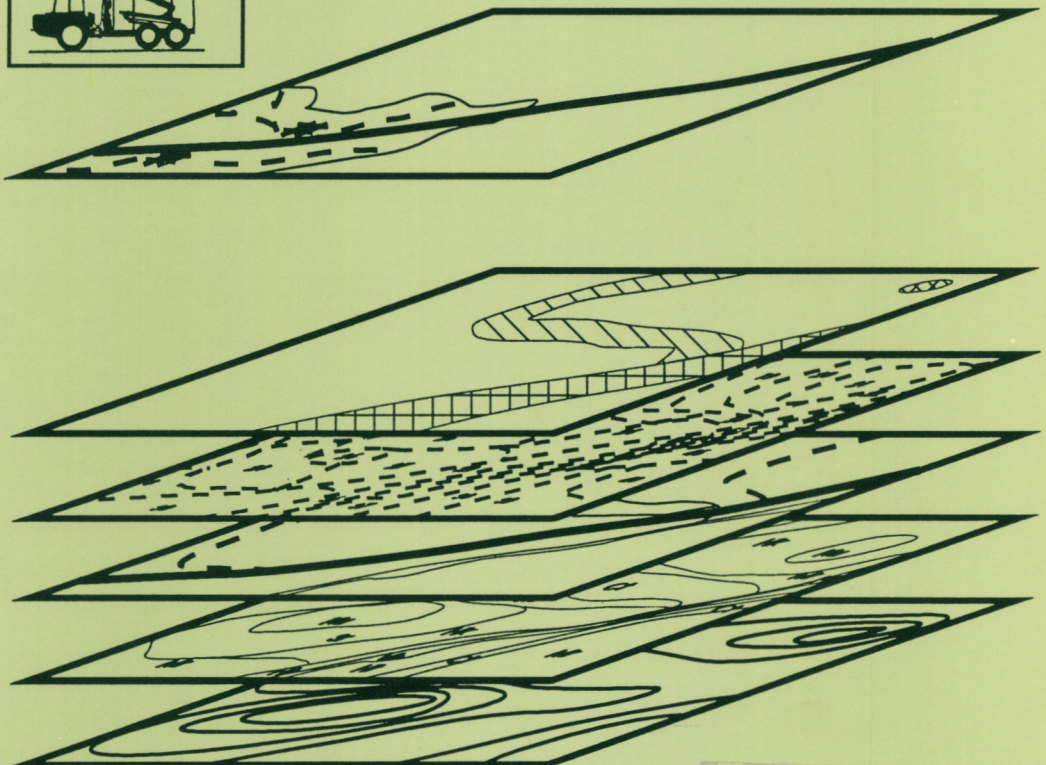
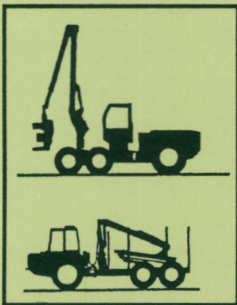


METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 519

**PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄT PUUNKORJUUN APUVÄLINEINÄ
KORJUUKONEIDEN SUORITUSKYKYMALLIEN KEHITTÄMINEN**

Arto Rummukainen ja Jari Ala-Ilomäki



Paikkatietojärjestelmät puunkorjuun apuvälineinä Korjuukoneiden suorituskykymallien kehittäminen

Arto Rummukainen ja Jari Ala-Illomäki

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
METSIEN KÄYTÖN TUTKIMUS-
OSASTO

Metsäntutkimuslaitos, Metsänkasvatuksen tutkimusosasto

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 519
Vantaa 1994

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Rummukainen, A. ja Ala-Ilomäki, J. 1994. **Paikkatietojärjestelmät puunkorjuun apuvälineinä - Korjuukoneiden suorituskykymallien kehittäminen.** Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 519. 66 s. ISBN 951-40-1386-7, ISSN 0358-4283.

Tiivistelmä:

Julkaisu kuvaa paikkatietojärjestelmien yleisen rakenteen ja muutamia metsätaloustaloudessa olevia paikkatieto-ohjelmistoja. Kirjallisuuteen perustuen selvitetään järjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä sekä puunkorjuun ja -kuljetuksen paikkatietosovelluksia. Lisäksi esitellään Suomessa saatavilla olevia numeerisia paikkatietoaineistoja.

Paikkatietojärjestelmä mahdollistaa tietojen käsittelyn niiden keskinäisen sijainnin tai niiden välisten etäisyyksien perusteella. Nämä vaikuttavat metsien käsittelyssä ja puunhankinnassa oleellisesti kustannuksiin, toimenpiteiden ympäristövaikutuksiin, metsätalouden kestävyYTEEN sekä sen harjoittamisen kuvaan. Paikkatietojärjestelmästä on sitä suurempi hyöty mitä pitempi suunnitteluajanjänne on, koska suunnittelijan valittavissa olevien vaihtoehtojen määrä kasvaa.

Tarkastelun perusteella tehdään esitys puunkorjuun ohjausjärjestelmästä, joka perustuu paikkatietojärjestelmään liitettyyn oliopohjaiseen korjuukoneiden suorituskykymalliin.

Avainsanat:

Paikkatietojärjestelmät, puunkorjuu, kuljetus, suunnittelu.

Kirjoittajien yhteystiedot:

Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto, PI 18, FIN-01301 Vantaa.

Julkaisija:

Metsäntutkimuslaitos; Hanke 3034-2.

Hyväksynyt Jari Parviainen, tutkimusjohtaja 29.9.1994.

Jakaja:

Metsäntutkimuslaitos

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto

PI 18

FIN-01301 Vantaa

Puhelin (90) 857 051

Fax (90) 857 05361

ISBN 951-40-1386-7

ISSN 0358-4283

Hakapaino Oy, Helsinki 1994

Sisällysluettelo

	Sivu
1	Johdanto 4
2	Paikkatietojärjestelmät 6
2.1	Yleistä 6
2.2	Paikkatietojärjestelmien rakenne 6
2.2.1	Paikkatiedon tietomallit 6
2.2.2	Korkeustietomallit 8
2.2.3	Tiedon käsittely 9
2.2.4	Laitteistot ja niiden käyttö 11
2.3	Oliopohjainen lähestymistapa 11
2.4	Ohjelmistoja 13
2.4.1	Rasteripainotteisia järjestelmiä 13
2.4.2	Vektoripainotteisia järjestelmiä 14
2.4.3	Oliorakenteisia järjestelmiä 15
3	Järjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä 18
3.1	Hyödyt 18
3.2	Kustannukset 21
3.3	Järjestelmän käyttöönotto 22
3.4	Tarkkuus 24
4	Valmiit numeeriset aineistot 26
4.1	Paikkatietojen yhteiskäyttö 26
4.2	Maasto- ja puustoaineistot 26
4.3	Korkeustiedot 27
4.4	Kuljetusväylät 28
4.5	Maaperäaineistot 29
4.6	Muut aineistot 30
5	Paikkatietosovelluksia 31
5.1	Metsätietovarasto 31
5.2	Hakkuujärjestyksen määrittäminen 32
5.3	Korjuumenetelmävalinta 38
5.4	Leimikon hinnoittelu 40
5.5	Kuljetusten ohjaus 41
5.6	Teiden suunnittelu 43
6	Uusien tiedohallintamenetelmien käyttö puunkorjuun ohjauksessa 46
6.1	Puunkorjuun suunnittelun kulku 46
6.2	Maastotiedot 47
6.2.1	Tunnukset 47
6.2.2	Tiedonhankinta 48
6.3	Koneiden suorituskykymallit 50
6.4	Toimintojen valintaperusteet 51
6.5	Ehdotus koneiden suorituskyvyn ennustamismalliksi 52
6.5.1	Mallittamistyökalut 52
6.5.2	Olotietojen kuvaus 52
6.5.3	Koneen ominaisuuksien kuvaus 53
6.5.4	Suorituskykymalli 54
7	Päätelmiä 56
8	Kirjallisuus 58

1 Johdanto

Metsätaloudessa päätöksentekijällä on käytännössä rajaton määrä vaihtoehtoja, joiden seurannaisvaikutuksista tunnetaan yleensä vain pääperiaatteet. Ongelmat ovat tyypillisesti tietomääriltään suuria sekä aikaan ja tilajärjestykseen liittyviä, joten niiden optimaalisen ratkaisun löytäminen on aiemmin ollut mahdotonta. Järkevän päätöksenteon tueksi tarvitaan tietojärjestelmiä, joilla olemassa olevaa tietoa voidaan muokata, joilla kehityskulkuja voidaan mallittaa, sekä joilla voidaan koostaa ja vertailla vaihtoehtoja. Tietotekniikan kehitys ja halpeneminen ovat tuoneet suunnittelijoille monia työkaluja tämän tyyppisten ongelmien ratkaisuun.

Metsänomistaja asettaa tavoitteita metsänsä käytölle. Sunnittelijan tehtävä on laatia omistajalle toimenpide-ehdotuksia, joilla tavoitteet mahdollisimman hyvin täytetään. Metsän tuotteiden käyttäjillä on omia tavoitteitaan metsänkäsittelyn suhteen. Esimerkiksi puunhankkija pyrkii korjuun yksikkökustannusten alentamiseksi suuriin työskentelykohteisiin, kun taas kaupunkilaiset saattavat asettaa etusijalle lehtipuuvaltaisen metsikön suuren virkistysarvon. Metsän omistajan ja eri käyttäjien tavoitteet ovat usein ristiriitaisia. Metsänomistajan omatkin tavoitteet voivat olla tietoisestikin ristiriitaisia keskenään. Kaikkien käyttäjien suunnitelmissa tarvitaan kuitenkin pitkälle samoja perustietoja metsästä. Metsätiedonhallintajärjestelmän tulisi sisältää näiden perustietojen lisäksi käyttäjäkohtaiset tiedonhaku- ja käsittelyrutiinit.

Metsätalouden ja puunhankinnan suunnittelun sekä toteutuksen tiedonhallintajärjestelmän rakenne on tyypillisesti seuraava:

Tietokannat

- metsäalueen kuviot (sijainti, puusto, toimenpide-ehdotukset ym.)
- kuljetusväylät ja varastopaikat
- kone- ja henkilöresurssit
- puutavaralajien käyttöpaikat ja määrät

Järjestelmät ja mallit

- kuviotietojen muuttuminen (kasvu, poistuma, maan jäätyminen ym.)
- optimointijärjestelmä toimenpiteiden ohjaukseen (kestävyys, biotooppien ylläpito, suojavyöhykkeet ym.)
- korjuun ja kuljetuksen menetelmien tuottavuus ja kustannukset
- optimointijärjestelmä korjuun- ja kuljetuksen ohjaukseen
- puutavaralajien käyttö

Kangas ym. (1992) esittelevät integroidulle metsäsuunnittelulle lähestymistavan, jossa suunnittelujärjestelmä tarjoaa vaihtoehtoja vertailukriteereineen. Näiden pohjalta päätöksentekijä suorittaa toimenpidevalinnan eli toiminnan suunnittelun. Integroitu suunnittelu tarkoittaa toisaalta sitä, että suunnittelussa voidaan ottaa huomioon eri aikajäniteitä sekä rinnakkaisia tavoitteita, ja toisaalta sitä, että suunnittelun kaikki työkalut, yleensä tietokoneohjelmat ja tietovarastot, toimivat yhdessä. Puunhankinnan suunnittelu lähtee puujalostusasiakkaan raaka-ainetarpeista, jotka puunhankkija pyrkii tyydyttämään. Metsänomistaja tarjoaa puuta myyntiin tuloja saadakseen, mutta puunhankkijan korjuutoimien tulee myös kehittää metsikkökuvioiden ja metsälöiden rakennetta. Lähestymistapa on osa laajaa kehityshanketta "Integroidun metsällisen päätöksenteon tukijärjestelmä (IMPJ)" (Niemeläinen ym. 1994).

Mitä enemmän kiinnitetään huomiota työn suunnitteluun sitä suurempi merkitys on työkohteiden sijaintiin liittyvillä tiedoilla. Paikkatietojärjestelmät, jotka käsittelevät sijaintitietoon liittyviä ominaisuustietoja, tarjoavat mahdollisuuden aiempaa monipuolisempiin toimintavaihtoehtojen analyysihin ja valintoihin. Saarenmaa (1988) sekä Kaila ja Saarenmaa (1990) esittelevät metsätalouden teoreettisen tietokoneavusteisen päätöksentekojärjestelmän, jossa metsätalouden toiminta kuvataan puuvirtamallin näkökulmasta. Puunhankinnan tarvitsemat puusto-, sijainti- ja olotiedot ovat paikkatietojärjestelmässä ja niitä hyödynnetään suunnittelu-, metsänhoito- ja puunhankintajärjestelmissä. Puunhankinnan järjestelmä tuottaa hakkuutoimenpiteiden tuloksena puutavaratietokannan, jonka tietoja käytetään hyväksi varasto-, kuljetus-, tuotannonohjaus- ja markkinointijärjestelmissä.

Puunhankinta on esimerkki logistiikasta, joka kuvaa tavaravirtojen ja -vamistuksen ohjausta (Bowersox ym. 1986). Palander (1993) esittelee olemassa olevia puunhankintaorganisaatioiden informaatiojärjestelmiä ja tekee ehdotuksia järjestelmien tehostamiseksi. Kokkolan (1993) kirjallisuustutkimuksessa käsitellään metsäteknologiassa käytettäviä paikkatietojärjestelmiä.

Tämän julkaisun tarkoitus on selvittää, mitä paikkatietojärjestelmät ovat sekä antaa esimerkkejä, kuinka niitä voidaan käyttää puunkorjuun ja -kuljetusten suunnittelussa ympäristövaikutusten vähentämiseksi sekä kustannusten alentamiseksi. Tämä työ on samalla alkuselvitys tutkimukselle, jonka päämäärä on korjuukoneiden reitinvalinta- ja tuottavuuden ennustamisjärjestelmä.

Tutkimuksen ovat ideoineet ja kirjoittaneet yhdessä Rummukainen ja Ala-Ilomäki. Rummukainen on kirjoittanut alustavan käsikirjoituksen lukuihin 3, 4, ja 5 ja Ala-Ilomäki lukuun 6.

Tutkimusta varten on haastateltu Anna-Maija Ainolaa Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksesta, Hannu Hokkasta Enso-Gutzeit Oy:stä, Kalevi Kyhälää Tuusulan kunnasta, Iiris Niinistä ja Yrjö Suckdorffia Ympäristötietokeskuksesta, Ari Nikulaa Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalta, Tuula Nuutista Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusasemalta, Pirkko Orannetta Geologian tutkimuskeskuksesta ja Asko Saatsia Metsähallituksesta.

MMK Janne Soimasuo selvitti järjestelmien sekä ohjelmistojen ominaisuuksia, ja mmyo Jari Sirviö suoritti tiedonhakuja. Mmyo Ari Hannila teki käyttöömme tiivistelmän Lapin puunhankintapelin käyttöohjeesta.

Professori Pentti Hakkila, MMT Pekka Mäkinen, MMK Ari Nikula, MML Tuula Nuutinen Metsäntutkimuslaitoksesta ja MMK Janne Soimasuo Joensuun yliopistosta lukivat käsikirjoituksen ja tekivät varteenotettuja parannusehdotuksia. Parhaat kiitokset tutkimukseen myötävaikuttaneille henkilöille.

2 Paikkatietojärjestelmät

2.1 Yleistä

Paikkatieto koostuu kohteen paikannuksessa tarvittavasta sijaintitiedosta ja kohteen ominaisuustiedoista. Paikkatietojärjestelmät mahdollistavat ominaisuuksiin, sijaintiin sekä näiden keskinäisiin riippuvuuksiin liittyvien tietojen hallinnan ja analyysien teon (esimerkiksi Rainio 1987). Sijaintitietoon voi numeerisen sijainnin lisäksi sisältyä tietoa kohteen rakenteesta (piste, viiva, solmu eli viivan pääte-/liittymiskohta tai alue) sekä kohteiden keskinäisestä tilajärjestyksestä ja suhteista. Ominaisuustiedot kuvaavat kohteen sijaintiin liittymättömiä tunnuksia ja ominaisuuksia, esimerkiksi maaston ja puuston ominaisuuksia tai suojavyöhykkeiden toimintarajoituksia.

Tietokannalla tarkoitetaan yleisesti kokoelmaa tietoja joistakin asioista ja näiden tietojen välisistä suhteista. Sen tarkoitus on säilyttää ja ylläpitää tietoja siten, että käyttäjä voi löytää haluamansa tiedot ja yhdistellä niitä valitsemillaan tavoilla. Paikkatietojärjestelmät koostuvat erillisistä karttatieto- ja ominaisuustietokannoista. Karttatietokannat ovat yleensä ohjelman omaa rakennetta. Osassa järjestelmiä ominaisuustietokannat ovat järjestelmän omaa rakennetta, mutta yhä useammin niiden tietokanta on jotain yleisesti käytössä olevaa tyyppiä. Yleinen SQL-kyselykieli tarjoaa monipuolisen liittynän ulkopuoliseen tietokantaan. Ominaisuustietokantojen tiedonhallinnan relaatio-, verkko- ja hierarkiamallien lisäksi on tullut oliorakenteinen tiedonhallinta (Kempainen 1991).

Paikkatietojärjestelmään talletettua tietoa voidaan hakea sekä sijainti- että ominaisuustietojen perusteella. Kuvan 1 puunkorjuuta varten tehty karttatasojen yhdistelmä on tyypillinen esimerkki paikkatietojärjestelmän mahdollistamasta analyysistä. Samalla kartalla näkyvät viidestä eri ominaisuustietokannasta peräisin olevat puunkorjuun kuljetusväylät, maaston korkeussuhteet, maalajit, metsikkökuviot puustotietoineen ja toimintaa rajoittavat suojelukohteet.

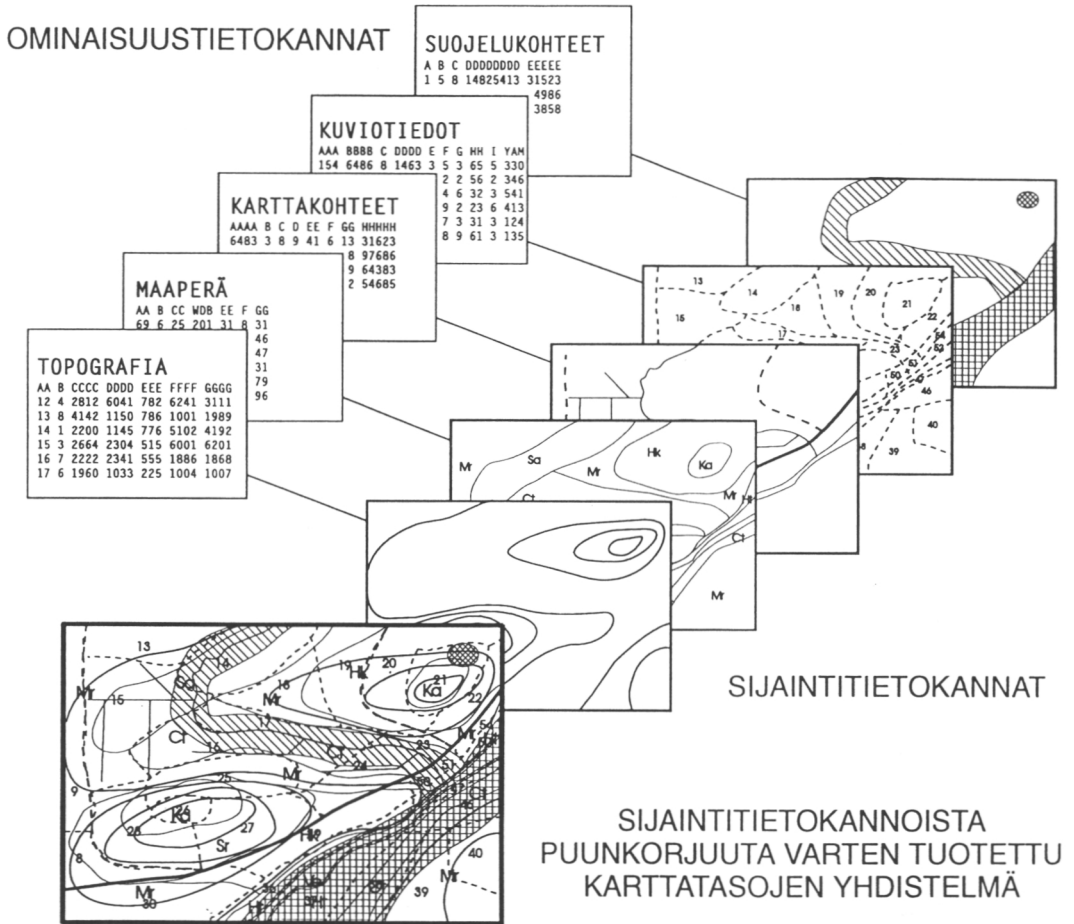
Paikkatietojärjestelmistä käytetään lyhennettä GIS, joka tulee englanninkielisestä termistä Geographic Information Systems. Kirjallisuudessa ohjelmista käytetään myös termiä LIS (Land Information Systems). Paikkatietojärjestelmien edeltäjiä ovat kaksiulotteiset karttajärjestelmät. Karttojen mallittamisessa paikkatietojärjestelmissä antaa hyvän kuvan esimerkiksi Tomlin (1990). Paikkatietojärjestelmiin liittyy monia yleensä englanninkielisiä lyhenteitä, joita käsittelevät esimerkiksi Kessler (1992) ja The 1994 International GIS Sourcebook (1993).

2.2 Paikkatietojärjestelmien rakenne

2.2.1 Paikkatiedon tietomallit

Paikkatietojärjestelmissä erotetaan vektori- ja rasterimuotoiset tietorakenteet, joita kuvaavat mm. Burrough (1987) ja Star ja Estes (1990). Tavallista karttaa muistuttavassa **vektorimuodossa** kohteet esitetään pisteiden, viivojen ja alueiden avulla. Erillisissä tietokannoissa tai tiedostoissa olevat ominaisuustiedot linkitetään kohteen tunnistetiedon avulla sijaintitietoon. Vektoritiedon tiivis esitysmuoto vie yleensä rasteritietoa vähemmän tiedon varastointitilaa.

