

Runkopankki puunhankinnan ohjauksen välineenä

**Tapio Räsänen
Vesa Imponen
Jarmo Lindroos
Jukka Malinen
Juha-Antti Sorsa**

Runkopankki puunhankinnan ohjauksen välineenä

Tapio Räsänen
Vesa Imponen
Jarmo Lindroos
Jukka Malinen
Juha-Antti Sorsa

Metsätehon raportti 94
19.6.2000

Ryhmähanke: Aureskoski Oy, Koskitukka Oy, Metsähallitus,
Metsäliitto Osuuskunta, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj,
UPM-Kymmene Oyj

Asiasanat: puustotieto, hakkuukone, tietovarasto, leimikko,
puunhankinta, apteeraus, ennuste, simulointi,
tietojärjestelmä

© Metsäteho Oy

Helsinki 2000

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	11
2 TAVOITTEET	11
3 RUNKOPANKIN KÄYTTÖALUEET PUUNHANKINNAN OHJAUKSESSA JA TUTKIMUS- JA KEHITTÄMISTYÖSSÄ	12
3.1 Runkopankin erilaiset käyttömahdollisuudet	12
3.2 Runkopankki operatiivisessa toiminnassa	13
3.3 Alueelliset hankintavaihtoehdot	13
4 RUNKOPANKKIAINEISTOT JA TIETOVARASTON MUODOSTAMINEN	14
4.1 Hakkuukoneaineistojen hankinta ja yleiskuvaus	14
4.2 Hakkuukoneaineistojen tietosisältö ja käsittelyt	17
4.3 Tietovaraston tietomalli.....	21
4.4 PMP-aineistot.....	23
5 LEIMIKON PUUSTOTIETOJEN JA PÖLKKYJAKAUMAN ENNUSTAMINEN	24
5.1 Tietotarpeet puustotietojen ennustamisessa	24
5.2 Leimikon ennakkotiedot.....	25
5.3 Ennustamismenetelmät.....	25
5.4 MSN-menetelmä	26
5.5 SOM-menetelmä	31
5.5.1 Yleistä menetelmästä.....	31
5.5.2 Ohjelmisto ja datan käsittely.....	32
5.5.3 Vastinleimikoiden valinta ja sovelluksen kehittäminen.....	32
6 TULOKSET	33
6.1 MSN-menetelmä	33
6.1.1 Puuston ennustaminen.....	33
6.1.2 Pölkkyjakauman suora ennustaminen.....	34
6.1.3 Ennakkotiedon määrä ja tarkkuus ennusteissa.....	36
6.2 Leimikon puuston kuvaus tyyppipuiden avulla	37
6.3 Oksa- ja laaturajakorkeudet.....	39
7 RUNKOPANKIN LIITTÄMINEN PUUNHANKINNAN TIETOJÄRJESTELMIIN	40
7.1 Tietojärjestelmän suunnittelu	40
7.2 Runkopankin osatietojärjestelmät, sovellukset ja liittymät muihin tietojärjestelmiin.....	41

7.3 MSN-menetelmän soveltaminen.....	41
8 KEHITTÄMISTARPEET JA JATKOTARKASTELUT	42

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteet

Metsätehossa on kehitetty runkopankiksi nimetyn hakkuukoneiden mittaustietoihin perustuvan tietovaraston muodostamista ja käyttöä puunhankinnan suunnittelun ja ohjauksen eri tarpeisiin. Niistä tärkeimmät ovat yksittäisen leimikon puustotunnusten, puutavaralajikertymän ja pölkkyjakauman ennustaminen eri katkontavaihtoehdoilla ja leimikoiden katkontaa ohjaavien tiedostojen muodostaminen sekä varantojen kuvaus hankintavaihtoehtojen vertailuissa ja alueellisissa metsävaratarkasteluissa. Tutkimuksen tavoitteena oli rakentaa tietojärjestelmän prototyyppi, johon kuuluvat hakkuukoneaineistojen hankintamenetelmät, tietovarastot ja tärkeimmät käyttösovellukset.

Tietovarasto ja sen muodostaminen

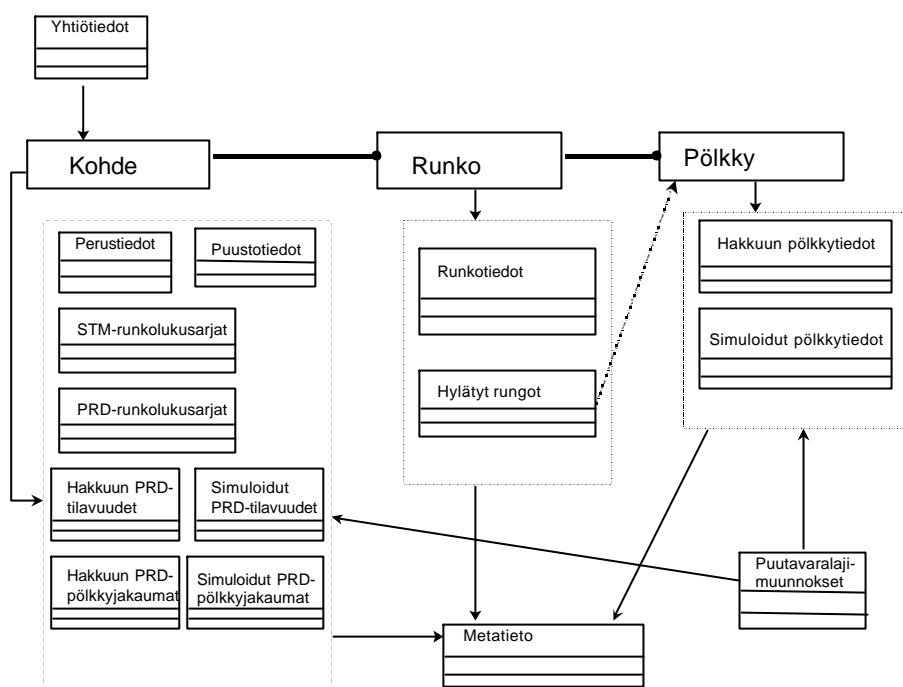
Runkopankkiin hankittiin 312 leimikon hakkuukoneaineistot pääasiallisesti Keski-Suomesta. Koska aineistoja koottiin eri alkuperälähteistä, on osa kohteista myös muualta maasta. Menetelmien kehittämistä varten muodostettiin tietovarasto myös PMP-aineistojen runkolukusarjoista ja koepuutiedoista, joita oli n. 21 000 hakkuupalstalta 1980-1990 -lukujen vaihteesta. PMP-aineistoja käytettiin ennustemenetelmien kehittämisessä ennen runkopankkiaineiston valmistumista, mutta niitä ei kuitenkaan ole tarkoitus käyttää hyväksi enää myöhemmin sovelluksia kehitettäessä.

Runkokohtaiset STM-tiedostot ovat runkopankin perusaineistoa. Niiden tallennus onnistui projektin kuluessa hankaluuksitta ja luotettavimmin Ponsse-hakkuukoneilla, joissa oli Opti-tietojärjestelmä. Aineistosta 97 % kerättiin niillä. Tallennus onnistuu myös muilla hakkuukonemerkeillä, kunhan niissä on uudehko tietojärjestelmä ja PC. Aineistoja koottiin yhteensä 50 eri koneelta. 64 % kohteista oli kuusivaltaisia päätehakuuleimikoita, mikä johtui pääasiassa hankinnan rakenteesta Keski-Suomessa. Menetelmien kehittämistä varten aiotaankin hankkia jatkossa lisää etenkin mäntyvaltaisia ja harvennusleimikoita.

Tietovarastosta muodostettiin SQL-tietokanta, jossa käsiteltävän tiedon perusyksiköinä ovat hakkuukohde, runko ja pölkky. Tietokannan taulut on esitetty kuvassa A.

Hakkuukoneen tuottamien tiedostojen tarkastamiseksi ja muuntamiseksi tietovarastoon vientiä varten tehtiin C++ -ohjelmat. Osa STM-mittausdatasta on sellaista, että siitä ei voi muodostaa runkomuotoa kuvaavaa yhtälön parametrejä tai sen pölkkytieto on virheellistä. Silti sitä voidaan hyvin käyttää runkolukusarjatielona. Eri

syistä hylättyjä runkoja oli koko aineistossa 7,3 %. Toinen merkittävä virhelähde aineistossa oli joko virheellinen kohteen pinta-ala tai se, että STM- ja PRD-tiedot koskivat eri aluetta, jolloin runkomäärissä saattoi olla merkittävää eroa. Runkolukusarjojen muodostaminen oli tällöin epävarmaa.



Kuva A. Tietovaraston tietomalli.

Jokaisen hyväksytyyn rungon runkomuototieto tiivistettiin runkokäyräyhtälön parametreihin, rinnankorkeusläpimittaan ja puun pituuteen, jotka muodostettiin STM-tiedoston läpimitta- ja mittauskorkeustiedoista. Yhtälömuodosta runkotieto on jälleen muutettavissa läpimitta-pituusyhdistelmiksi esim. apteraaussimulaattoreissa käytettäväksi. Osaan mäntytukkirunkoja tallennettiin hakkuun yhteydessä oksarajakorkeudet. Runkojen toteutunutta katkontaa kuvastavat kunkin pölkyn puutavaralaji, pituus, latvaläpimitta, tilavuus ja katkontasyy. Yhtiökohtaisten puutavaralajien lisäksi tietovarastoon lisättiin yhtiöstä riippumattomat yleistetyt puutavaralajikoodit.

Leimikon puustotietojen ennustaminen

Leimikon puustotietojen ennustamiseksi kehitettiin kahta erilaista menetelmää, jotka molemmat perustuvat ennustettavaa leimikkoa vastaavien hakkuukohteiden hakuun runkopankista. Vastinleimikoiden haussa käytetään kohdeleimikosta olevia ennakkotietoja, jotka voivat vaihdella sisällöllisesti ja laadullisesti. Niiden tulisi kuitenkin olla sellaisia, jotka ovat normaalissa leimikon suunnittelussa käytettävissä oston yhteydessä tai sen jälkeen tai kuviotietojärjestelmästä haettavissa.

MSN-menetelmä

MSN-menetelmä on ei-parametrinen k-lähimmän naapurin menetelmä, jossa tunnuksia ei ennusteta malleilla, vaan ennusteet perustuvat mitatusta aineistosta valittujen vastinhavaintojen tunnusten keskiarvoihin. Vertaamalla jokaisen runkopankki- tai PMP-aineiston leimikon hakumuuttujia (taulukko A) kohdeleimikon hakumuuttujiin ja painottamalla hakumuuttujia painotusmatriisilla voidaan valita ne vastinleimikot (esim. 5 tai 10 kpl), jotka muistuttavat eniten kohdeleimikkoa. Hakumuuttujina käytettiin SOLMU-metsäsuunnittelun mukaisia metsikkökuvion puusto-ositetietoja tai suunnittelumittausmenetelmillä leimikon oston yhteydessä mitattavia tunnuksia. Siten niiden pitäisi olla käytettävissä puukauppa- ja leimikkosuunnittelutilanteessa ainakin sitä mukaa kun SOLMU-suunnitelmat yleistyvät. Tutkimuksessa testattiin hakumuuttujien tarkkuuden vaikutusta ennusteeseen.

Taulukko A Vastinleimikoiden hakumuuttujat

	PMP-aineisto	Runkopankkiaineisto
Kohdemuuttujat:	Koordinaatit Pinta-ala Metsikön ikä Metsätyyppi Kehitysluokka Hakkuutapa	Koordinaatit Lämpösumma Pinta-ala Metsikön ikä Metsätyyppi Pääpuulaji Jaksoisuus Hakkuutapa
Puulajeittaiset puustotunnukset:	Keskiläpimitta Keskipituus Puulajin suhteellinen osuus Pohjapinta-ala	Keskiläpimitta Keskipituus Keskijäreys Puulajin suhteellinen osuus Pohjapinta-ala

Kohdeleimikon puustoa voidaan ennustaa joko puustoa kuvaavilla malleilla (runkolukusarja, pituuskäyrä) tai poimimalla vastinleimikoista hakkuukoneen mittaustiedon mukaisia todellisia puita. Ennustetuista puustotunnuksista tai puujoukosta voidaan apterauksen simuloinnilla ennustaa leimikon puutavaralajikertymät. Puutavaralajikertymien ennusteet on myös mahdollista laskea suoraan vastinleimikoiden todellisista tai simuloituista pölkkyjakaumista.

Runkopankkiaineiston perusteella laskettiin runkolukusarjaennuste, jonka mukaisesti poimittiin puita valituista vastinleimikoista. Laskenta tehtiin puulajeittain kaikille kohteille, joilla puulajia esiintyi. Runkolukusarjaennusteen hyvyttä arvioitiin laskeamalla puulajeittain hehtaarikohtaisen tilavuuden, tukkitilavuuden osuuden, tukkipuukokoisten puiden osuuden ja pohjapinta-alamediaanipuun pituuden keskivirheet. Parhaat tulokset saatiin keskivirheellä mitattuna 3-5 vastinleimikolla (taulukko B).

Ennustepuujoukon hyvyttä arvioitiin lisäksi apteeraamalla ennustetun puujoukon puut apteeraussimulaattorilla käyttäen puulajikohtaista pituutta painottavaa pituuden ja latvaläpimittojen hintamatriisia. Jakauma-aste laskettiin puulajeittain pituus-latvaläpimittamatriisin suhteellisina osuuksina.

TAULUKKO B Runkopankkiaineiston puustotunnusten ennusteiden tarkkuus: keskivirheiden keskiarvot (k=5)

	Mänty	Kuusi	Koivu
Tilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	3,8	7,0	3,5
Tukkitilavuusosuuden keskivirhe (%)	14,4	10,6	17,4
Tukkirunko-osuuden keskivirhe (%)	20,1	17,8	20,1
Keskipituuden keskivirhe (m)	0,8	0,6	0,9

Siinä verrattiin kohdeleimikon todellisten runkojen simuloidun apteerauksen mukaisia pituus-latvaläpimittamatriisin solujen pölkky-määriä vastaaviin ennustepuujoukon lukuihin. Runkopankkiaineistossa kaikkien leimikoiden simuloitujen pölkkyjakaumien jakauma-asteiden painottamattomat keskiarvot olivat männyllä 73,4 % ja kuusella 81,8 %. PMP-aineistossa ennusteet olivat jonkin verran huonompia, mikä johtui pääasiassa pituusennusteen virheestä.

Tutkimuksessa testattiin myös vaihtoehtoa, jossa valitut vastinleimikot apteerattiin simulaattorilla ja saatujen pölkkyjakaumien perusteella laskettiin suoraan ennuste-pölkkyjakauma. Tulokset olivat huomattavasti parempia kuin ennustettujen puustotunnusten tai puujoukon perusteella suoritettu apteeraus (taulukko C). Menetelmällä laskettiin runkopankkiaineistolle myös tilavuuksia ja pölkky-määriä koskevia tunnuksia (taulukko D).

TAULUKKO C Jakauma-asteet laskettaessa ennusteet suoraan pölkkyjakaumista (k=10)

	Mänty	Kuusi
PMP-aineisto	83,6	88,9
Runkopankkiaineisto	77,3	84,7

TAULUKKO D Runkopankkiaineiston tilavuus- ja määrätunnusten ennusteiden tarkkuus pölkkyjakauman suorassa ennustamisessa (k=10)

	Mänty	Kuusi
Tilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	6,1	22,1
Tukkitilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	7,4	18,6
Tukkitilavuuden osuuden keskivirhe (%)	6,9	7,7
Tukkipölkkyjen määrän keskivirhe (kpl)	37,1	83,5
Tukkipölkkyjen osuuden keskivirhe (%)	12,3	7,9

Testattaessa menetelmää pelkästään kohdetiedoilla ilman puulajiositteiden keskipuun tunnuksia, puulajisuhteita ja pohjapinta-alaa, tulokset heikkenivät selvästi (esim. kuusen jakauma-aste 84,7 -> 81,5). Toisaalta pelkästään keskipuun tunnuksiin perustuvan mallin antamat tulokset eivät olleet juurikaan huonommat kuin mallin, jossa olivat mukana kaikki perustason muuttujat.

