vähimmäiskoko ylittyi selvästi.

Taulukossa 3 on esitetty aineistona olevien leimikoiden tukkikertymät sahalle. Leimikoiden keskimääräinen tukin keskikoko on laskettu kuutiometrimäärällä painotettuna. Toteutunut tukin keskikoko leimikoilla oli 207 litraa. Tämä jää sahan tavoitteesta joka on noin 230 litraa. Tähän vaikuttaa aineiston odotettua suurempi tukkikertymä harvennuksilta. Leimikolla 2 A tukin keskikoko jäi todella matalaksi, mitä selittää leimikon huono puunlaatu. Hakkuukoneenkuljettaja joutui hakkaamaan keskimääräistä enemmän käsiajolla ja pakkosahauksia syntyi useasti. Pakkosahaukset näkyvät myöhemmin leimikkoa simuloidessa apteeraussimulaattorilla. Kuusen talvella hakattavat päätehakkuuleimikot ovat usein kosteammalla maaperällä kasvavia leimikoita, joihin ei kesäaikana päästä korjaamaan. Kosteus on usein myös puita vaivaava tekijä näillä leimikoilla ja kuusen koko on tästä syystä pieni verrattuna kivennäismailla tehtäviin kesäkorjuu päätehakkuisiin. Viime kesänä sahan puunhankintatiimin keskimääräinen tukkikoko kesäkorjuu päätehakkuilla oli 230 litraa. Tätä voidaan verrata koeaineiston päätehakkuuleimikoiden keskimääräiseen tukkikokoon, joka on 218 litraa.

Taulukko 3. Aineiston hakkuiden kertymät.

Hakattu	Leimikko	Sahalle tulevat tukit		Tukin keskikoko ltr	Hakkuu	Keskipituus m/kpl
		m3	kpl			
26.3-30.3.12	Leimikko 1	121	665	0,182	toinen harv.	4,11
5.1-24.1.12	Leimikko 2 A	338,2	2061	0,164	toinen harv.	4,23
11.1-24.1.12	Leimikko 2 B	3,6	26	0,138	ensi harv.	3,88
2.1-5.1.12	Leimikko 2 C	201,9	840	0,240	avohakkuu	4,4
31.1-3.2.12	Leimikko 3 A	340,5	1631	0,209	avohakkuu	4,72
4.2-7.2.12	Leimikko 3 B	350	1554	0,225	avohakkuu	4,69
26.1-31.1.12	Leimikko 4	384	1877	0,205	avohakkuu	4,61
19.1-9.2.12	Leimikko 5	182,3	1014	0,180	avohakkuu	4,26
2.3-3.3.12	Leimikko 6	289,6	1189	0,244	avohakkuu	4,62
	Yht.	2 211,1	10857	0,207		4,49
		avo. m3	harv. m3			
		1748,3	462,8			

Kuvassa 5 on Yritys X:n sahan hakkuutiimin hakkaamien tukkien pituus-
läpimittajakauma tutkimuksen aineistona olevilta leimikoilta. Kuva on saatu lukemalla
hakkuukoneiden prd-tiedostoja Ponsse OptiOffice-ohjelmalla. Kuvasta voidaan havaita,
että toteutunut 5,5 metrin tukin osuus oli 43 % kuutiometrimäärästä ja 30,9 %
kappalemäärästä tukkien keskipituuden ollessa 4,49 m/kpl.

Pak/mm	KUUSI								Katkaistu pituus				kpl	m3
	310	370	410	430	460	490	520	550	-	-	-	-		
160	.	349	405	128	138	93	30	242	.	.	.	.	1385	165,5
172	.	199	519	99	70	72	13	244	.	.	.	.	1216	162,8
182	.	177	523	92	69	49	13	311	.	.	.	.	1234	185,3
192	173	.	532	67	45	38	5	312	.	.	.	.	1172	188,6
202	220	.	437	45	46	36	6	362	.	.	.	.	1152	207,1
213	215	.	538	41	42	35	3	429	.	.	.	.	1303	263,0
227	291	.	579	41	45	48	6	612	.	.	.	.	1622	387,1
253	128	.	304	19	24	31	5	388	.	.	.	.	899	268,4
276	16	.	78	9	3	11	.	129	.	.	.	.	246	87,9
287	.	.	86	2	7	7	2	99	.	.	.	.	203	78,4
299	.	.	46	2	2	5	1	81	.	.	.	.	137	59,5
311	.	.	28	2	3	1	1	28	.	.	.	.	63	28,3
320	.	.	23	.	2	1	.	27	.	.	.	.	53	25,6
328	.	.	32	1	4	5	.	53	.	.	.	.	95	51,4
355	.	.	14	.	.	.	.	12	.	.	.	.	26	15,6
375	1	.	19	1	.	1	.	29	.	.	.	.	51	36,6
kpl	1044	725	4163	549	500	433	85	3358	.	.	.	.	10857	
m3	147,9	76,9	752,1	87,0	89,2	90,5	16,9	950,6	.	.	.	.		2211,1
%/kpl	9,6	6,7	38,3	5,1	4,6	4,0	0,8	30,9	.	.	.	.
%/m3	6,7	3,5	34,0	3,9	4,0	4,1	0,8	43,0	.	.	.	.

Kuva 5. Aineiston hakkuiden pituus-läpimittajakauma.

Liitteessä 2 on aineiston runkojakauma. Aineiston runkojakauma on saatu yhdistämällä aineiston leimikoiden stm-tiedostot yhdeksi bnk-tiedostoksi Ponsse OptiOffice runkotietoselaimella. Pääosa aineiston rungoista on painottunut rinnankorkeusläpimitaltaan 15–20 senttimetrin väliin huipun ollessa 20 senttimetriä, jossa on noin 970 runkoa. Aineistossa oli yhteensä 16 877 kuusirunkoa.

Liitteessä 3 on koeaineiston hakkuussa käytetyt arvo- sekä jakaumamatriisit. Jakaumalistan 0-arvot ovat käsiajomittoja, joita hakkuukoneen ohjelma ei automaattisesti ota apteerauslaskentaan mukaan. Käsiajo valitaan silloin kun harvesteripäässä olevassa rungossa on laatuviika niin, että rungon täydellinen apteeraus ei ole mahdollista jakaumalistassa olevien haluttujen mittojen perusteella. Tällöin voidaan käyttää runko tarkemmin hyödyksi valitsemalla käsiajomitta. Käsiajomitat ovat jakaumalistassa niin sanottuja apumittoja, jotka kuuluvat lankeaviin puutavaralajeihin ja helpottavat rungon apteerausta.