Vektorimuotoisen esitystavan etuna on sijainnin määrittämisen tarkkuus, joten se soveltuu erityisesti perinteisen kartografisen tiedon esittämiseen. Esimerkiksi pisteillä kuvat-



Kuva 1. Paikkatietojärjestelmän rakenne

tujen kivien ja viivoilla kuvattujen teiden sijainti voidaan periaatteessa tallettaa niin tarkasti kuin se on mitattavissa. Verkkoja muodostetaan linkittämällä esimerkiksi teitä esittävät viivat yhteen tieverkoksi solmupisteiden avulla. Tämä mahdollistaa rasterimuotoiseen tietomalliin verrattuna helpon verkkoanalyysien teon.

Karttakohteeseen voi liittyä monia ominaisuustietoja, mutta kohteen sisäisen vaihtelun kuvaamiseksi se on jaettava pienempiin alueisiin, jolloin ongelmaksi saattaa tulla suuri rajaviivojen määrä.

Rasterimuotoinen tieto perustuu havaintomatriisiin, jonka kullekin solulle annetaan kutakin ominaisuustietoa kuvaavat arvot. Sijaintitieto määräytyy solun sijainnilla matriisissa. Solukoko määräytyy pienimpien kuvattavien piste- ja viivamaisten kohteiden mukaan. Rasteritietomalli johtaa solukoon pienetessä suureen tiedontallennuskapa-

siteetin tarpeeseen, koska jokaiselle matriisin solulle joudutaan yhtenäisilläkin alueilla antamaan ominaisuustietoarvo. Kuvanlukijoiden tuottaman tiedon ja satelliittikuvien matriisirakenteen johdosta rasterimuotoinen tietomalli sopii hyvin niiden käsittelyyn.

Useimmat järjestelmät ovat sekä rasteri- että vektorimuotoisen tiedon käsittelyyn pystyviä **hybridijärjestelmiä**. Näidenkin perusanalyysit suoritetaan kuitenkin vain toisella tietomuodolla. Järjestelmä tulee valita tärkeimpiin analyysihin parhaiten sopivan ja saatavissa olevan aineiston tietomuodon perusteella, koska sekä järjestelmien välisissä että sisäisissä tietomuotojen muutoksissa katoaa osa alkuperäisestä tiedosta.

2.2.2 Korkeustietomallit

Weibel ja Heller (1991) esittelevät korkeustiedon käsittelyn paikkatietojärjestelmissä. Yleisimmät korkeustiedon kuvaamisen mallit (DEM, Digital Elevation Model) ovat rasterimalli ja epäsäännöllinen kolmioverkkomalli (TIN, Triangular Irregular Network). Korkeustiedon sisäisestä rakenteesta riippumatta malleilla on yleensä mahdollista tehdä samat analyysit ja tulostaa kolmiulotteisia karttoja. Tiedon tarkkuus ja soveltuvuus eri tarkoituksiin riippuu kuitenkin huomattavasti korkeusmallista, mikä on otettava järjestelmää valittaessa huomioon. Kaksiulotteiseen malliin piirrettyjä korkeuskäyriä voidaan pitää näennäiskorkeusmallina. Käyriä voidaan hyödyntää luonnossa kuten kartan korkeustietoja, mutta korkeustietoon liittyviä analyysyjä niillä ei voida tehdä.

Rasterimallissa kullakin solulla on muiden ominaisuustietojen ohella korkeustieto. Sen tarkkuus ja merkitys riippuu solun koosta ja korkeusarvon määrytyksestä (Berry 1994). Mitä suurempi solu, sen enemmän korkeusvaihtelua sen alalle mahtuu. Tarkkaan tietoon tarvittava pieni solukoko vaatii runsaasti tiedostotilaa. Talletustilan säästämiseksi on kehitetty quadtree-tiedostomalli, jossa solu jaetaan aina neljäksi, kunnes näillä esitettyjen kuvioiden pinta-alat saadaan kuvattua halutulla tarkkuudella.

Useimmissa tapauksissa solulle voi antaa useiden mittauksien keskiarvokorkeuden tai ainoan mittauksen korkeusarvon. Mitä suurempia korkeuseroja solun sisällä on, sitä tärkeämpää on selvittää mitä ilmoitettu korkeustieto edustaa. Esimerkiksi topografisen kartan teossa on tärkeää tietää ääriarvot, mutta tienrakennuksen massalaskelmissa saattaa keskiarvokorkeus antaa oikeammat tiedot. Rasterimallilla on vaikea hahmottaa maastokohteiden muotoja ja jatkuvuutta, kuten harjuja tai laaksoja. Pienet, mutta tärkeät kohteet, kuten joet, saattavat jäädä piiloon.

Kolmioverkkomallissa kartta muodostetaan vaihtelevan suuruista ja muotoisista kolmikulmioista, joiden kullakin kolmion kärjellä on korkeustieto sekä tieto siihen liittyvien kolmioiden nimistä. Samoin kullakin kolmion sivulla on tieto sivun kummankin puolen kolmion nimistä. Maaston korkeusvaihtelu voidaan kuvata kolmioiden avulla hyvin tarkasti kolmioiden kokoa pienentämällä.

Kolmioverkkomallin etuna on pieni tiedostotilan tarve. Sillä on helppo hahmottaa maastokuvien muodot ja jatkuvuudet, kuten harjut ja laaksot. Pientenkin kuvioiden, kuten vuorenhuippujen, korkeudet saadaan tarkasti näkyviin. Haittana ovat usein monimutkaiset laskennat ja tietojen korjausmuutokset. Kolmioverkosta on helppo analysoida rinnen-suuntia ja -kaltevuuksia.

2.2.3 Tiedon käsittely

Käyttäjä tuottaa paikkatiedon itse tai käyttää olemassa olevia tiedostoja, jotka tarvittaessa muunnetaan järjestelmän ymmärtämään muotoon. Valmiit kaupalliset numeeriset aineistot toimitetaan yleensä levykkeillä, magneettinauhoilla tai optisilla levyillä. Montgomery ja Schuch (1993) antavat laajan katsauksen graafisen tiedon muuntamisesta numeeriseen muotoon.

Ominaisuustiedot talletaan yleisimmin näppäimistöllä. Vain pieniä sijaintitietokantoja kannattaa syöttää näppäimistöllä. Maastotiedonkeruuta voidaan tehostaa elektronisilla tiedonkeruulaitteilla (Corlis 1993), joista tiedot voidaan purkaa suoraan numeerisina tiedostoina paikkatietojärjestelmiin. Paikkatiedon tuottamiseen voidaan käyttää valmiita numeerisia aineistoja, kuten satelliitti- ja videokuvat, sekä satelliittipaikannuslaitteilla (GPS = Global Positioning System) tuotettuja koordinaattitiedostoja. Hämäläinen ja Räsänen (1994) sekä Johansson ja Gunnarsson (1994) ovat selvittäneet GPS-laitteiden käyttömahdollisuuksia metsätaloudessa.

Kaksiulotteisten karttojen ja ilmakuvien tieto voidaan numeeristaa eli digitoida merkitsemällä digitointipöydän osoittimella halutut kohteet. Kuvanlukijoilla eli skannereilla voidaan kartta muuttaa suoraan numeeriseen rasterimuotoon. Vektorimuotoisen tiedon tuottaminen kuvanlukijoilla eli skannereilla edellyttää, että käyttäjä määrittelee digitoitavat viivat.

Kaikissa paikkatietojärjestelmissä on kartta- ja ominaisuustiedon syöttö-, muokkaus- ja tulostusrutiinit. Tiedon muokkaus- ja analysointirutiinit vaihtelevat ohjelmistoittain. Starin ja Estesin (1990) mukaan rutiinit voidaan jaotella seuraavasti:

Ominaisuustietoon perustuvat luokittelut

Olemassa olevaa tietoa voidaan muokata ominaisuustietoon perustuen luokittelomalla, yhdistelemällä sekä jakamalla kohteita ja ominaisuustietoa käyttötarkoituksen mukaan.

Uudelleenluokittelussa jaetaan aineisto uuden muuttujan luokkiin, jotka saadaan yhdistämällä olemassa olevan ominaisuustiedon luokat uudella tavalla. Leikkausanalyysissä jaetaan aineisto uuden muuttujan arvojen perusteella kohteisiin, joiden rajat muodostuvat ominaisuustietoon perustuvien useamman alkuperäisen karttatason yhdistelminä. Loogisilla operaatioilla tuotetaan alkuperäisistä karttatasoista yhdistelmä, jolla valittujen muuttujien arvojen yhdistelmä on haluttu. Useisiin muuttujiin perustuvassa luokittelussa tuotetaan karttataso, jolla luokittelumuuttujien arvot täyttävät annetut kriteerit.

Käyttäjän määrittelemillä luokittelurutiineilla voidaan jakaa satelliitti- ja ilmakuvien jatkuvat sävytasot haluttuihin luokkiin. Luokittelun tarkoitus on usein vähentää aineiston tilantarvetta, koska kukin kohde saa vain yhden luokan arvon alkuperäisen aineiston useiden sävyarvojen sijasta.

Geometriset muunnokset

Geometrisilla muunnoksilla korjataan alkuperäisen aineiston muoto- ja mittavirheitä, ja tarpeen vaatiessa muunnetaan se sopivaan koordinaatistoon. Kolmiu-

lotteisessa aineistossa geometrisilla muunnoksilla voidaan kuvata kohteen näkyvyyttä tarkastelupisteisiin.

Painopisteen määrittäminen

Alueiden ja viivojen painopisteiden määrittäminen antaa kohteille sijaintiarvon, jonka perusteella niitä voidaan hakea sijaintitietokannasta tai niitä voidaan laskea kohteiden välisiä etäisyyksiä.

Tietomuodon muunnokset

Aineistot muunnetaan eri tietomuototyypistä toiseen tietomuodon muunnoksilla esimerkiksi tiedon tuottajan toimittaessa tiedostoja asiakkaalle.

Tilajärjestykseen liittyvät toiminnot

Tilajärjestystoiminnot voidaan jakaa kohteiden välisiin yhteyksiin ja naapuruu-teen liittyviin toimintoihin.

Vaikutusalueanalyysillä etsitään alueet, jotka ovat enintään valitun etäisyyden päässä kohteesta. Verkonhallintatoiminnoilla hallitaan toisiinsa liittyvien kohteiden muodostamia verkkoja, ja etsitään näiden sisällä valituin perustein reittejä.

Naapuruusanalyysillä tutkitaan kohteiden vierekkäisyyteen liittyviä asioita, kuten rinnekaltevuuksia ja -suuntia, valuma- ja näkymäalueita sekä maaston poikkileikkauksia. Analyysillä voidaan myös tasoittaa tai korostaa alueen osien eroja.

Viivojen, pinta-alojen ja etäisyyksien mittaus

Paikkatietojärjestelmien yleisimpiä työkaluja ovat moniin tarkoitukseen sopivat kohteiden, niiden osien ja niiden välisten etäisyyksien mittausrutiinit. Rasteriperusteisten järjestelmien mittaustarkkuus riippuu suoraan solukoosta, kun vektoripohjaisten järjestelmien tarkkuus riippuu solmupisteiden tallennus-tarkkuudesta.

Tilastolliset analyysit

Paikkatietojärjestelmien perustyökaluina olevia tilastollisia toimintoja voidaan käyttää aineiston esikäsittelyssä virheellisten tietojen etsintään sekä analyysivaiheessa uusien muuttujien luomiseen ja tiedon jäsentelyyn raportointia varten.

Mallitus

Perusanalyysien lisäksi ohjelmistojen käyttäjillä on yleensä mahdollisuus tehdä uudenlaisia analyysejä. Ohjelmistosta riippuen omat sovellukset tehdään joko ohjelmiston omalla kielellä, loogisilla operaattoreilla tai sitten niihin on mahdollisuus liittää muilla kielillä tai sovelluskehittimillä tehtyjä osia. Sovelluskehittimillä voidaan myös automatisoida järjestelmän käyttöä ja tehdä asiakaskohtaisia käyttöliittymiä.

Tiedonkäsittelyn lopputuloksena ovat tulosteet, joista yleisimmät ovat karttoja, teema-karttoja, kolmiulotteiset kuvat, tietokantalistaukset sekä analyysitulokset paikkatietojen

perusteella tehdyistä hauista. Tulosteiden siirtäminen paikkatietojärjestelmästä toiseen edellyttää lähes aina tietomuodon muunnoksia. Kuljetuksenohjausjärjestelmissä kartat ja ajoneuvon sijainti voidaan siirretään reaaliajassa radioteitse ajoneuvon näyttöpäätteelle (Vuorenpää 1992, Rimpiläinen 1994).

2.2.4 Laitteistot ja niiden käyttö

Paikkatietojärjestelmien suuren laskenta- ja tiedontallennuskapasiteettitarpeen vuoksi varhaisimmat järjestelmät toimivat keskustietokoneissa. Tietotekniikan kehitys on mahdollistanut paikkatietojärjestelmien käytön työasema- ja mikrotietokoneissa. Monet ohjelmat ovat vielä käyttöjärjestelmä- ja jopa laitesidonnaisia. Mikrotietokoneisiin sopivat ohjelmaversiot ovat yleensä työasemaversioita suppeampia. Tietosiirtoverkkojen avulla voidaan tiedostot, ohjelmat ja käyttäjiliittymät hajauttaa kunkin organisaation tarpeiden ja resurssien mukaan. Mikroja voidaan usein käyttää verkkoympäristöissä näyttöpäätteinä, jos niiden näytön erottelukyky on riittävä.

Paikkatietojärjestelmien käytössä ollaan siirtymässä numerotietojen näppäimistöllä muokkaamisesta ja eräajoista kuvaruudulla tapahtuvaan vuorovaikutteiseen työskentelyyn. Moni-ikkunaiset käyttöliittymät vaativat hyvän tarkkuusgraafikka-monivärinäytön tai jopa useita rinnakkaisia näyttöjä. Mitä useampia ja/tai erilaisempia käyttäjiä järjestelmällä on, sitä tärkeämpää on automatisoida työskentelyä käyttäjäkohtaisilla liittymillä. Lukukelpoisuuden vuoksi karttatulosteet ovat yleensä värillisiä ja A4-kokoa suurempia, joten tavallisten kirjoittimien lisäksi tarvitaan piituri. Kuvaruututieto voidaan projisoida valkokankaalle useiden henkilöiden samanaikaisesti katsottavaksi.

Samoja perustietoja käytetään yhä moninaisemmissa paikkatietosovelluksissa. Ohjelmistot, joilla sovellukset tehdään, ovat kuitenkin yleensä ala- tai tehtäväkohtaisia, jolloin perustiedot joudutaan syöttämään kaikkiin sovelluksiin erikseen. Tietomuodon muunnosohjelmilla pyritään vähentämään tätä haittaa. Toisena ratkaisuna kehitetään avoimia tietomuotoja, joita useat ohjelmat pystyvät lukemaan suoraan. Nämä mahdollistavat monien eri sovelluksiin rakennettujen paikkatietojärjestelmien rinnakkainkäytön, jolloin kunkin järjestelmän erityisominaisuudet voidaan hyödyntää tehokkaasti. Järjestelmällä voi olla jopa yhteinen perustietokanta. (Crosswell 1993, Daniel 1993). Monikerroksinen käyttöliittymärakenne mahdollistaa käyttäjäryhmäkohtaisten liittymien luomisen. Varsinaisen työn suorittavat vakio-ohjelmat, kuten paikkatietojärjestelmä, tietokanta, taulukkolaskenta ja teksturi, mutta käyttäjä ohjaa niitä kaikkia suoraan yleensä oliorakenteisena toteutetulla käyttöliittymällä. (Strand 1993).

2.3 Oliipohjainen lähestymistapa

Tietokoneohjelmat ovat alunpitäen koostuneet käskyjonoista, jotka ovat lukeneet tiedostoissa olevia tietoja ja palauttaneet tulokset tiedostoihin. Ohjelmien monimutkaisuudessa otettiin avuksi aliohjelmat, jotka suorittivat tarvittaessa jonkin tehtävän pääohjelmalle. Monipuolisten ohjelmien tekeminen johtaa hyvin pitkiin käskylistoihin ja monimutkaisuuteen tietorakenteisiin. Ohjelman kirjoittaminen on hidasta, koska työnjako on vaikeaa ja osat vaikuttavat kokonaisuuteen. Pienenkin muutoksen tekeminen ohjelmaan saattaa vaatia muutoksia koko ohjelman alueella. (Booch 1991)

Näiden ongelmien vähentämiseksi kehitetty oliopohjainen ongelmanratkaisutapa jäljittelee ihmisen tapaan jäsentää maailmaa sekä luonnonprosesseja. Se perustuu **olioihin**, jotka ovat pakkaus tietoa ja kuvaus sen muokkauksesta. Tietoa muokataan lähettämällä **viestejä** oliolle. (Robson 1981). Reaalimaailman kohteet kuvataan ohjelmassa olioina, joilla on ominaisuuksia ja toimintoja, kuten todellisuudessakin. (Booch 1991)

Olion peruselementit ovat Boochin (1991) mukaan:

Abstraktio on olion kuvaus tai määrittely, jossa korostetaan sen olennaisia ominaisuuksia, jotka erottavat sen muista olioista.

Kapseloinnilla kätketään olion ne yksityiskohdat, jotka eivät liity sen olennaisiin ominaisuuksiin.

Olion **modulaarisuudella** tarkoitetaan sen koostumista toisiinsa liittyvistä itsenäisistä yksiköistä.

Abstraktioiden luokittelujärjestys muodostaa **hierarkian**. Monimutkaisen järjestelmän tärkeimmät hierarkiat ovat luokkarakenne (jonkin kaltainen) ja objektirakenne (osa jostakin).

Luokkarakenne kuvaa ominaisuuksien periytymistä luokalta toiselle. Yksilähteisessä perinnässä alempi luokka perii ominaisuuksia vain yhdeltä yläluokalta. Monilähteisessä perinnässä alempi luokka perii ominaisuuksia useilta yläluokilta. Alaluokat perivät yläluokan rakenteen ja käyttäytymisen, joita ei tarvitse määritellä uudelleen. Lisäksi alaluokalla on ominaisuuksia, joita yläluokalla ei ole. Suunnittelussa olioluokkien voidaan ajatella vastaavan järjestelmän sanallisen kuvauksen substantiiveja (Coad ja Yourdon 1990).

Objektirakennehierarkia kuvaa olion kokoonpanon rakenteen. Kokoomarakenneolio koostuu useista osolioista. Kokoomarakenneoliolla voi olla kokonaisuuteen liittyviä ja osaliokohtaisia ominaisuuksia.

Tyyppin määrittelyllä tarkoitetaan olion luokan määrittämistä niin, että eri tyyppiset oliot eivät ole vaihtokelpoisia tai ne ovat vain rajoitetusti vaihtokelpoisia.

Samanaikaisuudella määritetään, mitkä oliot ovat aktiivisia ja mitkä passiivisia.

Jatkuvuuden ansiosta olion olemassaolo ja toiminta eivät ole aika ja/tai paikkasidonnaisia.

Viestit välittävät kommunikaation olioiden välillä. Protokolla määrittelee miten olio käyttäytyy ja reagoi viestiin. Tällöin sama viesti eri olioille aiheuttaa erilaisen käyttäytymisen. Polymorfismi tarkoittaa mahdollisuutta lähettää sama viesti useille saman yläluokan olioille, jolloin kunkin vastaanottavan olion protokolla määrää viestin aiheuttaman toiminnan. (Booch 1991, Budd 1991).

Oliopohjaisella analyysillä etsitään olio- ja luokkalähtöisesti ongelman ratkaisun edellytyksiä ongelma-alueen avainsanojen perusteella. Tuloksena saadaan ohjelmariippumaton oliomalli, joka kuvaa olioiden hierarkian, olioiden välisten viestien tietosisällön sekä olioiden käyttäytymisen ja reaktiot. Oliopohjainen suunnittelu muokkaa analyysin luomaa mallia ohjelmiston ja laitteiston vaatimusten mukaan. Olio-ohjelmoinnilla tuotetaan sitten ongelman ratkaisussa käytettävä ohjelma. Analyysi, suunnittelu ja ohjelmointi liittyvät vuorovaikutteisesti kiinteästi toisiinsa. (Coad ja Yourdon 1990).

Ohjelmien rakenne yksinkertaistuu ja selkeytyy, koska ne noudattavat esikuvana olevia luonnon prosesseja (Budd 1991). Yksinkertaista, perusrakenteeltaan oikeaa prototyyppiä kehitetään evoluutiomaisesti parantamalla osakokonaisuuksia. Näiden kehitystyö voidaan jakaa toisistaan riippumattomiin osiin sen jälkeen kun olioiden protokollat on määritetty. Yksilöllisten sovellusten teossa myöhemmin voidaan muokata vain osaa olioista, poistaa tai lisätä niitä. Ohjelmien kehitystyö nopeutuu ja ylläpito yksinkertaistuu. Aiemmin luotujen oliokomponenttien käyttö uusissa ohjelmissa säästää työtä. (Robson 1981, Booch 1991).

Ensimmäinen oliopohjainen ohjelmointikieli Simula kehitettiin 1960-luvulla (Booch 1991, Coad ja Yourdon 1990). Yleisiä oliopohjaisia ohjelmointikieliä ovat mm. C++ ja Visual Basic, joiden lisäksi markkinoilla on erilaisia sovelluskehitytyökaluja. Mikrotietokoneen käyttäjille tuttu oliopohjaisen ohjelmoinnin sovellus ovat monet graafiset käyttöliittymät. Oliopohjainen lähestymistapa soveltuu hyvin simulointiin, systeemiohjelmointiin ja ikkunointitekniikkaan (Keskinen 1987).

Eräät paikkatietojärjestelmät on toteutettu kokonaan tai osittain oliorakenteisina. Paikkatiedon perusyksiköt kuten piste, viiva ja alue, kuvataan olioina, joista muodostetaan kokoomarakenneolioita kuten tiet, järvet ja talot. Tietomallin käsitteet voivat siis olla yhtenevät kuvattavan todellisuuden kanssa. Oliokeskeisessä tiedonhallinnassa tietokantaan voidaan sisällyttää myös olion toimintaa kuvaavaa tietoa, kuten kuviorajojen eheyden tarkistus. Olion protokollaan voi sisältyä esimerkiksi tietokannan päivityksen toimintoja. Oliot voivat sisältää myös muuta tietoa, kuten grafiikkaa, ohjelmia ja sääntöjä. (Kempainen 1991).