Arviointivirheiden vaikutusta arvioitaessa laskettiin kaikille keskipuun tunnuksille, puulajin suhteelliselle osuudelle ja pohjapinta-alalle satunnaisvirhettä, jonka vaihteluväli oli 5-20 % välillä molempiin suuntiin todellisesta arvosta. Tulosten (taulukko E) perusteella menetelmä kestää varsin hyvin tunnusten arviointivirhettä.

TAULUKKO E Ennakkotiedon tarkkuuden vaikutus jakauma-asteeseen (k=10)

	Mänty	Kuusi
Hakumuuttujien todellisilla arvoilla	77,3	84,7
5 %:n arviointivirhe	77,5	84,6
10 %:n arviointivirhe	76,7	83,2
15 %:n arviointivirhe	75,2	82,4
20 %:n arviointivirhe	75,4	81,3

Tulokset osoittavat, että käytettäessä MSN-menetelmää runkopankkiaineistossa myös varsin pienillä aineistoilla (30-50 leimikkoa) on mahdollista saada hyviä tuloksia, mikäli ennusteita haetaan maantieteellisesti ja puustollisesti yhtenäiseltä alueelta. Menetelmän toimivuus ja tulosten luotettavuus kuitenkin paranevat aineiston kasvaessa. MSN-menetelmä on helppoa ja yksikäsitteisesti ohjelmoitavissa toimimaan eri ympäristöissä. Laskennan aliohjelmia voidaan suorittaa erillisinä ja siirtää sovellukseen, jolla suoritetaan vastinleimikoiden valinta, mutta runkopankkiaineiston kartoituksen tehokas hyödyntäminen edellyttää niiden integroimista samaan sovellukseen.

SOM-menetelmä

Runkopankkidatan automaattiseen luokittumiseen ja vastinleimikoiden valintaan kehitettiin myös neuraalilaskentaan kuuluvaa SOM-menetelmää eli itseorganisoituvaa karttaa. Se on menetelmä, jota on sovellettu suurissa datamäärissä olevien monimutkaisten riippuvuuksien analysointiin ja mallintamiseen. Runkopankkiaineistoa varten tehtiin alustava versio sovelluksesta kohdeleimikon vastinleimikoiden valintaan hakumuuttujia käyttäen.

SOM-menetelmässä ensimmäisenä ja tärkeimpänä vaiheena on valita aineiston luokittumisessa käytettävät muuttujat (ns. kartan opetusvaihe). Muuttujat on muunnettava yhteismitallisiksi ja skaalattava. Niiden perusteella tapahtuu samankaltaisen datan ryhmittäminen SOM-kartan yksiköiksi, joten valittujen opetusmuuttujien tulisi aidosti ja oikeassa suhteessa toisiinsa nähden vaikuttaa olennaisten eroavaisuuksien löytymiseen datassa. Opetetussa kartassa yhteen yksikköön voi kuulua eri määrä leimikoita sen mukaan, miten samankaltaista tai erilaista niitten opetusdata on. Itse

SOM-kartta on lähinnä keino visualisoida moniulotteista dataa kaksiulotteisena kuvana, eikä sinänsä välttämätön käyttösovelluksessa, jossa tavoitteena on hakea vastinleimikot ja muodostaa niistä puustoennusteet.

Kartan opetusaineisto muodostettiin neljällä eri tavalla seuraavista tiedoista:

1. Puulajeittaiset poistuman runkolukusarjat 1 cm:n luokituksella (6-60 cm), keskipituudet samalla luokituksella sekä luokan keskimääräinen kapeneminen 1,3 m:n ja 6 m:n välillä ($d_{1,3} - d_{6,0}$) läpimittaluokasta 17 cm alkaen
2. Edelliset tiedot karkeammalla läpimittaluokituksella
3. Kuten tavalla 1 sekä poistuman puulajeittaiset tukki- ja kuitutilavuudet (erikoispuutavaralajit sijoitettu jompaankumpaan luokkaan)
4. Kuten tavalla 3, mutta karkeammalla läpimittaluokituksella

Leimikon puustoennusteen tekemiseksi vastinleimikoita valitsemalla määritetään, kuinka monta lähintä SOM-karttayksikköä haetaan sekä valitaan haussa käytettävät muuttujat ja niille arvot kohdeleimikon mukaan. Sovelluksen ensimmäisessä versiossa käytettiin seuraavia hakumuuttujia: koordinaatit, lämpösumma, hakkuupaikka, kasvupaikka, jaksoisuus, ikä sekä männyn, kuusen ja koivun tilavuusosuudet. Näillä muuttujilla vastinleimikoiden haku ei toiminut vielä tyydyttävästi. Seuraavaan versioon on tarkoitus lisätä samat puuston keskitunnukset kuin MSN-menetelmässäkin. Sen jälkeen vasta voidaan paremmin arvioida koko menetelmän käyttökelpoisuutta.

Runkopankin soveltaminen puunhankinnan ohjauksessa

Runkopankki ja sen käyttösovellukset voivat olla osa yritysten puunhankinnan suunnittelun ja ohjauksen tietojärjestelmiä. Järjestelmän rakentamisessa määritettäviä asioita ovat mm.:

- Runkopankin soveltamisalueet ja nykyistä tarkemmasta puuston ennakkotiedosta saatavat hyödyt eri toiminnoissa
- Varantojen katkonta- ja toimitusvaihtoehtojen tarkastelutarpeet puunhankinnan suunnittelussa
- Alueellisen puuston laatutiedon käytettävyys suunnittelussa
- Käytettävyys leimikoiden hinnoittelun tukena
- Runkopankin aineistojen itsenäisen tai muiden organisaatioiden kanssa yhteisesti tehtävän hankinnan edut ja haitat
- Sovellusten liittäminen toiminnallisesti ja teknisesti muihin tietojärjestelmiin
- Runkopankin tietosisällöt
- Runkopankin laajentaminen muihin, vielä selvittämättömiin aineistoihin ja käyttösovelluksiin (esim. kaukokartoitusaineistot, sahojen vastaanottomittaustiedot tai koepuiden sisäistä laatua kuvaavat aineistot)

Projektissa Metsätehoon muodostettu tietovaraston prototyyppi ja siihen kuuluvat ohjelmat ovat käytettävissä yritysten omissa järjestelmähankkeissa. Puustotunnusten ennustemenetelmien kehittämistä on tarkoitus vielä jatkaa ja sitä varten tarvitaan puusto-ominaisuuksiltaan ja alueellisesti kattavampaa aineistoa. Käyttösovellusten prototyyppinä on myös edelleen kehitettävä, vaikka ne yritysten tietojärjestelmien osana perustuisivatkin erilaisiin tietoteknisiin ratkaisuihin. Algoritmit voivat silti olla pitkälti yhteisiä eri sovellusversioissa.

1 JOHDANTO

Tuotelähtöisen puunhankinnan suunnittelun ja ohjauksen toteuttamiseksi varannoista ja leimikoista tarvitaan mahdollisimman tarkkaa ja luotettavaa puustotietoa. Sen perusteella olisi voitava tehdä korjuun ja kuljetuksen vaihtoehtoistarkasteluja muuttuvissa hankintatilanteissa ja vertailtaessa tuotantolaitosten toimitustavoitteita käytettävissä oleviin varantoihin. Käytännön ohjausta ja erilaisia strategisia tarkasteluja varten tarvitaan tietojärjestelmä, jossa varantojen puustoja voidaan riittävällä tarkkuudella ennustaa ja niiden katkontaa simuloida.

Näitä tarpeita varten on Metsätehon Runkopankkiprototyyppi –projektissa kehitetty hakkuukoneiden mittaustietoon ja muuhun hakkuukohteista saatavaan tietoon perustuvaa tietovarastoa ja sen käyttösovelluksia. Projektia edelsi Puustotiedon hankinta hakkuukoneella –projekti (Metsätehon raportti 44). Projekti on kuulunut Wood Wisdom –tutkimusohjelmaan ja saanut osarahoitusta Tekesistä.

2 TAVOITTEET

Projektin tavoitteena oli rakentaa tietojärjestelmän prototyyppi, johon kuuluivat hakkuukoneaineistojen hankintamenetelmät, tietovarastot tietokantaohjelmistossa ja käyttösovellukset leimikon puustotietojen tai puutavaralajeittaisten pölkyjakaumien ennustamiseksi. Tietovaraston luomiseksi oli hankittava hakkuukoneiden mittausdataa. Aineistohankinta päätettiin keskittää muutamalle maantieteelliselle alueelle. Siinä tavoitteena oli myös kokeilla ja kehittää laajamittaista tiedonkeruuta, sen organisointia ja laadunvarmistusta sekä erilaisia tapoja muodostaa datasta tietovarastoon hakkuukohdetta kuvaavaa puustoinformaatiota.

Projektissa keskeistä oli sovelluksissa käytettävien puuston ennustamismenetelmien kehittäminen käyttötavoitteita varten. Tavoitteena oli tutkia ns. datalähtöisiä menetelmiä, joilla voidaan joko luokitella puustotietoa sen ominaisuuksien mukaan tai määrittää ne piirteet, joita voidaan parhaiten käyttää hyväksi samankaltaisten leimikoiden tai puustojen haussa suuresta tietomassasta. Kehitettäväksi valittiin ei-parametrinen k-lähimmän naapurin menetelmä (MSN) sekä neurolaskentaan lukeutuva itseorganisoituva kartta (SOM). Ensimmäistä menetelmää on kehitetty yhteistyöhankkeessa Joensuun yliopistossa ja jälkimmäistä Teknillisen korkeakoulun informaatiotekniikan laboratoriossa.

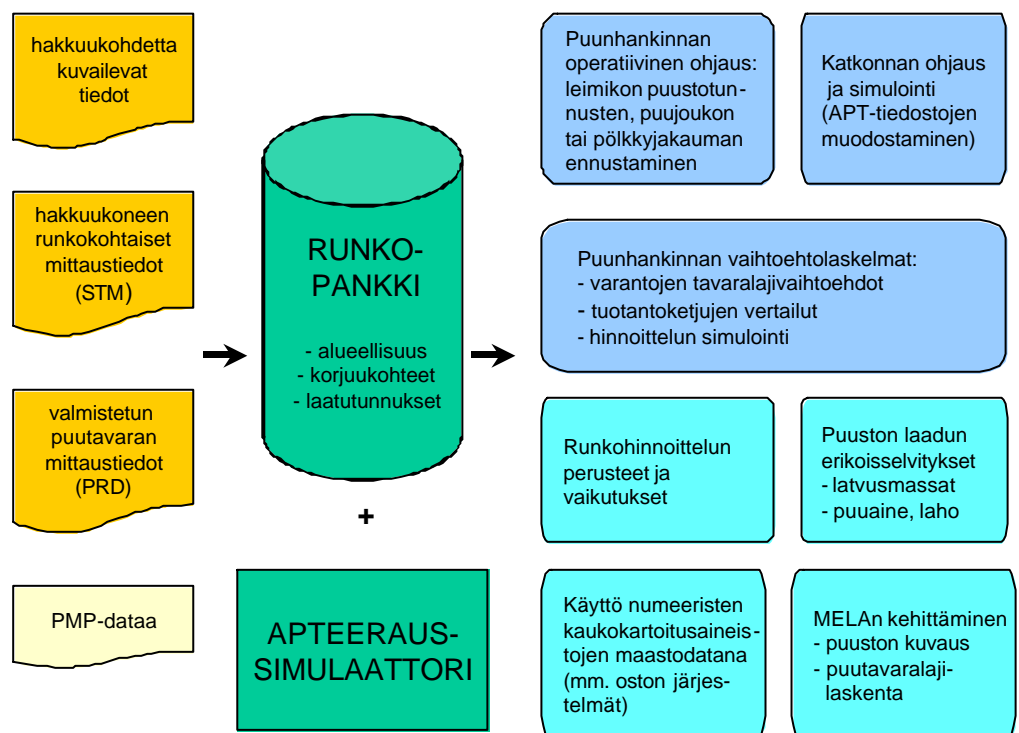
Tietojärjestelmä päätettiin rakentaa Metsätehossa käytettävissä olevilla ohjelmistoilla. Tavoitteena oli, että tietovarastoa ja sovellusten prototyyppijärjestelmää voidaan testata käytännön puunhankintaa vastaavissa ohjaustilanteissa. Tavoitteena oli tehdä myös analyysit siitä, kuinka prototyyppi on rakennettavissa ja otettavissa käyttöön osakasyritysten tietojärjestelmäympäristöissä. Tulosten käyttöönoton tavoitteiksi asetettiin yritys kohtaisten tietojärjestelmien suunnitteluhankkeet sekä Met-

sätehon prototyypin kehittäminen ja laajentaminen mahdollisesti tietoverkon välityksellä käytettäväksi palveluksi osakkaille.

3 RUNKOPANKIN KÄYTTÖALUEET PUUNHANKINNAN OHJAUKSESSA JA TUTKIMUS- JA KEHITTÄMISTYÖSSÄ

3.1 Runkopankin erilaiset käyttömahdollisuudet

Runkopankin kehittämisessä tärkeintä on ollut sen soveltaminen puunhankinnan operatiivisen suunnittelun ja ohjauksen eri toimintoihin, joita kuvataan seuraavissa kappaleissa. Sen lisäksi käyttömahdollisuuksia arvioidaan olevan myös puunhankinnan ja metsätalouden muussa suunnittelussa, jossa joudutaan tarkastelemaan metsävaroja ja puuston ominaisuuksia (kuva 1). Näiden muiden käyttömahdollisuuksien selvitystä ei ollut mahdollista ottaa mukaan projektiin ja osin ne ovat vasta syntyneekin projektin tulosten myötä.



Kuva 1. Runkopankin sovellusalueet.

3.2 Runkopankki operatiivisessa toiminnassa

Runkopankkia käyttävien menetelmien kehittäminen leimikoiden puustotietojen ennustamiseksi on ollut projektin keskeinen tavoite. Ennustetieto voi olla puujoukon keskeisiä ominaisuuksia kuvaavia tunnuksia tai mahdollisimman pitkälle tehty apteerauksen simulointiin perustuva ennuste leimikon puutavaralajeittaisista pölkkyjakaumista ja keskitunnuksista. Ennusteita voidaan käyttää seuraaviin tarkoituksiin:

- leimikon ostossa puutavaralajeittaisten hakkuukertymien tarkasteluun ja hinnanmääritykseen simuloimalla katkottaa eri tuotantolaitosten tavoitejakaumien mukaan
- katkonnan ohjaustiedostojen (APT) muodostamiseen ja valintaan
- eri korjuu- ja kuljetusvaihtoehtojen ja korjuuohjelman suunnitteluun simuloimalla varantojen katkottaa
- hakkuukohteiden valintaan ja suunnitteluun organisaation omissa metsissä tarkentamalla kuvioden puustotietoja
- sahojen tuotannonsuunnitteluun puustotiedoiltaan tarkennetuista varantotiedoista tehtyjen ennusteiden pohjalta

Arvioihin tai pieniin otoksiin perustuvat, yksittäisiä kohteita kuvaavat ennustetiedot eivät ole kovin tarkkoja, ja tässä suhteessa runkopankkimenetelmäkään eivät muuta tilannetta. Jos ennusteet ovat kuitenkin harhattomia, useampien leimikoiden summatiedot ovat käytännössä jo riittävän osuvia hankintaoperaatioiden suunnitteluun ja ohjauksen kannalta.