3.4 Tutkimuksen toteutus ja valmistelu

Täydellisesti toimivaa katkontaa ohjaavan hinta- sekä jakaumamatriisin laadintaohjetta tai laskentakaavaa ei ole olemassa, vaan usein onnistuneimmat apt-tiedostot syntyvät kokeilemalla ja erehdyksien kautta. Vallitseva käytäntö on, että jokaiselle leimikolle ei erikseen säädetä jakauma- tai arvomatriiseja, vaan tulosta tarkastellaan pitkän aikavälin jaksoissa. Tuloksen perusteella tehdään hienosäätöä aina tarpeen vaatiessa suorittamalla katkontasimulaatio ja vertailemalla tuloksia. (Kivinen 2003, 1–4.) Tämä tutkimus suoritetaan kuuden valikoidun leimikon runko-aineiston pohjalta, joita simuloidaan katkontasimulaation avulla.

Vertailukohtana uudelle katkonnanohjaustiedostolla saadulle simulaation tulokselle on nykyisin käytössä oleva katkonnanohjaustiedostolla simuloitu tulos. Molemmat tulokset saatiin simuloimalla aineistona olevien leimikoiden runkopankkia sekä uudella, että nykyisin käytössä olevalla katkontaohjeella. Alkuperäisen katkontaohjeen jakaumamatriisin sisältämiä käsiajomittoja (liite 3, 0-arvot) ei voitu toteuttaa simulaation avulla sellaisenaan, koska jakaumamatriisin 0-arvot jäivät pois apteerauslaskennasta. Tämä tarkoitti sitä, että simuloidessa olisi ollut käytössä vain

kaksi mittaa joita toteuttaa: 4,1 metrin tukki ja 5,5 metrin tukki. Näillä kahdella tukkipituudella simulointien väliset erot olivat pieniä ja vaihtelua oli hyvin vähän. Ongelmaan mietittiin ratkaisua, miten saadaan simuloinnista todenmukaisempi niin, että käsiajomitat tulisivat mukaan apteerauslaskentaan. Jakaumaltaan sahan tilausta vastaavaa jakaumaprosenttia lankeavissa tukkipituusluokissa ei voida käyttää (liite 2), koska silloin painotus tulisi samalla painoarvolla kaikille läpimitta-pituusluokille. Tämä ei vastaa todellisuutta, kun yritetään jäljitellä käsiajolla tapahtuvaa hakkuuta simulaation avulla. Käsiajolla tapahtuvassa hakkuussa tiettyjä pituus-läpimittayhdistelmiä kertyy säännöllisesti poikkeuksetta enemmän kuin toisia. Näin ollen päätettiin laskea aineiston hakkuiden tuloksista käsiajomittojen prosentuaalinen osuus kunkin tukkiluokan osalta. Tätä prosenttia käytettiin käsiajomittoja tehtäessä katkonnanohjastiedoston jakaumamatriisiin. Kuvassa 6 on koeaineiston hakkuun pituus-läpimittajakauma. Punaisella rajatut arvot ovat käsiajomittoja ja niiden kertymiä. Suhteellinen jakaumaprocentti laskettiin seuraavalla tavalla: Valittiin käsiajolla ollut pituus-läpimittayhdistelmä. Esimerkiksi luokkaan 3,1 m ja 192 mm on kertynyt 173 kpl tukkeja. Jaettiin 173, läpimittaluokan 192 mm kaikkien tukkien summalla 1 172 kpl. Saadaan 0,1476..., joka kerrottiin 100:lla. Saatiin pyöristettynä 15 %. Tämän luokan käsiajolla toteutunut jakauman suhteellinen arvo on siis 15 %, jota käytetään simulointia varten tehtävässä jakaumamatriisin vastaavassa kentässä. Tämä laskutoimitus tehtiin jokaiselle käsiajolla olleelle pituus-läpimittaluokalle. Saadut arvot sijoitettiin katkonnanohjaustiedoston jakaumamatriisiin.

Pak/mm	KJUSI (2)								Katkaistu pituus				kpl	m3
	P I T U U S L U O K A T / cm								Keskipituus = 4,49 m/kpl					
	310	370	410	430	460	490	520	550	-	-	-	-		
160	.	349	405	128	138	93	30	242	.	.	.	.	1385	165,5
172	.	199	519	99	70	72	13	244	.	.	.	.	1216	162,8
182	.	177	523	92	69	49	13	311	.	.	.	.	1234	185,3
192	173	.	532	67	45	38	5	312	.	.	.	.	1172	188,6
202	220	.	437	45	46	36	6	362	.	.	.	.	1152	207,1
213	215	.	538	41	42	35	3	429	.	.	.	.	1303	263,0
227	291	.	579	41	45	48	6	612	.	.	.	.	1622	387,1
253	128	.	304	19	24	31	5	388	.	.	.	.	899	268,4
276	16	.	78	9	3	11	.	129	.	.	.	.	246	87,9
287	.	.	86	2	7	7	2	99	.	.	.	.	203	78,4
299	.	.	46	2	2	5	1	81	.	.	.	.	137	59,5
311	.	.	28	2	3	1	1	28	.	.	.	.	63	28,3
320	.	.	23	.	2	1	.	27	.	.	.	.	53	25,6
328	.	.	32	1	4	5	.	53	.	.	.	.	95	51,4
355	.	.	14	.	.	.	.	12	.	.	.	.	26	15,6
375	1	.	19	1	.	1	.	29	.	.	.	.	51	36,6
kpl	1044	725	4163	549	500	433	85	3358	.	.	.	.	10857	
m3	147,9	76,9	752,1	87,0	89,2	90,5	16,9	950,6	.	.	.	.		2211,1
%/kpl	9,6	6,7	38,3	5,1	4,6	4,0	0,8	30,9	.	.	.	.
%/m3	6,7	3,5	34,0	3,9	4,0	4,1	0,8	43,0	.	.	.	.

Kuva 6. Käsiajomittojen kertymät aineiston hakkuista.