Oliorakenne mahdollistaa paikkatietojen analysoinnissa aikatekijän huomioonottamisen (Langran 1992, Jameson 1993). Samoin sen avulla voidaan esimerkiksi simuloida tilanteita, joissa eläin tai kone valitsee alueella liikkuessaan reittinsä vallitsevien olojen perusteella. Etenevän olion toimenpiteet voivat vaihdella ajan ja olojen mukaan. Olio voi kulkiessaan myös muokata ympäristöään. Tällaisilla analyysillä voidaan tehokkaasti kuvata monia luonnonilmiöitä ja ihmisten toimia. (Saarenmaa ja Nikula 1989, Hannila 1993).

2.4 Ohjelmistoja

2.4.1 Rasteripainotteisia järjestelmiä

Seuraavat ohjelmistoesittelyjen tiedot on kerätty suomalaisten ja ruotsalaisten järjestelmätoimittajien aineistoista. Kustakin rakennetyypistä esitellään yksi ohjelmisto tarkemmin ja lisäksi joistakin ohjelmistoista esitellään erityispiirteitä. Laajemmin ohjelmia esittelee mm. The 1994 International GIS Sourcebook (1993).

GRASS

GRASS on laaja rasteripohjainen työasemaympäristössä toimiva paikkatietojärjestelmä, joka soveltuu myös vektoritiedon hallintaan. U.S.A:n armeijan kehittämän järjestelmän monipuoliset analyysiritiinit ovat painottuneet rasteritiedon, kuten satelliittikuvien, käsittelyyn. Landsat- ja Spot-satelliittikuvat voidaan lukea suoraan nauhalta ohjelmaan. Käyttäjä voi laatia ohjelman mukana tulevan lähdekoodin avulla omia sovelluksia, ellei useista sadoista valmiista komennoista ja rutiineista löydy sopivaa. Kolmiulotteisen tiedon käsittelyä varten on valmiit rutiinit.

GRASS on julkinen ohjelma, joka on saatavissa ilmaiseksi Internet-verkosta osoitteesta moon.cecer.army.mil tai maksullisesti asennuspalveluyrityksiltä. Käyttäjä kääntää itse C-kielisen ohjelman ja tulostaa käsikirjatiedostot. Järjestelmässä on ajureita moniin laiteympäristöihin ja se tukee yleisimpiä tiedonsiirto-, käyttöliittymä- ja tietomuodonmuutosstandardeja. Järjestelmän käyttöönotto edellyttää melkoisesti tietotekniikan osaamista, mutta toisaalta ohjelma on käytössä laajalti ympäri maailmaa. Siitä on tekeillä Windows-versio.

Järjestelmä on käytössä Joensuun yliopiston metsätieteellisessä tiedekunnassa. Sen etuja metsätaloudellisten sovellusten tekoon ovat satelliittikuvatiedon tehokas käsittely, kolmiulotteisen mallin hallinta ja armeijan kuljetustarpeisiin kehitetyt ratkaisumallit, joita voidaan soveltaa myös puutavaran kuljetukseen.

Spans

Modulirakenteinen Spans toimii mikrotietokoneissa ja eräissä työasemissa. Sen rakenne perustuu solun osina tarkentuvaan quadtree-rasteriin. Ohjelman korkeusmalli perustuu epäsäännölliseen kolmioverkkomalliin, jolla voidaan tehdä mm. kolmiulotteisia näkyvyys- ja valuma-alueanalyysijä. Metsätalouskäytössä voidaan hyödyntää olemassa olevia tiedostoja järjestelmän taulukkolaskenta-, tilasto-ohjelma- ja SQL-kielen -liittymien avulla.

2.4.2 Vektoripainotteisia järjestelmiä

Arc/Info

Useissa keskuskone- ja työasemaympäristöissä käytettävästä Arc/Info:sta on olemassa myös mikrotietokoneversioita, joiden ominaisuudet ovat mikrojen kapasiteetista johtuen kuitenkin ensimainittuja vähäisemmät. Järjestelmä on vektoripohjainen ja modulirakenteinen. Käyttäjä voi laatia omia sovelluksia ohjelman oman makrokomentokielen lisäksi C- ja Fortran-kielisillä ohjelmilla. Ominaisuustietojen tallennusta varten järjestelmässä on oma tietokanta, valmiit liittymät moniin kaupallisiin relaatiotietokantoihin sekä tietokantaliittymien tekorutiini.

Vektoripohjainen tietojenkäsittely mahdollistaa verkkoihin liittyvien matkan mittauksen ja reitinvalinnan rutiinit jo ohjelman perusmodulissa. Rasteritiedon käsittelymodulilla voidaan suorittaa naapuruusanalyysijä, kuten näkymäalueiden mallitusta ja kuljetusväylien sijoitusta alueelle. Rasteri- ja kolmioverkko-muotoisten korkeustietojen käsitteilyyn on moduli, jota ei kuitenkaan voida käyttää järjestelmän mikrotietokoneversiossa.

Arc/Info soveltuu puunhankinnan ohjaukseen ja tutkimuksiin monipuolisten reitinvalinta- ja -sijoitus- sekä korkeusmallien hallintarutiiniensa vuoksi. Järjestelmän liittynät

mahdollistavat monien olemassa olevien tiedostojen suoran hyväksikäytön. Se toimii useissa käyttöympäristöissä, ja sen käyttöön löytyy asiantuntemusta ja sovelluksia Suomestakin. Järjestelmää käyttävät mm. Enso Forest Development Oy, Helsingin ja Joensuun yliopistot, Karelsilva Oy, Koillis-Suomen metsäkeskus, Metsäteho ja Metsän-tutkimuslaitos.

Intergraph MGE

Intergraph on moduurakenteinen valmistajan omissa UNIX-työasemissa toimiva paikka-tietojärjestelmä, joka liittyy ominaisuustietokantoihin SQL-kielen avulla. Järjestelmässä on moduulit rasteri- ja kolmioverkko- ja korkeusmallien sekä verkkojen hallintaan ja tilajärjestysanalyysiin. Valmiin tiedon syöttöä ja käsittelyä varten järjestelmässä on moduulit satelliitti- ja ilmakuvien tulkintaa sekä maanmittaustietojen ja GPS-tietojen käyttöä varten.

Suomessa ohjelmistoa käytetään kunnallisteknisessä suunnittelussa. Metsätalousskäytössä järjestelmän monipuolisista analyyseistä ja olemassa olevan tiedon käyttömahdollisuuksista on hyötyä, jota laitesidonaisuus rajoittaa.

Topos

DOS- ja Unix -käyttöjärjestelmissä toimiva Topos on kehitetty tukemaan suomalaista metsikkökuvioihin perustuvaa metsätalouden suunnittelua. Sillä voidaan digitoida ja tulostaa karttoja sekä laskea pinta-aloja ja etäisyyksiä. Karttatietoa voidaan lukea useista vektoritietomuodoista sekä ASCII -rasteritietomuodosta. Rasterikuvia voidaan käyttää vektorikartan taustakuvana.

Topos on käytössä Helsingin ja Joensuun yliopistoissa, useissa metsäoppilaitoksissa, Metsäkeskus Tapiossa, eräissä metsälautakunnissa, mutta sen sovellusmahdollisuuksia puunkorjuun ja kuljetuksen suunnittelussa rajoittavat järjestelmän vähäinen analyysien määrä.

2.4.3 Olliorakenteisia järjestelmiä

Smallworld

Smallworld on vektoripohjainen työasemaympäristössä toimiva aito olliorakenteinen paikkatietojärjestelmä, joka voi käsitellä myös rasteritietoa. Kolmiulotteinen maastomalli voidaan rakentaa sekä rasteri- että kolmioverkko-tietomallin pohjalle. Ohjelmassa on rutiinit verkkoanalyysien tekoon.

Olliopohjainen rakenne mahdollistaa jatkuvan karttatietokannan sekä samanaikaisesti kahden erillisen tietokannan käytön ja useiden samaa tietokantaa koskevien analyysien teon. Tietokantojen hallinta antaa useille käyttäjille yhtäaikaisen mahdollisuuden saman tietokannan käyttöön siten, että vain yhdellä on oikeus tehdä kantaan muutoksia, jotka näkyvät heti kaikille käyttäjille.

Sovellukset voidaan tehdä järjestelmän omalla olliopohjaisella ohjelmointikielellä, valikkopohjaisella kehitysokalulla tai liittämällä niihin C- ja Fortran -kielisiä ohjelmia. Järjestelmän oman olliopohjaisen ominaisuustietokantaliittymän lisäksi voidaan SQL-kielillä rakentaa liittymiä kaupallisiin relaatiotietokantoihin.

Oliorakenne mahdollistaa muita järjestelmätyyppejä monipuolisemman tietokantojen samanaikaisen käytön useisiin analyysiin ja jatkuvan karttatason. Nämä sekä verkkojen ja maastomallin hallinta antavat mahdollisuuden käyttää Smallworldia puunkorjuun ja kuljetuksen suunnittelujärjestelmän perustana.

Genimap TransPlanner

Mikrotietokoneympäristössä toimivalla Genimap -logistisella karttaohjelmalla voidaan suunnitella kuljetusreittejä, simuloida matka-aikoja, polttoaineen kulutusta ja kuljetuskustannuksia sekä laatia aikatauluja. Ohjelmassa on Suomen tiestö (katso luku 4.4), johon käyttäjä voi lisätä omaa paikkatietoaineistoaan. Edullinen ohjelma soveltuu pienimuotoiseen puutavaran autokuljetusten reitinvalintaan ja kustannuslaskentaan.

Gradis

Gradis on eräissä työasemaympäristöissä toimiva modulierakenteinen oliosuuntauneella tietomallilla toteutettu vektoripohjainen paikkatietojärjestelmä. Gradisin tietoja voidaan käyttää ja muuttaa myös toisissa sovelluksissa, koska sen sekä sijainti- että ominaisuustiedot talletetaan Oracle-tietokantoihin. Oliopohjainen tietomalli mahdollistaa useiden karttakohteiden yhdistämisen uudeksi kokonaisuudeksi. Esimerkiksi puusto- ja maaperäkuviot, ajourat ja varastoipaikat yhdistetään leimikoksi.

Sveitsiläistä Gradista käytetään paljon Keski-Euroopassa luonnonvarojen hallinnassa. Metsähallitus käyttää Gradista omien metsien hallinnan tietojärjestelmänä, mutta järjestelmän rutiineja ei vielä käytetä puunkorjuun ja kuljetuksen suunnitteluun ja ohjaukseen.

Prodax-Logix -järjestelmät

VTKK-yhtymään kuuluvalla logistiikan konsulttiyhtiö Prodax-Logix Oy:llä on kuljetusten ja jakelun suunnittelujärjestelmät Pro-Opt, Protrans, Probus ja paikkatiedon graafinen käyttöliittymä Mapix. Työasema- ja Windows NT -ympäristöissä toimivat järjestelmät perustuvat paikkatietojärjestelmään, johon on talletettu tiestö, kuljetusten lähtö- ja päätepisteet sekä jakelupisteet. Ohjelmien vuorovaikutteisena käyttöliittymien karttapohjana toimii Mapix, jota markkinoidaan myös sinällään karttapohjaisen paikkatiedon analysointiin ja suunnitteluun. Mapixin kuljetusreitit ovat vektorimuotoista tietoa, mutta rasterikarttaa voidaan käyttää pohjakuvana. Järjestelmät voidaan liittää SQL -kyselykielellä asiakkaan tietokantoihin.

Pro-Optin kuljetusverkon tiedot käsittävät etäisyyksien lisäksi tieosuuksien kanta- vuudet, nopeus-, paino- ym. ajorajoitukset sekä muuta liikenneoloinformaatiota. Asiakas sitoo esimerkiksi tehtaidensa vastaanottoajat ja purkauskapasiteetit purkauspisteen paikkatietoihin. Samoin voidaan kullekin ajoneuvon kuljettajalle määrätä enimmäistyöaika. Kuljetusten optimointirutiineilla etsitään asiakkaan toivomusten ja rajoitusten mukaan edullisimmat reitit, aikataulut ja kaluston käyttöaste.

Käyttäjä voi tarvittaessa poiketa optimiratkaisusta, jolloin ohjelma laskee vuorovaikutteisesti muutoksen vaikutukset. Järjestelmällä voidaan tulostaa ajo-ohjelmat, reittikartat, kuljetusmäärät ja kustannukset. Pro-Transilla voidaan Pro-Optin ominaisuuksien lisäksi seurata kuljetustilannetta ajantasaisesti GPS-järjestelmää hyväksi käyttäen. Järjestelmät soveltuvat hyvin puutavaran autokuljetusten ohjaukseen.

Wingis

Wingis paikkatietojärjestelmällä voidaan hyödyntää suoraan monia taulukkolaskenta- ja tietokantaohjelmien tietokantoja. Windows-käyttöympäristön vakio-ominaisuudet tekevät ohjelman oppimisen nopeaksi ja käytön helpoksi. Karttapinnoille voidaan siirtää Windowsin OLE -olioita, kuten kuvia, taulukoita tai tekstiä. Järjestelmässä on moduulit stereokuvien tarkasteluun ja analysointiin suoraan näytöllä sekä venäläisten satelliittikuvien analysointiin. Näitä erottelukyvyltään kahden tai viiden metrin kuvia voidaan käyttää myös kartan pohjakuvana. Käsiteltävän aineiston kokoa rajoittaa laitteiston muistikapasiteetti. Tiedonsiirtomahdollisuudet ovat monipuoliset. Järjestelmän käytön oppimisen ja olemassa olevien tietokantojen käytön helppous ovat etuja metsätalouskäytössä. Puunkorjuun ja kuljetusten suunnittelukäyttöä hankaloittavat toistaiseksi kolmiulotteisen maastomallin puuttuminen ja suppeat analyysimahdollisuudet.

3 Järjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä

3.1 Hyödyt

Puunkorjuun suunnittelu voidaan jakaa suunnittelun aikajänteen mukaan kolmeen osaan. Pitkän aikavälin (30 ... 200 vuotta) strategisen suunnittelun tavoite on toisaalta varmistaa raaka-aineiden saanti, toisaalta säilyttää metsän puuntuotoskyky sekä varmistaa muiden kasvi- ja eläinyhteisöjen elinehtojen säilyminen. Strategisen suunnittelun tuloksena saadut hakkuumäärät sijoitetaan taktisella eli keskipitkän aikavälin (1 ... 30 vuotta) suunnittelulla metsikkökuvioille. Operatiivisen eli lyhyen aikavälin suunnittelun tehtävä on toteuttaa taktisen suunnitelman määrittämien kuvioiden puunkorjuu.

Puunkorjuun suunnittelussa paikkatietojärjestelmiä voidaan hyödyntää kaikilla suunnitteluaikajänteillä järjestelmän ja suunnittelutehtävän rakenteesta riippuen. Strategisessa ja keskipitkän aikavälin suunnittelussa paikkatietojärjestelmiä voidaan hyödyntää biodiversiteetin ja puuntuoton optimaalisesti yhdistävien toimenpideohjelmien teossa. Operatiivisessa suunnittelussa paikkatietojärjestelmillä voidaan hakkuukuvioiden ja korjuumenetelmien valinnan sekä työjärjestysten määrittämisen lisäksi toteuttaa erillisiä suunnittelutehtäviä kuten tienrakennuksen ja ojituksen suunnittelu, kaukokuljetusten reitinvalinta ja optimointi. Kartta- ja siihen yhdistettyjen kuviotiedostojen järjestelmään voidaan liittää monenlaisia valinta- ja laskentarutiineja sekä optimointi- ja simulointiohjelmia.

Paikkatietoon perustuvalla tieto- ja suunnittelujärjestelmällä voidaan saavuttaa sitä suuremmat taloudelliset ja biodiversiteettihyödyt mitä pidemmällä aikajänteellä toimitaan.

Suurimmat hyödyt paikkatietojärjestelmästä saa **metsänomistaja-puunkorjuuorganisaatio**, joka voi suunnitella alueensa hakkuut metsän pitkän aikavälin suunnittelulähtökohdista alkaen. Koko toiminnassa saadaan optimointihyötyä:

- metsäalueen puuntuotannon ohjauksessa
- tienrakennuksen ja hakkuiden keskityksessä
- pitkän- ja lyhyenajan työvoima- ja koneresurssien mitoituksessa
- hakkuu- ja kuljetusohjelmissa
- puutavaralajiohjauksessa
- kuljetusreittien valinnassa
- metsän maisema-arvojen ja monimuotoisuuden säilyttämisessä.

Järjestelmän tiedoilla voidaan valita ja kehittää organisaatiolle soveliaimmat työmenetelmät. Toimintojen automatisointi ja tietojen yhdistelymahdollisuudet tuottavat hyötyjä kartanpiirustuksen, kirjanpidon, laskutuksen ja monien muiden rutiinien suorituksessa. Paikkatietojärjestelmän tietopalvelujen avulla voidaan kaikkia toimintoja suunniteltaessa ottaa huomioon olemassa olevien suojelukohteiden sekä monimuotoisuuden säilyttämisen aiheuttamat alueisiin ja toimintaan liittyvät rajoitukset. Pitkän aikavälin suunnittelumenetelmillä voidaan puuntuotannon toimia ohjata aktiivisesti siten, että alueen luonnonarvoja kehitetään.

Puunkorjuuorganisaatio, jolla on tiedossaan **hakkuukuviot** muutamasta seuraavasta kuukaudesta **pariin vuoteen**, voi paikkatietojärjestelmällä saada optimointihyötyä :

- hakkuu- ja kuljetusohjelmien teossa
- olemassa olevien työvoima- ja koneresurssien mitoituksessa
- kuljetusreittien valinnassa.

Toimintojen automatisointihyödyt rutiinien suorituksessa ovat lähes yhtä suuret kuin metsänomistaja-puunkorjuuorganisaatiolla. Toimenpiteiden suunnittelussa voidaan ottaa huomioon olemassa olevien suojelukohteiden ja monimuotoisuuden säilyttämisen aiheuttamat rajoitukset.

Puunkorjuuorganisaatio, jolla on tiedossaan **muutaman viikon hakkuukuviot** ja puutavaravarastot, voi paikkatietojärjestelmällä saada jonkin verran optimointihyötyä työohjelmien teossa ja kuljetusreittien valinnassa. Rutiinotoimintojen automatisoinnilla saavutetaan hyötyjä. Toimenpiteiden toteutuksessa voidaan ottaa huomioon suojelukohteiden ja monimuotoisuuden säilyttämisen aiheuttamat rajoitukset.

Puunhankintaorganisaatio, joka hakkaa puuta muiden omistamista metsistä, hyötyy paikkatietojärjestelmässä yleisiin karttatietoihin perustuvista kuljetusreittien valinta- ja optimointimahdollisuuksista. Yleisistä lähteistä saatavaa tietoa voidaan hyödyntää suunnittelussa. Esimerkiksi karttojen topografia- ja maaperätiedoilla voidaan ennustaa korjuun ajoituksen lisäksi ennustaa ajanmenekkiä, kustannuksia. Ilmakuvien puulaji- ja metsikkötietojen avulla voidaan suunnata ostoja.

Paikkatietojärjestelmän käytöstä saatavat hyödyt riippuvat suunnitteluajankänteen pituuden ohella voimakkaasti siitä, kuinka tehokkaasti organisaation tiedot on järjestetty yhteensopivaksi tietojärjestelmäksi (Kokkola 1993, Niemeläinen ym. 1994). Erillinen halpakin paikkatietojärjestelmä voi olla tappiollinen, jos tiedot joudutaan syöttämään siihen erikseen ja jos tietoja voidaan hyödyntää vain joissain erityistehtävissä. Tehokkaasti keskitetyn tietojärjestelmän osana kalliskin paikkatietojärjestelmä voi puolustaa paikkaansa.

Pitkän aikavälin suurten suunnittelu- ja optimointijärjestelmien tuloksia ei voida aina käyttää täysipainoisesti hyväksi suoritusvaiheessa, koska metsänomistajien metsänkäyttötavoitteet ja puunkäyttäjien raaka-aineen laatu- ja toimitusvaatimukset muuttuvat yhä moninaisemmiksi. Vaatimukset muuttuvat myös entistä nopeammin esimerkiksi pyrittäessä hakkaamaan niitä puutavaralajeja ja -mittoja, joista valmistettuja tuotteita asiakkaat ovat jo tilanneet. Paikkatietoon perustuvat tietojärjestelmät sopivat hyvin tällaisenkin nopean päätöksenteon tukijärjestelmiksi, koska järjestelmissä on nopeat paikkaan sidotun tiedon haku- ja analysointimahdollisuudet sekä yleensä mahdollisuus vuorovaikutteiseen työskentelyyn. Järjestelmän avulla voidaan myös selvittää miten nopeat ratkaisut vaikuttavat pitkän aikavälin suunnitelmien toteutumiseen.

Devine ja Field (1986) luettelevat metsätalouden suunnittelussa käytettävän paikkatietojärjestelmän käytöstä saatavan seuraavat hyödyt:

Virheiden välttäminen: Rahallisten hyötyjen tarkka osoittaminen on vaikeaa, koska lähes kaikki paikkatiedon tehtävät voidaan hoitaa ihmistyövaltaisesti. Huonoilla tiedoilla tehtävien virheellisten päätösten ja suunnitelmien aiheuttamat kustannukset voidaan laskea paik-

katietojärjestelmän hyödyiksi, koska ne voitaisiin paikkatietojärjestelmän tuottamalla tarkalla tiedolla välttää.

Tiedon tehokkuus: Paikkatietojärjestelmän käytön hyöty on tiedon nopea saanti. Varsinkin kartat ja erilaiset paikkojen mukaan lajitellut tiedot voidaan paikkatiedosta tulostaa nopeammin kuin erillisjärjestelmistä. Keskitetyn tiedon tarjonnan ansiosta entistä useammat henkilöt voivat tehdä järkeviä päätöksiä. Usein käytettävien tietojen tuotanto voidaan automatisoida. Ajoneuvojen seuranta ja ohjausta satelliittipaikannuksen avulla ei voi ajatella ilman reaaliaikaista paikkatietojärjestelmää.

Tiedon analysointimahdollisuudet: Paikkatietojärjestelmällä on mahdollista yhdistellä tietoa tavalla, joka aikaisemmillä menetelmillä olisi ollut käytännössä mahdotonta. Suunnittelija voi ottaa samanaikaisesti huomioon entistä laajempia alueita ja käsitellä useampia niitä koskevia tietoja samanaikaisesti.