Tavaralajien valintapäätöksiä tehtäessä korjuukohteiden runkojen keskijäreystiedot tarjoavat jo hyvän lähtökohdan. Esimerkiksi sorvikuusen korjuu kannattaa suunnata aina järeimpiin kuusikoihin. Runkopankin avulla yksittäiset korjuukohteet ja niistä koostuva pystyvaranto voidaan kuitenkin kuvata runkojoukkoina, mikä mahdollistaa erilaisten katkontavaihtoehtojen laskennallisen tarkastelun ja tavaralajivaihtoehtojen keskinäisten riippuvuuksien huomioon ottamisen. Lisäksi simuloitujen apteeraukset tuottavat myös ennusteita tukkien dimensiojakaumista.

3.3 Alueelliset hankintavaihtoehdot

Aluetasoisista metsävarojen ja puuston ominaisuuksien tarkastelua tarvitaan usein erilaisten strategisten päätösten tueksi. Lähtökohtana tällöin on tavallisesti raaka-ainepotentiaalin allokointi eri tuotantolaitoksille ja tuotteisiin sekä siihen liittyvät vaihtoehtoisten tuotantoketjujen ja tekniikoiden vertailut. Tarkastelun kohteena voivat olla joko hankittu pystyvaranto tai alueelliset hakkuumahdollisuudet.

Kattavan, alueellisesti edustavan leimikko- ja runkopankin avulla varanto- tai metsävaratietoja voidaan tarkentaa puulajikohtaisiksi runkojoukoiksi. Apteeraussimulaattorin tuottamiin katkontavaihtoehtoihin ja tavaralajikertymiin on mahdollista liit-

tää myös erilaisten korjuu-, kuljetus- ja puunkäsittelymenetelmiä koskevia tuottavuus- ja kustannustietoja, jolloin kysymykseen tulevia kehittämisvaihtoehtoja voidaan analysoida sumatasolla todellista tilannetta vastaavasti.

Puuraaka-aineen eri käyttömuotojen ja vaihtoehtoisten tuotantoketjujen tarkastelussa pelkät runkojen mittatiedot eivät ole aina riittäviä. Esimerkiksi alueellisen puupolttoaineen tuotantopotentiaalin ja –kustannusten selvittäminen edellyttää, että runkoaineistoja laajennetaan oksa- ja latvusmassamalleilla. Vertailtaessa tiettyjen raaka-aineositteiden käyttöä eri tuotteissa tarvitaan myös tietoja runkojen ja rungon osien puuaineen ominaisuuksista.

Alueellisia raaka-aineen hankintavaihtoehtojen tarkasteluja varten hakkuukoneilla kerättyä runkopankkia joudutaan laajentamaan muista lähteistä saatavilla tutkimustiedoilla ja laskentamalleilla. Tämän vuoksi strategisen suunnittelun sovellusten kehittäminen on erikseen suunniteltava oma tehtävänsä, jonka toteuttamisessa on otettava huomioon operatiivisten runkopankkisovellusten alueella tehtävät ratkaisut.

4 RUNKOPANKKIAINEISTOT JA TIETOVARASTON MUODOSTAMINEN

4.1 Hakkuukoneaineistojen hankinta ja yleiskuvaus

Metsätehon runkopankki kuvataan seuraavassa sellaisena kuin se oli projektin päättymisvaiheessa maaliskuussa 2000. Aineistojen mahdolliset jatkohankinnat muuttavat tietovaraston sisältöä.

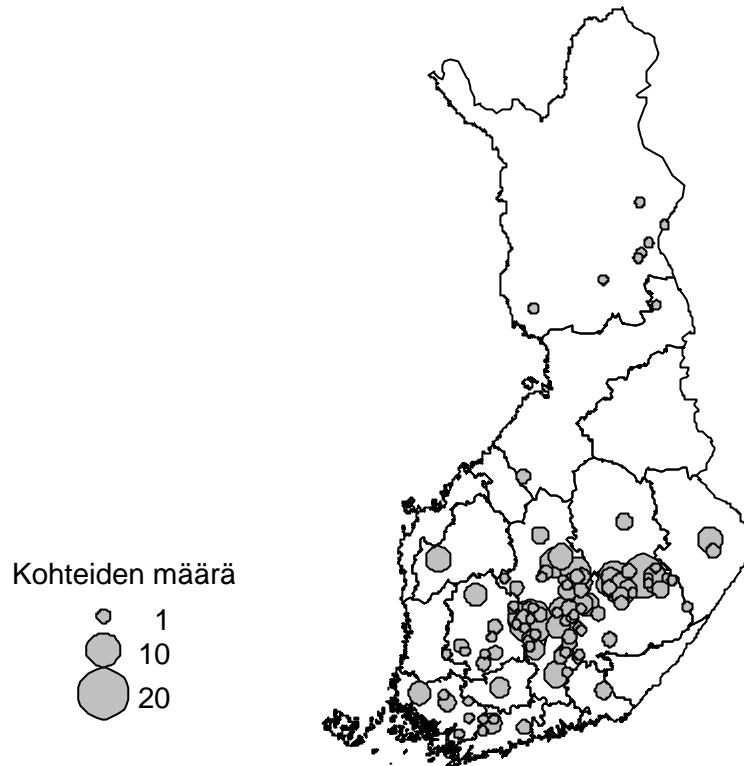
Projektissa muodostettuun tietokantaan hakkuukoneaineistot koottiin eri lähteistä (taulukko 1). Aineistosta 2/3 hankittiin projektin omana työnä syksystä 1997 kesän 1998 loppuun. Muut aineistot olivat pääosin vuosilta 1996 ja 1997. Yhteensä aineistoja hankittiin n. 50 hakkuukoneelta. Niitä kerättiin 33 hakkuukoneelta Metsäliiton erillisaineistoa lukuun ottamatta, jonka hakkuukoneiden tarkka määrä ei ole tiedossa. Ko. osa-aineistoa on kuitenkin koottu 16 hankintapiiriltä. Aineistoista 97 % oli tuotettu Ponsella ja loput 3 % Timberjackilla. Syynä tähän oli, että Ponsen mikrotietokoneet mahdollistivat runkotietojen tallennuksen ja käsittelyn muita konemerkkejä varmemmin ja joustavammin. Muissa projekteissa on myöhemmin kehitetty STM-tiedostojen tallennusta sellaisilla Timberjackeilla, joihin tietokone on asennettu, ja yleensä tallennukset ovat onnistuneet moitteettomasti.

TAULUKKO 1 Aineistojen määrä alkuperän mukaan

Aineiston alkuperä	Yhtiö	Kohteiden lukumäärä ja osuus (%)
Projektissa kerätyt aineistot	Koskitukka Oy	12 (3,8)
	Metsähallitus	3 (1,0)
	Pölkky Oy	7 (2,2)
	Stora Enso Oyj	89 (28,5)
	UPM-Kymmene Oyj	99 (31,7)
Esitutkimuksessa kerätyt aineistot	Metsäliitto	8 (2,6)
TULP-projektin aineistot	Metsäliitto	3 (1,0)
	Stora Enso Oyj	26 (8,3)
	UPM-Kymmene Oyj	4 (1,3)
Metsäliiton erillisaineistot	Metsäliitto	61 (19,6)
Yhteensä		312

Aineistohankinta pyrittiin keskittämään Keski-Suomeen, jotta erilaiset kasvupaikkaolosuhteet ja puuston erilaiset laatuominaisuudet eri maantieteellisillä alueilla eivät aiheuttaisi analysointimenetelmien kehittämiseksi esteitä ja alueellisen runkopankin koostamisesta saataisiin kokemuksia. Metsäliiton erillisaineisto oli hankittu koko valtakunnasta, mutta siinä kohteiden sijainnista tiedettiin vain hankintapiiri. Muut kohteet sijaitsivat 45 eri kunnan alueella. Kohteiden maantieteellinen sijoittuminen esitetään kuvassa 2.

Aineisto painottui kuusivaltaisiin päätehakkuukohteisiin. Tietovarastossa niiden osuus oli 64 % kohteista. Mäntyvaltaisia kohteita pyrittiin hankinnassa saamaan runsaasti mukaan, mutta niiden osuus jäi tavoiteltua pienemmäksi, neljännekseen kohteiden määrästä. Harvennusleimikoita kohteista oli 11 % ja ne olivat pääasiassa järeäpuustoisia myöhempiä harvennuksia. Ensiharvennusleimikoita ei aineistohankinnassa tavoiteltu. Kohteiden hakattu puumäärä oli yhteensä n. 112 000 m³. Yksittäisiä runkoja tietovarastoon tallennettiin n. 272 000 kpl. Hakkuukohteiden kasvupaikkaa, puustoa ja hakkuuta kuvaavat tiedot on esitetty taulukoissa 2 ja 3.



Kuva 2. Runkopankin hakkuukoneaineistojen sijainti.

TAULUKKO 2 Kohteiden lukumäärät ja osuudet (%) hakkuutavan ja pääpuulajin mukaan

Pääpuulaji	Hakkuutapa				
	Avohakkuu	Harvennus	Siemen- tai suojuspuuhakkuu	Siemen- tai suojuspuiden poisto	Muu hakkuu
Mänty	43 (14)	10 (3)	16 (5)	10 (3)	4 (1)
Kuusi	172 (55)	24 (8)	26 (9)	3 (1)	3 (1)

TAULUKKO 3 Kohteiden pinta-alan ja poistetun puuston tunnuslukuja

	Hakkuutapa				
	Avohakkuu	Harvennus	Siemen- tai suojuspuu-hakkuu	Siemen- tai suojuspuiden poisto	Muu hakkuu
Pinta-ala, ha: keskiarvo vaihteluväli	1,9 0,3 - 11,4	3,0 0,6 - 8,0	3,1 0,4 - 20,0	3,2 0,5 - 7,8	3,1 0,5 - 5,9
Poistuman tilavuus, m ³ /ha: keskiarvo vaihteluväli	233 28 - 628	76 17 - 173	183 15 - 345	86 18 - 208	121 39 - 243
Runkojen keskijäreys, m ³ vaihteluväli	0,47 0,14 - 1,09	0,28 0,15 - 0,77	0,38 0,12- 0,65	0,65 0,31 - 0,91	0,48 0,13 - 0,75

4.2 Hakkuukoneaineistojen tietosisältö ja käsittelyt

Runkopankin hakkuukoneaineistojen tietosisältöä ja käsittelyitä on kuvattu Metsätehon raportissa 44. Tässä esitellään kuitenkin lyhyesti aineistot ja niiden vaatimat muunnokset ja käsittelyt, siten kuin ne Runkopankkiprototyyppi -projektissa lopulta toteutettiin.

Hakkuukoneaineistot muodostuivat kohdetta kuvaavista yleistiedoista (liite 1), jotka määrittä lomakkeelle yhtiön aineistojen hankinnasta vastannut esimies, runkokohtaisista STM-tiedostoista, hakkuun tuotantotiedoista (PRD-tiedostot) sekä leimikolla käytetyistä apterauksen ohjauksen APT-tiedostoista. Tiedostojen käsittely tietokantaan vientiä varten on kuvattu yleispiirteisesti liitteessä 2.

Yleistietolomakkeet tarkastettiin ja täydennettiin mm. koordinaattien, korkeuden ja laskennallisen lämpösumman osalta. Virheellinen pinta-ala tai sen puuttuminen osasta kohteita rajoittaa niiden käyttöä analysoinneissa, sillä mm. runkolukusarjojen ja tilavuuksien skaalaus hehtaarikohtaiseksi ei tällöin ole mahdollista. Aineistoja hankittaessa on siksi varmistuttava, että pinta-ala määritetään juuri siltä alueelta, jolta runkotiedotkin kerätään. Puunhankinnan työmaasuunnittelun paikkatietojärjestelmät antavat siihen hyvän mahdollisuuden tulevaisuudessa. Puuston keskiläpimitan, keskijäreiden ja keskipituuden ennakoarviot tai -mittaukset oli tehty varsin vaihtelevasti ja usein ne puuttuivat, koska niitä ei oltu määritetty pakollisiksi. Niistä ei siksi saa yhtenäistä käsitystä tietojen luotettavuudesta, tarkkuudesta ja käytettävyydestä ennustamismenetelmien lähtötietoina.

Yleistietoihin määritettiin pystyyn jäävästä puustosta puulajeittain lukumäärä (kpl/ha) sekä keskiläpimitta. Tietoja voidaan käyttää ennen hakkuuta pystyssä olleen puuston runkolukusarjan määrittämiseen yhdessä poistettujen puiden tietojen kanssa,

mutta tätä laskentaa ei tietovarastoon ole toistaiseksi toteutettu. Se on kuitenkin tarpeen harvennuskohteiden puustotunnusten analysoinnissa ja estimointimenetelmien kehittämisessä. Tieto siitä, onko leimikko harvennettu joskus ja arvio hakkuuajankohdasta tai runkolukumääräarvio saattaisivat olla hyviä tunnuksia tehtäessä ennusteita puuston kokojakaumasta ja pituudesta. Nyt harvennustieto ei ollut pakollinen ja siksi sitä oli tallennettu melko harvoista kohteista.

Hakkuukoneiden runkokohtaiset STM –tiedostot ovat runkopankin aineistoista tärkeimmät. Tiedostoissa ovat rungon läpimitat 10 cm:n välein sekä katkottujen pölkkyjen puutavaralajit, latvaläpimitat, pituudet, tilavuudet sekä laadut ja katkaisusyyt, joiden luotettava tulkinta on kuitenkin hankalaa. Ehdotetusta apterauksesta poikkeaminen pakkokatkaisua käyttäen on varsin kuljettajakohtaista. Osasta männytukkirunkoja tallennettiin kuivaokсарajan ja elävän latvuksen alarajan korkeudet. Kohteen hakatun puutavaran tuotantotiedot tallennetaan PRD –tiedostoihin, joita voi syntyä useita yhdestä kohteesta. Niissä ovat pölkkyjen lukumäärät puutavaralajeittain ja läpimitta- ja pituusluokittain sekä runkolukusarjat yleensä 2 cm:n läpimittaluokituksella.

Tiedostojen tallennus opastettiin hakkuukoneen kuljettajille projektin aineistohankintaa aloitettaessa. Metsäliiton erillisaineistojen hankinnassa opastusta ei ollut tehty, mikä aiheutti puutteita ja epäselvyyksiä aineistojen kokoamisessa ja käsittelyssä. Vajaa kolmannes Metsäliiton alkuperäisestä aineistosta jouduttiin sen vuoksi hylkäämään. Projektin käyttöön hankittiin kuitenkin vain hyväksytyt osa ko. aineistosta.