Kuvassa 7 on sijoitettu aikaisemmin lasketun 3,1 m:n ja 192 mm:n luokan 15 % oikealle paikalle. Oikealla kuvassa sinisellä rajatun alueen luvut ovat käsiajomittojen varaama osuus jakaumasta. Esimerkiksi 192 mm:n paksuusluokan käsiajomittojen yhteenlaskettu osuus on 28 %. Näin ollen vapaana on $100 - 28 = 72$ %. Vihreällä rajattujen 4,1 m:n ja 5,5 m:n pituusluokkien jakauma-arvot saatiin sahan tilauksesta. (liite 1)

Pituus	310	370	410	430	460	490	520	550	cm
160		10	10	10	10	10	10	40	100
172		16	9	9	9	9	9	39	100
182		14	10	9	9	9	9	40	100
192	15		0	6	4	3	0	0	28
202	19		0	3	4	3	1	0	30
213	17		0	3	3	3	0	0	26
227	18		0	5	3	3	0	0	29
253	14		0	8	3	3	1	0	29
276	7		0	4	1	4	0	0	16
287			0	1	3	3	1	0	8
299			0	3	1	4	1	0	9
311			0	4	5	2	2	0	13
320			0	0	4	2	0	0	6
328			0	4	4	5	0	0	13
355			0	0	0	0	0	0	
375			0	0	0	0	0	0	
476			0	0	0	0	0	0	

D [mm] 500

Hinta JAKAUMA Väri Määräraja %/kpl

Kuva 7. Käsiajomittojen suhteuttaminen jakaumamatriisiin.

Sahan tilauksen 4,1 m:n ja 5,5 m:n pituusluokkien suhde on 35 % ja 65 % ja läpimittaluokasta 287 mm suurempaan 40 % ja 60 %. Kuvassa 8 on kunkin läpimittaluokan osalta laskettu 4,1 metrin ja 5,5 metrin tukkipituuksien suhde vastaamaan sahan tilausta. Läpimittaluokan 192 mm käsiajomitat vievät 28 % ja vapaat 72 % täytyy suhteuttaa halutuille tukkipituuksille. Laskettiin 5,5 metrin tukin suhde tässä läpimittaluokassa. $72 * 0,65 = 46,8 \sim 47$ %. Seuraavaksi laskettiin 4,1 metrin tukin suhde. $72 - 47 = 25$ %. Laskenta suoritettiin koko taulukolle ja saatiin suhteutettua käsiajomitat niin, että ne vastaavat todenmukaista kertymää ja halutut mitat vastaavat tavoitetta. Kuvassa 8 on laskettu 4,1 metrin ja 5,5 metrin tukkipituuksien jokaiselle läpimittaluokalle suhteelliset jakauma-arvot.

Pituus	310	370	410	430	460	490	520	550											cm
160		10	10	10	10	10	10	40											100
172		16	9	9	9	9	9	39											100
182		14	10	9	9	9	9	40											100
192	15		25	6	4	3	0	47											100
202	19		24	3	4	3	1	46											100
213	17		26	3	3	3	0	48											100
227	18		25	5	3	3	0	46											100
253	14		25	8	3	3	1	46											100
276	7		29	4	1	4	0	55											100
287			37	1	3	3	1	55											100
299			36	3	1	4	1	55											100
311			35	4	5	2	2	52											100
320			38	0	4	2	0	56											100
328			35	4	4	5	0	52											100
355			40	0	0	0	0	60											100
375			40	0	0	0	0	60											100
476			40	0	0	0	0	60											100

D [mm] 500

Hinta JAKAUMA Väri Määräraja %/kpl

Kuva 8. Haluttujen tukkipituuksien suhteuttaminen jakaumamatriisiin.

4 Simuloinnit

Simuloinnit tehtiin Ponsse OptiSimu -apteeraussimulaattorilla. Simulointeja varten tehtiin kappaleessa 3.4 kuvatulla tavalla käsiajomitat huomioon ottava jakaumamatriisi. Arvomatriisi tehtiin tasahintaiseksi, jota ohjataan jakaumaperusteisesti jakauma-apterauksen avulla (liite 4). Simulointeja tehtiin näiden matriisien ohjaamana useita muuttamalla systemaattisesti jakauma-apterauksen voimakkuutta välillä 5–20 %. Samalla tavalla tehtiin myös lähioptimaalimenetelmään perustuvia simulointeja. Tämän lisäksi simuloitiin runkopankki muuten samanlaisilla matriiseilla, mutta otettiin lyhin 3,1 metrin tukkipituus kokonaan pois apterauslaskennasta. Tästä kombinaatiosta tehtiin myös simuloinnit jakauma-apterauksella 5–20 %. Kaikista simuloinneista otettiin prd-tulosteet, joiden tietojen perusteella tehtiin luokkien väliset vertailut.

Eri simulointien väliseen tarkasteluun valittiin tunnuksat. Tukkipituuksista otettiin 4,1 m:n ja 5,5 m:n tukin kertymät, joista tarkkailtiin prosentuaalisia kertymiä kappalemäärästä. Tämän lisäksi tarkkailtiin tukin keskipituutta, tukkiprosenttia ja tukin

tilavuuden keskikokoa. Simulointeja tehtiin useita erilaisilla asetuksilla. Näistä parhaat tulokset otettiin vertailuun keskenään, joita vertailtiin luokkina (1–4) ja niiden alaluokkina (A-D). Simuloinnit on tehty liitteessä 4 olevien arvo- ja jakaumamatriisien mukaan ellei toisin mainita.

- Luokka 1 = Simuloinnit jakauma-apterauksella 5, 10 ja 20 %.
- Luokka 2 = Lähioptimaalimenetelmään perustuva jakauma-apteraus. Simuloinnit jakauma-apterauksella 0, 5, 10 ja 20 %.
- Luokka 3 = Poistettu 3,1 metrin tukki jakaumamatriisista ja apterauslaskennasta. Simuloinnit jakauma-apterauksella 5, 10 ja 20 %.
- Luokka 4 = Korotettu hintaa arvomatriisiin 5,5 metrin tukin osalta 240:aan. Simuloinnit jakauma-apterauksella 5, 10 ja 20 %.