Täsmälliset toistot: Käsin tehty kartta-analyysi perustuu usein analyysoijan omiin valintoihin, jolloin tulokset muuttuvat toisen tehdessä saman analyysin. Paikkatietojärjestelmällä tehdyt analyysit ovat selkeästi sääntöpohjaisia, joten ne voidaan toistaa sellaisinaan tai niiden avulla voidaan muutamia tekijöitä kerrallaan muuttamalla laskea herkkyysanalyseja ratkaisuille.

Leggat ja Buckley (1991) näkevät luonnonvarojen suunnittelussa paikkatietojärjestelmien hyödyiksi pelkkään tietokantapohjaiseen tiedonhallintaan verrattuna:

- tiedon luotettavuuden paranemisen
- pienentyvän virheriskin
- parantuvat tiedon yhdistelymahdollisuudet
- laajenevat tiedon analysointi- ja tulostusmahdollisuudet
- käyttäjien yhteistyön lisääntymisen
- käyttäjien välisen tietojen vaihdon lisääntymisen
- työtyytyväisyyden lisääntymisen
- markkinointi- ja yhteiskuntasuhteiden luomismahdollisuuksien paranemisen
- tehtävien suoritusajojen nopeutumisen.

Paikkatietojärjestelmän hankinta ja käyttö on perusteltua, jos sen hankinnan ja käytön aiheuttamat lisäkustannukset ovat pienemmät kuin sen avulla saavutettavat säästöt nykyisten tehtävien hoidossa tai sen avulla saatavat lisätulot ja muut hyödyt. Hyötykustannusanalyysiin liittyy monia epävarmuustekijöitä, koska siinä ennakoituja hankinta- ja käyttökustannuksia verrataan parantuvasta ja nopeutuvasta päätöksenteosta sekä lisääntyvästä tiedosta saataviin hyötyihin. Kustannukset painottuvat järjestelmän käyttöönottoon, kuten seuraavassa luvussa esitetään, kun taas hyödyt jakautuvat järjestelmän koko käyttöiälle. Näin kustannusten ja hyötyjen vertailua vaikeuttaa myös niiden eriaikaisuus ja epävarmuus.

Edellä on jo kerrottu suhteellisten hyötyjen lisääntyvän suunnitteluajankänteen pidentyessä. Paikkatietojärjestelmän hyödyt ovat yleensä myös sitä suuremmat mitä monipuolisemmin järjestelmää käytetään (Tveitdal 1987, Reisinger 1989). Kylénin (1990) kyselyn viidestä norjalaisesta paikkatietojärjestelmän hankkineesta metsäyhtiöstä kaksi todella käytti paikkatietoa hyväkseen. Näillä yhtiöillä hyöty oli 1,6...2,5 kertaa kustannusten suuruinen. Paikkatietojärjestelmiä käytettäessä niille löydetään yleensä uusia käyttömahdollisuuksia, jolloin niiden tuottavuus ja kannattavuus paranevat (Sieg ja McCollum 1988, Reisinger 1989).

3.2 Kustannukset

Paikkatietojärjestelmän kustannukset vaihtelevat hyvin paljon järjestelmistä ja niiden laajuudesta sekä monipuolisuudesta riippuen. Laajat ja monipuoliset järjestelmät ovat sekä käyttö- että hankintakustannuksiltaan kalliimpia kuin suppeat. Suurilla järjestelmillä on mahdollista tehostaa monipuolisesti koko organisaation tiedonhallintaa, joten niillä saavutettavat hyödyt voivat olla moninkertaisia pienillä järjestelmillä saavutettaviin etuihin verrattuna.

Paikkatietojärjestelmän hankinnasta tulee tehdä hyöty-kustannusanalyysi. Devine ja Field (1986) jakavat kustannukset seuraavasti:

Hankintakustannukset: Ohjelmisto- ja laitekustannukset riippuvat järjestelmästä ja sen tehokkuudesta. Järjestelmä kannattaa ylimitoittaa suunniteltuun käyttöön nähden, koska käyttömuodot yleensä lisääntyvät alkuperäisistä suunnitelmista. Olemassa olevan tiedon helppo siirrettävyys hankittavaan järjestelmään saattaa tehdä kannattavaksi kalliinkin järjestelmän hankinnan, koska tietokantojen perustamiskustannukset ovat yleensä suuremmat kuin ohjelmistokustannukset. Järjestelmien laite- ja käyttöjärjestelmäriippuvuudet saattavat määrätä uusien laitteiden hankinnan sekä rajoittaa olemassa olevan laitteiston käyttömahdollisuuksia. Hajautetuissa järjestelmissä täytyy laitteiden välisen tiedonsiirron olla riittävän nopeaa vuorovaikutteiseen tiedon käsittelyyn. Laajat paikkatietojärjestelmät joudutaan yleensä räätälöimään kullekin käyttäjälle erikseen tehtävien, laitteiden ja käyttäjämäärien mukaan.

Henkilökustannukset: Pienenkin paikkatietojärjestelmän ylläpitäminen ja kehittäminen vaatii yleensä ainakin yhden päätoimisen henkilön. Paikkatiedostojen perustamisvaiheessa tarvitaan tilapäistä tai myöhemmin muihin tehtäviin koulutettavaa henkilökuntaa. Koko organisaatiota on koulutettava käyttämään paikkatietojärjestelmää tai sen tuotteita. Hajautetuissa järjestelmissä saatetaan tarvita toimipaikkakohtaisia tukihenkilöitä.

Digitointikustannukset: Sijaintitietokannan perustaminen järjestelmää käyttöönotettaessa on yleensä suurin yksittäinen kustannuserä. Pohjakarttamateriaalin voi usein hankkia numeerisessa muodossa, mutta kuviorajat ja muut organisaation omat tiedot on digitoitava.

Käsin tehtynä työ on rasittavaa ja tarkkuutta vaativaa, koska pinta-alasta tai sijainnista johdettavien tietojen tarkkuus- ja luotettavuus riippuu suurimmaksi osaksi digitoinnin tarkkuudesta. Rasterimuotoinen tieto, kuten satelliitti- ja ilmakuvat, voidaan joissain tapauksissa siirtää karttatiedoksi koneellisesti. Ominaisuustiedot ovat yleensä jo olemassa, eikä niiden siirto paikkatietojärjestelmän tietokantoihin tuota vaikeuksia.

Ylläpitokustannukset: Ylläpitoon kuuluvat henkilökuntakustannusten lisäksi ohjelmien lisenssimaksut ja uusien versioiden hankinta ja käyttöönotto. Laitteistot ja ohjelmistot vanhenevat nopeasti joko teknisesti tai toiminnallisesti. Toimipaikkaverkon kehityksen mukaan on järjestelmää ja tiedonsiirtoverkkoa muutettava. Suuri osa ylläpitäjien tehtävää on varmuuskopioiden ottamista ja erilaisten vakioraporttien tulostamista.

Käyttökustannukset: Paikkatiedon käytöstä syntyvät sähkö-, tarvike- ja tulostuskustannukset ovat yleensä suhteellisen pieni kuluerä. Järjestelmän kehittäminen paremmin tehtävään sopivaksi ja tehokkaammin toimivaksi on melkoinen kuluerä. Henkilökunnan koulutustarve ja -kustannukset ovat jatkuvia uusien työntekijöiden ja ohjelmien kehittymisen takia.

Paikkatietojärjestelmän käyttöönottoon ja käyttöön liittyy riskejä, joita voidaan yrittää ottaa huomioon kustannuksina. Paikkatietojärjestelmät ovat keskitettyjä, koneellisia ja monimutkaisia järjestelmiä, joiden toimintaa ja rakennetta käyttäjät eivät voi kokonaisuudessaan tuntea. Virheellisiä toimintoja ja tietoja ei välttämättä havaita, koska käyttäjä ei voi tietää tai edes laskea muilla keinoin mikä olisi minkäkin analyysin oikea ratkaisu. Kaikki tieto, oikea ja väärä, ovat samoissa tietokannoissa. Riskit keskittyvät, kun monia toimintoja ohjataan samoilla tiedoilla ja järjestelmillä. Keskitetystä tiedon säilyttämisestä johtuvat häviämisen- ja muuntumisriskit voidaan toisaalta myös helposti torjua varmuuskopioinneilla ja pelastusjärjestelmillä. Riskin muodostavat myös ohjelmistovalmistajan kehityksen ja tuen loppuminen sekä keskeisen henkilökunnan poistuminen.

Paikkatietojärjestelmän käyttöönottokustannukset ja niiden rakenne vaihtelevat hyvin paljon. Leggatin ja Buckleyn (1991) mukaan koneiden ja ohjelmien osuus on 20...30 % ja kartta- sekä ominaisuustiedostojen perustamisen osuus 70...80 % käyttöönottokustannuksista. Smithin ja Tomlinsonin (1992) mukaan Ottawan kaupungin paikkatietojärjestelmän käyttöönoton kokonaiskustannuksista 27 % oli henkilöstön koulutuskustannuksia, 24 % laitekustannuksia ja loput 49 % ohjelmisto-, digitointi-, tietokantojen perustus- ja käyttökustannuksia.

3.3 Järjestelmän käyttöönotto

Flag (1993) esittelee seitsenvaiheisen muistilistan paikkatietojärjestelmän käyttöönoton suunnittelun vaiheista organisaatiossa:

1 Tutkitaan, mitä palveluja paikkatietojärjestelmät tarjoavat, mitkä ovat niiden rajoitukset ja suorituskyky sekä kustannukset. Selvitetään, mitä vaikutuksia paikkatietojärjestelmän käyttöönotolla on organisaation toimintaan ja rakenteeseen. Arvioidaan käyttöönoton vaatimat taloudelliset, tieteelliset, lailliset ja henkiset muutokset.

2 Analysoidaan ja kuvataan organisaation nykyinen tietovirta, joka liittyy paikkatietokannalla korvattavaan toimintaan. Tutkitaan, voitaisiinko tiedon käsittelyä automatisoida ja nopeuttaa tai mitä uutta tietoa voitaisiin tuottaa.

3 Laaditaan paikkatietojärjestelmälle toiminnalliset tavoitteet ja siirtymisen toteutussuunnitelma. Tärkeätä on luoda organisaatio, joka vastaa paikkatietojärjestelmän toteutuksesta ja ylläpidosta. Tehdään koulutussuunnitelmat kaikelle henkilöstölle ja sidosryhmille, jotka joutuvat käyttämään työssään paikkatietojärjestelmää tai sen tuloksia.

4 Määritetään tekniset vaatimukset paikkatietojärjestelmän ohjelmille ja laitteille. Määritetään syöttö- ja tulostustietotyypit sekä tietoturvan tarve. Laaditaan totetusaikataulut ja rahoitussuunnitelmat.

5 Valitaan organisaation toiminnasta jokin tehtävä paikkatiedon käyttöönoton esihankkeeksi. Suunnitellaan sen toteutus yksityiskohtaisesti.

6 Suunnitellaan tietokantojen tarkat rakenteet: tietotaulut, hakemistorakenteet, tietosuhteet, koodaukset ja perusteet tietojen nimeämiselle. Kuvataan ja dokumentoidaan tiedon syöttö- ja tulostusrutiinit, järjestelmän ylläpito, päivitykset sekä tiedon varmistus ja arkistointi

7 Laaditaan paikkatietojärjestelmään käyttäjäkohtaiset sovellukset ja käyttöliittymät. Laitteiston toiminta kokeillaan, testataan kaikki toiminnot ja laaditaan tiedonsiirto- ja varmistusjärjestelmät. Dokumentoidaan järjestelmä.

Reisingerin (1989) kyselyn mukaan U.S.A:ssa 36 paikkatietoa käyttävästä metsäyhtiöstä 45 % oli vasta aloittanut paikkatietojärjestelmien käytön. Kyselyn mukaan vajaa kolmasosa yhtiöistä käytti paikkatietojärjestelmää monipuolisena johdon päätöksenteon apujärjestelmänä, jolloin sitä käytettiin useisiin seuraavista tehtävistä:

- korjuun suunnitteluun, aikataulutukseen ja budjetointiin sisältäen toimenpiteiden optimoinnin
- metsätalouden suunnitteluun
- pitkän aikavälin kasvun ja tuottavuuden ennustamiseen
- kuljetusten suunnitteluun ja optimointiin
- teiden suunnitteluun ja kunnossapitoon
- eläinten ja kasvien elinympäristövaatimusten huomioonottamiseen
- maanhankinnan, tehtaiden sijoituksen ja markkinatutkimusten suunnitteluun
- kiinteistöverotuksen ja kirjanpidon laskentaan ja
- korjuumenetelmien ja metsänkäsittelyn historian ylläpitämiseen.

Näissä vähintään 40 000 ha metsää omistavissa yhtiöissä oli keskimäärin 13 henkilöä järjestelmää ylläpitämässä (Reisinger 1989). Paikkatietokannan käyttöön sitoutuvan henkilökunnan kokonaismäärää ei pystytty arvioimaan, koska lähes koko henkilökunta käytti sitä tai sen tuloksia hyväkseen. Yhtiöitten käyttämät paikkatietojärjestelmät olivat Arc/Info- ja Intergraph-ohjelmistoja tai yhtiön itse rakentamia. Järjestelmien sydän oli yleensä minikoneessa, joista oli hajautettu käyttömahdollisuus työasema- tai mikrotietokoneilla. Kahdella kolmasosalla kyselyyn vastanneista yhtiöistä oli pieni mikrotietokoneelle asennettu paikkatietojärjestelmä, jota käytettiin vain karttojen tuottamiseen sekä inventointitietojen säilyttämiseen ja päivittämiseen (Reisinger 1989).

Paikkatietojärjestelmän käyttöönotto ja hyödyntäminen vaativat aikaa koulutuksen, järjestelmän asentamisen ja tietokantojen luomisen takia. Ennen järjestelmävalintaa on syytä selvittää mitkä järjestelmistä pystyvät lukemaan ominaisuustiedot organisaation jo käytössä olevista tietokannoista, jolloin säästytään tiedon uudelleen tallenukselta. Henkilöstön oppiminen tapahtuu aluksi hitaasti, mutta sitten oppimisesta saatava hyöty lisääntyy hyvin nopeasti (Leggat ja Buckley 1991). Reisingerin (1989) kyselyssä monipuolisimmin paikkatietoa hyväksikäyttävät metsäyhtiöt olivat käyttäneet järjestelmiä keskimäärin 10 vuotta. Leggatin ja Buckleyyn (1991) mukaan paikkatietojärjestelmällä tehdyn työn tuottavuus ylittää vanhojen menetelmien tuottavuuden vasta parin vuoden päästä järjestelmän käyttöönotosta. Sen jälkeen järjestelmällä tehdyn työn tuottavuus kohoaa huomattavasti vanhojen menetelmien tuottavuuden yläpuolelle.

3.4 Tarkkuus

Paikkatietojärjestelmät koostuvat monista toisiinsa sidotuista tietokannoista ja malleista. Käyttäjän tulisi tiedostaa kaikkien osien virhemahdollisuudet ja niiden vaikutus kokonaisuuteen. Esimerkiksi kuvion hakkuumääräestimaatin poikkeaminen todellisesta voi johtua kuvion puuston inventointivirheestä (ominaisuustietokanta), poistumaa laskevan mallin virheestä (mallikanta tai hakuohje) ja väärin digitoidun kuvion pinta-alavirheestä (sijaintitietokanta). Metsäkuvioiden rajaaminen puuston tai maaston ominaisuuksien perusteella sisältää rajattoman määrän vaihtoehtoja jo luokkarajojen jatkuvuuden ja sijaintirajojen määrittämistarkkuuden perusteella. Tällöin tiedon käyttäjä voi ymmärtää virheenä myös tilanteen, jossa paikkatiedossa olevan rajan merkitsijällä ja tiedon käyttäjällä on erilainen näkemys rajaa määrittävästä muutoksesta maastossa.

Paikkatietojärjestelmissä perustietojen ja mallien virheet kertautuvat paikkatiedon sijaintivirheissä, joten sijaintitiedon tarkkuuden merkitys on suurempi kuin aiemmin, jolloin karttoja käytettiin etupäässä toteutusohjeena. Esimerkiksi kuvioiden puuston tilavuustieto saadaan kertomalla pinta-alaa kohti laskettu tilavuus kuvion pinta-alalla. Sijainnin tarkka määrittäminen on myös tärkeä esimerkiksi satelliittipaikannusta käyttävien ajoneuvojen ohjauksessa. Virhemahdollisuudet lisääntyvät sitä enemmän mitä useampia ominaisuuskarttakerroksia analysoidaan samanaikaisesti. Ominaisuustietojen virheistä on tiedon käyttäjillä yleensä käsitys jo olemassa olevien menetelmien perusteella.

Varsinaisen paikkatiedon tarkkuuteen vaikuttavat kaikki toimet, joilla maastossa olevan kohteen sijainti siirretään paikkatietojärjestelmän sijaintitietokantaan. Bolstad ja Smith (1992) esittävät sijaintivirheen suuruutta tilastollisesti kuvaavan keskivirheen arvoksi

monikulmiomittauksella 3...60 cm, satelliittipaikannuksella vastaanottolaitteistosta riippuen 30 cm ... 45 m, topografisella kartalla (noin 1:20 000) 3...10 m, kartasta numeeriseen muotoon muutetulla kartalla 5...15 m, ilmavalokuvilla koosta ja korjauksista riippuen 3...100 m ja satelliittikuvilla 3...15 m.

Mattilan (1993) mukaan Landsat -TM kuvan oikaisussa käyttäjän koordinaatistoon syntyvän RMS-virheen suuruus on Suomen oloissa 0,5...1,0 kuvaelementtiä eli 15...30 m. Kun verrattiin Lapissa sijaitsevien koealojen sijaintia ilmakuvilla ja samaan koordinaatistoon oikaistulla Landsat TM-kuvalla, RMS-virhe oli 62 m (Mattila 1992).

Yleisimmin sijaintitieto joudutaan digitoimaan ihmistyövaltaisesti joltakin informaatiopohjalta, kuten kartoilta ja ilmakuvilta, joiden oikeellisuus sekä esimerkiksi kosteuden takia tapahtunut mittakaavan tai muodon muutos sekä kartan kiinnityksen tai digitointipöydän epätarkkuudet aiheuttavat virhettä (Burrough 1987). Digitoinnin pohjana käytettyjen perspektiivikorjattujen ilmavalokuvien sijaintivirhe voi rinteessä olla kolmasosan tasaista suurempi. Lisäksi mittakaavan pienentyessä virhe kasvaa rinteessä enemmän kuin tasaisella (Bolstad ja Smith 1992).

Virhettä aiheutuu kartan juovan keskipisteen määrittelyssä ja käden epätäydellisestä kyvystä seurata linjaa eli digitoijan taidoista (Keefer ym. 1991). Digitointi voidaan tehdä pisteittäin tai jatkuvana rekisteröintinä. Digitoidun käyrän poikkeaman suuruutta pohjakäyrästä kuvataan pistekohtaisella poikkeamalla tai vyöllä, jonka sisään virhe mahtuu. Levennettäessä sallittua vyötä käyrän pituus kasvaa eli virhe suurenee. Käyrän sijainti- ja pituusvirheet aiheuttavat siitä muodostetun kuvion pinta-alan virhettä. Virhe on sitä suurempi mitä pienempi kuvio on. Pinta-alan virhe on pienempi kuin pituuden virhe. Normaalisissa kartalla numeeristamisessa pinta-alavirheet ovat 5...15 % (Bolstad ja Smith 1992).

Paikkatietojärjestelmän tietomuoto ratkaisee soveltuvuuden erilaisiin tehtäviin ja vaikuttaa sijaintitiedon tarkkuuteen (Johnson ym. 1988). Rasterikoko määrää suoraan rasterijärjestelmien suurimman tarkkuuden. Ilmakuvilta tai kartoilta skannattua sekä satelliittien valmista numeerista rasterimuotoista sijainti/ominaisuus-tietoa voidaan siirtää automaattisesti rasteripohjaisiin sijaintitietokantoihin, jolloin inhimilliset digitointivirheet jäävät pois, mutta tilalle voi tulla muunnosohjelmien mallien virheitä. Vektorijärjestelmiä käytettäessä virheitä aiheutuu digitoinnissa, mutta vektoreiden avulla voidaan laskea tarkasti sijainteja ja pituuksia. Vektorikartan mittakaavaa voidaan helposti muuttaa tarkkuuden juuri kärsimättä. Rasterikartat sopivat taas hyvin mm. monikerroksisiin ominaisuustietovertailuihin, pinta-alamuutosten seuraamiseen ja naapuruustietojen vertaamiseen. Hybridijärjestelmissä voidaan käyttää kuhunkin tehtävään sitä tietomallia, joka parhaimmin ja tarkimmin sopii tehtävään.

Erilaisten virheiden kokonaisvaikutuksen selvittämiseksi olisi hyvä laatia maastoon tarkka kiintopisteverkko, jonka avulla numeerinen sijaintitieto oikaistaan (Bolstad ja Smith 1992). Tämän merkitys korostuu siirryttäessä rajattomiin karttakoordinaatistoihin, joissa kerrallaan käsiteltävien karttalehtien rajat on luotu älykkäiksi siten, että uusien lehtien vastaavat rajakuviot tunnistavat vanhojen lehtien liittymäkohdan kuviot, jolloin esimerkiksi tiet voivat jatkua lehdeltä toiselle (McGregor 1988).

4 Valmiit numeeriset aineistot

4.1 Paikkatietojen yhteiskäyttö

Paikkatietojärjestelmän tarvitsemista työpanoksista ja kustannuksista muodostavat karttapohjan ja perustiedostojen luominen suuren osan. Käyttämällä valmiita kartta- ja ominaisuusaineistoja voidaan järjestelmän luomista nopeuttaa, eikä sitä varten tarvitse palkata lisähenkilöstöä. Valmiin aineiston soveltuvuus riippuu tietotarpeesta ja ohjelmistoista.

Amerikkalaisen tutkimuksen mukaan 28 % paikkatiedon käyttäjäorganisaatioista hankkii valmiin valmiin sijaintitietoaineiston. Reilu kolmasosa organisaatioista muokasi kokonaan itse tarvitsemansa sijaintitiedon. Loput käyttivät osaksi tai kokonaan ulkopuolista muunnospalvelua (Many ... 1994).