Suurin hankaluus tiedostojen tulkinnaissa aiheutui siitä, että STM- ja PRD-tiedostojen runkomäärät kohteella poikkesivat olennaisesti toisistaan. Syynä siihen lienee ollut, että PRD:tä ei ollut tallennettu erikseen pelkästään siltä alueelta, jolta STM:t oli kerätty, vaan laajemmasta osasta leimikkoa. Kohteita, joilla PRD-tiedostoja ei tallennettu syystä tai toisesta lainkaan tai ne olivat selvästi virheellisiä, oli 82 kpl. Kolmelta kohteelta oli vain PRD-tiedot. 155 kohteella runkomääräero oli alle 50 runkoa. Suurempikin ero on vielä hyväksyttävissä, mikäli kohde on suuri ja mikäli erot ovat pääasiassa pieniläpimittaisten kuitupuiden määrässä. Pieni PRD-tietojen virheellisyys voidaan analysoinneissa hallita, jos kohteen pinta-ala on STM-keruualueen mukainen. Tällöin tilavuudet, jakaumat ja runkolukusarjat voidaan skaalata runkomääräeron mukaan. Suurempien virheiden korjaaminen on jo epävarmempaa, koska silloin runkodatassa saattaa olla mukana puustorakenteeltaan ja laadultaan erilaisia lohkoja tai leimikon osia. Runkolukusarjojen ennustamismenetelmien kehittämiseen käytettiin projektissa näistä syistä ainoastaan STM-runkotiedoista johdettuja runkolukusarjoja.

STM- ja PRD-tiedostojen purkamista ja muuntamista jatkokäsittelyjä varten tehtiin C++-ohjelmat. Niissä määritetään, mitkä tiedostoissa olevat hakkuukoneen tiedonsiirtostandardin mukaiset muuttujat siirretään tekstimuotoiseen tulostiedostoon. Ohjelmissa STM-tiedoille voidaan antaa kriteerejä, joiden mukaan rungot valikoi-

daan hyväksyttäviin ja hylättäviin. Kriteerejä määritettiin rungon läpimitta- ja pituustiedoille (runkomuoto) sekä pölkkytiedoille. Hylkäyksen aiheuttivat mm. seuraavat asiat:

- rungon läpimitassa ei muutosta 3 m:n pituudella tai 2 m:n pituudella tyvellä
- läpimittoja ei ollut riittävästi pituuteen nähden tai viimeinen läpimitta oli yli 36 m:n korkeudelta
- pölkkyjä ei ollut, niiden yhteispituus oli alle puolet viimeisestä läpimitan mittauskorkeudesta tai yli 32 m (mm. haaraiset rungot)
- pölkyn latvaläpimitta yli 10 mm suurempi kuin alemmalla pölkkyllä

Runkomuotosyiden vuoksi hylättyjä runkoja ei viety runkokäyräyhtälön laskentaohjelmaan, mutta niiden pölkkytiedot otettiin mukaan, ellei runko tullut hylätyksi myös pölkkykriteereillä. Pelkästään pölkkykriteereillä hylätyille rungoille sen sijaan runkokäyräyhtälön muodostaminen tehtiin. Tiedostojen purkuvaiheessa runkomuotosyistä hylättyjä runkoja oli yhteensä 5226 kpl (1,9 %) ja pölkkyistä 3373 kpl (1,2 %).

Rungon läpimittatiedoista muodostettiin SAS-ohjelmalla Laasasenahon runkokäyräyhtälön parametrit, rinnankorkeusläpimitta ja puun pituus. Runkokäyrän muodostamisen vaiheet on kuvattu yksityiskohtaisesti Metsätehon raportissa 44. Runkomuodon sovitusta tehtiin siinä esitetyllä tavalla, mutta muutamissa vaiheissa siitä poikettiin, mm. vähentämällä estimoitavia parametrejä rungon koon mukaan.

Koska aineisto oli pääasiassa Ponsse-hakkuukoneilta, ja rungon tyven läpimitat alkoivat 1,5 m:n korkeudelta kaatoleikkauksesta, kannonkorkeutta ei haettu, vaan se asetettiin vakioksi 20 cm. Läpimittojen määrää/runko myös rajoitettiin siten, että jos läpimittoja oli alle 85 kpl, kaikki havainnot olivat mukana, jos läpimittoja oli 85-150, otettiin joka toinen havainto mukaan ja jos läpimittoja oli yli 150 kpl, otettiin vain joka kolmas havainto laskentaan. Läpimittahavaintojen vähentämisellä saatiin selvästi tehokkuutta lisää laskentaan tuloksen silti siitä kärsimättä.

Runkomuoto tiivistettiin viiteen yhtälön parametriin normaalirungoilla ja kolmeen, mikäli rungon viimeisin mitattu läpimitta oli alle 10 cm ja läpimittahavaintoja oli 60 tai alle. Haettavien parametrien vähentämisellä normalisoitiin rungon latvaosa perusparametrien muotoiseksi. Yhtälön kahdeksasta muotoparametristä viimeiset kolme tai viisi jätettiin siis puulajeittain vakioiksi niiden pienen merkityksen vuoksi. Runkokäyräyhtälöiden muodostaminen oli melko vaativa työvaihe, sillä yhden rungon käsittelyyn kului laskenta-aikaa n. 15-20 sekuntia. Useiden laskenta-ajojen oltua yhtä aikaa käynnissä saatiin aineiston runkokäyrät muodostettua n. kuukaudessa.

Runkokäyräyhtälöitä muodostettaessa tarkasteltiin runkoa uusilla läpimitta- ja pituus-kriteereillä. Hylkäyksen syitä olivat nyt:

- muodostettu rinnankorkeusläpimitta alle 6 cm tai yli 70 cm
- pituus alle 3 m tai yli 37 m

- rinnankorkeusläpimitan ja pituuden suhde ei annetuissa rajoissa
- runko ei kapene riittävästi 1,3 ja 6 m:n välillä (väh. 1 cm kapeneminen)
- muodostetulla runkokäyrällä läpimitta alkaa kasvaa jossakin vaiheessa
- muodostetun runkokäyräyhtälön läpimitan keskivirhe on liian suuri (riippuu puunkoosta)

Näillä syillä hylätyjä runkoja oli yhteensä 12 943 kpl (4,8 %). Tiedostojen purkuvaihe mukaan lukien eri syistä hylätyjä runkoja oli 7,3 % alkuperäisistä ja keskimäärin 63 kpl/kohde. Niistä 36 % oli rinnankorkeusläpimitaltaan ≤ 15 cm, 26 % 15 - 25 cm ja 38 % yli 25 cm.

Muodostetun runkokäyräyhtälön tarkkuutta alkuperäisten läpimittahavaintojen suhteen voidaan tarkastella rungoittain laskettujen läpimitan keskivirheiden avulla. Keskivirhe ilmaisee, kuinka paljon keskimäärin ko. rungolla jokainen 10 cm:n välein oleva muodostetun yhtälön mukainen läpimitta poikkeaa mittausravasta. Tyypillisesti rungoilla, joilla läpimitta ei pienene tasaisesti, vaan pysyy jonkin aikaa vakiona, on keskivirhe suurempi. Rungon koko vaikuttaa luonnollisesti keskivirheen suuruuteen. Hyväksytyjen runkojen keskivirheiden jakauma eri luokkiin on kuvattu taulukossa 4.

TAULUKKO 4 Runkokäyräyhtälöiden läpimitan keskivirhejakaumat

Keskivirhe	0 - 1 mm	2 - 3 mm	4 - 5 mm	6 - 10 mm
Männyt, $d_{1,3} \leq 15$ cm	61 %	38 %	1 %	0 %
Männyt, $15 \text{ cm} < d_{1,3} \leq 25$ cm	5 %	84 %	10 %	1 %
Männyt, $d_{1,3} > 25$ cm	0 %	35 %	50 %	15 %
Kuuset, $d_{1,3} \leq 15$ cm	59 %	40 %	1 %	0 %
Kuuset, $15 \text{ cm} < d_{1,3} \leq 25$ cm	5 %	89 %	5 %	1 %
Kuuset, $d_{1,3} > 25$ cm	0 %	57 %	35 %	8 %
Koivut ym. lehtipuut	22 %	52 %	20 %	6 %

STM-runkotiedoista muodostettiin runkolukusarjat runkokäyräyhtälön rinnankorkeusläpimittojen mukaan 1 cm:n luokituksella runkolajeittain. Myös kaikki hylätyt rungot huomioitiin runkolukusarjan muodostamisessa. Niillä rinnankorkeusläpimittana on käytetty joko läpimitta-arvoa 1,3 m:n päästä kaatoleikkauksesta (Timberjack) tai 1,5 m:n arvoa, johon on lisätty puulajeittain määritetty rungon paksuneminen 1,3 m:n kohtaan (Ponsse).

Hakkuukoneen tiedonsiirtostandardin mukaisten tiedostojen muuttujat ovat tulkittavissa pääsääntöisesti aukottomasti, mutta esim. puutavaralajikoodien vapaamuotoinen käyttö aiheutti hankaluutta purkuohjelman laadinnassa ja käytössä. Yhtiöiden

viralliset puutavaralajikoodit muunnettiin runkopankissa käytettäviksi yleistetyiksi puutavaralajeiksi. Myös alkuperäinen koodi säilytettiin. Joillakin hakkuukoneilla ei ollut käytössä yhtiön kooditus, vaan täysin siitä poikkeava. Runkopankissa käytettävät puutavaralajit ovat:

- sahatukki, ei tarkenninta
- tyvitukki
- välitukki
- latvatukki
- sorvi- tai vaneritukki
- järeä erikoispuu, ei tarkenninta
- ratapölkkyaihe
- pylväs
- pikkutukki
- kuitupuu
- laho kuitupuu (sellu)
- raakki (kuitu)
- kuitupuukokoinen erikoispuu, ei tarkenninta
- parruaihe
- energia- ja polttopuu
- laho ja hylky
- määrittelemätön puutavaralaji

Kuivaoksarajakorkeudet oli tallennettu 7988 ja elävän latvuksen alarajan korkeudet 7214 männystä. Puita, joista molemmat tunnuksia oli tallennettu, oli 6387. Mukana oli myös muutamia runkoja, joissa virheellisen tallennuksen vuoksi kuivaoksaraja oli elävän latvuksen alarajaa ylempänä. Tallennuksia tehtiin 180 leimikolla ja keskimäärin hyväksytyjä oksarajatallennuksia oli 35 männystä leimikkoa kohden. Aiemmissä tutkimuksissa on selvitetty kuljettajan tekemän tallennuksen tarkkuutta ja havaittu, että siinä voi olla suuria kuljettajakohtaisia eroja. Vertailuissa hyvät kuljettajat ovat kyenneet arvioimaan oksarajakorkeudet keskimäärin leimikolla n. 20 – 40 cm:n tarkkuudella oikein, mutta rungoittaiset hajonnat ovat voineet olla silti suuria. Oksarajatallennusten tarkkuutta ja luotettavuutta on selvitetty enemmän Metsätehon raportissa 63 Laaturajat hakkuukoneapteerauksessa.

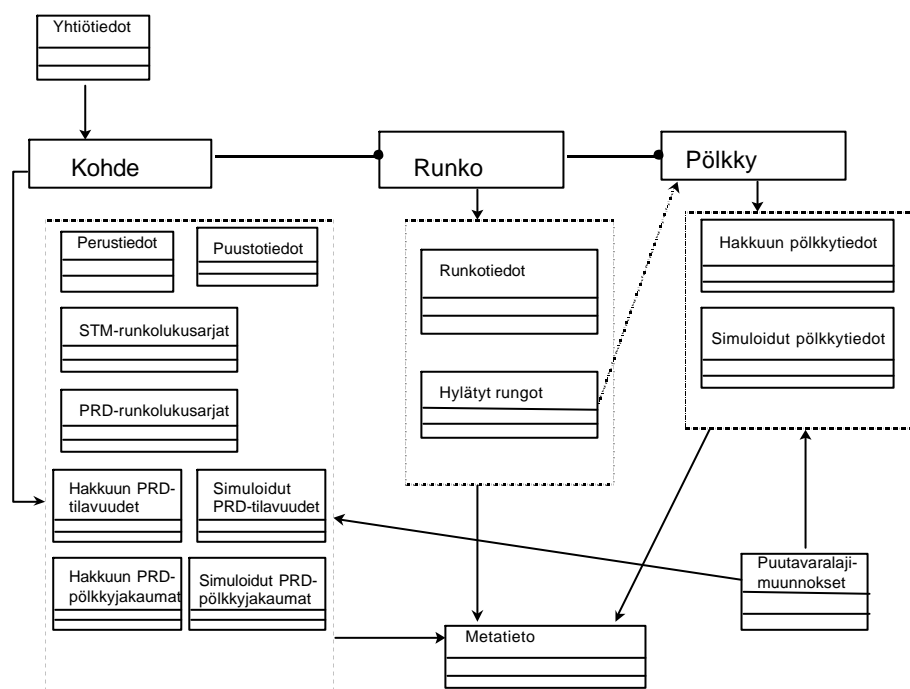
4.3 Tietovaraston tietomalli

Runkopankin prototyypin tietomalli on toteutettu relaatiomallina. Kuvassa 3 on esitetty tietovaraston keskeiset yksilötyypit ja niiden väliset suhteet. Kutakin yksilötyyppiä (laatikko kuvassa) vastaa relaatiotietokannan taulu. Tietomallin perusyksilöitä ovat *kohde*, *runko* ja *pölkky*. Tietomallin luonnissa on pyritty yksikäsitteisyteen siten, että kaikkea sellaista tietoa, joka on muodostettavissa alkuperäisestä, ei tallenneta tietovarastoon, vaan se lasketaan sovellusohjelmissa. Tällaisia tietoja ovat mm. poistuman puutavaralajeittaiset tilavuudet, joita voidaan laskea eri perusteisesti. Lisäksi osa tiedosta on muutettu huomattavasti tilaa säästävämpään muo-

toon. Näin on tehty STM-tiedostoista saatavalle rungon läpimittatiedoille. Läpimit-
tatiedoista muodostetaan runkokäyrän parametrit, jotka tallennetaan sen sijaan, että
tallennettaisiin kaikki mitatut läpimitat.

Runkopankin prototyypiversion tietovarasto on tallennettu relaatiotietokantaan.
Käytetty relaatiotietokanta on MS SQL Server versio 6.5. Tietokannan taulut on
luotu SQL-standardin mukaisilla luontilauseilla. Nämä ohjelmat ovat suoraan siir-
rettävissä muihin relaatiotietokantajärjestelmiin. Runkopankin tiedot on ladattu teks-
titiedostoista tauluihin MS SQL Server –ohjelmiston bcp-ohjelmalla (bulk copy).
Suurten tietomäärien tehokas lataus tietokantaan edellyttää tällaisen eräajotyypisen
tiedonsiirto-ohjelman käyttöä.

Tietokannan taulut on liitetty toisiinsa yksikäsitteisen avaininformaation avulla. Tämä
mahdollistaa tietovaraston tietojen tehokkaan haun ja niiden eheyden valvonnan.
Tauluissa käytetty avaininformaatio on tuotettu osana tiedon purku- ja muokkaus-
ohjelmia. Varsinaisten kohde- ja puustotietotaulujen lisäksi tietokantaan on liitetty
taulujen luonti-informaatiota kuvaava metatietotaulu. Siinä on mukana mm. tietojen
alkuperätietoa, alkuperäisten tiedostojen nimiä sekä informaatiota taulujen luon-
tiajankohdasta. Tietokannan taulujen tarkka rakenne on esitetty liitteessä 3.



Kuva 3. Tietovaraston tietomalli.

4.4 PMP-aineistot

Projektissa muodostettiin tietokanta myös pystymittauksen puidenluku-, koepuu-alue- ja koepuutiedoista. Sitä käytettiin puustotietojen ennustamismenetelmien esitutkimukseen ennen kuin varsinaiset runkopankkiaineistot olivat valmiita. Teknillisellä korkeakoululla tehdyssä opinnäytetyössä käytettiin aineistona PMP-tietoja.