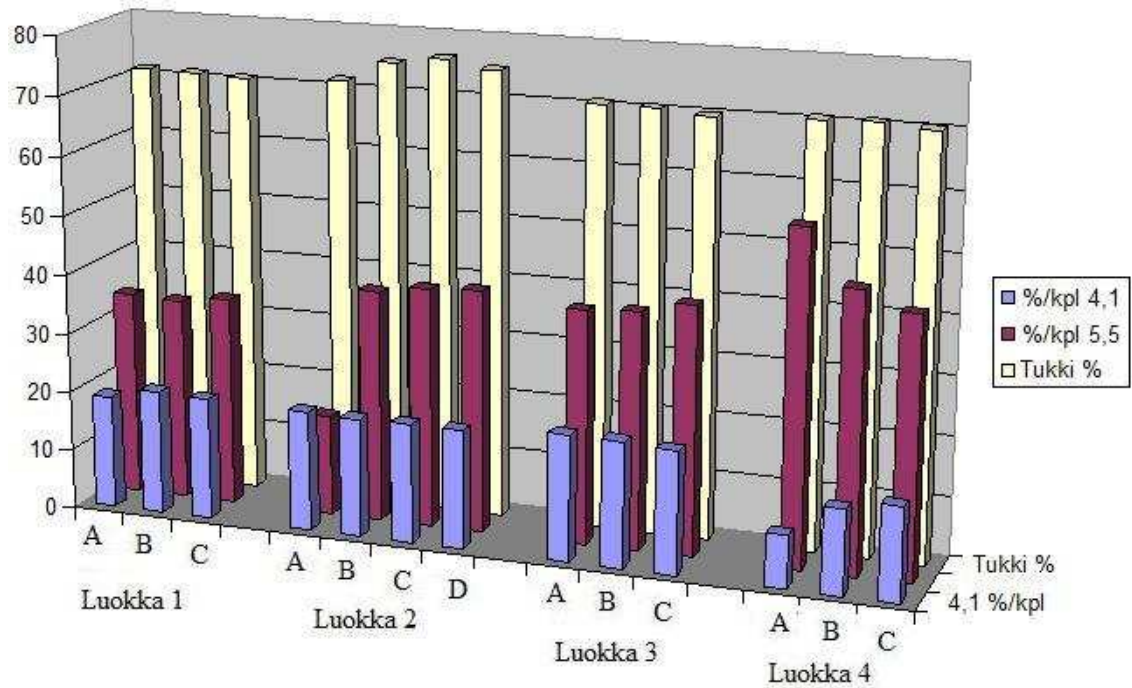
4.1 Tulokset

Taulukossa 4 on esitetty eri luokkien väliset tulokset seurattavien tunnuksien osalta. Tunnuksen paremmuudesta kertoo oranssi väri, joka tarkoittaa että arvo on luokkansa korkein. Keltainen vastaa toiseksi korkeinta arvoa. Vasemmassa sarakkeessa olevat luvut ovat jakauma-apterauksen voimakkuutta ilmentäviä prosentteja. Tähän sarakkeeseen on merkattu myös luokan parhaiten ja toiseksi parhaiten menestyneet simuloinnit, jossa oranssi väri tarkoittaa luokan parhaiten ja keltainen väri toiseksi parhaiten menestynyttä apterausohjetta.

Taulukko 4. Simulointien väliset tulokset luokittain.

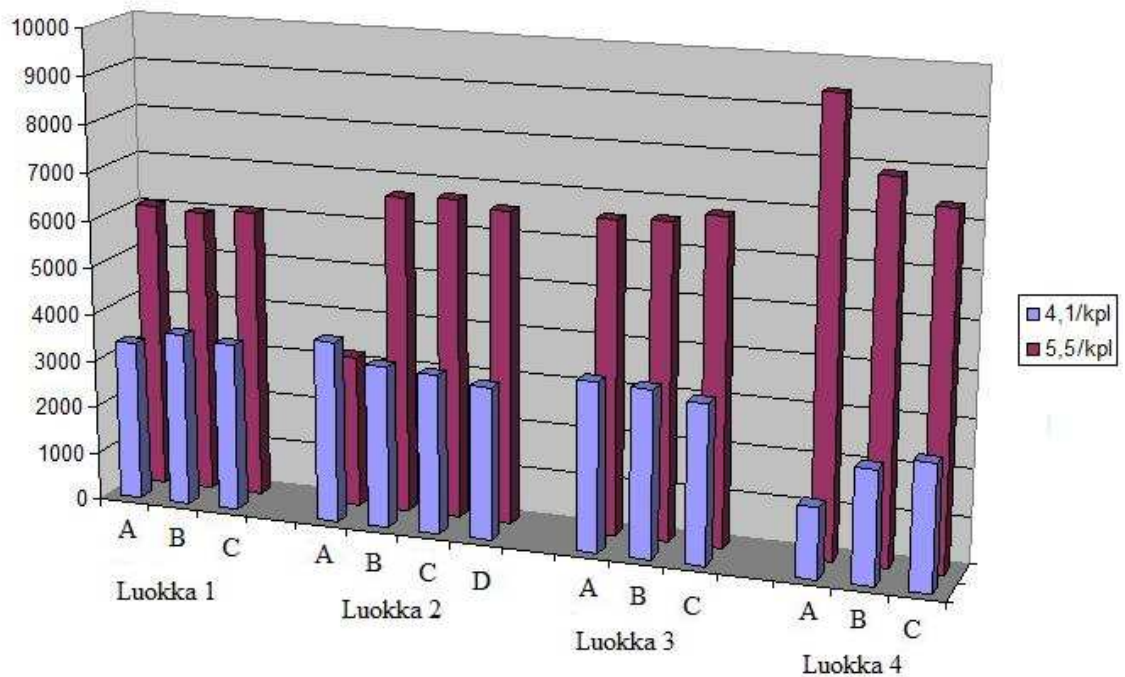
Luokka 1		4,1 %/kpl	5,5 %/kpl	Ka pituus	Tukki %
A	5%	19,1	34,4	4,64	71,3
B	10%	20,9	34,2	4,65	71,2
C	20%	20,5	35,2	4,67	70,9
Luokka 2					
A	0%	20,2	16,9	4,35	71,6
B	5%	19,9	39	4,7	75,2
C	10%	20,1	40,3	4,72	76,4
D	20%	20	40,8	4,72	75
Luokka 3					
A	5%	21,2	39,2	4,81	70,8
B	10%	21,1	39,8	4,82	70,7
C	20%	20,6	41,8	4,85	70
Luokka 4					
A	5%	8,9	55,8	4,87	70,7
B	10%	14,2	46,8	4,79	70,9
C	20%	15,7	43,7	4,77	70,4

Kuviossa 1 on piirretty kuvaaja prosentuaalisista 4,1 m:n ja 5,5 m:n tukin kappale kertymistä eri simulointiluokkien välillä. Vertailuun on otettu mukaan myös tukkiprosentti. Kuvasta voidaan huomata, että selvästi eniten 5,5 metrin tukkia kertyi luokkaan 4. Tässä luokassa kuitenkin 4,1 metrin tukin kertymä oli kaikkein alhaisin tukkiprosentin ollessa samalla tasolla muiden luokkien kanssa. Seuraavaksi eniten 5,5 m:n tukkia kertyi luokkaan 3 C ja sitten luokkaan 2 D. 4,1 m:n tukin prosentuaaliset kertymät poikkesivat yleisesti vain hieman toisistaan poikkeuksena luokka 4 A, jossa pienin kertymä oli vain 8,9 %. Prosentuaalisesti eniten 4,1 m:n tukkia kertyi luokkaan 3 A. Suurin tukkiprosentti oli luokassa 2.