Maa- ja metsätalousministeriö asetti 1993 valtion organisaatioiden edustajista paikkatietojen yhteiskäytön yhteistyöryhmän paikkatietojen yhteiskäytön edistäjäksi sekä ohjaamaan ja valmistelemaan paikkatiedon yhteiskäytön järjestelyä. Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen tehtävänä on paikkatietojen yhteiskäytön standardien ja soveltamisohjeiden kehittäminen, tietopalvelujen käyttöönoton testaus ja hakemistojärjestelmän luominen.

Paikkatietokeskus pitää yllä paikkatietojen yhteiskäytön perusteita, standardeja ja paikkatietoaineistoja käsittelevän esityksen kansainvälisen Internet -tietoverkon osoitteessa *ptk@mmh.fi*. (Paikkatietojen ... 1994). Seuraavissa luvuissa (4.2 ... 4.6) esitellään puunkorjuun ja kuljetuksen kannalta merkittäviä paikkatietoaineistoja.

4.2 Maasto- ja puustoaineistot

Maanmittauslaitokselta, Metsäntutkimuslaitokselta ja Metsäkeskus Tapiolta on saatavissa seuraavat numeeriset maasto- ja puustoaineistot (Numeeriset ... 1993, Paikkatietojen ... 1994):

Mittakaava 1:5 000 ... 1:10 000

Maastotietokanta: Maanmittauslaitos tuottaa rasteri- ja vektorimuodossa maastotietokannan, jossa on tietoja maastosta (pellot, vesistöt, rantaviivat yms.), liikenneverkoista, rakennuksista, korkeussuhteista, johtoyhteyksistä, erityiskäyttöalueista, suojelukohteista, hallintorajoista ja nimistöstä. Maanmittauslaitoksen julkaisu nro 71 sisältää kuvaukset 119 tietokannan kohdeluokasta. Vuosittain ajantasaistetaan tiestö- ja johtotiedot. Muu aineisto päivitetään viiden vuoden välein. Tavoitteena on koko maan kattavuus vuoteen 2000 mennessä.

Mittakaava 1:20 000

Maastokartta: Maanmittauslaitos tuottaa nykyisen peruskartan tiedot vektorivärikarttana. Tarkkuus on 2 m maastossa. Aineisto tarkistetaan karttalehdittäin kattavasti 5 ... 10 vuoden välein. Kattavuus on toistaiseksi hyvin suppea. Edellisen päätiedot tuotetaan myös musta-valkoisena rasterina.

Peruskartta: Paperisesta peruskartasta on saatavissa numeerisena sekä rasteri- että vektoriaineistona pohja-aineisto (lähes koko maa), pellot (Etelä-Suomi), vedet (koko maa). Vektorointi on tehty rasteriaineistosta. Aineiston toimittaa Maanmittauslaitos.

PerusCD: Koko maan peruskartasto on digitoitu rasterimuotoon, joka toimitetaan lääneittäin 13 CD-ROM -levykkeellä. Hakua helpottavat pienimittakaavaiset yleissilmäys- ja kunnanrajakartat. Aineiston toimittaa Maanmittauslaitos.

Mittakaava 1:50 000

Digitaalinen karttapohja: Maanmittauslaitoksen tuottama kartta on koottu satelliittikuvis- ta tulkituista maankäyttö- ja puustoluokituksista ja digitoiduista karttaelementeistä. Alue-elementit ovat rasterimuodossa (25 * 25 m solukoko maastossa). Tiet, rautatiet, nimistö, alue- ja hallintorajat ovat vektorimuodossa. Karttapohja kattaa koko maan.

Topograafinen kartta: Maanmittauslaitos on yleistänyt maastotietokannasta ja peruskartta-aineistosta numeeriset rasteri- ja vektorikartat. Tarkoitus on päivittää perustiedot viiden vuoden välein. Kattavuus on toistaiseksi hyvin alueittainen.

Maankäyttö- ja puustoluokitus: Rasteriaineisto käsittää satelliittikuvilta tulkitut 50 maankäyttö- ja puustoluokkaa. Solukoko maastossa on 25 * 25m. Luokasta riippuen tutkinnan luotettavuus on 65 ... 100 %. Aineisto päivitetään vähintään neljän vuoden välein. Metsäinformaatio tuotetaan Metsäntutkimuslaitoksen Valtakunnan metsien inventointituloksen avulla. Aineiston toimittaa Maanmittauslaitos.

Puustotiedot

Metsäntutkimuslaitos toimittaa Valtakunnan metsien inventointiin perustuva metsävarakartastoa. Puumäärää ja metsikän pääpuulajia kuvaavat satelliittikuvatulkinnat ovat eri teemakarttojen tiedoista luotettavimmat. Aineisto puutteellinen eteläisimmän ja pohjoisimman Suomen osalta. Metsäntutkimuslaitos tuottaa numeerisena myös valtakunnan metsien 7.-8. inventoinnin maastossa mitatut koeala- ja puutiedot. 7. inventoinnin tiedot kattavat koko maan.

Metsälautakunnat ylläpitävät metsätaloussunnitelmiin perustuvaa numeerista metsikötietovarastoa yksityismetsistä. Tiedot käsittävät maapohjakuvauksen, hakkuu- ja toimenpide-ehdotukset sekä puuston määrää ja laatua koskevia tietoja. Kuviotietojen keskivirhe on $\pm 10\%$. Aineiston kattavuus on satunnaista.

4.3 Korkeustiedot

Maanmittauslaitoksella on seuraavat numeeriset maaston korkeustiedot (Ainola 1993, Numeeriset... 1993, Paikkatietojen ... 1994):

Peruskartan korkeuskäyrät (1:10 000 / 1:20 000) saa sekä vektorin että rasterimuodossa. Aineisto on skannattu peruskartan paino-origi-

naaleista koko maan alueelta. Korkeuskäyrien väli on 5 m, jonka lisäksi osassa aineistoa on apukäyrät 2,5 m välein. Korkeuskäyrien jatkuvuus karttalehdeltä toiselle on tarkistettu. Pelkän korkeuskäyräaineiston tilantarve rasteriaineistossa on noin 12,5 Mt peruskarttalehden kokoiselta alueelta.

Korkeusmalli 25 (1:20 000): Lähtötietoina ovat peruskartan korkeuskäyrät vektorimuodossa sekä vesialueiden rantaviivasto, joista on kolmioverkkointerpoloinnilla laskettu 25 * 25 m ruutumalli. Valmiina on koko Suomen alue.

Korkeusmalli 50 (1:20 000): Korkeusmallin 25 kanssa samoista lähtötiedoista on tehty aineisto, jonka 50 * 50 m ruutujen korkeusarvo ilmoitetaan yhden metrin tarkkuudella kokonaislukuna. Aineisto toimitetaan Rodika-formaatissa formaatin 12,8 * 12,8 km perusalueittain. Aineisto kattaa koko maan.

GT-kartan korkeusmalli (1:200 000): Maanmittauslaitos laski vuonna 1975 GT-kartan korkeuskäyrien perusteella ruutukooltaan 200 * 200 m rasterikorkeusmalliaineiston. Koko maan käsittävää aineistoa toimitetaan useissa tietomuodoissa.

4.4 Kuljetusväylät

Suomen Tiestö on Karttakeskuksen tuottama vektorimuotoinen autolla ajokelpoisten teiden paikkatietokanta koko valtakunnasta. Haja-asutusalueiden osalta se perustuu oikaistuihin 1:200 000 GT-karttatietoihin ja taajamien osalta kaupunkien ja kuntien 1:4000 ... 1:10 000 mittakaavaisiin virastokarttoihin. Tiestön keskiviivan sijaintitarkkuuden keskivirhe haja-asutusalueilla on 50 ... 100 m ja taajamissa 5 ... 10 m. Aineiston sijaintitarkkuus paranee numeerisen peruskartan valmistuttua, jolloin sijaintitarkkuuden keskivirhe on parhaimmillaan 2 m maastossa. (Suomen tiestö ...)

Tietokannassa on tien GT-kartan teknisen 10-luokkaisen luokituksen mukainen tieluokka, mahdollinen tien nimi, tien valmiusaste, tien vertikaalisuhde (pinnalla, sillalla tai tunnelissa), esteet (esim. puomit) ja maaliikennealueet (esim. levähdyspaikat). Taajamien kadut on luokiteltu neljään luokkaan. Suomen Tiestössä on osoitteet, jotka on luettu siihen joko kaupunkien rakennus- ja huoneistorekistereistä tai tallennettu opastai muista suurimittakaavaisista kartoista. Osoitteet sijoittuvat oikein katulinjaan nähdessä risteysvälin tarkkuudella. (Paikkatietojen ... 1994, Suomen tiestö ...)

Taajamien tiet liitetään haja-asutusalueiden teihin yhteisten liittospisteiden avulla, joten tiet jatkuvat katkoitta rajapintojen yli. Tämä mahdollistaa aineiston käytön verkkoanalyysissä. Aineistosta on liittymä Tielaitoksen Tierekisteriin. Esimerkiksi Enso-Gutzeit Oy ja Yhtyneet Paperitehtaat Oy käyttävät aineistoa puutavaran kuljetusten ohjauksessa ja optimoinnissa. (Suomen tiestö ...)

Maanmittauslaitos on tuottamassa mittakaavassa 1:20 000 peruskartan tietosisältöisen Tiestön palvelutietokannan, josta ollaan luomassa yhteys Tielaitoksen Tierekisteriin. Osa aineistosta on tehty peruskartta-aineistosta digitoimalla ja muokkaamalla, jolloin

sijaintitarkkuus on 20 m maastossa. Jatkossa aineiston tarkkuus tulee olemaan 2 m maastossa. Tiet on kuvattu vektoreina, jotka on liitetty verkoksi, joten aineistoa voidaan käyttää verkkoanalyysissä. Tietietojen ominaisia ovat tienumerot, tieluokka, tien nimi, päällystetieto, valmiusaste, vertikaalisuhde, kulkukorkeusrajoite, siltojen ja lauttojen numerot sekä yksisuuntaisuus. Tulevaisuudessa viivamaisille kohteille saadaan myös korkeustieto. Valmista aineistoa päivitetään vuoden välein. Aineistoa on saatavissa koko maasta. (Tiestön ... 1994)

Tielaitoksen numeerinen Tierekisteri sisältää teiden tunniste- ja sijaintitietojen lisäksi ominaisuustietoja, joita ovat esimerkiksi tien päällyste ja sen kunto, leveys, mutkaisuus, mäkisyys, valaistus, siltojen kantavuus, alikulkujen korkeus, nopeusrajoitukset ja liikennemäärät. Sora- ja öljysorasteista tehdyt kantavuus-, kerrospaksuus- ja painumamittaukset ilmoitetaan tieverkon solmupisteiden ominaisuustietoina. Rekisterissä on myös tiedot keskimääräisen kelirikkokauden painorajoituksesta ja sen kestosta. Teiden sijainti perustuu vain verkon solmupisteisiin, joten sitä voidaan käyttää verkkoanalyysissä, muttei tarkkaan paikannukseen. Aineisto on käytössä muutamissa kuljetusten suunnittelu- ja optimointijärjestelmissä. (Paikkatietojen ... 1994, Road ... 1993)

Karttakeskuksen numeeristettu Tiestön yleiskartta sisältää vektorimuodossa vesistöt, tiestön, rautatiet, korkeusvyöhykkeet ja nimistön mittakaavassa 1:1 600 000. Kartan saa mikrotietokoneympäristöön MapInfo -formaattissa. Maanmittauslaitos toimittaa peruskartan pienennöksestä vektoroidun koko Suomen rautatieverkon mittakaavassa 1:50 000. Tiestön yleiskarttaa ja rautatieverkkokarttaa voidaan käyttää verkkoanalyysissä. Merenkulkuhallituksesta saa Suomenlahden ja Saimaan merikartat numeerisena mittakaavassa 1:50 000. Merialueiden ja sisävesien turvalaiterekisteri on saatavissa koko maasta numeerisena. Vastaavien väylien osalta numeeristaminen on kesken. (Paikkatietojen ... 1994)

4.5 Maaperäaineistot

Geologisella tutkimuskeskuksella on paikkatietoaineistot useissa mittakaavoissa maaperän laadusta. 1:1 000 000 mittakaavainen kartta on julkaistu vuonna 1993 yhteistyössä Venäjän federaation viranomaisten kanssa. Aineisto käsittää maaperän muodostumat kuvioina, vesistöt ja nimistöä. 1:400 000 ja 1:100 000 kartat on numeeristettu paperikartoista. Pienempimittakaavainen aineisto käsittää Pori - Savonlinna linjan pohjoispuolisen alueen. Suurempimittakaavainen kartta-aineisto kattaa linjan eteläpuolisen alueen sekä satunnaisesti muita alueita. Rasterimuotoisen aineiston solukoot ovat maastossa 200 * 200 ja 50 * 50 metriä. (Oranne 1993, Maaperäkartat ... 1994b, Paikkatietojen ... 1994)

Suurimittakaavaiset (1:50 000 ja 1:20 000) numeerisissa maaperäkartoissa on enemmän maalajeja kuin edellä mainituissa kartoissa. Kartassa kuvataan 1 metrin syvyydessä oleva maalaji ja mahdollinen poikkeava pintamaalaji. Pohjamaakuvioiden vähimmäiskoko on muutamia poikkeuksin 2 ha ja pintamaakuvioiden 4 ha. Pohja- ja pintamaan vaihtumissyvyys määritetään 0,1 m tarkkuudella. Erikseen merkitään pohjamaan päällä oleva yleensä alle 0,4 m paksuinen tai vaikeasti rajattava ja paksuudeltaan vaihteleva kerros. Karttaan on merkitty erikseen myös yhtä useammat pinta- maakerrokset sekä muutamia muita eritystapauksia. Kallion ja maalajin lisäksi kartalla on hydrogeologiset tiedot, eli lähteet ja pohjavesitiedot. Geologiset lisätiedot kertovat

vanhoista rantaviivoista, moreenimuotojen suunnista sekä erilaisista kairaus- ja koekai-
vutuloksista. (Maaperän ... 1994)

Vektorimuotoiset kartat on tehty Maanmittauslaitoksen pohjakartta-aineiston päälle.
1:20 000 kartoista voidaan tulostaa monivärinen (tyyppi A) tai yksivärinen rajaviivoilla ja
tekstiselityksellä varustettu kartta (tyyppi B). Valmis numeerinen aineisto käsittää
satunnaisia alueita lähinnä Etelä-Suomessa. 1:50 000 kartta on monivärinen (tyyppi C)
ja sitä on saatavissa hajanaisesti 68. leveyspiirin ympäristöstä. (Oranne 1993,
Maaperäkartat ... 1994a, Maaperän ... 1994, Paikkatietojen ... 1994)

Geologian tutkimuskeskus tuottaa koko maan kattavaa numeerista maa-ainesrekisteriä,
johon on merkitty murskauskivi-, sora-, moreeni-, hiekka- ja saviesiintymät rajoineen ja
likimääräisine keskipisteineen. Maanmittauslaitoksen topografikartan suomaski on
saatavissa numeerisena mittakaavassa 1:100 000. Sen solukoko on 25 * 25 m maas-
tossa. (Paikkatietojen ... 1994)

4.6 Muut aineistot

Ympäristötietokeskus numeeristaa luonnonsuojelualueiden ja -ohjelmien rajat ja si-
jainnin. Ominaisuustietoja ovat alueen tunnistetiedot, suojelualueen ja -ohjelmien
tyypit, suojelupäätöstiedot, alueen kuvaus, eliömaakunnat, luonnonmaantieteelliset
alueet, kuuluminen Metsähallituksen alueisiin ja vesistöalueisiin. Pohjavesialueiden
sijaintitietokantaa ollaan siirtämässä numeeriseen muotoon. Seutukaavat aiotaan tule-
vaisuudessa tallettaa numeeriseen muotoon. (Sucksdorf 1994)

Ympäristötietokeskuksella on uhanalaisten lajien rekisteri, joka sisältää myös kohteiden
tai alueiden sijaintitiedon. Kohteista osan koordinaatit on saatavilla myös numeerises-
sa muodossa. Rekisteristä voidaan hakea tietoja läänin, kunnan, vesi- ja ympäristöpii-
rin, seutukaavaliiton, metsälautakunnan, luonnontieteellisen maakunnan tai -alueen,
suojeluryhmän, alueen luonteen ja suolelupäätösten mukaan. Lajit on luokiteltu Rubin
koodin mukaan. Kovakuoriaisten ja perhosten osalta tallennus on pisimmällä.
(Niininen 1994)

Seutu-, alue-, yleis-, rakennus- ja asemakaavat rajoittavat maankäyttöä ja osin myös
puutavaran hakkuuta sekä kuljetusväylien käyttöä ja rakennusta. Maanmittaustoimis-
toista saa kiinteistörekisteristä kutakin kiinteistöä koskevat kaavatiedot. Toimivaa jär-
jestelmää ei toistaiseksi olla valtakunnan mittakaavassa numeeristamassa. Seutu- ja
aluekaavoja on satunnaisesti numeeristettu. Muutamissa kunnissa, kuten Tuusulassa,
on numeeriseen kiinteistörekisterikarttaan tehty kullekin kaavalle kartta- ja ominaisuus-
tietokannat. Kaavat voidaan siten piirtää kartalle ja kiinteistön tietoja haettaessa
saadaan ilmoitus kaavarajoituksista. (Kyhälä 1994). Monista hallinnollisista ja omis-
tusoikeuteen liittyvistä rajoista on saatavissa numeerisia aineistoja (Paikkatietojen ...
1994)

5 Paikkatietosovelluksia

5.1 Metsätietovarasto

Luvussa 5 esitellään puunkorjuuseen ja korjuukohteiden valintaan liittyviä paikkatietosovelluksia. Esittelyt on jaettu pääaihepiirin mukaisten otsikoiden alle, mutta jako ei ole yksiselitteinen, koska monet sovellukset sopisivat useidenkin otsikoiden alle. Kunkin aihepiirin aluksi kerrotaan yleisesti paikkatiedon käyttömahdollisuuksista ja sen jälkeen esitellään kirjallisuudessa esiintyviä sovelluksia.

Paikkatietojärjestelmät sopivat jo perusmuodossaan kuvioittaisten puusto- ja toimenpidetietojen tallettamiseen, toimenpide- tai olotietokarttojen tuottamiseen sekä em. tietojen päivittämiseen. Paikkatietojärjestelmiä käytetään jo pelkästään teemakarttojen koneelliseen tuottamiseen. Paikkatietojärjestelmien perustoimintojen haku- ja yhdistelymahdollisuudet tarjoavat peremmat mahdollisuudet tutustua metsäalueen ominaisuuksiin kuin perinteiset haut kuviolistoista. Hyvän yleisesityksen paikkatietokantojen peruskäytöstä antaa esimerkiksi Hermansen (1991).

Suomalaisiin metsätalouden suunnittelujärjestelmiin (TASO, MONSU, MELA) on jo yli kymmenen vuoden ajan liitetty kartanpiirtojärjestelmiä (NALLE, TOPOS), joita on käytetty metsäalueen kuviointiin ja pinta-alojen laskentaan. Viimeisen kymmenen vuoden aikana suuret metsäorganisaatiot ovat tallettaneet metsävaratietonsa kuviotietokantoihin, joita on viime vuosina kehitetty kohti paikkatietojärjestelmiä. (Päivinen ym. 1992). Ruotsissa Domänverket ja suurimmat metsäyritykset suunnittelivat paikkatietojärjestelmien käyttöä omien metsien teemakarttojen tuottamiseen ja kuviotietojen varastointiin (Fridman ja Gunnarsson 1989, Korhonen ym. 1992).

Metsähallituksen PATI-järjestelmässä on omien metsien kuviotietojen lisäksi myös hallinnolliset maanomistukseen ja rakennuksiin liittyvät tiedot. PATI:n osajärjestelmää SUTI:a käytetään metsänhoito- ja korjuutoimenpiteiden suunnitteluun, ohjaukseen ja töiden toteutusten rekisteröintiin. (Saatsi 1992).

Metsäntutkimuslaitoksen omien metsien hallintaa ja käyttöä varten on laadittu operatiivinen tietojärjestelmä, jonka paikkaansidotun tiedon säilytys- ja analysointiosa on Arc/Info -paikkatietojärjestelmäpohjainen GISMELA/TUTGIS -sovellus (Nuutinen 1994, Paananen ja Nuutinen 1993 sekä Paananen 1994). Kuvioittaisia metsävaratietoja käytetään metsäsuunnittelun perustana ja metsien tilan seurantaan. Järjestelmällä hallitaan myös metsiin sijoitettuja kokeita.

Enso-Gutzeit Oy käyttää Metsätieto-järjestelmää, jonka paikkatietojärjestelmä G-Kit on Tekla Oy:n toteuttama. Sijaintitiedon perustana ovat Maanmittauslaitoksen paikkatietoaineistot (Hokkanen 1992). Enson omat metsät on kuvioitu matriisipohjakartalle vektoritietoina. MELA-metsäsimulaattorilla lasketaan hakkuuehdotukset, joista voidaan poiketa puunkäyttötarpeen vaihtelujen takia. Omien metsien alueella suunnittelija voi etsiä sopivia leimikoita puustotietojen perusteella. Ostojen suuntaamisessa käytetään apuna satelliittikuvia ja valtakunnan metsien inventointitietoja.

Hakkuiden ohjausta varten kerätään Metsätieto-järjestelmään uusissa inventoinneissa kuvioilta metsikkö- ja puutietojen lisäksi maalaji- ja korjuukelpoisuustieto monimuuttujaluokituksilla (Hokkanen 1992). Järjestelmässä olevia kuvioittaisia keskikorkeustietoja pyritään tulevaisuudessa hyödyntämään yhdessä maaperätietojen kanssa korjuumene-

telmien ja -ajankohtien valinnassa sekä metsänuudistamisen onnistumisen seurannassa. Järjestelmän kuviolle voidaan tallentaa korjuun suuntaamiseen vaikuttavia rajoituksia kuten suojelualueet, kaavat, koealat, vesistöjen rantavyöhykkeet ja soidinalueet. Kuvioille voidaan tallettaa myös sanallista tietoa. Kuviotulostuksiin voidaan liittää kuvion teiden ja rantaviivojen pituus. Kuljetusten ohjausjärjestelmä, joka esitellään luvussa 5.5, lukee alkuvarantotiedot paikkatietojärjestelmästä.