Tietokanta muodostettiin 1980-luvun lopun ja 1990-luvun alun pystymittausaineistoista, jotka hankittiin Valtion tietokonekeskukselta Tuotelähtöinen puunhankinta – projektissa. Aineisto koostui 2446 leimikosta eri puolilta Suomea. Eniten aineistoja oli Keski- ja Itä-Suomesta. Pohjanmaalta, Uudeltamaalta, Lounais-Suomesta ja Pohjois-Lapista aineistoja oli vain vähän. Leimikot muodostivat 3546 koepuualuetta ja edelleen 21262 hakkuupalstaa. Palstoista puolet oli avohakkuuta. Myöhempiä harvennusta ja siemen- tai suojuspuuhakkuuta oli kumpaakin n. 20 %.

Palstaa käytettiin runkopankin hakkuukohdetta vastaavana perusyksikkönä, koska puidenlukutiedoista muodostetut runkolukusarjat olivat palstakohtaisia. Runkolukusarjat muodostettiin runkolajeittain 2 cm:n luokituksella (5 – 45 cm). Aineistossa oli n. 622 000 koepuuta, joiden pituusmittauksista muodostettiin palstojen puu- ja runkolajeittaiset pituuskäyrät Näslundin pituuskäyräyhtälöiksi. Tietokantaan tallennettiin pituuskäyrän parametrit. Läpimittaluokittaisten pituuksien määrittämiseksi muodostettiin puulajeittaiset, rinnankorkeusläpimitasta riippuvat minimi- ja maksimipituuden funktiot. Näin tehtiin, koska muodostetut pituuskäyrät saattoivat joissakin tapauksissa antaa jollekin läpimittaluokalle epärealistisia arvoja.

PMP-tietokannan taulut ovat

- leimikkotiedot (tunniste- ja kuntatiedot, koordinaatit)
- koepuualuetiedot (mm. metsätyyppi, valtapuulaji)
- palstatiedot (mm. hakkuutapa, kehitysluokka, pinta-ala)
- palstojen runkolukusarjat runkolajeittain
- koepuut (puulaji, pituus)
- pituusparametrit (runkolajeittain ja puulajeittain)

PMP-aineiston etuna on sen laajuus, mutta heikkoutena vähäiset kohdetta kuvaavat taustatiedot. Runkomuotoa, katkontaa ja laatutunnuksia koskeviin tarkasteluihin aineisto ei ole riittävää, mutta runkolukusarjojen ennustamismenetelmien kehittämiseen sitä voitiin käyttää. Jatkossa PMP-tietokantaa käytettäneen lähinnä apuaineistona muun runkopankin ohella.

5 LEIMIKON PUUSTOTIETOJEN JA PÖLKKYJAKAUMAN ENNUSTAMINEN

5.1 Tietotarpeet puustotietojen ennustamisessa

Leimikolle tehtävä puustotietoennuste voi olla ominaisuuksiltaan ja käytettävyydeltään erilaista:

- puulajeittaiset runkolukusarjat ja pituuskäyrät
- leimikolle muodostettu yksittäisten puiden joukko, joka voidaan apteerata jollakin simulaattorilla
- erilaisilla arvo- tai jakauma-apterauksen säätöarvoilla muodostetut puutavaralajien pölkkyjakaumat

Runkolukusarjojen ja pituuskäyrien ennustaminen voi usein riittää karkeamman tason tilavuuskertymien ja puutavaralajijakaumien tarkasteluun. Runkojen muodostaminen apteerausta varten tehdään silloin yleisillä runkokäyräyhtälöillä ja läpimittaluokan rungot ovat samanmuotoisia. Runkolukusarjojen ennustaminen on sinänsä tärkeä välivaihe mm. puujoukon muodostamisessa, mutta em. käyttötarkoituksissa on kuitenkin syytä tavoitella tarkempaa runkomuodon kuvausta ja rungon laadun huomioimista katkonnassa.

Leimikon ostotapahtumaa ja metsänomistajalle tehtävää puutavaralajeittaista kertymä- ja hinta-arviota varten tilavuuksien ennustaminen on yleensä riittävää. Leimikoiden tarkempia puustoennusteita olisi kuitenkin voitava käyttää puunhankinnan suunnittelujärjestelmien lähtötietoina tarkasteltaessa tuotantolaitosten puutavaralajija dimensiokohtaisten toimitustavoitteiden toteuttamismahdollisuuksia. Operatiivisessa ohjauksessa leimikon puutavaralajien toimituspaikat voivat olla kuljetussuunnittelun tavoitteiden mukaisesti ennalta määräytyt. Toimituspaikan valinta voi kuitenkin myös riippua leimikon puutavaralajien kertymistä, korjuuajankohdasta ja muusta varannosta. Leimikon katkonnalle voi olla siis useita vaihtoehtoja, ja katkontatuloksia simuloimalla voidaan pyrkiä optimoimaan kohteen puuston jakoa eri tuotantolaitoksille ja hakkuun ajoitusta korjuuohjelmassa.

Leimikon katkontatulos voidaan ennustaa kahdella eri tavalla: muodostamalla tiedostomuotoinen puujoukko apteeraussimulaattorin käyttöön tai ennustamalla suoraan puutavaralajien pölkkyjakaumat. Puujoukon muodostaminen ja sen esittäminen simulaattoriin sopivassa tiedostomuodossa – esimerkiksi STM-tiedostona - mahdollistaa katkonnan simuloinnin useilla erilaisilla tavoitejakaumilla ja sopii sen vuoksi vaihtoehtotarkasteluihin. Pölkkyjakaumien suora ennustaminen sopii paremmin tarkasteluihin, joissa tavoitejakauma on vakio tai harvoin muuttuva ja leimikon mahdollisuutta toteuttaa sitä halutaan tarkastella. Simuloidun katkonnan tulosta voidaan verrata tavoitejakaumaan tarkastelemalla ennustettuja puutavaralajien jakaumasteita.

5.2 Leimikon ennakkotiedot

Leimikosta ja sen puustosta käytettävissä oleva ennakkotieto vaihtelee sisällöltään, tarkkuudeltaan ja ajantasaisuudeltaan ja voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan:

1. Puustoarviot

- silmävaraiset arviot oston tai leimikon suunnittelun yhteydessä
- tietoina tyypillisesti mm. sijainti, metsätyyppi, hakkuutapa, pinta-ala, puulajisuhteet, puutavaralajikertymien tilavuudet, laatuarvio (esim. männyn laatuviivien osuus)

2. Metsäsuunnittelutasoinen tieto

- riittävän ajantasaiset kuviotiedot metsänomistajalta käytettävissä
- yksityismetsien Solmu –suunnittelussa kohdan 1 tietojen lisäksi mitatut tai arvioidut tunnuksat puusto-ositteista: tilavuus, tukkitilavuus, kuitupuutilavuus, pohjapinta-ala, (runkoluku), keskiläpimitta, keskipituus, ikä, sekä kuvioista: korkeus, lämpösumma, kasvupaikan pää- ja alaryhmä, maalaji, kuivatustilanne, aika ojituksesta
- vanhempi Taso –suunnittelutieto ei sisällä puusto-ositteittaisia keskitunnuksia, vaan puutavaralajeittaiset hakkuukertymän tilavuudet

3. Ennakkomitatut puustotunnukset

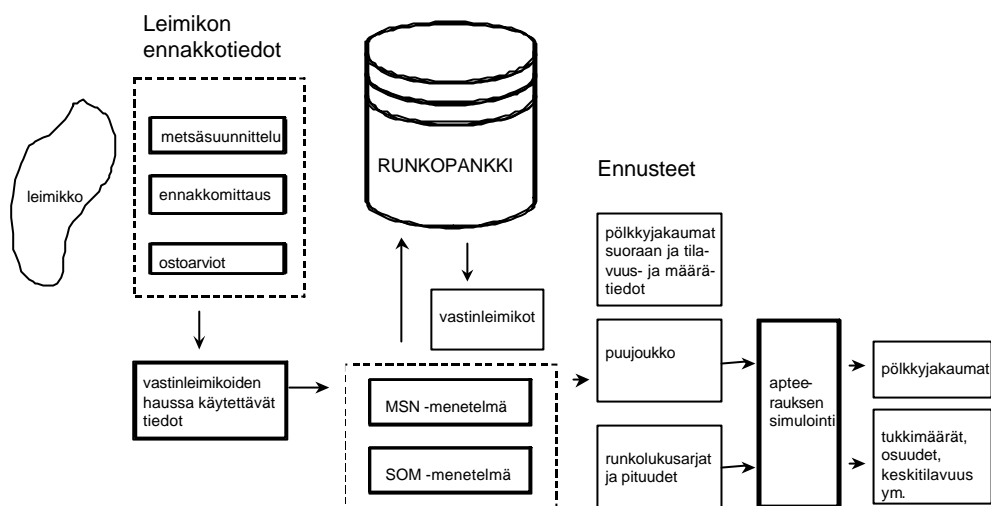
- erilaisia ennakkomittausmenetelmiä kehitetty, mutta vähän käytössä
- leimikolta tehdyt mittaukset: keskijäreys, keskiläpimitta, läpimittajakaumat; puu- tai koealakohtaiset mittaukset: $d_{1.3}$, pituus, laatuositteet
- runkolukusarjojen ja pituuskäyrien ennusteet, joista voidaan muodostaa esim. STM-tiedostomuotoinen puujoukko

Suuri osa metsänomistajien suunnitelmista on vielä vanhemman Taso –järjestelmän mukaista kuviotietoa, jossa tietosisältö on niukempi. Solmu –suunnittelu aloitettiin osassa metsäkeskuksia 1996, jonka jälkeen se on vähitellen yleistynyt. Käytännössä ennakkotieto on usein jonkinlainen yhdistelmä edellisistä. Metsäsuunnittelutieto voi olla perustana, mutta leimikkoa rajatessa tehdään uudet arviot puustosta joko sen vuoksi, että leimikko ei vastaa suunnittelukuviota tai kuviotieto on vanhaa tai ilmeisen virheellistä.

5.3 Ennustamismenetelmät

Puustotietojen ennustamismenetelmien kehittämisessä lähtökohdaksi asetettiin, että ennustettavaa leimikkoa puusto-ominaisuuksiltaan vastaavia kohteita on tietovarastossa ja ne voidaan valita estimoinnin pohjaksi leimikosta olevien ennakkotietojen perusteella (kuva 4). Tietovarastoon kohteita ei ryhmitellä valmiiksi tyyppileimikko-

luokiksi, vaan ryhmittely – mikäli sitä ennustamismenetelmässä käytetään – jää sovelluksessa tehtäväksi. Tietovarastosta voi silti ilman tyyppileimikkoryhmittelyä hakea tarvittaessa samankaltaisia kohteita tarkasteltaviksi tai rajata valittavaa leimikkojoukkoa esim. kohteen perus- tai puustotietojen mukaan.



Kuva 4. Vastinleimikoiden valinta runkopankista ja puustotietojen ennustaminen.

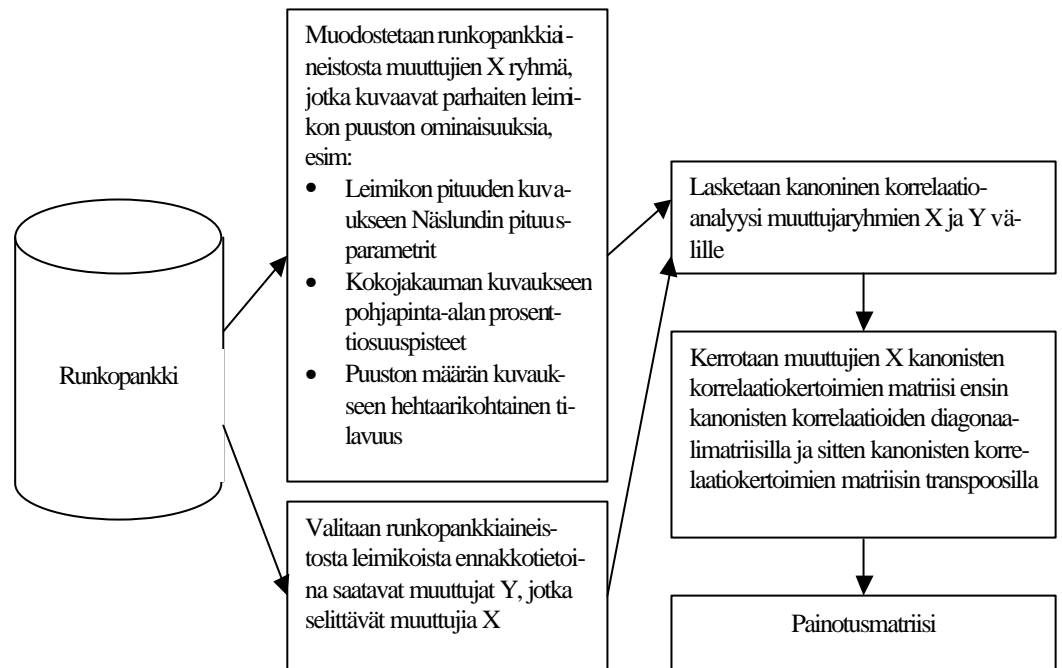
5.4 MSN-menetelmä

MSN-menetelmä on ei-parametrinen k-lähimmän naapurin menetelmä, jossa tunnuksia ei ennusteta malleilla, vaan ennusteet perustuvat mitatusta aineistosta valittujen vastinhavaintojen tunnusten keskiarvoihin. Ei-parametristen mallien käyttö on perusteltua silloin, kun riippuvuudet muuttujien välillä ovat epälineaarisia tai vaikeasti havaittavia tai riippuvuuden muotoa ei tiedetä. Keskeistä ei-parametrisissa menetelmissä on myös se, etteivät ne anna epärealistisia ennusteita, koska ennusteet perustuvat aina olemassa olevasta mitatusta tiedosta poimituihin tai laskettuihin arvioihin.

Muissa tutkimuksissa ei-parametrisia menetelmiä on käytetty leimikon laadun ennustamiseen, leimikkotunnusten ennustamiseen puuhankintaorganisaation tietojärjestelmän avulla, läpimittajakauman ennustamiseen, koepuutiedon yleistämiseen, puustotiedon yleistämiseen satelliittikuville ja oksarajatiedon ennustamiseen.