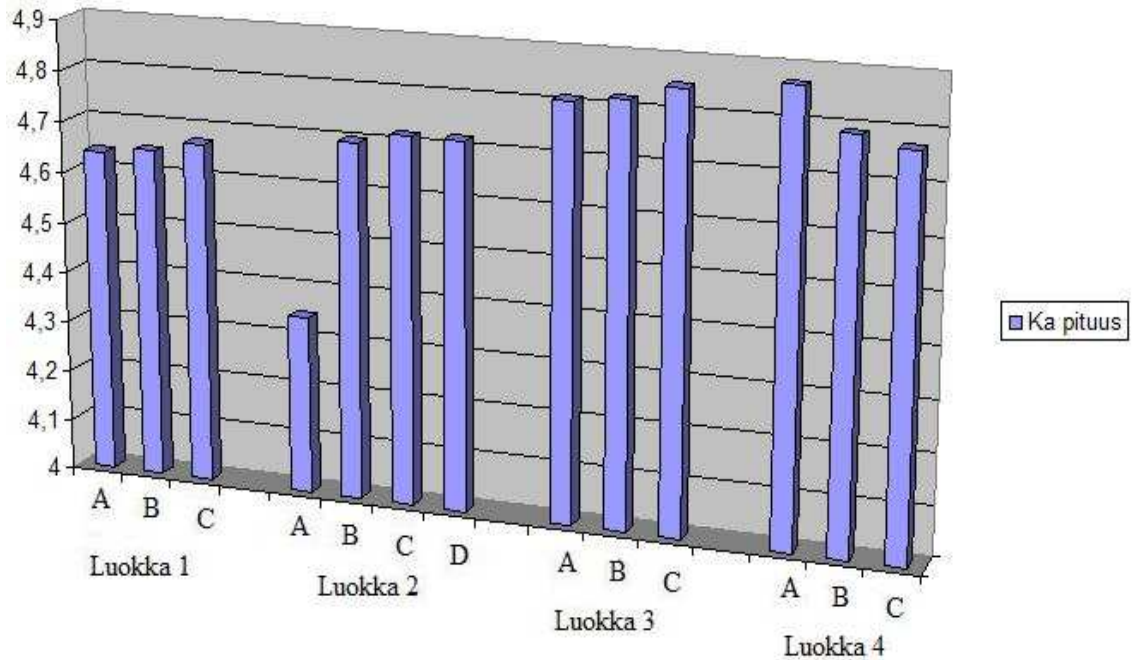
Kuvio 1. Prosentuaaliset kertymät eri luokissa.

Kuviossa 2 on ilmaistu kertymät eri pituusluokkiin kappalemäärällä mitaten. Tässä erot tulevat selkeämmin nähtäville 4,1 m:n tukin kertymien osalta. Suurimpana erona kuvion 1 välillä on luokan 2 A 4,1 m:n tukin kertymä, joka on vertailun korkein. Kuitenkin tässä luokassa 5,5 m:n tukin kertymä on selvästi huonoin. Kuutiometrimäärällä mitattuna erot pysyvät samanlaisina kuin kappalemäärällä mitattuna.



Kuvio 2. Kappalemäärällä mitatut kertymät eri luokissa.

Kuviossa 3 on vertailtu eri luokkien välillä keskimääräistä tukin pituutta. Keskimääräisesti pisin tukki oli luokassa 4 A. Seuraavaksi pisin keskiarvo oli luokalla 3 ja alaluokassa C, joka jää vain niukasti luokan 4 A keskipituudelle.



Kuvio 3. Keskimääräiset tukin pituudet eri luokissa.

Tukin litroilla mitattu keskikoko oli kaikkein suurin luokassa 3 C, joka oli 195 litraa. Toiseksi suurin tukin litrakoko oli luokassa 2 D, 193 litraa. Luokkien väliset litrakoot on kuvattu taulukossa 5. Keltainen väri kertoo luokan suurimman arvon.

Taulukko 5. Tukkien keskimääräiset tilavuudet litroina eri luokissa.

	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3	Luokka 4
A	184	172	192	191
B	185	188	192	192
C	186	190	195	190
D		193		

4.2 Johtopäätökset

Alaluokkien väliset erot ja paremmuusjärjestys todennettiin seurattavien tunnuslukujen perusteella. Paremmuusjärjestys toteutettiin pisteyttämällä. Luokan paras arvo sai kaksi pistettä ja toiseksi paras yhden pisteen. Litrakoko otettiin mukaan pisteytykseen, josta

oli mahdollisuus saada yksi piste/luokka. Taulukossa 6 on esitetty pisteytys. Oikeassa sarakkeessa on yhteenlaskettuna alaluokan pisteet, jossa oranssi numero merkkää luokan parasta ja keltainen toiseksi parasta apteerausohjetta.

Taulukko 6. Luokkien välinen pisteytys.