Yleisten puusto- ja kasvupaikkatietojen lisäksi paikkatietojärjestelmiin on talletettu organisaatiosta riippuen myös muita korjuun suunnittelussa tarvittavia tunnuksia, kuten maalaji ja korjuukelpoisuus (Nalli ja Hyttinen 1992). Domänverket aikoo kerätä kuvioista maalajin lisäksi myös kallioperän laatutiedon, jota voidaan käyttää ojituksen ja tienrakennuksen suunnittelussa (Fridman ja Gunnarsson 1989). Hämäläisen ym. (1990) esittämässä järjestelmässä määritetään puustotietojen keruun yhteydessä maastotiedot, joiden perusteella valitaan hakkuualan uudistamismenetelmä.

British Kolumbian Metsäministeriö on yhteistyössä kanadalaisen metsäteknologian tutkimuslaitos FERIC:in kanssa laatinut paikkatietojärjestelmän valtionmetsien monikäytön suunnittelua varten (Integrated Resource Planning = IRP). Metsäalueita käsitellään kolmena eri tasona niiden suuruuden takia. Tarkin taso on kuvio, joka vastaa yhtä hakkuutyömaata. Karttatyökaluja ovat Terrasoft, Pamap ja PC Arc/Info-ohjelmat. Kuviotietokannat ovat dBase-yhteensopivia. Puunkorjuun suunnittelua varten on metsätiedot sisältävän IRP:n päälle rakennettu Forest Resource Planning-Harvest Module (FRP) -ohjelmisto (MacDonald 1993).

FRP:n avulla suunnittelija valikoi antamiensa ehtojen perusteella käsiteltäviä kuvioita. Järjestelmässä ovat mukana mm. rauhoitukset, metsien omistus, vesistöalueet ja harmaakarhujen asuinalueet, joita voidaan käyttää rajoituksina suunnittelussa. Hakattavat kuviot valittuaan suunnittelija valitsee korjuumenetelmän ja syöttää menetelmän peruskustannukset ja työoloista riippuvat korjaustekijät. Ohjelma laskee työkohteiden puustotilavuudet, kantohinta-arviot, korjuukustannukset ja työajanmenekkiarvion. Autokuljetuskustannukset lasketaan autokuormien määrän ja ajokerta-ajan perusteella. FRP-ohjelmistoon ei kuulu optimointia tai automaattista hakkuuohjelmien laadintaa.

Uuden Seelannin Metsäministeriö (MOF) laati TERRASOFT-paikkatietojärjestelmällä istutusalue-suunnitelmia 22 000 hehtaarin alueelle Eteläsaarelle (Dunningham ja Thompson 1989). Korkeusmalli mahdollistaa perspektiivikuvat ja näkyvyysaluekartat istutusehdotusten tarkasteluun.

5.2 Hakkuujärjestyksen määrittäminen

Perinteisesti metsätalouden suunnittelussa kullekin kuviolle tehdään maastossa toimenpide-ehdotus ja kiireellisyys-suositus puuston biologisen kehitysvaiheen perusteella. Hakkuusuunnitelmat on koostettu kiireellisimmistä hakkuuehdotuksista. Paikkatietojärjestelmien avulla voidaan havainnollistaa toimenpide-ehdotuksia ja muokata ratkaisuja. Kuvioiden puuston kehitystä erilaisten käsittelytoimien ja -aikataulujen seurauksena on kuvattu myös puukohtaisiin malleihin perustuvilla simuloinneilla. Näin saaduista vaihtoehdoista on metsätaloussuunnitelmassa valittu lineaarioptimoinilla sopiva hakkuumäärätaso, joka täytyy sijoittaa kuvioille hakkuuohjelmiksi. Erilaisilla parametrisilla malleilla voidaan etsiä kuvioiden hakkuujärjestys siten, että valinnassa

voidaan ottaa huomioon joitakin sijaintiin tai naapuruussuhteeseen liittyviä tekijöitä. Sijaintitiedot voidaan noutaa paikkatietojärjestelmistä (Kent ym. 1991).

Numeropohjaisilla suunnittelumalleilla ei kuitenkaan voida ratkaista useita sijaintiin liittyviä rajoituksia ilman, että joudutaan kohtuuttoman monimutkaisiin malleihin (esim. Nelson ym.1991). Paikkatietojärjestelmiin liitetyillä optimointiohjelmilla voidaan tehdä kuviosidonnaisia optimaalisia tai hyviä hakkuujärjestysehdotuksia, joissa otetaan huomioon esimerkiksi suojeluvyöhykkeet ja käsittelyrajoitukset. Suunnittelujärjestelmän älykkäillä ominaisuuksilla voidaan ottaa huomioon erilaisia ei-numeerisia rajoituksia tehtävän ratkaisussa.

Optimointilaskelmissa metsiköiden kehitystä ja rajoitteita pidetään varmoina, mikä on kuitenkin hyvin harvinaista luonnossa. Epävarmuutta päätöksenteossa on yritetty mallittaa mm. sumealla logiikalla. Yhä useammin metsänkäsittelypäätökset tehdään tilanteissa, joissa on otettava huomioon useita keskenään ristiriitaisiakin tavoitteita. Hakkuusuunnitelmien teossa voidaan tällöin käyttää monitavoitemalleja.

Metsätalouden pitkän aikavälin suunnittelussa on Suomessa käytetty MELA-mallia, jossa optimointialgoritmi valitsee metsikkösimulaattorin käsittelysäännösten perusteella kasvattamista käsittelyvaihtoehdoista edullisimmat (Siitonen 1983, Kilkki 1985). Siitonen (1993) on kerännyt kokemukset mallien käytöstä metsätaloudessa. Yksityismetsätalouden ohjauksen TASO-järjestelmässä käytetään MELA:n kasvumallia ja simulaattoria, mutta hakkuuehdotukset tehdään maastotöiden perusteella. Metsäyhtiöt käyttävät sekä maastoehdotuksia että simulointia hakkuusuunnitelmien koostamisessa (Nalli ja Hyttinen 1992).

Lineaarimallit

U.S.A:n valtion metsäalueiden kestävä hakkuumäärä on vuodesta 1980 alkaen määritetty FORPLAN -lineaariohjelmistolla (Johnson 1987). Lineaariohjelmointi on ollut sitä ennenkin yleisin metsäalueen hakkuumäärien ja -järjestyksen optimointimenetelmä (Iverson ja Alston 1987). Tämän metsän kiertoajan tai sitä pitemmän hakkuumäärä ja -jaksotusoptimin jakaminen todellisille kuvioille ja toiminnallisille lyhyille hakkuuajanjaksoille on ollut vaikeaa, eikä optimihakkuumäärää koko kiertoajalle ole saavutettu.

Merzenich (1991) esittää vuorovaikutteisen järjestelmän, jota käyttäen suunnittelija voi laatia FORPLAN:in tuloksista toimivan hakkuuohjelman. Ohjelmisto käyttää paikkatietojärjestelmää näyttämään kuviot suunnittelukartalla sekä esittämään pinta-ala- ja rajoitustietoja.

Dykstran (1992) lineaariohjelmointiin perustuva suunnittelujärjestelmä tukee suunnittelijan päätöksentekoa mm. erilaisten rajoitusten huomioonottamisessa, vyöhykkeiden muodostamisessa, kuvioiden puustotietojen haussa inventointitietokannasta, hakkuu- ja kuljetussuunnitelmien teossa paikkatietojärjestelmän verkostotyökaluilla sekä tietenkin karttojen piirtämisessä. Ohjelmisto on laadittu Fort Apachen intiaanireservaatille Arizonassa, jossa metsiä käytetään puuntuotannon lisäksi intiaanikulttuurissa tärkeisiin metsästykseseen, kalastukseen, retkeilyyn sekä polttopuiden, pähkinöiden, juurten ja yrttien keruuseen.

Satunnaishakualgoritmi

Nelson ja Brodie (1990), Brodie ja Sessions (1991) sekä Sessions (1992) esittävät satunnaishakualgoritmiin perustuvat ratkaisut, joilla muutaman vuoden hakkuujakson hakkuumäärä voidaan jakaa kuvioille ja määrittää näille hakkuujärjestys. Suoritetuissa testeissä satunnaishakualgoritmi löysi useita ratkaisuja, jotka poikkesivat sekalukuoptimoinnilla lasketusta ratkaisusta vähemmän kuin 10 %. Jamnick ja Walters (1993) esittelevät CRYSTAL-algoritmin, jolla jaksotettu hakkuuohjelma voidaan jakaa hakkuulohkoiksi. Aloituskuvion ympäriltä haetaan riittävä määrä halutunlaisia kuvioita. Valintaa voidaan ohjata lohkojen koolla, aloituskuvioiden valintakriteereillä, poikkeamilla sallitusta aikajaksosta sekä hakukriteereillä. dBase IV pohjaiseen sovellukseen voidaan syöttää tiedot useista erilaisista paikkatieto-ohjelmistoista.

Nelson ja Finn (1991) laskivat satunnaishakualgoritmeilla hakkuulohkojen koon ja vierekkäisten kuvioiden hakkuiden vähimmäisväliajan vaikutusta pitkän aikajakson suunnittelussa. Tuloksena oli alueen hakkuumäärän pieneneminen jopa 40 %, kun hakkuukuviota pienennettiin ja väliaikaa pidennettiin. Ongelman ratkaisu on hyvin hankala ja aikaa vievä, koska mallissa on tuhansia kokonaislukumuuttujia. O'Hara ym. (1989) esittävät satunnaishakualgoritmeilla toteutetun sijainniltaan määriteltyjen hakkuulohkojen valintamenetelmän. Tienrakennustarpeen määrittäminen ongelman yhteydessä havaittiin hankalaksi.

Jordanin ja Baskentin (1991) mukaan numeropohjainen metsätaloussuunnittelu voi toimia ainoastaan strategisena suunnitelmana tietyn hakkuutason säilyttämiseksi, koska siitä puuttuu käsittelykohteiden sijoitus maastoon. Sillä voidaan ottaa huomioon vierekkäisten kuvioiden hakkuuväliajat ja paikkaan sidotut toimintarajoitukset hyvin monimutkaisten laskelmien avulla tai ei lainkaan. Myös Roise (1990) havaitsi, että paikkaan sidottujen hakkuuohjelmien ratkaiseminen epälineaarilla ohjelmoinnilla todellisissa suunnittelutilanteissa on vaikeaa.

Dahlin ja Sallnäs (1993) kokeilivat kahta satunnaisesti etsivää algoritmimenetelmää ja jäljempänä selostettavaa simuloitua metallien mellotusmallia Pohjois-Ruotsin vaara-alueen hakkuujärjestyksen määrittämiseen. Hakkuukuviolle annettiin enimmäiskoko ja vierekkäisten kuvioiden hakkuulle vähimmäisväliaika. Samalla kokeiltiin myös miten tien rakentaminen alueelle vaikuttaa ratkaisuun. Edullisimman ratkaisun tutkituissa oloissa, jossa lähes kaikki kuviot olivat päätehakkuuvaiheessa, antoi mellotuksen simulointimalli. Kaikilla menetelmillä saatiin kuitenkin hyväksyttäviä ratkaisuja. Kokeessa käytettiin Sessions ja Sessionsin (1991) laatimaa Scheduling and Networking Analysis Program eli SNAP II -ohjelmaa, joka on paikkatietojärjestelmään perustuva vuorovaikutteinen korjuun ja kuljetuksen suunnitteluohjelma. SNAP II ratkaisi hakkuujärjestysongelman nopeimmin, mutta se antoi huonoimman ratkaisun ongelmalle, jossa tien vaikutus oli mukana.

Monte Carlo -kokonaislukuohjelmointi

Nelson ym. (1991) laativat järjestelmän, jossa pitkän ajanjakson lineaariohjelmoinnilla optimoidut lyhyiden kausien hakkuumäärät jaetaan kuvioille Monte Carlo -kokonaislukuohjelmoinnilla. Järjestelmän aluetulokset toimivat uuden pitkän ajanjakson optimoinnin lähtötietoina. Eräällä metsäalueella Brittiläisessä Kolumbiassa tehtyjen kokeiden mukaan edellä selostetulla yhdistetyllä suunnittelujärjestelmällä saadaan toimivia ratkaisuja, jotka jäävät jonkin verran alle pelkän pitkän aikajakson optimilaskelman tu-

loksesta. Tämä on perusteltua, koska lyhyen aikajakson aikana kuvioiden valintamahdollisuudet ovat rajoitetut mm. vierekkäisyysääntöjen ja saman tien varrella toimimisen takia. Myös Clements ym. (1990) ovat esittäneet järjestelmän, jossa 25 vuoden hakkuukauden paikkaan sidottu hakkuukuvioiden valinta ratkaistaan Monte Carlo -kokonaislukuohjelmoinnilla.

Mellotuksen simulointimalli

Metallikappaleen jäähtymisessä materiaalin rakenneosat muuttuvat korkeaenergisestä tilasta matalaenergiseseen tilaan. Sulassa metallissa rakenneosat voivat liikkua vapaasti toistensa suhteen. Jäähtymisessä rakenneosat kiteytyvät eivätkä voi enää liikkua. Mellotus tarkoittaa hidasta jäähdyttämistä, jonka lopputuloksena kiteytyminen tapahtuu vapaasti, jolloin kappaleeseen ei jää jännityksiä. Mellotuksen simulointimenetelmä jäljittelee mellotusta muuttamalla järjestelmän rakenneosia asteittain järjestäytymättä tilasta järjestäytyneeseen tilaan. Menetelmä sopii suurille aineistoille, mutta ratkaisun optimaalisuutta on vaikea arvioida. (Kirkpatrick ym. 1983, Aarts ja Korst 1989)

Lockwood ja Moore (1993) kuvaavat mellotuksen simulointimenetelmän koostuvan rakenneosista (kuten metsikkökuviot suunnittelualueella), joille laaditaan muunnosmalli. Se tuottaa satunnaisesti vaihtelevien rakenneosien muodostamia tilajärjestelmiä (kuvion käsittely: hakataan/ei hakata), joille laaditaan tavoiteyhtälö. Tämä analysoi järjestyneisyyden astetta järjestelmän kunkin muutoksen jälkeen (minimoidaan hakkuumäärätavoiteeseen tarvittavat haittakustannukset). Haittakustannuksilla ohjataan ratkaisua. Kalliita eli vältettäviä haittakustannuksia ovat esimerkiksi vierekkäisyys, pieni hehtaarikohtainen hakkuumäärä ja liian suuri tai pieni kuvion koko. Simulointia jatketaan, kunnes ratkaisu ei enää parane.

Lockwood ja Moore (1993) käyttivät mellotuksen simulointimenetelmää hakkuujärjestyksen määrittämiseen 1,2 milj.ha. alueella, jolla oli 27 548 kuviota. Laskenta kesti 30 tuntia. Menetelmän käyttöä rajoittaa se, että sillä voidaan ottaa huomioon vain yksi toimenpide laskentakauden aikana. Täten esimerkiksi kestävään käyttöön tähtäävä strateginen hakkuumäärien laskenta täytyy tehdä ensin muilla menetelmillä. Menetelmän etuna on joustava useiden hakkuun ohjauksikriteerien käyttömahdollisuus tavoiteyhtälön määrittelyssä.

Topologian huomioon ottavat mallit

Puunkorjuun suunnittelussa on enenevässä määrin otettava huomioon puuntuotannon lisäksi eläinten ja kasvien elinympäristöön liittyviä sekä maisemallisia rajoituksia. Hakkuu muuttaa aina kuvion elinympäristötarjontaa, joten suunnittelulla on taattava, että luontaisen eläinlajiston populaatiolle sopivia elinympäristöjä on riittävästi koko hakkuukierron ajan. Eläinlajin elinympäristövaatimukset voidaan määrittellä yleensä puuston lajin, iän ja määrän, maalajin, topografian sekä kuvioiden ja erityiskohteiden, kuten vedet ja ihmisen rakennelmat, sijainnin perusteella. Osa vaatimuksista on riippuu sijainnista, jolloin suunnittelussa tarvitaan välttämättä paikkatietojärjestelmää.

Suunnittelija voi ottaa nämä rajoitukset huomioon lineaarioptimointiin perustuvalla SilviPlan -järjestelmällä valitessaan lyhyen ja pitkän suunnitteluajanjakson hakkuu- ja uudistamistoimien kohteet (Davis ja Martell 1993). Ohjelmiston kehitystyön tavoitteena on ollut antaa päättäjälle mahdollisuus vaikuttaa sellaisiin tekijöihin, joita puhtaalla matemaattisella optimoinnilla ei voida selvittää. Ohjelmisto on tehty yleiskäyttöiseksi

siten, että mallit on kirjoitettu Unix -pohjaisella GAMS -ohjelmointikielellä, mutta kaikki paikkatieto- ja ominaisuustietokantaliittymät voidaan muokata haluttuihin järjestelmiin. Järjestelmää on kokeiltu 90 000 ha metsäalueella Pohjois-Ontariossa. Kokeessa käytettiin SYSTEM 9 -paikkatietojärjestelmää ja sen ominaisuustietokantaa.

Järjestelmän strategisella suunnitteluosalla valitaan metsänhoitotoimien kustannustaso, jolla voidaan säilyttää kestävä metsän ja haluttujen puulajien puuntuotoskyky sekä tunnistetaan kuviotyypit, joihin hoitotoimet tulisi kohdistaa kunakin taktisen suunnittelun 10-vuotiskautena. Tuloksena ilmoitetaan toimepide-ehdotukset, niiden hakkuumäärät, hoitotyömäärät, toimenpidekustannukset ja vaikutukset metsäalueen kasvuun taulukoina sekä käsittelykuvat kartalla.

Taktisessa vaiheessa kaikkien metsänkäyttömuotojen tai käyttörajoitusten suunnittelijat rajaavat strategisen suunnitelman kuvioiden perusteella alueet, joille toimenpiteet halutaan suorittaa seuraavalla 10-vuotiskaudella (Davis ja Martell 1993). Valituille alueille annetaan hoitotoimenpidevaihtoehdot, kustannustasot sekä toimintaohjeet ja rajoitukset. Toimenpidealueiden yhteenlasketun pinta-alan täytyy olla suurempi kuin 10-vuotiskauden tarve, jotta ohjelma voi optimoida toimintaa. Ohjelma valitsee toimenpidekuvat, jotka tuottavat suurimman kestävä kasvun. Tuloksena saadaan toimintaohjelma, sen vaikutukset kasvuun pitkällä aikavälillä, työkustannukset ja toimenpidekartat. Ratkaisun tehokkuutta tutkitaan suorittamalla useita optimointiajoja toiveita ja toimintarajoituksia vaihdellen.

Jordan ja Baskent (1991) ovat laajentaneet FORMAN -puuntoimitus-analyysiohjelmaa (Wang ym. 1987) GISFORMAN-paikkatietojärjestelmällä. Alkuperäinen FORMAN -ohjelma on yksi esimerkki useista puuntoimitusohjelmista, jotka simuloivat lähtöpuustotiedoista erilaisia kasvatusratkaisuja ja niiden vaikutuksen metsien puustopääomaan ja kasvuun. Vaihtoehdoista valitaan sopivin ratkaisu, joka täyttää kausittaiset puumäärätarpeet. GISFORMAN käyttää paikkatietorakennetta metsällisen tiedon varastointiin ja päivittämiseen, tukee sijaintitietoon perustuvaa taloudellista korjuustrategiaa, ottaa huomioon eläinten elinympäristövaatimukset sekä mahdollistaa paikkaan sitoutuvien analyysien ja suunnitelmien teon.

GISFORMANin lähtötietoina ovat metsän kuvioittaiset inventointitiedot sekä kehitysmallit (Jordan ja Baskent 1991). Kuvioiden kasvua ja hakkuuta simuloidaan yleensä kiertoajan mittaisella ajanjaksolla. Kuvioiden vierekkäisyys selvitetään erillisellä paikkatietosovelluksella. Hakkuujärjestyksen valintaperusteena ovat hakkuuohjeiden lisäksi tienrakennuskustannusten minimointi, hakkuiden keskittäminen muutamille alueille ja luontaisen poistuman minimointi eli vanhojen tai sairaiden metsien hakkuiden etusijalle asettaminen. Järjestelmä tuottaa kausittaiset hakkuumäärät, jäävän metsän kehitystiedot sekä hakkuu- ja metsänhoitotoimenpide-ehdotukset suoraan kuvioille nimettynä. Hakkuujärjestysvaihtoehdoille voidaan tulostaa keskimääräiset tienrakennus- ja ylläpitokustannukset.

GISFORMAN on tehty Arc/Info-ohjelmalla, FORTRAN-ohjelmoinnilla ja se toimii työasemakoneissa (Jordan ja Baskent 1991). Järjestelmän toimivuus on testattu Kanadan valtionmetsissä New Brunswickissa 100 000 hehtaarin ja 9 600 kuvion aineistossa. Laskeminen 80 vuoden kiertoajalle kesti kaksi tuntia. Kun laskelmissa otettiin huomioon erilaisia rajoituksia, pieneni vuotuinen hakkuumäärä 5...15 % ilman paikka-

tietoa lasketusta hakkuumäärästä. Tämä hakkuumäärän pieneneminen on seuraus siitä, että puuston kestävä kehitys ja luonnon monimuotoisuuden säilyminen taataan.

Älykkäät sovellukset

Koten ym. (1991) esittelevät paikkatietokantapohjaisen hakkuukuvioiden valinta- ja hakkuujärjestysohjelmiston, joka tietämystekniikan avulla ottaa huomioon eläinten elinympäristövaatimukset. Erilaisten eläinten tarpeita täyttävien kuvioiden tulee sijaita riittävän suppealla alueella, jolla ne eivät jää reviirin ulkopuolelle, ja toisaalta niiden alojen tulee olla riittävän suuria, jotta ravinnon saanti turvataan ja tarpeiden tyydyttäminen on mahdollista. Hakkuujärjestyksen tulee olla sellainen, että eläimet pystyvät siirtymään luontevasti seuraavalle alueelle, joka täyttää hakatulta alueelta hävinneet ominaisuudet. Kasvien elinympäristövaatimukset liittyvät yleensä maaperään, ilmastoon, kosteuteen ja kilpailevaan kasvillisuuteen. Kasvien ja hyönteisten siirtymiskyky uusille alueille on usein eläimiä rajallisempi, jolloin tarvitaan olosuhteiltaan sopivia muuttokäytäviä. Suunnittelua vaikeuttaa jo se, ettei kaikkien eläinten ja kasvien elinympäristövaatimuksia ei edes tunneta riittävästi.