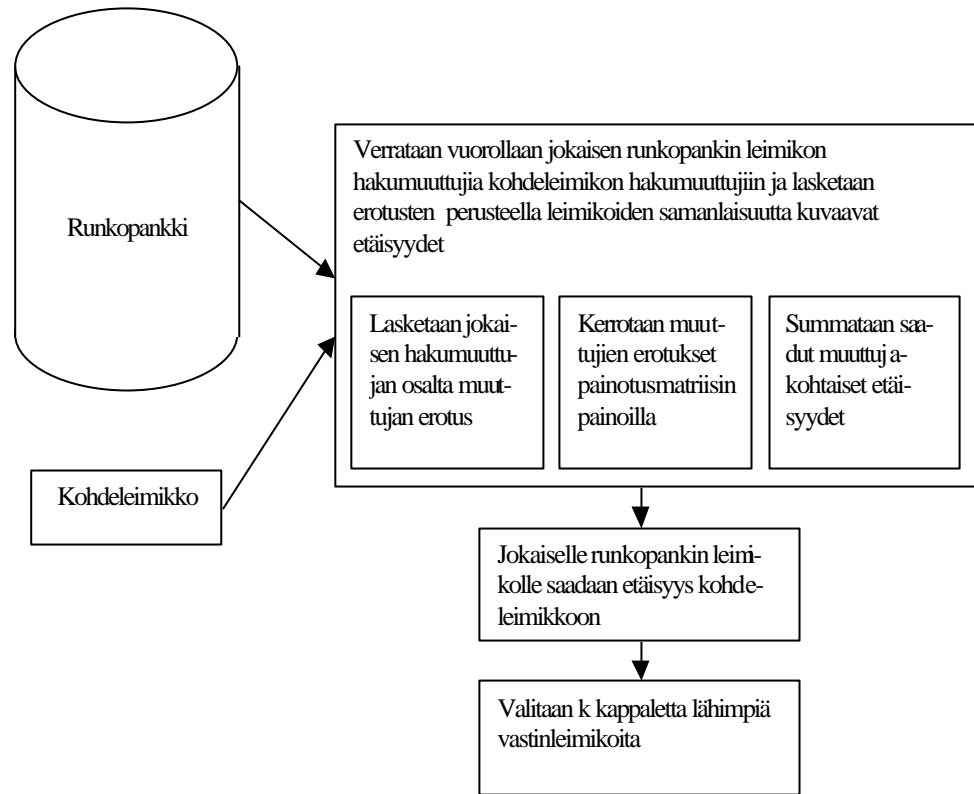
MSN-menetelmän kehittivät Moeur & Stage monimuuttujametsäinventoinnin tarpeisiin. Suomessa MSN-menetelmää on tutkittu koepuutiedon yleistämiseen ja oksarajatiedon ennustamiseen. MSN-menetelmän etu perinteiseen k-lähimmän naapurin menetelmään on yksikäsitteinen ja helposti automatisoitavissa oleva vastinleimikoiden hakumuuttujien painotuksen laskenta. Hakumuuttujien painotuksessa

käytetään painotusmatriisia, joka muodostetaan kanonisen korrelaatioanalyysin tuloksista (kuva 5).



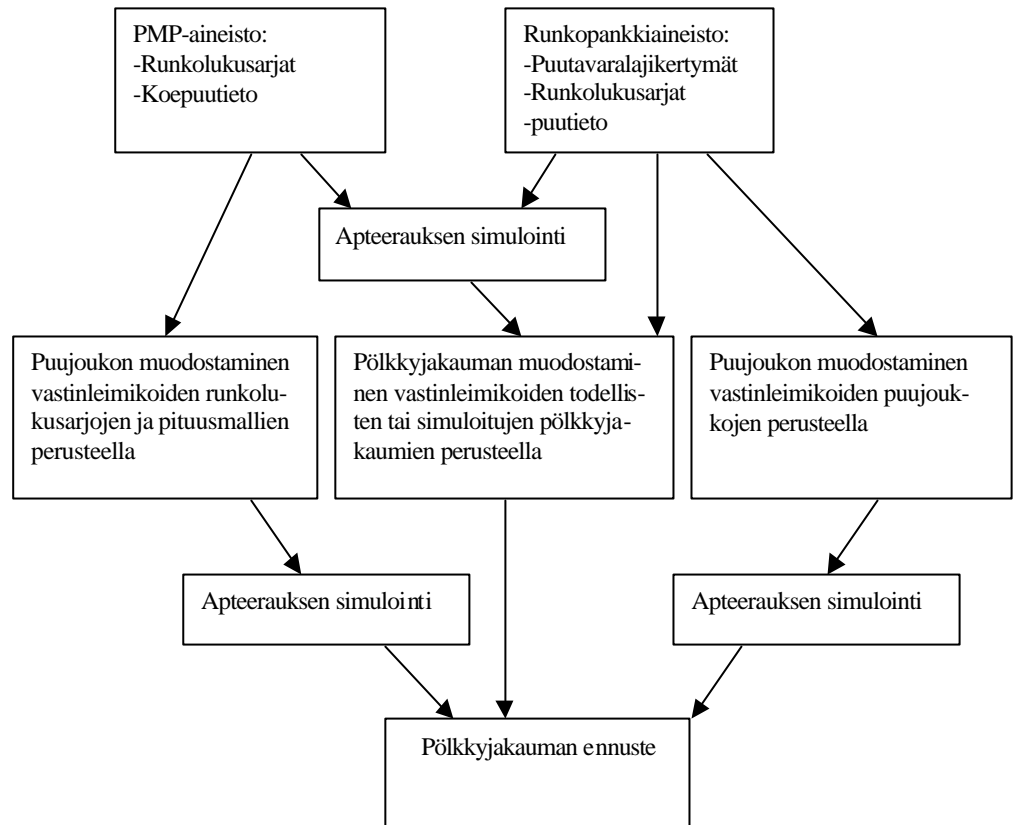
Kuva 5. Painotusmatriisin laskenta.

Vertaamalla jokaisen runkopankkiaineiston leimikon hakumuuttujia kohdeleimikon hakumuuttujiin ja painottamalla hakumuuttujia painotusmatriisilla voidaan valita runkopankkiaineistosta ne vastinleimikot, jotka muistuttavat eniten kohdeleimikkoa (kuva 6).



Kuva 6. Vastinleimikoiden valinta.

Vastinleimikoiden samanlaisuudesta, eli läheisyydestä, voidaan laskea painoarvo kullekin valitulle leimikolle. Näiden painoarvojen ja vastinleimikoiden todellisten tunnusten perusteella muodostetaan halutut ennusteet kohdeleimikolle. Kohdeleimikon puustoa voidaan ennustaa joko puustoa kuvaavilla malleilla (runkolukusarja, pituuskäyrä) tai poimimalla vastinleimikoista hakkuukoneen mittaustiedon mukaisia todellisia puita (kuva 7). Ennustetuista puustotunnuksista tai puujoukosta voidaan apterauksen simuloinnilla saada ennusteet leimikon puutavaralajikertymistä. Puutavaralajikertymien ennusteet on myös mahdollista laskea suoraan vastinleimikoiden todellisista tai simuloituista pölkkyjakaumista.



Kuva 7. Puujoukon ja pölkkyjakauman ennustamisvaihtoehdot.

PMP-aineiston osalta tutkimuksessa ennustettiin runkolukusarjoja ja koeputiedon perusteella laskettuja Näslundin pituusparametreja. Runkolukusarjaennuste saatiin laskemalla jokaiselle läpimittaluokalle oma ennusteensa. Puustotunnusten ennusteiden hyvyttä arvioitiin laskemalla puulajeittain hehtaarikohtaisen tilavuuden keskivirhe (keskineliövirheen neliöjuuri $rmse$) sekä tukkitilavuuden osuuden, tukkikokoisten (rinnankorkeusläpimitta > 18 cm) puiden runkoluvun osuuden ja pohjapinta-alamediaanipuun pituuden keskivirheet. Tilavuuden laskentaa varten oletettiin puiden jakautuvan läpimittaluokan sisällä tasaisesti, jolloin jokaiselle puulle laskettiin pituus pituusmallien avulla ja tilavuus määritettiin Laasasenahon rinnankorkeusläpimittaan ja piteuteen perustuvilla malleilla. Puustotunnusten ennusteiden tarkkuutta arvioitiin lisäksi apteeraamalla dynaamiseen optimointiin perustuvalla apteeraussimulaattorilla todelliset ja ennustetut leimikot siten, että molemmissa tapauksissa puiden oletettiin jakautuvan tasaisesti kunkin läpimittaluokan sisälle. Todellista ja ennustettua pölkkyjakaumaa verrattiin keskenään ja ennusteen tarkkuuden mittarina käytettiin jakauma-astetta.

Runkopankkiaineiston perusteella laskettiin runkolukusarjaennuste, jonka mukaisesti poimittiin puita valituista vastinleimikoista. Runkolukusarjaennusteen hyvyttä arvioitiin kuten PMP-aineiston tapauksessa, mutta pituusparametreja ei ennustettu, vaan ne laskettiin poimitun puujoukon perusteella. Ennustepuujoukon hyvyttä arvioitiin lisäksi apteeraamalla ennustetun puujoukon puut apteeraussimulaattorilla.

Puutavaralajirakennetta on mahdollista ennustaa myös suoraan joko todellisten tai simuloitujen pölkkyjakaumien perusteella. Todellisten puutavaralajijakaumien käyttö edellyttää sitä, että runkopankkiaineistossa on riittävästi samoilla apteerausohjeilla apteerattuja leimikoita. Tutkimuksessa testattiin sekä PMP-aineiston että runkopankkiaineiston avulla pölkkyjakaumien ennustamista suoraan simuloitujen pölkkyjakaumien perusteella.

Tutkimuksessa testattiin myös hakumuuttujien (taulukko 5) määrän ja luotettavuuden vaikutusta ennusteiden hyvytyteen. Ennakkomittaustiedon määrän vaikutuksen arvioimiseksi testattiin runkopankkiaineistossa tilannetta, jossa ei ollut käytössä puulajien osuuksia, pohjapinta-alaa eikä keskipuun tunnuksia. Puustotunnusten arvioinnissa syntyvän virheen vaikutuksen selvittämiseksi testattiin runkopankkiaineistolla tilannetta, jossa jokaiseen yksittäiseen puustotunnuksen arvoon laskettiin satunnaisvirhettä vaihteluvälillä $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 15\%$ ja $\pm 20\%$ alkuperäisestä arvosta.

Taulukko 5 Vastinleimikoiden hakumuuttujat

	PMP-aineisto	Runkopankkiaineisto
--	--------------	---------------------

Kohdemuuttujat:	Koordinaatit Pinta-ala Metsikön ikä Metsätyyppi Kehitysluokka Hakkuutapa	Koordinaatit Lämpösumma Pinta-ala Metsikön ikä Metsätyyppi Pääpuulaji Jaksoisuus Hakkuutapa
Puulajeittaiset puus- totunnukset:	Keskiläpimitta Keskipituus Puulajin suhteellinen osuus Pohjapinta-ala	Keskiläpimitta Keskipituus Keskijäreys Puulajin suhteellinen osuus Pohjapinta-ala

5.5 SOM-menetelmä

5.5.1 Yleistä menetelmästä

Klusterianalyysi on data-analyysimenetelmä, jossa pyritään tutkimaan suuria tietoa-
neistoja automaattisesti. Klusterianalyysi pyrkii selvittämään, sisältääkö tutkittava
tietoaaineisto luonnollisia osajoukkoja. Mikäli tietoaaineistossa on havaittavissa ryh-
mittymistä eli klusteroitumista, pyritään nämä osajoukot määrittämään erilaisten
klusterointialgoritmien avulla.

Korkeaulotteisen tietoaaineiston ryhmittymisen tutkimiseen voidaan käyttää erilaisia
projektiomenetelmiä, kuten pääkomponenttianalyysia, käyräviivaisten komponent-
tien analyysia tai itseorganisointivaa karttaa (SOM). Itseorganisointivaa karttaa on
neuraalilaskennan menetelmä, jolla yritetään mallintaa suurissa datamäärissä vallitse-
via yleisiä lainalaisuuksia ilman analyttistä mallia. Yleensä halutaan selvittää muuttu-
jien välisiä monimutkaisia riippuvuuksia. Usein riittävä tulos voi olla, että data voi-
daan esittää visuaalisesti ryhmiteltynä ilman, että muuttujien välisiä yhteyksiä sen
enempää analysoidaan, vaan tulkinta jää käyttäjälle. Itseorganisointivalla kartalla on
mahdollista muuntaa moniulotteinen data siten, että se voidaan esittää kaksiulottei-
sesti karttamaisena visualisointina.

SOM-kartta on karttayksiköistä eli neuroneista rakennettu moniulotteinen hila. Se
alustetaan ja opetetaan jollakin aineistolla eli opetusjoukolla. Runkopankkiaineistos-
sa opetusjoukkona ovat olleet hakkuukohteen mittaustiedoista eri tavoin muodos-
tetut datavektorit sekä PMP-palstojen runkolukusarja- ja pituustiedot. Tavoitteena
oli selvittää, kuinka hakkuukoneaineiston kohteet ja PMP-aineiston palstat ryhmit-
tyvät SOM-menetelmällä ja onko taustamuuttujista löydettävissä sellaisia yhteyksiä,
joita voitaisiin hyödyntää leimikon puustotietojen ennustamisen lähtötietoina.

5.5.2 Ohjelmisto ja datan käsittely

Datan analysoinneissa käytettiin Teknillisen korkeakoulun informaatiotekniikan laboratoriossa kehitettyä SOM Toolbox –ohjelmapakettia, joka on rakennettu teolliseen laskentaan tarkoitettuun Matlab –ohjelmistoympäristöön. Ohjelmapaketti on tarkoitettu helpottamaan kokeilevaa ja interaktiivista data-analyysiä SOM:n avulla. Siihen laadittiin erillinen sovellus käyttöliittymineen hakkuukoneaineistojen analyysistä varten. Sovelluksella haetaan leimikosta olevien ennakkotietojen avulla joukko sitä eniten vastaavia vastinleimikoita SOM-kartalta.

Runkopankkidatasta muodostettiin kartan opetusaineisto neljällä eri tavalla seuraavista hakkuukohteen tiedoista:

1. Puulajeittaiset poistuman runkolukusarjat 1 cm:n luokituksella (6 - 60 cm), keskipituudet samalla luokituksella sekä luokan keskimääräinen kapeneminen rinnankorkeuden ja 6 m:n välillä ($d_{1,3} - d_{6,0}$) läpimittaluokasta 17 cm alkaen
2. Edelliset tiedot karkeammalla läpimittaluokituksella
3. Kuten tavalla 1 sekä poistuman puulajeittaiset tukki- ja kuitutilavuudet (erikoispuutavaralajit sijoitettu jompaankumpaan luokkaan)
4. Kuten tavalla 3, mutta karkeammalla läpimittaluokituksella

Ennen opetusta data on muunnettava yhteismitalliseksi, esimerkiksi runkolukusarjat ja tilavuudet hehtaarikohtaisiksi. Sen lisäksi data skaalataan.

Opetuksessa on käytetty menetelmää, jossa jokaisella opetusdatan kentällä on yhtä suuri paino. Jokainen yksittäisen läpimittaluokan runkomäärä siis esimerkiksi vaikuttaa yhtä suurella painolla datan järjestymiseen. Tämän vaikutusta testattiin juuri läpimittaluokkien yhdistämisellä. Esimerkki datan järjestymisestä eri taustatunnusten suhteen SOM-kartaksi ja hakuehtoja parhaiten vastaavien leimikoiden sijoittumisesta kartalle on esitetty liitteessä 4.

5.5.3 Vastinleimikoiden valinta ja sovelluksen kehittäminen

Laaditussa sovelluksessa leimikon puustoennusteen tekemiseksi vastinleimikoita valitsemalla määritetään, kuinka monta lähintä SOM-karttayksikköä haetaan sekä valitaan haussa käytettävät muuttujat ja niille arvot kohdeleimikon mukaan. Sovelluksen ensimmäisessä versiossa käytettiin seuraavia hakumuuttujia: koordinaatit, lämpösumma, hakkuutapa, kasvupaikka, jaksoisuus, ikä sekä männyn, kuusen ja koivun tilavuusosuudet. Lisäksi määritetään, kuinka laajana haku tehdään. Kokeiluissa käytettiin 3, 5 ja 10 karttayksikköä. Valinnan tuloksena saatavan vastinleimikkajoukon koko vaihtelee sen mukaan, kuinka monta leimikkoa kuhunkin karttayksikköön on kiinnittynyt. Haun tuloksena saadaan lista ja tiedosto vastin-

leimikoista ja niiden halutuista tunnuksista. Lisäksi voidaan tarkastella vastinleimikoiden runkolukusarjoja ja pituusjakaumia kuvina.