Luokka 1	4,1 %/kpl	5,5 %/kpl	Ka pituus	Tukki %	Litraa	Pisteet
A 5%	0	1	0	2	0	3
B 10%	2	0	1	1	0	4
C 20%	1	2	2	0	1	6
Luokka 2						
A 0%	2	0	0	0	0	2
B 5%	0	0	0	1	0	1
C 10%	1	1	2	2	0	6
D 20%	0	2	2	0	1	5
Luokka 3						
A 5%	2	0	0	2	0	4
B 10%	1	1	1	1	0	4
C 20%	0	2	2	0	1	5
Luokka 4						
A 5%	0	2	2	1	1	6
B 10%	1	1	1	2	0	5
C 20%	2	0	0	0	0	2

Luokka 1

Luokan 1 A tuloksia voidaan pitää lähimpänä alkuperäisellä katkonnanohjaustiedolla saatua tulosta. Luokan 1 A simulaatio on tehty samoilla asetuksilla mitä alkuperäinen katkonnanohjaustiedosto sisältää ja jolla hakattiin myös koeaineisto. Ainoana poikkeuksena ovat käsiajomittojen suhteelliset osuudet jakaumamatriisissa ja niiden hinnat arvomatriisissa, mutta ne ovat samat jokaisessa vertailtavassa luokassa. Luokasta 1 parhaiten pärjäsi alaluokka C, jossa 5,5 m:n osuus oli luokan suurin. Luokan 1 pisin keskimääräinen tukin pituus ja suurin litrakoko oli myös alaluokka C:ssä. Alaluokka C sai pisteytyksessä eniten pisteitä.

Luokka 2

Luokka 2 koostui samanlaisista katkontaohjeista kuin luokka 1, mutta simuloinnit tehtiin lähioptimaalimenetelmällä. Simuloinneista voidaan päätellä, että lähioptimaalimenetelmään perustuva jakauma-apteeraus lisää tukkiprosenttia noin 5 %

verrattuna pelkällä jakauma-apterauksella tehtyihin simulointeihin. Tällöin kuitenkin keskimääräinen tukkirungon koko putoaa noin 400 litraan, kun se muissa simulaatioissa on noin 450 litraa. Tukkipitoisuus painottuu enemmän pienempiin läpimittaluokkiin lähioptimaalimenetelmällä. Luokasta 2 alaluokka C on potentiaalisin vaihtoehto, jos halutaan käyttää lähioptimaalimenetelmää apterauksessa. Simulointeihin otettiin myös mukaan vertailuun 0 %:n jakauma-apteraus (Alaluokka D). 0 %:n jakauma-apteraus toteutti huonosti tehtaan tilauksen mukaista jakaumaa ja 5,5 m:n tukkeja kertyi jopa vähemmän kuin 4 m:n tukkeja. Eniten pisteitä sai alaluokka C.

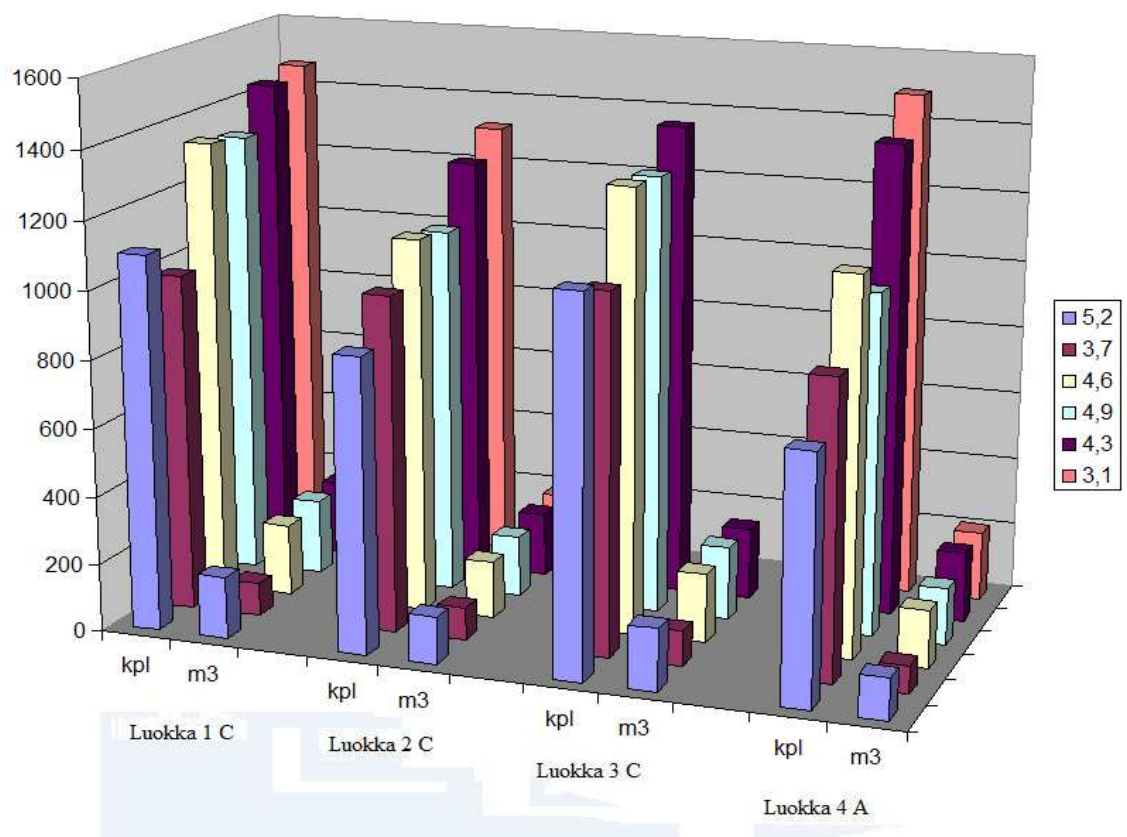
Luokka 3

Luokassa 3 on otettu 3,1 metrin tukki pois apterauslaskennasta kokeellisessa mielessä. Oletuksena oli ennen tutkimuksen tekoa, että 3,1 metrin tukki apterauslaskennassa lisää 5,5 metrin tukin määrää. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että ainakaan liitteessä 4 olevilla matriiseilla se ei toteutunut. Luokan 3 kaikki vaihtoehdot pärjäsivät testissä melko hyvin. Parhaimpina alaluokka C, jonka 4,1 m:n ja 5,5 m:n kertymät täyttävät tutkimuksen parhaiten sahan tilauksen. Tukin keskikoko oli tutkimuksen suurin 195 litraa, sekä tukin keskimääräinen pituus oli tutkimuksen toiseksi pisin ollen 4,85 m/kpl. Alaluokka C sai pisteytyksessä eniten pisteitä.

Luokka 4

Luokassa 4 haluttiin kokeilla 5,5 m:n tukin arvon nostoa ja sen vaikutuksia tuloksiin. Hintaa nostettiin 40 yksikköä 240:een koko tukkipituuden osalta. Muilla tukkipituuksilla arvo oli 200. Simuloinneista voidaan huomata, että mitä voimakkaampi jakauma-apterauksen paino on, sitä paremmin simulointi toteutti sahan tilausta. Arvojen perusteella alaluokka A sai parhaat arvot. Tässä luokassa kuitenkin 4,1 m:n tukin kertymä oli koko tutkimuksen alhaisin, joten tätä voidaan pitää kyseenalaisena luokan voittajana. Luokassa 4 seuraavaksi parhaiten menestyi alaluokka B.