Ohjelmiston Idrisillä toteutettu paikkatieto-osio sisältää kuvioiden sijainti- ja ominaisuustietokannat (Koten ym.1991). Prolog-kielellä toteutettu tietämystekniikkaosio sisältää New Yorkin osavaltion eläimistön elinympäristövaatimuskuvaukset. Graafisella käyttöliittymällä ohjataan edellä mainittuja sekä metsiköiden kasvumalli- ja hakkuuiden aikataulusosiota. Tietämystekniikkaa (Knowledge-Based Systems) käytetään kahdella tavalla. Metsikkötietojen perusteella ohjelma määrittää kaikki eläimet, joille metsiköistä löytyy sopivat elinot. Tämän jälkeen paikkatietoon pohjautuen tutkitaan kuinka suurta kunkin lajin populaatiota metsäalue voi elättää hakkuukierrosten välillä. Tarkastelussa otetaan huomioon löytyykö usean tyyppisiä kuvioita tarvitseville eläimille riittävästi sopivan kokoisia alueita, joissa kaikki vaatimukset täyttyvät. Elinympäristöjen sijainti ja niiden pinta-alat tulostetaan kartoille eläinlajeittain. Suunnittelija päättää tämän perusteella elättääkö metsäalue sopivaksi katsotun kokoisen populaation kutakin lajia.

Ohjelma on vuorovaikutteinen, joten hakkuujärjestysoptimoinnin jälkeen suunnittelija muuttelee harkintansa mukaan hakkuujärjestystä elinympäristövaatimusten tai muiden seikkojen perusteella. Elinympäristövaatimukset voidaan myös asettaa rajoituksiksi seuraaville hakkuujärjestysoptimoinneille. Järjestelmän seuraavana kehitystavoitteena on laatia menetelmä, jolla metsäalueelle voidaan määritellä tavoitetulevaisuus. Tämä mahdollistaa hakkuujärjestyksen valinnan automatisoinnin. Järjestelmään on tarkoitus laatia myös sijaintitietoon perustuva maiseman evaluointimenetelmä.

Sumea logiikka

Lineaarimallissa kaikki yhtälöt ja rajoitukset oletetaan yksiselitteisiksi. Valittujen vähimmäis- ja enimmäisarvojen vaikutusta lopputulokseen on tutkittu herkkyyksianalyysillä. Luonnossa sekä ihmisen toiminnoissa ja valinnoissa tapahtuu satunnaisia muutoksia, joiden vaikutusta lineaarimallissa on yritetty kuvata monin tavoin. Kokeilut ovat yleensä johtaneet vain kaikkein positiivisimman ratkaisun löytymiseen. Bare ja Mendoza (1992) kokeilivat sumeita lineaarimallin tavoiteyhtälöä ja puuvirran rajoituksia suuralueen kuvioiden hakkuujärjestyksen määrittämiseen. Kokeissa saatiin helpolla tavalla tietoa epävarmuuden vaikutuksesta optimiratkaisuun enemmän

kuin tavallisella lineaarimallilla. Menetelmän kehitysmahdollisuuksista huolimatta se ei kirjoittajien mukaan korvaa kehittyneempiä tilastollisia tai todennäköisyysmenetelmiä.

Monitavoitemallit

Pukkala (1988) on laatinut monikäytön suunnitteluohjelmiston, jossa päättäjä voi valita metsikkökuvioiden kehityksen simuloinnin avulla sopivan metsänkäsittelevä vaihtoehdon. Nuutisen ja Pukkalan (1992) menetelmällä voidaan yhdistää maisemalliset arvot rahaperusteisiin hakkuusuunnitelmiin. Suunnittelu perustuu päättäjän tavoitteiden perusteella tehtävään hyötyfunktioon. Toimintavaihtoehtoja verrataan toisiinsa monitavoiteohjelmoinnilla, jossa vaihtoehdoille voidaan antaa sekä numeerisia että sanallisia arvoja. Vaihtoehtojen vertailussa hyödynnetään TOPOS karttaohjelmaa, jonka tulokset voidaan piirtää kolmiulotteisena. Hakkuutulosten ja puuston tavoitearvon lisäksi menetelmässä voidaan mitata liikunnan, keräilytalouden ja maiseman arvot. Maiseman arvo koostuu metsäkuvioiden vaihtelusta alueen sisällä, alueen ulkopuolelta havainnoidusta metsänäkymästä sekä keskimääräisestä kauneusindeksistä.

Pukkala (1993) kokeili monitavoitteisen päätöksenteon menetelmää Kolilla sijaitsevan metsäalueen hakkuuiden suunnittelemiseen. Metsästä saatavat hyödyt jaettiin puuntuotantoon sekä virkistysarvoon, joka koostuu maisema- ja ulkoilu-arvoista. Maksimoitavan hyötyarvoehtälön kertoimien arvot päätöksentekijä valitsee subjektiivisesti. Menetelmä toimi kokeessa hyvin. Paras hyötyarvo saatiin hakkuuohjelmalla, jossa voimakkaita hakkuuita suunnattiin maiseman ja virkistystyksen kannalta vähäarvoisiin kuvioihin. Yhden suunnittelukauden poistuma oli samaa suuruusluokkaa kuin pelkkään puuntuotantoon tähtäävässä hakkuusuunnitelmassa.

Howard ja Nelson (1993) ovat laskeneet monitavoitteisen päätöksenteon menetelmällä kolmelle samalla alueella kilpailevalle puunhankintayritykselle edullisimmat hakkuuohjelmat. Hakkuuohjelmat täyttivät kaikkien yritysten puumäärätavoitteet lyhimmillä kuljetusmatkoilla ottaen huomioon metsikkökuvioiden hakkuukelpoisuuden.

5.3 Korjuumenetelmävalinta

Kohteen puusto ja hakkuutapa vaikuttavat korjuumenetelmien toimintamahdollisuuteen ja tuottavuuteen. Maasto vaikuttaa koneiden liikkumiseen. Samojen korjuukoneiden käyttömahdollisuus lähekkäisillä kuvioilla alentaa organisaatiokustannuksia. Korjuun suunnittelussa paikkatietojärjestelmä toimii yksinkertaisimmillaan karttapohjana ja tietovarastona. Operaatiotutkimuksen menetelmillä voidaan valita optimaalinen korjuumenetelmä kuvioittain tai suuremmille alueille. Korjuukohteiden läheisyystietojen avulla voidaan laskea korjuukustannusten vaikutus hakkuujärjestykseen. Kolmiulotteista maastomallia tarvitaan erityisesti vuoristoalueilla, joilla teiden, varastopaikkojen ja köysijuontolaitteiden sijoituksella on suuri merkitys.

Kusan ym. (1992) käyttävät paikkatietojärjestelmän puustotietoja ja kuljetusmatkoja puunkorjuun ajanmenekki- ja kustannusyhtälöiden lähtöarvoina hakkuumenetelmien vertailussa Kroatiaassa. Järjestelmä käsittää tällä hetkellä vain muutamia ihmistyövaltaisia hakkuumenetelmiä.

Reisinger ja Davis (1986) sekä Reisinger (1989) esittävät Harvest Planning Decision Support System (HPDSS) järjestelmän, joka kuvaa hyvin paikkatietojärjestelmään pe-

rustuvat puunkorjuun päätöksenteon tukijärjestelmän rakenteen ja periaatteet. Se koostuu Intergraph-paikkatietojärjestelmästä siihen liittyvine ominaisuustietokantoihin, mallikannasta, päätöksenteon tukiohjelmistosta käyttäjälliittymiseen ja käyttäjästä. HPDSS:n avulla suunnittelija etsii vastaukset kysymyksiin:

- mitkä kuviot täytyy hakata puutarpeiden tyydyttämiseksi?
- miten kuviot parhaiten tavoitetaan?
- mikä korjuumenetelmä sopii alueelle parhaiten?

Great Northern Paper Companyssa Mainessa U.S.A:ssa kokeiltu HPDSS-paikkatietoon liittyvä ominaisuustietokanta sisältää kuvioiden metsätypin ja puustotiedot, tiet, erilaiset suojelualueet, metsänhoidollisen - ja korjuutoimenpidehistorian sekä maanomistukseen liittyvät tilarekisteritiedot. Osalle kuvioista on mitattu maastoluokitusta varten tiedot kaltevuudesta, maan lujudesta ja pintaesteistä.

HPDSS:n mallikanta koostuu useista matemaattisen ohjelmoinnin sekä heuristisista malleista (Davis 1987). Hakkuukuvioiden valintamalliin suunnittelija antaa puulajeittaiset käyttömäärät. Lineaarimallilla valitaan hakattavat kuviot olettaen, että kaikki avohakataan. Ratkaisussa pyritään minimoimaan hyönteistuhotappioriskit siten, että tehtaat saavat riittävästi puuta. Kuvion saavuttamismalli tutkii, onko korjuukuvio enintään 400 m päässä olemassa olevasta tiestä. Ellei näin ole, niin malli suunnittelee uuden tien sijoituksen ja laskee kustannukset annettujen ohjekustannusten perusteella. Korjuumenetelmän valinnassa kokonaislukuoptimointimallilla minimoidaan kuvion korjuukustannukset. Suunnittelija antaa käytettävissä olevien resurssien määrät ja menetelmittaiset maastorajoitukset. Valittavissa on kolme korjuumenetelmää, joista yhdellä kuviolla voidaan käyttää vain yhtä kerrallaan.

Päätöksenteon tukiohjelmat toimivat käyttöliittymänä, jolla suunnittelija valitsee mallit, antaa lähtötiedot ja käyttää paikkatietojärjestelmää ominaisuustietokantoihin. Suunnittelijan vastuulla on varmistaa ratkaisujen järkevyyden muiden kuin tietokannoissa ja malleissa olevien tietojen osalta sekä hyväksyä ratkaisu tai jatkaa suunnittelua muutoksia tekemällä. Tulokset ovat taulukoiden ja karttojen muodossa. HPDSS tarjoaa suunnittelijalle ja johtajalle tehokkaan keinon evaluoida suuria hajanaisia paikkaan sidottuja tietomääriä (Reisinger ja Davis 1986, Sieg ja McCollum 1988). Se antaa mahdollisuuden käyttää matemaattisen ohjelmoinnin menetelmiä päätöksenteon tukena, mutta interaktiivisuuden avulla suunnittelija voi ammattitaitonsa perusteella vaikuttaa koko ajan ratkaisuihin esimerkiksi sellaisissa asioissa, joita ei numeerisesti voida esittää.

Ensimmäiset digitaaliseen maastomalliin perustuvat puunkorjuun suunnittelujärjestelmät tehtiin parikymmentä vuotta sitten köysijuontoradoille, koska niiden siirtokustannukset ovat korkeat ja sijoituspaikka vaikuttaa paljon toiminta-alueen kokoon. U.S.A:n länsirannikon valtionmetsissä yleisesti käytetty PLANS (Preliminary Logging Analysis System) on ohjelmisto laajojen alueiden (20 000 ha asti) 5...25 vuoden aikajänteen puunkorjuun suunnitteluun (esim. Mc Gaughey 1992). Ohjelmisto voi käyttää useiden erityyppisten maastomallien tietoja. Maaston korkeustietoja käytetään köysijuontojärjestelmien ulottuvuuksien ja kuormien, rinteiden kaltevuuksien ja hakkuun jälkeisen maiseman tarkasteluun.

Shiba (1992) esittelee integroidun digitaaliseen maastomalliin perustuvan TERDAS-ohjelmiston, joka soveltuu puunkorjuun suunnittelun perustehtäviin. Ohjelmistolla rajataan pois käytöstä suojelualueet, säilytettävät biotoopit, liian jyrkät rinteet ja muut erityisalueet. Jäljelle jääville alueille ohjelmisto suunnittelee teiden paikat, valitsee mm. kaltevuuden perusteella korjuumenetelmät, laskee maastokuljetusmatkat ja piirtää etäisyysvyöhykkeet. Simulointiohjelmalla voidaan analysoida maisemamuutoksia, valuma-alueita, tienpenkereitä ja leikkauksia sekä potentiaalista auringonsäteilyn intensiteettiä. Ohjelmiston toimintaa kokeiltiin 457 ha kokeilumetsäalueella, josta maastotiedot kerättiin eri lähteistä 50 * 50 m ruuduissa.

5.4 Leimikon hinnoittelu

Paikkatietojärjestelmät sopivat hyvin leimikon hinnan määrittämiseen, koska hinnoittelutekijät määräytyvät yleisimpien paikkatietokantaan tallettujen tietojen perusteella. Myyntitulot riippuvat puiden ominaisuuksista ja kulut puusto-, maasto- ja sijaintitekijöiden perusteella määräytyvistä korjuu- ja kuljetuskustannuksista. Ennustustarkuus riippuu puusto- ja maastotietojen kuvaustarkkuudesta sekä tuottavuus- ja kustannusmallien hyvydestä.

Nuutinen (1992) on kehittänyt leimikon hinnoittelujärjestelmää. Metsikkökuviot, digitaalinen korkeusmalli ja metsätieverkko talletetaan Arc/Info-järjestelmän karttatietokantaan. MELA-metsäsimulaattorilla lasketaan vaihtoehtoisia metsienkäsittelyvaihtoehtoja. Puustotiedot ja metsiköiden käsittelyohjeet talletetaan relaatiotietokantaan. Paikkatietojärjestelmän työkaluilla valitaan kullekin kuviolle maastokuljetusreitti ja välivaraston paikka. JLP-lineaariohjelmistolla (Lappi 1992) valitaan nettomyyntitulojen tai korjuukustannusten suhteen edullisimmat käsittelyvaihtoehdot.

Puunmyyntituotot ja korjuukustannukset lasketaan korjuuolojen, kuten hakkuumäärä, tiheys, runkojen koko, kuljetusetäisyys ja maastovaikeus, funktiona. Järjestelmä mahdollistaa pysty- tai hankintamyynnin nettotulojen vertailun ja työolojen tai korjuumenetelmien muutosten vaikutusten analysoinnin. Järjestelmä laskee puutavaralajeittaiset kustannukset ja tuotot sekä varastopaikoittaiset puutavaralajimäärät. Tulosten perusteella voidaan valita kuvioille korjuumenetelmät sekä karsia suunnittelun ulkopuolelle menetelmät, joita ei voida käyttää hakattavien kuvioden korjuuseen maaston tai puuston perusteella.

Nuutinen (1992) mainitsee järjestelmän pääeduksi korjuun työmenetelmien tuottavuuden ja edelleen korjuukustannusten tarkan laskennan kuvioittaisten sijainti- ja työolotietojen perusteella. Harvinaisten kasvien ja eläinten elinympäristöjen huomioon ottaminen kuvioden osilla on mahdollista, mutta vielä ongelmallista, koska maastotieto puuttuu.

Herrington ja Koten (1988) esittelevät paikkatietojärjestelmään pohjautuvan yksinkertaisen leimikon tuoton laskentajärjestelmän. Kuvion puustotietojen perusteella laske- tusta puutavaran tehdashinnasta vähennetään korjuu- ja kaukokuljetuskustannukset annetuille käyttöpaikoille. Korjuukustannukset määritetään valmiiden korkeusmallien, maaperäkarttojen, vesistöjen ja tiestön perusteella.

5.5 Kuljetusten ohjaus

Paikkatietojärjestelmät ovat monipuolisia apuvälineitä kuljetusten ohjaukseen. Yksinkertaisimmillaan järjestelmällä voidaan mitata kuljetusmatkoja sekä valita reittejä. Kuljetusten kustannuksia voidaan ennustaa kuljetusväylän, matkan pituuden, ajoneuvon ja olojen avulla. Maastokuljetusten suunnittelussa korostuu maaston kulkukelpoisuus, joka riippuu myös ajoneuvotyypistä. Lineaari- ja verkkoanalyyseistä voidaan koostaa järjestelmiä optimaalisten kuljetusreittien ja -kohteiden valintaan sekä kaluston tehokkaaseen hyödyntämiseen. Kuljetustarpeet ja reitit voivat muuttua nopeasti esimerkiksi kelirikon takia. Älykkäillä hakuruutiineilla voidaan ohjata kuljetuksia tällaisissa optimaalisesta ratkaisusta poikkeavissa tilanteissa. Paikkatietojärjestelmään liitettyjen satelliittipaikkannusjärjestelmien ja ajoneuvokohtaisten näyttöpäätteiden avulla voidaan ohjata ajoneuvoja sekä seurata kuljetusten edistymistä.

Suomen Reittikartta on valmis edullinen karttapohjainen ajoreittien suunnitteluohjelma mikrotietokoneiden Windows-käyttöympäristöön (Suomen Reittikartta ...). Ohjelman avulla voidaan kolmen tieluokan perusteella valita lyhin ja nopein reitti noin 1 500 paikkakunnan välillä. Genimap Oy valmistaa myös TransPlanner ohjelmaa, jolla voidaan optimoida itse annettujen pisteiden välisten kuljetusten kustannukset (Genimap Transplanner ...). Tulostuksena saadaan reitin ajo-ohjeet tienumeron tarkkuudella.

Ruotsalainen Skogforsk suorittaa yhdessä metsäyhtiö STORA:n kanssa kokeiluja Arc/Info ja CableCad -paikkatietojärjestelmien käytöstä metsäteollisuusyrityksen kuljetusohjauksen apuna. Kuljetusten ohjaaja saa paikkatiedoista tarkat kuljetusmatkat, tieluokat ja reittisuositukset, joiden avulla suunnittelussa käytettävän tiedon laatu paranee ja käsityön tarve vähenee. Satelliittipaikkannusta kokeillaan tietiedon tarkentamiseen ja ylläpitämiseen. (Gunnarsson 1992, Johansson ja Gunnarsson 1994).

Ruotsin puolustusvoimat kehittää maaston kulkukelpoisuutta ennustavaa paikkatietojärjestelmää TGIS (Trafficability GIS) (Fridstrand ja Svantesson 1990). Taistelutehtävissä tarvitaan reittivaihtoehtonnusteita erilaisille taistelu- ja kuljetusajoneuvoille sekä kuljetusmuodostelmien maksimikoon ennusteita. Paikkatietojärjestelmään kerätään niin paljon tietoa kuin mahdollista: topografia, kasvillisuus, maalaji, tunkeutumisvastus, maaperätutkagrammi, kosteusprofiili, tiestö, ilma- ja satelliittikuvat ym. Ohjelma laskee valittujen ajoneuvojen ominaisuuksien perusteella kulkukelpoisuuskartan, joka kertoo kuvioittain odotettavissa olevat uppoamistodennäköisyydet. Ajoneuvon ja maaston välistä riippuvuutta ennustava algoritmi on tehty helposti muutettavaksi erilaatuisten lähtötietojen mukaan. Arc/Info-ohjelmalla tehtyä kulkukelpoisuuskarttaa on testattu koeajojen perusteella (Fridstrand ja Persson 1990). Ajoneuvot juutuivat kulkukelpoisiksi luokitelluillakin kuvioilla toisinaan, mutta TGIS-järjestelmä paransi selvästi päätöksenteon laatua. Jatkokehitystyössä tutkitaan muun muassa kartan tarkkuuden merkitystä tiedonkeruukustannusten ja tulosten käyttöarvon välisen suhteen optimoinnissa.

Yksinomaan kuljetusohjausjärjestelmää varten tehdyillä paikkatietokannoilla on tutkittu kuljetusten ohjausstrategioita jo kymmenen vuotta sitten (Berry ja Sailor 1981, Pulkki 1984). Ongelmien ratkaisun mahdollistamiseksi paikkatietokannoissa jouduttiin tekemään huomattavia yleistyksiä.

Paikkatietoon ja verkkoanalyysiin perustuva SNAP-ohjelmisto jakaa aiemmin esitetyn FORPLAN:in hakkuuehdotukset hakkuujärjestyssuunnitelmaksi sekä laatii myös hakkuumenetelmä- ja kaukokuljetussuunnitelmat. Ilmaista ohjelmistoa käyttävät useat sadat suunnittelijat U.S.A:ssa. Uusimmissa versioissa voidaan suunnitelmissa ottaa huomioon hakkuualojen enimmäiskoko sekä eläinten elinympäristö- ja ravintolähddevaatimukset (Sessions ja Sessions 1992). Ohjelmisto tuottaa kuvioittaiset käsittelyohjeet, korjuumenetelmät sekä olemassa olevien ja rakennettavien teiden sijaintitiedot. Karttatulostuksina saadaan eri eläinlajien elinympäristö- ja ravinnonhankinta-alueet ja -käytävät. Kuviodien puutavaralajeille tulostetaan kuljetusmäärät, käyttöpisteet ja kuljetusreitit sekä korjuu- ja kuljetuskustannukset. Mikrotietokoneohjelmalla voidaan laskea tietokoneen kapasiteetista riippuen jopa 10 000 ha alueen useiden aikajaksojen suunnitelmat kerrallaan.

Metsähallituksen HANKO-hankinnan- ja kuljetusten ohjausjärjestelmässä algoritmi maksimoi PATI-paikkatietojärjestelmän avulla leimikoiksi valittujen kuviodien puuston tienvarsihintaa. Käytössä olevaa valtakunnallista kuljetustensuuntausjärjestelmää kehitetään autokohtaiseksi kuljetustenohjausjärjestelmäksi, jonka tiedot siirretään ajoneuvoihin radioteitse (Saatsi 1992). Ruotsin Domänverketin paikkatietojärjestelmää käytetään jatkossa puutavaran kaukokuljetusten suunnitteluun siten, että leimikon runkojen ominaisuuksien perusteella optimoidaan runkojen jako puutavaralajeiksi, minkä perusteella valitaan kuljetusten päätepiste (Fridman ja Gunnarsson 1989).