Näillä muuttujilla vastinleimikoiden haku ei toiminut vielä tyydyttävästi, mikä ei ole yllättävää, koska mukana ei ollut riittävästi puustoa kuvaavia muuttujia. Vastinleimikot eivät olleet puusto-ominaisuuksiltaan riittävän yhtenäisiä ja lisäksi hakumuuttujien arvojen muutoksilla valinta osoittautui liian satunnaiseksi. Näyttää myös siltä, että karttayksiköiden määrän lisääminen viidestä lisää vastinleimikoiden puustotunnusten hajontaa ja siten heikentää ennustetta. Tarkempia tuloksia ei siten ole toistaiseksi mielekästä esittää.

Sovelluksen seuraavaan versioon on tarkoitus lisätä samat puuston keskitunnukset kuin MSN-menetelmässäkin. SOM-kartan opetuksessa on myös tarpeen kokeilla useampia vaihtoehtoja. Sen jälkeen vasta voidaan paremmin arvioida koko menetelmän käyttökelpoisuutta ja rakentaa automaattisempi sovellus, jossa vastinleimikoiden valinnan jälkeen muodostetaan puustoestimaatit tai apterauksen tulos samalla tavoin kuin MSN-menetelmässä.

6 TULOKSET

6.1 MSN-menetelmä

6.1.1 Puuston ennustaminen

K-lähimmän naapurin menetelmissä naapureiden määrällä on keskeinen merkitys tuloksille. Optimaalisen naapureiden määrään vaikuttaa käytettävissä oleva aineisto ja tavoitteet. Naapureiden määrän lisääminen johtaa tulosten keskiarvoistumiseen ja vähentää menetelmän kykyä kuvata vaihtelua. Kuitenkin pienellä naapureiden määrällä riski saada harhaisia ennusteita kasvaa tilanteissa, joissa samankaltaisia vastinleimikoita ei löydy. Tutkimuksessa tarkasteltiin naapureiden määrää sekä keskivirheen että jakauma-asteen keskiarvon perusteella. Keskivirhe on herkkä suurille poikkeamille ja vaatii suurempaa ennusteiden vaihtelua kuin keskimääräistä hyvyttä painottava jakauma-asteiden keskiarvo. Parhaat tulokset saatiin keskivirheellä mitattuna 3-5 naapurilla ja jakauma-asteella noin 10 naapurilla.

Tarkasteltaessa puustotunnusten ennusteiden tarkkuutta PMP-aineistossa suurimmaksi virhelähteeksi osoittautui pituuden ennustaminen. Ennustepituusmallit pystyivät ennustamaan kohtuullisen hyvin keskiläpimittaisten puiden pituuksia, mutta virheet kasvoivat runkolukusarjan ääripäissä. Suurille läpimitoille tulevat pituusvirheet johtivat sekä tilavuuden että tukkitilavuusosuuksien virheiden kasvamiseen (taulukko 6).

TAULUKKO 6 PMP-aineiston puustotunnusten ennusteiden tarkkuus (k=5)

	Mänty	Kuusi	Koivu
--	-------	-------	-------

Tilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	8,3	9,2	3,0
Tukkitilavuuden osuuden keskivirhe (%)	12,6	12,8	14,0
Tukkirunko-osuuden keskivirhe (%)	21,1	16,0	18,9
Keskipituuden keskivirhe (m)	1,5	1,3	1,4

Runkopankkiaineistossa pituuden ennustaminen perustui todellisista puista muodostettuun puujoukkoon, jolloin tarkkuus oli huomattavasti parempi kuin PMP-aineistossa. Parempi pituusennuste heijastui myös parempiin tilavuusennusteisiin (taulukko 7). Tukkipuukokoisten (läpimitta > 18 cm) puiden osuuden virhe ei kuitenkaan poikennut PMP-aineiston ennusteista.

Käytettäessä ennustettujen puustotunnusten (PMP-aineisto) ja puujoukon (runkopankkiaineisto) hyvyyden mittana apteraussimulaattorilla simuloitujen pölkkyjakaumien jakauma-asteetta, olivat runkopankkiaineiston ennusteet selvästi parempia kuin PMP-aineiston ennusteet (taulukko 8). PMP-aineiston tuloksia heikensi pituuden ennustamisesta syntynyt suurempi virhe.

TAULUKKO 7 Runkopankkiaineiston puustotunnusten ennusteiden tarkkuus (k=5)

	Mänty	Kuusi	Koivu
Tilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	3,8	7,0	3,5
Tukkitilavuusosuuden keskivirhe (%)	14,4	10,6	17,4
Tukkirunko-osuuden keskivirhe (%)	20,1	17,8	20,1
Keskipituuden keskivirhe (m)	0,8	0,6	0,9

TAULUKKO 8 PMP-datan ja runkopankkidatan jakauma-asteet (k=10)

	Mänty	Kuusi
PMP-aineisto	70,2	75,6
Runkopankkiaineisto	73,4	81,8

6.1.2 Pölkkyjakauman suora ennustaminen

Tutkimuksessa testattiin myös vaihtoehtoa, jossa valitut vastinleimikot apteerattiin simulaattorilla ja saatujen pölkkyjakaumien perusteella laskettiin suoraan ennuste-pölkkyjakauma. Tulokset olivat huomattavasti parempia kuin ennustettujen puustotunnusten tai puujoukon perusteella suoritettu apteraus (taulukko 9). Pölkkyjakauman suoraan ennustamisen paremmat tulokset johtuvat siitä, että malliketjun lyhentyessä virhelähteiden mahdollisuudet pienenevät.

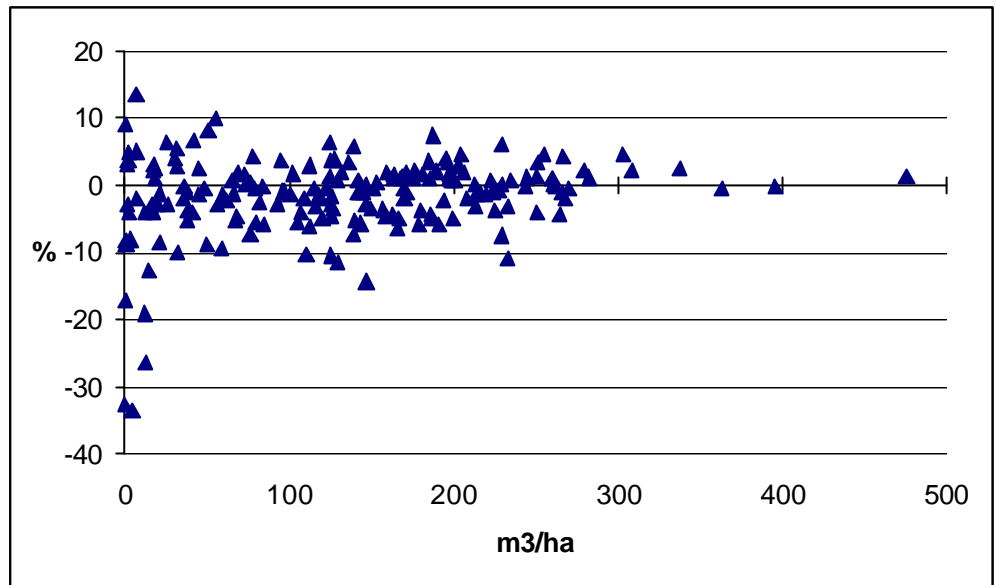
TAULUKKO 9 Jakauma-asteet laskettaessa ennusteet suoraan pölkkyjakaumista (k=10)

	Mänty	Kuusi
PMP-aineisto	83,6	88,9
Runkopankkiaineisto	77,3	84,7

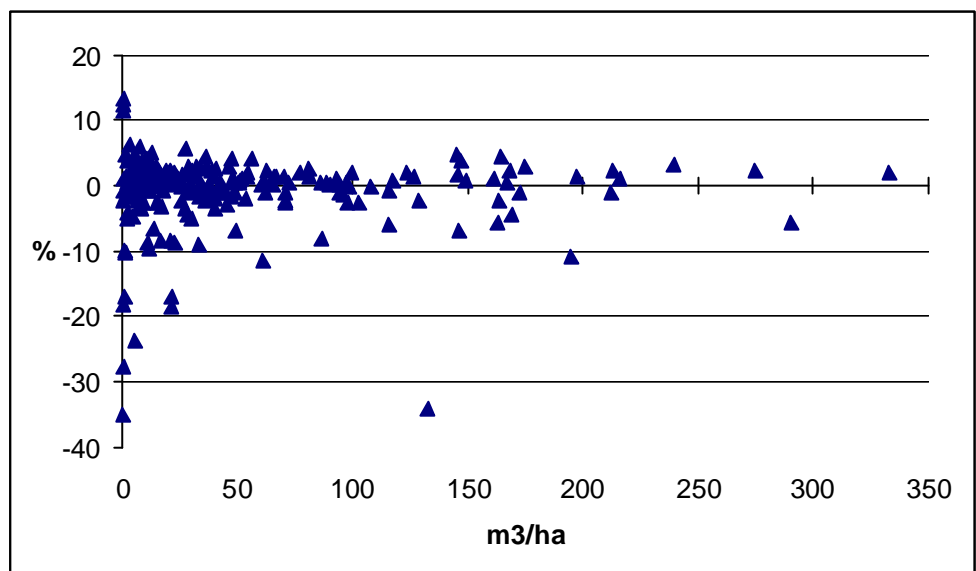
Menetelmällä laskettiin runkopankkiaineistolle myös tilavuuksia ja pölkkymääriä koskevia tunnuksia (taulukko 10, kuvat 8 ja 9). Tilavuustulokset (m³/ha) eivät ole täysin vertailtavissa puujoukon vastaaviin tuloksiin, sillä puujoukkoa muodostettaessa käytettiin pohjapinta-alalla skaalausta, jotta saatiin jokaisen vastinleimikon runkolukusarjan pohjapinta-alaksi sama kuin kohdeleimikon pohjapinta-ala. Pölkkyjakaumiin voidaan käyttää samanlaista pohjapinta-alaskaalausta, mutta riippuen pölkkyjakauman muodosta skaalaus ei toimi samalla tavalla ja virheet ovat suurempia. Jos suhteellisten pölkkyjakaumien sijasta halutaan tarkastella kuutioita, niin skaalausta pitäisi kehittää esim. siten, että laskettaisiin ennustettavalle kohteelle esim. keskipuun tunnuksien ja pohjapinta-alan perusteella tilavuusennuste ja skaalattaisiin tilavuudella.

TAULUKKO 10 Runkopankkiaineiston tilavuus- ja määrätunnusten ennusteiden tarkkuus pölkkyjakauman suorassa ennustamisessa (k=10)

	Mänty	Kuusi
Tilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	6,1	22,1
Tukkitilavuuden keskivirhe (m ³ /ha)	7,4	18,6
Tukkitilavuuden osuuden keskivirhe (%)	6,9	7,7
Tukkipölkkyjen määrän keskivirhe (kpl)	37,1	83,5
Tukkipölkkyjen osuuden keskivirhe (%)	12,3	7,9



Kuva 8. Kuusen tukkitilavuusosuuden virhe kokonaistilavuuden mukaan.



Kuva 9. Männyn tukkitilavuusosuuden virhe kokonaistilavuuden mukaan.

6.1.3 Ennakkotiedon määrä ja tarkkuus ennusteissa

Kanonisen korrelaatioanalyysin perusteella puuston kokojakauma korreloi voimakkaasti keskipuun tunnuksien kanssa. Voidaan sanoa, että menetelmässä keskipuun tunnuksilla määritetään puuston kokojakauman sijainti ja muilla tunnuksilla määritetään jakauman muotoa ja hajontaa. Testattaessa menetelmää pelkästään kohdetiedoilla ilman puulajiositteittäisiä keskipuun tunnuksia, puulajisuhteita ja pohjapinta-alaa, tulokset heikkenivät selvästi (taulukko 11). Toisaalta pelkästään keskipuun tunnuksiin perustuvan mallin antamat tulokset eivät olleet juurikaan huonommat kuin mallin, jossa olivat mukana kaikki perustason muuttujat.

TAULUKKO 11 Hakumuuttujien määrän vaikutus ennusteisiin. Ennusteet on laskettu suoraan pölkkyjakaumista (k=10)

	Mänty	Kuusi
Kaikki	77,3	84,7
Ei puustotunnuksia	72,5	81,5
Vain keskipuun tunnuks	77,0	84,2

Arviointivirheiden vaikutusta arvioitaessa laskettiin kaikille keskipuun tunnuksille, puulajin suhteelliselle osuudelle ja pohjapinta-alalle satunnaisvirhettä, jonka vaihteluväli oli 5-20 % välillä molempiin suuntiin todellisesta arvosta. Tulosten (taulukko 12) perusteella menetelmä kestää varsin hyvin tunnusten arviointivirhettä.

TAULUKKO 12 Ennakkotiedon tarkkuuden vaikutus ennusteisiin (k=10)

	Mänty	Kuusi
Hakumuuttujien todellisilla arvoilla	77,3	84,7
5 %:n arviointivirhe	77,5	84,6
10 %:n arviointivirhe	76,7	83,2
15 %:n arviointivirhe	75,2	82,4
20 %:n arviointivirhe	75,4	81,3

6.2 Leimikon puuston kuvaus tyyppipuiden avulla

Metsikön puuston ominaisuuksia voidaan kuvata yksittäisten puiden sijasta tyyppi-puilla, jotka edustavat kooltaan ja runkomuodoltaan samankaltaisia puita. Puiden luokitus voidaan tehdä haluttujen kokoa ja muotoa kuvaavien tunnusten mukaan, ja luokan tunnuksiltaan keskimääräisintä tai edustavinta puuta nimitetään tyyppipuiksi. Runkopankin kohteiden puuston kuvaus tyyppipuiden ja puuluokkien avulla voi olla joihinkin karkeamman tason tarkasteluihin riittävää. Kyseeseen voivat tulla lähinnä hakkuupoistuman tilavuus- ja pölkkyjakaumatarkastelut, kun todellista katkontaa ei käytetä, vaan tarkastelut tehdään simuloidun katkonnan perusteella. Runkomäärää voidaan laskennassa tällöin pienentää ja simulointia siten nopeuttaa.

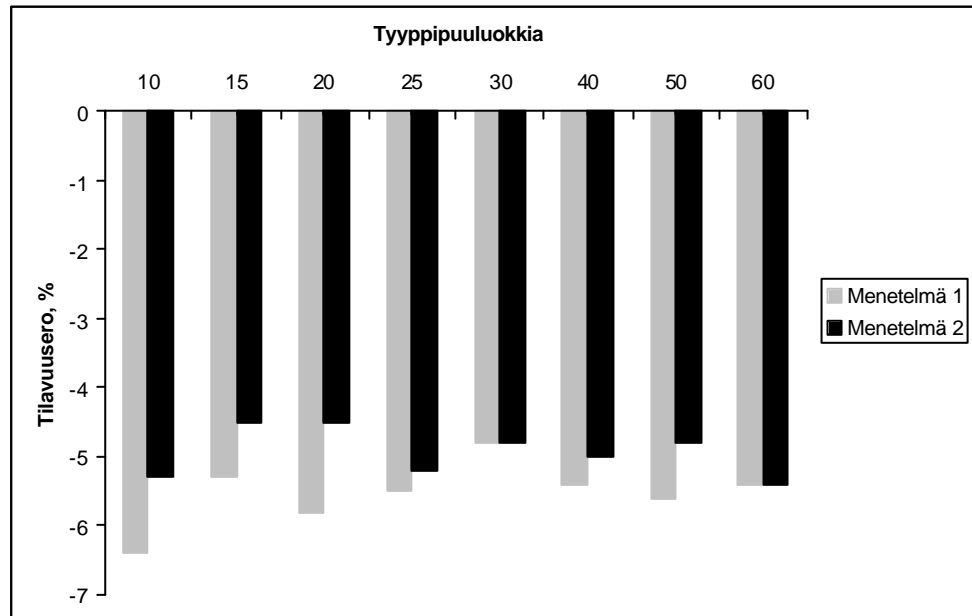
Runkopankin tietokantaan voidaan kohteen tyyppipuut tai kunkin puun tyyppiluok-ka laskea haluttaessa valmiiksi jo tietokantaa muodostettaessa. Toinen vaihtoehto on määrittää ne tarvittaessa vasta sovelluksissa. Tyyppipuiden muodostaminen ja puiden kuuluminen tiettyyn luokkaan voidaan tehdä normaaleilla klusterointialgoritmeilla. Tutkimuksessa käytettiin SAS:n FASTCLUS -ohjelmaa, jossa havaintojen kuuluminen klusteriin määräytyy sen euklidisten etäisyyksien mukaan. Ohjelmaan määritetään klusterointimuuttujat ja haluttu maksimiklusterimäärä.