Lankeavien tukkipituuksien kertymien osalta suuria eroja ei pääsääntöisesti esiinny lukuun ottamatta luokkaa 2 A ja 4. Luokassa 2 A jakauma-apterauksen ollessa pois päältä myös lankeaviin tukkipituuksiin kertyy runsaasti kappaleita ja tästä syystä jakauma vääristyy. Luokassa 4 5,5 m:n tukin arvon nosto näkyy lankeavien tukkien kertymissä eniten vähentäen niiden osuutta. Kuviossa 4 on esitetty valittujen tunnuksien perusteella parhaiten menestyneimpien muiden tukkipituuksien kertymät. Suurimmat erot ovat kappalemäärissä. Luokan 3 C lyhimmän tukkipituuden puuttuminen näkyy myös suurempana kertymänä muissa tukkipituuksissa.



Kuvio 4. Muiden tukkipituuksien kertymä eri luokissa.

5 Pohdinta

5.1 Opinnäytetyöprosessi

Opinnäytetyön tekeminen oli haastava ja opettavainen kokemus, jonka tekemisen varrelle mahtui iso määrä erilaisia tunteita ja ajatuksia. Kirjoittamisen aikana minulle ennalta täysin tuntematon aihe tuli tutuksi, ja aineiston keräämisen aikana kerkisin hankkia tarvittavan tiedon tutkimuksen toteuttamiseen. Tutkimuksen aikana esiin nousi paljon kysymyksiä, joihin vastauksien hakeminen auttoi tietämystä aiheesta.

Opinnäytetyötä tehtäessä huomasin, että tieto lisäsi kiinnostusta aiheeseen, ja mitä pidemmälle tekemisen vaiheet eteni, sitä enemmän aihe kiinnosti. Opinnäytetyön tekemisen loppuvaiheessa tuntui, että aika loppuu kesken ja osa ajatuksista jää ajan puutteen vuoksi kirjoittamatta. Toisaalta tiukka aikaraja oli hyväksi, koska se laittoi työskentelemään tehokkaasti.

Tämän opinnäytetyön tekeminen on edistänyt paljon omaa tietämystä ja ymmärrystä käsiteltävästä aiheesta. Samalla se on auttanut kokonaisuuden hahmottamista, miten puunjalostusteollisuuden puunhankinta tapahtuu ja mitä sen eteen täytyy tehdä, että toivotunlainen tukkisuma toteutuu. Itse olen tyytyväinen opinnäytetyöprosessin läpiviemiseen, ja sen mukana tuoma kokemus ja tieto ovat varmasti hyödyksi tulevaisuudessa.

5.2 Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa täytyy muistaa, että simuloinnit ovat virtuaalimaailmassa tapahtuvaa optimointia eivätkä ole vertailukelpoisia oikean metsän hakkuiden kanssa, joissa mukaan tulee paljon erilaisia muuttujia ja laatutekijöitä. Näitä ei voida simuloimalla jäljitellä, ja tästä syystä oikeat erot nähdään oikean metsän hakkuissa ja tarpeeksi pitkän tarkasteluvälin jälkeen. Simuloitava aineisto on talvihakkuissa hakattu ja tästä syystä epäedullinen tutkimuksen kannalta. Aineiston

päätehakkuut olivat puiden järeydellä mitattuna keskimääräisiä päätehakkuita pienempiä ja harvennuksilta kertynyt tukkimäärä oli myös suunniteltua suurempi. Tiukan aikarajan takia tutkimukseen alun perin kaavailtu katkonnanohjaustiedostojen käytännön testaus täytyi jättää pois.

Tutkimuksen käsiajomittojen suhteuttaminen simulointia varten oli tutkimuksen alkuvaiheessa iso ongelma, jota jouduttiin miettimään monesta eri näkökulmasta. Tutkimusta aloitettaessa tieto-taidon puutteen vuoksi tämä ongelma jäi kokonaan huomaamatta ja vastauksia jouduttiin hakemaan toimeksiantajalta sekä ohjaavalta opettajalta. Vaihtoehtoina oli keksiä järjestely, jolla käsiajomitat saadaan apteerauslaskentaan mukaan tai jättää ne kokoaan pois. Käsiajomittojen pois jättäminen apteerauslaskennasta ei olisi tullut kysymykseen, koska simulointien väliset vaihtelut olisivat olleet pieniä ja tulokset vääristyneitä todelliseen tilanteeseen nähden. Vastaavaa esimerkkitapausta ei löytynyt ja siksi päädyin omaan ratkaisuun. Vastaavien tilanteiden varalle olisi tehtävä muutoksia ohjelmaan niin, että käsiajomitat tallentuisivat jo metsässä harvesterin tietokoneelle ja stm-tiedostoon samalla periaatteella kuin tallentuu pakkokatkaisun kohdat. Tällöin käsiajolla suoritettut katkaisut olisi mahdollista sisällyttää apteeraussimulaatioon suoraan. Tämä tosin vaatisi tarkempaa tarkastelua, pohdintaa ja sitä kautta ohjelmien muokkauksen.

5.3 Tavoitteen toteutuminen

Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä katkonnanohjaustiedosto, joka tuottaa mahdollisimman paljon 5,5 metrin kuusitukkia vähentämättä tukkiprosenttia ja muiden haluttujen tukkipituuksien kertymiä. Tähän tavoitteeseen päästiin jos vertailukohtana on katkontaohje, joka on lähimpänä alkuperäistä ohjetta. Tutkimuksen luonne muuttui opinnäytetyöprosessin aikana suunnitellusta edellisessä kappaleessa kerrotulla tavalla. Tästä syystä tutkimuksessa päädyin esittämään yhden katkonnanohjaustiedoston sijasta useita erilaisia hyviä katkontaohjeita otettavaksi puunhankintatiimin testaukseen. Alun perin tutkimuksessa olin aikonut verrata simuloituja tuloksia nykyisellä katkonnanohjaustiedostolla tehtyihin simulaatioihin. Vertailun parhaalla katkontaohjeella olisi siirrytty hakkaamaan oikeasti metsään, ja tätä kautta olisi saatu konkreettista näyttöä katkonnanohjaustiedoston hyödyllisyydestä ja käytettävyydestä.

Tämä kuitenkin ei ollut mahdollista tiukan aikarajan takia ja aihe vaatisi lisätutkimuksia, joten tässä olisi mielestäni erittäin hyvä jatkotutkimuksen kohde.

Lähteet

Arvo- ja jakaumamatriisien laadintaohje. 2012. Ponsse.

Kivinen, V-P. 2003. Katkonnanohjaus evoluutiolaskennan keinoin – askel kohti optimaalista tavaralajijakoa. 1–4.
http://www.uta.fi/laitokset/mattiet/tilasto/uusiprojekti/seminar03/VP_Kivinen_summary.pdf. 20.3.2012.

Kivinen, V-P. 2007. Hakkuukoneiden matriiseja voidaan optimoida.
<http://savotta.helsinki.fi/halvi/tiedotus/lehti.nsf/504ca249c786e20f85256284006da7ab/57a0293879ba103bc22572c3001efe79?OpenDocument>
 20.3.2012.

Ovaskainen, H. 2012. Yksittäisen rungon katkonnan optimointi 8.3.2012

Piira, Kilpeläinen, Malinen, Wall & Verkasalo. 2007. Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla katkontaohjeilla. Metsätieteen aikakauskirja. 19–35.
www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff07/ff071019.pdf 15.4.2012

Ponsse Opti –tietojärjestelmät. 2008. Ponsse.

Rantala, S. 2005. Metsäkoulu. Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy. 153–159.

Räsänen, A. 2008. Apteeraus Ponsse

Sipi, M. 2009. Puuraaka-aineen mittaus - Mittausmenetelmät ja niiden perusteet.
 Metsävarojen käytön laitos. 111–112.

Uusitalo, J. 2012. Voidaanko laatu huomioida männyn katkonnassa?
http://www.uta.fi/laitokset/mattiet/tilasto/uusiprojekti/seminar03/Jori_Uusitalo.pdf 28.3.2012

Vuorenpää, T. 1999. Arvomatriisin ja tavoitejakaumien laadinta hakkuukoneille.

Metsätehon raportti 81. Metsäteho Oy. 6.

www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_081.pdf 20.3.2012

Yliopiston kurssiluentomateriaali. 2007. Harvesterin katkonnanohjaus puunhankinnassa, tree bucking control.

Ärölä, E. 2002. Metsävarojen mittaus ja arviointi. Tapion taskukirja. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. 323.

Perushint	200	Vapaa katkonta	Ei vapaaomittakatkontaa	Apteerausehto	Kaikkialta rungosta	-1 Kielelly mitta									
Latvamini	160	Latvamaksimi	500 Tyvimaksi	600 Runkolaji	Kuustukkirunko	-2 Käsiajomitta									
Max. pituus	555	Katkaisuikkuna	0	Jakauman max. poik	5	0 Apumitta									
Sahauslud	lpm	id	Ala	Ylä	310	370	410	430	460	490	520	550	Yht.	%/kpl	%/m3
					22	19	3	8	4	16	11	13			
					307	367	407	427	457	487	517	547			
					316	376	426	456	486	516	546	563			
150	1	160	171	-1	10	10	10	10	10	10	10	40	100	15	8,39
160	2	172	181	-1	0	12	12	12	12	12	12	40	100	11,87	7,88
170	3	182	191	-1	0	12	12	12	12	12	12	40	100	8,03	5,94
180	4	192	201	-2	-1	35	35	-2	-2	-2	-2	65	100	6,21	4,67
190	5	202	212	-2	-1	35	35	-2	-2	-2	-2	65	100	7,75	6,28
200	6	213	226	-2	-1	35	35	-2	-2	-2	-2	65	100	10	9,4
214	7	227	252	-2	-1	35	35	-2	-2	-2	-2	65	100	15	16,5
240	8	253	275	-2	-1	35	35	-2	-2	-2	-2	65	100	9,32	11,52
262	9	276	286	-2	-1	35	35	-2	-2	-2	-2	65	100	3,36	4,64
273	10	287	298	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	3,27	4,88
285	11	299	310	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	2,43	3,94
297	12	311	319	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	1,62	2,79
305	13	320	327	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	1,3	2,36
313	14	328	354	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	2,58	5,16
340	15	355	374	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	1,08	2,45
360	16	375	475	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	1,18	3,2
490	19	476	500	-1	-1	40	40	-2	-2	-2	-2	60	100	0	0
Yht.														100	100

Perushinta	200	Vapaa katkonta	Ei vapaamittakatkontaa	Apteerausehto	kaikkialta rungosta	-1 KielleTTY mitta								
Latvaminimi	160	Latvamaximi	500 Tyvimaksi	600 Runkolaji	kuustukkirunko	-2 Käsilajomitta								
Max. pituus	555	Katkaisuikkuna	0	Jakauman max. poik	5	0 Apumitta								
Sahausluokka	Lpm id	Ala	Ylä	310	370	410	430	460	490	520	550	Yht.	%/kpl	%/m3
				22	19	3	8	4	16	11	13			
				307	367	407	427	457	487	517	547			
				316	376	426	456	486	516	546	563			
150	1	160	171	-1	10	10	10	10	10	10	40	100	15	8,39
160	2	172	181	-1	10	10	10	10	10	10	40	100	11,87	7,88
170	3	182	191	-1	10	10	10	10	10	10	40	100	8,03	5,94
180	4	192	201	10	-1	30	3	3	3	3	48	100	6,21	4,67
190	5	202	212	10	-1	30	3	3	3	3	48	100	7,75	6,28
200	6	213	226	10	-1	30	3	3	3	3	48	100	10	9,4
214	7	227	252	10	-1	30	3	3	3	3	48	100	15	16,5
240	8	253	275	10	-1	30	3	3	3	3	48	100	9,32	11,52
262	9	276	286	10	-1	30	3	3	3	3	48	100	3,36	4,64
273	10	287	298	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	3,27	4,88
285	11	299	310	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	2,43	3,94
297	12	311	319	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	1,62	2,79
305	13	320	327	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	1,3	2,36
313	14	328	354	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	2,58	5,16
340	15	355	374	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	1,08	2,45
360	16	375	475	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	1,18	3,2
490	19	476	500	-1	-1	40	3	3	3	3	48	100	0	0
Yht.													100	100