Tyyppipuiden muodostamista kokeiltiin 50 kuusivaltaisella päätehakkuuleimikolla, joista tyyppipuuluokat muodostettiin kuuselle. Klusterointi tehtiin runkomuodon perusteella kahdella tavalla ja siinä käytettiin eri määrää läpimittoja eri rungonkor-keuksilta. Ensimmäisessä menetelmässä käytettiin läpimittoja metrin välein tyveltä 6

metriin sekä siitä eteenpäin läpimittoja 2 metrin välein. Toisessa menetelmässä läpimittojen määrää lisättiin rungon tyvellä kaksinkertaiseksi 12 metriin saakka. Klusterointia kokeiltiin myös käyttämällä vain muutamia tyviosan läpimittoja, rungon pituutta, tukki- ja kuitutilavuutta sekä tukki- ja kuitupölkkyjen yhteispituutta, mutta tulokset olivat huonoja. Lukumääränä käytettiin 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 ja 60 klusteria.

Klusteroitumisen onnistumista tarkasteltiin vertailemalla tyyppipuusta ja sen edustamasta runkomäärästä laskettuja hakkuupoistuman kokonais-, tukki- ja kuitutilavuuksia vastaaviin todellisiin tilavuuksiin kohteittain. Kokonaistilavuuden ero oli melko vakio – klusteriperusteisesti laskettuna todellista tilavuutta n. 5 % pienempi riippumatta klusterien määrästä. 60 %:lla kohteista ero oli alle ± 4 %. Tukki- ja kuitutilavuuksien erot olivat kokonaistilavuutta suuremmat. Tukkitilavuus aliarvioitui kokonaistilavuutta enemmän (keskimäärin -8 %) kuitutilavuuden eron ollessa pieni (kuva 10). Parhaimmat tulokset saatiin menetelmällä, jossa käytettiin klusterointiperusteena useampia läpimittoja sekä 20 – 30 klusteria. Määrän lisääminen johti pääasiassa yhden puun luokkien syntymiseen, jolloin suuria runkomääriä edustavien luokkien tarkkuus ei parantunut.

Tyyppipuiden määräytymisen onnistumista voidaan tarkastella myös simuloitussa katkonnassa syntyvien pölkkyjakaumien jakauma-asteen perusteella. Tällaisia tarkasteluja tehtiin muutamille leimikoille. Tulokset osoittivat, että ainakin kuusivaltaisissa päätehakkuleimikoissa runkojen kokoa ja muotoa voidaan kuvata melko hyvin n. 30 tyyppipuulla, kun apteerauksessa tavoitejakauma pidetään riittävän yksinkertaisena.

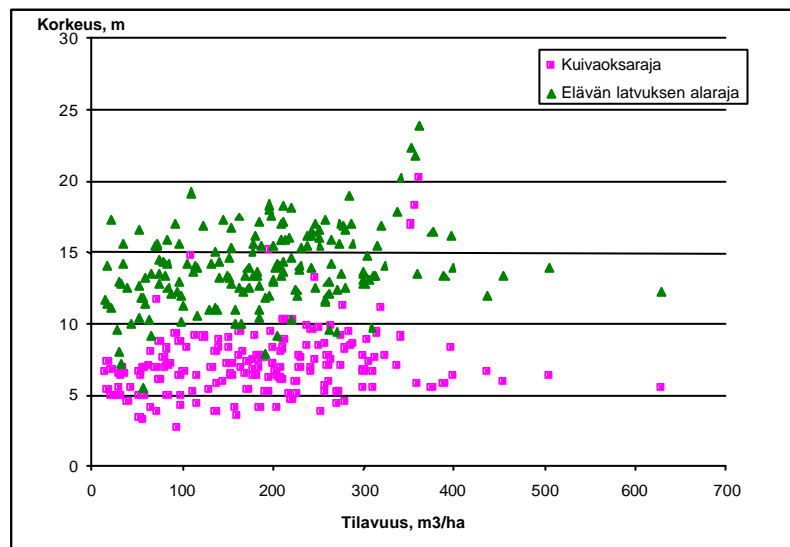


Kuva 10. Kokonaistilavuuden keskimääräinen ero runkojen klusteroinnissa tyyppipuuluokiksi.

6.3 Oksa- ja laaturajakorkeudet

Oksarajojen korkeus ei aiempien tutkimusten mukaan riipu juurikaan rungon koosta ja sama ilmiö näkyy myös runkopankkiaineistoissa. Kuivaoksarajan korkeuden korrelaatiokerroin rungon tilavuuden suhteen oli vain 0,23. Elävän latvuksen alarajan korkeuden korrelaatiokerroin oli parempi, 0,42. Yksittäisten runkojen oksarajatietojen käyttö esimerkiksi osana MSN-menetelmää, jossa vastinleimikoilta poimituista puista ennustettaisiin uuden leimikon oksarajakorkeuksia, lienee siten melko epävarmaa. Sen sijaan erityyppisissä metsiköissä keskimääräiset oksarajakorkeudet ja niiden jakaumat ovat selvästi erilaiset. Puuston tilavuus ei rungon koon tavoin sinänsä näyttäisi olevan merkittävä selittäjä. Myöskään muut käytännössä mitattavat puustotunnukset eivät selitä oksarajakorkeuksia, koska niihin ovat vaikuttaneet metsikön kehityksen myötä etenkin nuoruusvaiheen puuston tiheys, kasvunopeus sekä puuston erilaiset käsittelyt (mm. harvennukset ja pystykarsinta).

Leimikoittaisen keskimääräisen kuivaoksarajakorkeuden keskiarvo oli aineistossa 7,2 m (vaihteluväli 2,7 - 20,1 m). Keskimääräisen elävän latvuksen alarajan korkeuden keskiarvo oli 13,9 m (vaihteluväli 5,4 - 23,9 m) (kuva 11). Oksarajakorkeusjakaumien ennustaminen runkopankista saattaa olla mahdollista, mikäli ennustettavasta leimikosta mitataan tai arvioidaan koepuista keskimääräisiä oksarajakorkeuksia tai laatutyven pituuksia. Ennusteeseen valitaan sitten sitä vastaavia vastinleimikoita, joista saadaan yksittäisten runkojen jakaumat. Menetelmän toimivuutta ei ole toistaiseksi testattu. Ennustamisen tarve on kuitenkin osoittautunut kyseenalaiseksi, sillä viimeisimmät tutkimukset ovat osoittaneet, että sahatavaran laatua ei voida kovin luotettavasti ennustaa ulkoisten oksatunnusten perusteella. Leimikon keskimääräisesti alhainen kuivaoksarajakorkeus kuitenkin kuvastaa, ettei oksatonta tyvitukkia ole leimikolta juuri saatavissa, millä tiedolla sinänsä voi olla joissakin tapauksissa merkitystä tukkien tuotantoon suuntaamisen kannalta.



Kuva 11. Mäntytukkirunkojen keskimääräisten oksarajakorkeuksien riippuvuus leimikon kokonaistilavuudesta.

7 RUNKOPANKIN LIITTÄMINEN PUUNHANKINNAN TIETOJÄRJESTELMIIN

7.1 Tietojärjestelmän suunnittelu

Tulosten perusteella edellytykset suunnitella yritysten puunhankinnan tietojärjestelmiin liitettävä tietovarasto käyttösovelluksineen ovat olemassa. Käyttötarpeet lienevät pääpiirteissään samankaltaiset eri puunhankintaorganisaatioissa, mutta niiden painotuksissa ja toteutusjärjestyksissä voi olla suuriakin eroja. Yhtenäistä mallia yritysten tietojärjestelmien suunnitteluun ei siksi ole mielekästä laatia. Sen sijaan mahdollisia suunnittelussa huomioon otettavia asioita voidaan listata vaatimusmäärittelymuotoon. Projektissa laadittiin esitys yrityskohtaisen vaatimusmäärittelyn sisällöksi, jonka pääkohdat ovat:

- runkopankin käyttötarpeet ja hyötyjen arviointi
- tietojärjestelmän toiminnalliset rajoitteet
- tietojärjestelmän yleiset vaatimukset
 - järjestelmän itsenäisyys ja liittynät muihin järjestelmiin
 - tietovarastojen yhteinen hankinta ja käyttö muiden organisaatioiden kanssa
 - tietovarastojen keskittäminen/hajautus
 - aineistohankinnan ja tietovarastojen muodostamisen ja ylläpidon organisointi
- aineistojen kattavuuden ja tietosisällön vaatimukset
- aineistojen hankinnan ja laadunvarmistuksen vaatimukset
- tietovaraston yleiset vaatimukset
 - tietotekniset ratkaisut
- tietovaraston muodostamisen ja ylläpidon vaatimukset
 - datan prosessointi
- tietovaraston käytön vaatimukset
- yksittäisten käyttösovellusten vaatimukset
 - käyttäjät ja käyttötilanteet
 - sovelluksen toiminnalliset vaatimukset
 - sovelluksen tekniset vaatimukset (käyttöympäristö ja –järjestelmä, toteutusvälineet)

Yksityiskohtaisempi esitys vaatimusmäärittelystä on saatavissa Metsätehosta.

7.2 Runkopankin osatietojärjestelmät, sovellukset ja liittymät muihin tietojärjestelmiin

Yrityksen tietojärjestelmänä runkopankki voi koostua seuraavista osajärjestelmistä ja sovelluksista:

- tietovarasto (tietokanta)
- runkopankkiaineistojen hankinta- ja käsittelyohjelmat
 - tiedonsiirtoratkaisut hakkuukoneelta
 - tiedonsiirtoratkaisut muista tietojärjestelmistä tai linkitys niihin (esim. puukaupan tietojen tallennus, työmaasuunnittelu ja omien metsien kuviotietojärjestelmä)
- sovellukset puustotietojen ja pölkytystuloksen ennustamiseen
- apteraussimulaattori ja sovellus valittujen leimikoiden apteraukseen ja tuloksen esittämiseen
- sovellukset vapaamuotoiseen runkopankin tietojen hakuun, käsittelyyn ja esittämiseen (ei rutiinikäyttäjän sovellus)

Toiminnallisesti runkopankki voi olla yhteydessä seuraaviin tietojärjestelmiin tai sovelluksiin:

- leimikon oston ja työmaasuunnittelun sovellukset
 - mm. puutavaralajien hakkuukertymien ennusteiden tuottaminen
- korjuun ja kuljetuksen suunnittelu- ja ohjausjärjestelmät
 - resurssointi ja aikataulut
- hakkuukoneiden katkonnan ohjausjärjestelmät (APT-tiedostojen laadinta)
 - leimikon APT-vaihtoehtojen testaus ja valinta
- omien metsien kuviotietojärjestelmät ja MELA
 - MELAn puustokuvauksen tarkentaminen ja puuston kehitysennusteiden kalibrointi paikallisilla runkopankkiaineistoilla

Tietovaraston ollessa yrityksen ulkopuolinen, esim. palvelimella, voi osa sovelluksista olla palveluun kiinteästi integroituja (esim. tietojen haku- ja esitysrutiinit), mutta osa voi olla silti yrityksen tietojärjestelmissä toimivia.

7.3 MSN-menetelmän soveltaminen

Ei-parametriset menetelmät ovat parhaimmillaan vain niin hyviä kuin aineistokin on. Näyttää kuitenkin siltä, että käytettäessä MSN-menetelmää runkopankkiaineistossa myös varsin pienillä aineistoilla (30 - 50 leimikkoo) on mahdollista saada hyviä tuloksia, mikäli ennusteita haetaan maantieteellisesti ja puustollisesti yhtenäiseltä alueelta. Menetelmän toimivuus ja tulosten luotettavuus kuitenkin paranevat aineiston kasvaessa.

MSN-menetelmä on helposti ja yksikäsitteisesti ohjelmitavissa toimimaan eri ympäristöissä. Painotusmatriisin laskenta edellyttää kuitenkin joko sellaista tilastopakettia (esim. SAS tai Fortranin IMSL-aliohjelmakirjasto), jolla voidaan laskea kanoninen korrelaatioanalyysi. Painotusmatriisi voidaan määrittää myös ennalta erillisessä ohjelmassa ja siirtää sovellukseen, jolla suoritetaan vastinleimikoiden valinta. Runkopankkiaineiston tehokas hyödyntäminen edellyttää kuitenkin leimikkoa kuvaavien muuttujien ja painotusmatriisin laskentaa samassa sovelluksessa.

8 KEHITTÄMISTARPEET JA JATKOTARKASTELUT

Runkopankin soveltaminen käytäntöön on tulosten perusteella mahdollista aloittaa yrityksissä. Samanaikaisesti on tarpeen jatkaa puustotunnusten ennustamismenetelmien kehitystä sekä tutkia tietovaraston ja menetelmien hyödyntämistä puutavaralogistiikan ohjauksessa. Kehittämistarpeita ja uusia tutkimusaiheita ovat jatkossa:

- prototyypitietovaraston laajentaminen (alueellisuus, puustotyyppit)
- tietovaraston laajentaminen palvelutyypiksi
- MSN-menetelmän jatkokehitys ja käyttöliittymien laadinta
- SOM-menetelmän jatkokehitys ja testaus
- leimikoiden ennakkotiedon tarkkuuden merkityksen selvittäminen puustotietojen estimoinnissa
- apteraaussimulaattorin liittäminen sovelluksiin
- hakkuukoneiden automaattisen langattoman tiedostojen siirron testaus runkopankkiaineistojen hankinnassa (yrityshankkeisiin soveltuva)
- hakkuukonetiedostojen esitysmuodon kehittäminen ja yhtenäistäminen aineistohankinnan tarpeita ajatellen
- runkojen sisäistä laatua kuvaavan koepuutiedon liittäminen runkopankkiin
- runkopankkidatan käyttömahdollisuuksien selvittäminen alueellisissa tai valtakunnallisissa metsävarojen inventoinneissa ja puuston kasvu- ja kehitysmalleissa
- GPS-koordinaattitiedon liittäminen runkopankkiaineistoihin ja datan käyttö numeeristen kaukokuvien tulkinnassa

MSN-menetelmässä naapureiden optimaalinen lukumäärä riippuu sekä tavoitteista että käytettävissä olevasta aineistosta. Optimaalinen naapureiden lukumäärä vaihtelee lisäksi havainnoittain riippuen valittujen naapureiden samankaltaisuudesta. Mikäli naapureiden läheisyyden perusteella voidaan muodostaa riippuvuuksia optimaaliseen naapureiden määrään, voitaisiin naapureiden määrä valita jokaisella ennustuskerralla tapauskohtaisesti ja parantaa näin ennusteiden tarkkuutta.