VTT:n tietojenkäsittelytekniikan laboratorion johtama Teollisuuskuljetusten optimointi -projekti (TOP) tarjoaa monipuolisen ja yksityiskohtaisen kuljetusten optimointijärjestelmän, joka mukautetaan erikseen kuhunkin käyttötehtävään (Linnainmaa 1992, Leino 1993). Vektoripohjaiseen paikkatietoon perustuva älykäs reitinvalinta ohjaa puutavaraerät lähimmälle käyttöpaikalle kaikkien tehtaiden käyttötarpeet tyydyttäen. Kulkuväylille voidaan antaa rajoituksia kuten nopeus- ja kantavuusrajoitukset sekä matalat alikäytävät. TOP etsii myös meno-paluukuljetusmahdollisuudet. Järjestelmään sijoitetaan ajoneuvokohtaiset kantavuus-, leveys-, pituus- ym. tiedot. Kuljetustehtäville voidaan antaa aikarajoituksia, kuten tehtävän aikaisin aloitusaika, lopetusaika, tehtaiden vastaanottoajat tai kuljettajien työaikarajoitukset. Puutavaravarastot, tehtaot ja optimireitit esittävän käyttöliittymän pohjana on rasterikartta. TOP-projektin tietämyspohjaisessa mallissa kuljetusongelma ratkaistaan kahdessa vaiheessa: tilausten kohdentaminen tehtaalle ja kohdentaminen ajoneuvoille.

Järjestelmä etsii heuristisella algoritmilla hyviä ajoneuvokohtaiseen tarkasteluun sopivia ratkaisuehdotuksia, joissa on otettu mukaan kaikki todelliset rajoitukset, mitä ei laskennallisesti ole käytännössä mahdollista toteuttaa matemaattista optimia etsivissä ratkaisuissa. Kuljetusten ohjaaja saa käyttöönsä kuljetusten perustiedot ja erilaisia yhteenvetoja (Linnainmaa 1992). TOP soveltuu viikkotason kuljetusten suunnitteluun ja ohjaukseen. Käyttäjä pystyy helposti muuttamaan ehdotuksia ja saa heti selville muutosten vaikutukset. Järjestelmän avulla voidaan selvittää vaihtoehtoiset korvausratkaisut esimerkiksi ajoneuvorikon tai tietatkon sotkiessa suunnitelmat. TOP mahdollistaa myös eri yritysten kuljetusohjauskeskusten välisen yhteistyön siten, että yhtiön sisäiset tiedot eivät välity toiselle yritykselle. Se on toteutettu C++ -olio-ohjelmoinnilla ja se toimii työasemakoneissa Motif-standardilla.

Satelliittipaikannusjärjestelmä paikkatietojärjestelmän kanssa yhdessä käytettynä tarjoaa mahdollisuuden kuljetusten ajantasaiseen ohjaukseen. Aplicom-järjestelmässä keskusyksikkönä on mikrotietokoneen Windows-käyttöympäristössä toimivat kartta- ja tietoliikenneohjelmat (Aplicom 1993). Ajoneuvossa on radiomodeemi, GPS-paikannuslaite sekä tarpeen mukaan karttakuvauus, kirjoitin, näyttölaite, viivakoodinlukija, mittantureita ym. Satelliittipaikannuslaitteen määrittämä ajoneuvon sijainti välitetään Telen Mobitex-radioverkolla keskusyksikölle, jossa se on nähtävissä kartalla. Vastaavasti keskusyksikkö voi välittää ajo-ohjeet, reitit, tilaukset ym. ajoneuvoon Mobitexillä. (Vuorenpää 1992).

Enso-Gutzeit Oy ohjaa puutavaran kuljetuksia TOP-järjestelmällä ja käyttää satelliittipaikannusta ajoneuvojen ohjaamiseen ja tietojen siirtoon (Leino 1993). Tähän EPO-järjestelmään liittyvään autoon on hankittava yhteensä 80 000 mk arvoiset Mobitex-radio ja mikrotietokone. Enson Metsäjärjestelmän perustietojen pohjalta suoritetaan kuu-kausittain puutoimitusten strateginen optimointi. Tuloksena ovat alueittaiset ja piireittaiset toimituskiintiöt ja kuljetusmuotojen osuudet. Piireittäin optimoidaan viikkotasoiset puutavaran ajo-ohjelmat. Työnjohtajat varmistavat tarvittaessa, että ohjelman antamat tiedot kuljetettavista puueristä ja niiden sijainnista pitävät paikkansa. Työnjohtaja syöttää järjestelmään myös varastojen työolotiedot, puutavaralajitiedot sekä muut mahdolliset huomautukset ja ohjeet. Autolijaa saa ohjeet autoon näytölle, jossa näkyvät kartalle merkittynä myös varastopaikan ja auton sijainti (Jaakkola 1993).

Työnjohtajien työ painottuu entistä enemmän suunnitteluun ja toimistotyöhön, koska kuljetusten ohjaus tapahtuu radioteitse. Kutakin autoa voidaan käyttää yhtiön koko toiminta-alueella, koska paikallistuntemuksen merkitys vähenee ajantasaisen sijaintitiedon myötä. Järjestelmässä kokeillaan kullakin piirillä muutamaa meno-paluu -kuljetusautoa, joilla seuraava metsävarasto on mahdollisimman lähellä edellistä toimituspaikkaa. Kuljetuskohde voi olla puolestaan tehdas jossain muualla. Yrittäjä maksaa autoon tulevat laitteet, koska kuljetuksenantaja katsoo hänen hyötyvän vastaavasti tyhjäänäjon vähenemisestä ja vuotuisten ajomäärien lisääntymisestä (Jaakkola 1993). Järjestelmää ollaan siirtämässä jossain muodossa myös metsäkoneisiin.

5.6 Teiden suunnittelu

Teiden suunnittelun tavoite on minimoida kuljetuskustannukset, jotka koostuvat kalliista maastokuljetuksesta, halvasta tiekuljetuksesta ja kalliista tienrakennuksesta. Kuljetustarve ja -suunnat määräytyvät paikkatietojärjestelmän kuviotietojen sekä käyttöpaikkojen ja -määrien perusteella. Tien sijainti ja rakennuskustannukset määräytyvät karttatietokannan korkeus-, maalaji- ja vesistötietojen perusteella. Yksinkertaisimmillaan paikkatietojärjestelmää voidaan hyödyntää karttapohjana, puustotietojen tulostukseen ja vältettävien alueiden esittämiseen. Tien optimaalista sijaintipaikkaa voidaan etsiä erilaisilla operaatiotutkimuksen menetelmillä alueittaisten kuljetusmäärien ja kustannusten perusteella. Kolmiulotteisen maastomallin ja maaperätietojen avulla voidaan hakualgoritmin valintakriteereihin lisätä tien linjausvaihtoehtojen leikkaus- ja pengerrys-tarpeen perusteella lasketut rakennuskustannukset.

Tanin (1992) rasteripaikkatietojärjestelmä analysoi lyhimmän polun mallilla metsäalueen maasto- ja tiekuljetuskustannukset sekä tienrakennustarpeen ottaen huomioon maaston ja puuston paikallisen vaihtelun. Automaattinen algoritmi sijoittaa tienraken-

nusehdotuksen kartalle. Tieverkkovaihtoehdoille voidaan laskea kustannusarvoja maasto- ja tiekuljetukselle, tien pidentämiselle ja uuden tien rakentamiselle. Mikroissa ja VAX-keskuskoneissa toimiva ohjelmisto perustuu omiin tietokantoihin, joiden rakenne rajoittaa tutkittavan alueen kokoa.

Sessionsin (1992) verkkoanalyysiin perustuva teidensijoitus- ja puunkorjuun suunnitteluohjelma käyttää hyväkseen digitaalisesta maastomallista laskettavia kaltevuustietoja. Ohjelman avulla voidaan valita kullekin puutavaralajille käyttöpaikka, selvittää edullisimmat kuljetusreitit, valita teiden kunnossapidon taso ja uusien teiden kantavuusluokat. Toiminta voidaan jaksottaa ajan mukaan. Tulosten hyvyys riippuu verkon ja sen pisteiden välisten kustannustekijöiden oikeellisuudesta.

Paperikarttapohjaisessa tiensuunnittelussa voidaan massalaskelmat tehdä kustannusyistä yleensä vain yhdelle karttataarkastelun perusteella edullisimmalle linjausvaihtoehdolle. Beckerin ja Jaegerin (1992) Arc/Info -paikkatietojärjestelmään yhdistetyllä kolmiulotteisella STRATIS-tietokoneavusteisella (CAD) -suunnitteluohjelmalla linjausvaihtoehtojen vertailu voidaan tehdä tarkasti massalaskelmien perusteella. Korkeustieto voidaan syöttää ohjelmaan maastomittausten tai ilmakuvatulkinnan tuloksena, ellei valmista numeerista tietoa ole olemassa. Järjestelmän avulla laskelmissa voidaan ottaa huomioon erilaiset alue-, kaltevuus-, valuma- ym. rajoitukset. Tien linjaus voidaan tulostaa kartoille ja perspektiivikuvaan. Rakennuslupia, asukkaiden osallistuvaa suunnittelua tms. varten voidaan tulostaa perspektiivikuvia tiestä halutuilla maaston kohdilla. Säästöjä saavutetaan tien optimaalisesta sijainnista johtuen rakennuskustannuksilla ja laskelmien automatisoinnista johtuen suunnittelukustannuksissa.

Vancouverin saarelle suunniteltavan valtatie sijoituksen ja ympäristövaikutusten selvittämisessä käytetään myös järjestelmää, jossa yhdistetään paikkatieto- ja tietokoneavusteinen suunnittelu-järjestelmä (MacDonald ym. 1991). Sen avulla selvitetään vaihtoehtoisten reittien vaikutukset eläinten ja kasvien elinympäristöön, vaikutukset maankäyttöön, maisemaan, maanviljelykseen, ympäristön sosioekonomiaan sekä meluhaitat. Kalliisti perustettua paikkatietojärjestelmää tullaan suunnitteluvaiheen jälkeen käyttämään lumenpoiston ja kunnossapidon ohjaamiseen sekä uusien liittymien suunnitteluun.

Lähes klassinen esimerkki tietämyspohjaisesta suunnittelujärjestelmästä on Thiemen väitöskirja, jossa esitetään KEE asiantuntijajärjestelmällä toteutettu tieverkon suunnittelujärjestelmä Etelä-Indianan jyrkkärinteisiin valtionmetsiin (Thieme ym. 1987). Sovellus käyttää korkeusmallia, jossa kukin 30 * 30 m pikseli muodostaa oman olion. Myös alueen raja, suunniteltava alue, yksityismaat ja olemassa olevat tiet kuvataan olioina. Käyttäjä määrittelee pisteet, joiden kautta tien tulee kulkea, sekä alueet, joita tulee välttää.

Korjuumenetelmän ja rakennuskustannusten takia tiet sijoitetaan melkein harjanteiden huipulle. Ohjelma etsii alueelta kaikki riittävän leveän harjanteen tuntomerkit täyttävät paikat, jotka muodostavat peruspisteverkon. Nämä yhdistetään toisiinsa ja tavoitepaikkoihin haaroilla, joiden pituudet mitataan. Kunkin haaran tienrakennuskustannukset lasketaan tiepituuden, rinnekaltevuuden ja siltakustannukset sisältävien laakson ylitysten perusteella. Perusverkosta poistetaan älykkäällä haulla haarat, jotka tulevat

liian kalliiksi rakentaa tai johtavat kielletyille alueille. Verkkoalgoritmi etsii lyhimmän tieverkon, joka kattaa halutut alueet ja minimoi rakennuskustannukset.

Näytölle tulostettua tie-ehdotusta voidaan muuttaa halutuilta osin. Käyttäjä voi vuorovaikutteisesti hiirellä osoittaen poistaa tai lisätä haaroja, muuttaa niiden kustannuksia ja kysyä tien osien kustannuksia, kaltevuuksia sekä perusteluja tietyn haaran rakentamiselle. Alkuperäiseen ohjelmaversioon voidaan lisätä hyvin helposti uusia tarkasteluja mm. ympäristövaikutusten huomioon ottamiseksi. Ohjelman toteutus olio-ohjelmoinnilla antaa mahdollisuuden matkia ihmisen suunnitteluprosessia ja luonnon oloja. Sen laajentaminen ottamaan huomioon uusia asioita tai sen muokkaamisen uusiin ongelmiin on hyvin helppoa. Totetus älykkäällä kielellä antaa lisäksi suunnittelijalle mahdollisuuden saada perustelut ohjelman tekemille ratkaisuille.

6 Uusien tiedonhallintamenetelmien käyttö puunkorjuun ohjauksessa

6.1 Puunkorjuun suunnittelun kulku

Puunkorjuun suunnittelussa käytettävistä tiedoista suurin osa on sellaisia, joita metsänomistaja ja/tai puunhankintayhtiö tarvitsee muussa toiminnassaan, joten korjuun suunnittelujärjestelmä on kannattavinta rakentaa osaksi yrityksen informaatiojärjestelmää (Palander 1993). Omia metsiä korjattaessa ensimmäinen työvaihe on korjuukohteiden valinta, joka perustuu käsittelykuvioiden biologiseen tilaan, metsätalouden tavoitteisiin ja kestävyYTEEN sekä puuntarpeeseen. Hakattaviksi valittujen kuvioiden hakkuujärjestyksen valinnassa pyritään minimoimaan koneiden siirto- ja tienrakennuskustannukset (luvut 5.2 ja 5.6). Työohjelma muokataan hakkuujärjestyslistasta siten, että sen toteutuksessa tarvitaan mahdollisimman vähän voimavaroja, ja että kukin kuvio voidaan korjata ajankohtana, jolloin ympäristövaikutukset jäävät vähäisimmiksi. Työsuunnitelmassa valitaan kohteelle sopivat työmenetelmät, kulku- ja kuljetusreitit, varastopaikat sekä lasketaan resurssitarpeet ja ajanmenekit (luvut 5.3, 5.4 ja 5.5). Valvonnalla seurataan toteutuksen edistymistä ja työjälkeä sekä muutetaan toimintasuunnitelmia tarpeen mukaan.

Edellä kuvatulla järjestelmällä pyritään optimoimaan kaikkia toiminnan osia. Toiminnan tavoitteet muuttuvat yhä nopeammin ja päätöksenteossa on otettava huomioon useampien intressipiirien toivomuksia. Tämän takia ei useinkaan voida toteuttaa kaikkien suunnittelutasojen optimaalisia puunkorjuuratkaisuja. Yrityksen informaatiojärjestelmän tulee tarjota mahdollisuudet nopeisiin uudelleen arviointeihin ja vaihtoehtoratkaisujen vertailuihin. Esimerkiksi taloudellisten suhdanteiden muutokset saattavat nopeastikin muuttaa hintoja, kustannuksia ja resurssitarjontaa. Nuutinen (1989) esittelee optimointimallin, jolla metsäalueen pitkän aikavälin hakkuubudjetti jaetaan hakkuuohjelmaksi myyntitulot ja hakkuukustannukset huomioonottaen. Tällöin voidaan suunnitelmia muuttaa hintojen muutosten mukaan. Mallissa tarkennetaan yleisiä puunkorjuukustannuksia käyttämällä kuvioiden hakkuumääriä ja paikkatiedosta saatavia kuljetusmatkoja kustannusten määrittämisperusteina. Työ on osa integroidun metsäsuunnittelun IMPI-hanketta (esim. Kangas ym. 1992).

Puunkorjuun suunnittelussa on korjuukustannusten minimoinnin lisäksi yhä suuremmassa määrin otettava huomioon korjuun ympäristövaikutusten aiheuttamat välilliset kustannukset. Ympäristövaikutukset kytkeytyvät korjuun välittömiin kustannuksiin. Esimerkiksi voimakas raiteenmuodostus on seurausta pyörien suuresta uppoamasta maaperään. Tämä lisää kulkuvastusta ja alentaa ajonopeutta sekä lisää polttoainekulutusta. Periaatteessa korjuukoneen hyötysuhteeltaan mahdollisimman hyvä, siis kustannuksiltaan alhainen, liikkuminen maastossa minimoi ympäristövaurioita. Maastoliikkuvuuden optimointia rajoittavat käytännössä esimerkiksi käytettävissä oleva konevalikoima sekä korjuun aikataulu.

Suunnittelija tarvitsee tietoa leimikon maasto-oloista, korjuukaluston ominaisuuksista sekä korjuukoneiden suorituskyymälleista, eli tarvitaan tietoa maaston kulkukelpoisuudesta tietyllä korjuukoneella sekä tietoa korjuukoneen liikkuvuudesta tietyssä maastossa. Näitä hyväksi käyttäen voidaan vähentää ympäristövaurioita kohottamatta korjuukustannuksia merkittävästi.

Reitinvalinta leimikolla on tavallisesti perustunut sekä suunnittelijan että kuljettajan kokemukseen muutamista konetyypeistä tutulla toiminta-alueella. Lopputulos on

yleensä ollut tyydyttävä. Mikäli sensijaan toimitaan olosuhteissa tai koneilla, joiden ominaisuuksien arviointiin kokemus ei riitä, saattavat tuloksena olla korkeat korjuukustannukset ja suuret ympäristövauriot. Olosuhteiden pienialainen vaihtelu voi leimikon sisälläkin olla hyvin suurta, mikä johtaa joko korkeisiin suunnittelukustannuksiin tai odotettua korkeampiin korjuukustannuksiin. Optimoinnin ja ennusteiden tarkkuus riippuu lähtötietojen luonteesta ja tarkkuudesta sekä käytetyistä ennustemalleista. Suunnittelu perustuu mitattuun tai ennustettuun tietoon, joten tulos ei riipu pelkästään suunnittelijan kokemukseen.

Suunnittelujärjestelmän lähtötietoina ovat maastotiedot, konetiedot, liikkuvuusmalli sekä liikkumista ohjaavat ja rajoittavat kriteerit. Olojen ja koneiden vuorovaikutusta kuvaavalla liikkuvuusmallilla arvioidaan toisaalta maaston kulkukelpoisuutta ja toisaalta korjuukoneen liikkuvuutta. Ajoneuvon liikkuvuudella tarkoitetaan sen kykyä liikkua maastossa kahden pisteen välillä ennaltamäärätyllä reitillä. Maaston kulkukelpoisuus tarkoittaa tietyn maastoalueen ominaisuuksia tietyn ajoneuvon liikkumista ajatellen (Yong ym. 1984).

Nearhood (1992) esittelee digitaalisen maastomallin sisältävän puunkorjuun suunnitteluohjelmiston, jolla voidaan ennustaa tarkasti mm. hakkuuohjelman toteutuskustannukset. Ohjelmaa voitaisiin käyttää työolojen ja niiden kautta työkustannusten sekä resurssitarpeiden ennustamisen lisäksi korjuun maaperävaikutusten ja kasvillisuusmuutosten ennustamiseen. Ohjelmistolla voitaisiin sopeuttaa puunkorjuun toteutus vastaamaan entistä paremmin erilaisiin luonnonoloihin ja yhteiskunnan vaatimuksiin. Myös edellä kuvatussa hakkuuohjelman tekemallisissa Nuutinen (1989) esittää kuvioittaisten korjuukustannusten tarkentamiseksi digitaalisen maastomallin hyväksikäyttöä.

6.2 Maastotiedot

6.2.1 Tunnukset

Maaston kulkukelpoisuuden arviointi edellyttää tietoja maaperän ominaisuuksista, maaston esteistä ja topografiasta sekä ajoneuvosta. Maaperän tärkein ominaisuus ajoneuvon vetovoiman suhteen on sen mekaaninen lujuus, erityisesti leikkauslujuus. Metsämaa muodostuu perusmaalajeista, kivistä sekä kasvien juurista. Perusmaalajin leikkauslujuus riippuu koheesiosta (c) ja sisäisestä kitkakulmasta (ϕ), joihin puolestaan vaikuttaa raekokojakauma, tiheys (ρ) ja kosteus (w) (Bekker 1956, Karafiath ja Nowatzki 1978). Kasvien juuret ja routa lisäävät maaperän leikkauslujuutta.

Ajoneuvon vierintävastukseen vaikuttaa maaperän ominaisuuksista erityisesti puristuslujuus, johon vaikuttavat pääosin samat tekijät kuin leikkauslujuuteenkin. Maaperän kivisyys ja routa lisäävät puristuslujuutta.

Maaperän lujuusparametrien c ja ϕ vaihtelua selittäviä tekijöitä ovat mm. alueen geologinen historia, maalaji, topografia, vuodenaika, sademäärä sekä kasvillisuus.

Maaston esteet ovat pääasiassa kiviä, lohkareita, kantoja, oja ja kuoppia. Kulkukelpoisuuteen vaikuttavat esteiden korkeus ja niiden sijainnin jakauma. Kantojen estevaikutus voidaan selvittää lähtöpuusto- ja poistumatietojen sekä kannon keskimääräisen korkeuden perusteella.

6.2.2 Tiedonhankinta

Maaston ominaisuuksista saadaan tietoa karttojen ja tietokantojen, kenttätutkimuksen ja kaukokartoituksen sekä mallituksen avulla. Valmista kartta- tai numeerista tietoa on saatavilla tietoa mm. maaston geologiasta, topografiasta, kasvillisuudesta, lumipeitteestä, sademäärästä ja lämpötilasta.

Wibelin ja DeLoton (1990) esittämä automaattinen maaston luokittelu perustuu maastomittausten tai kartta- tai ilmakuvatulkinnan asemesta numeerisen korkeusmallin käyttöön. Alueen luokittelu kuvioihin numeeriseen korkeusmallin perusteella tapahtuu satelliittikuvan tulkinnan tavoin, kuitenkin siten, että pinnan säteilyvasteen asemesta luokitteluperusteena on joukko geometrisiä tunnuksia. Pike (1988) kutsuu näiden tunnusten joukkoa geometriseksi tunnusmerkistöksi (geometric signature) ja määrittelee sen joukoksi mittauksia, jotka kuvaavat topografista muotoa niin hyvin, että geomorfologisesti poikkeavat alueet voidaan erottaa toisistaan.

Mark (1975) jakaa maaston muotoa kuvaavat muuttujat vaakasuuntaista ja pystysuuntaista vaihtelua kuvaaviin muuttujiin. Vaakasuuntaista vaihtelua kuvaavat esimerkiksi suurimpien ja pienimpien vaakasuunnassa erottuvien muodostelmien aallonpituus (suurmuodot, maanpinnan tekstuuri). Pystysuuntaista vaihtelua kuvaavat mm. suhteellinen korkeus ja rinnekaltevuus johdannaisineen. Kasvillisuuden luokittelussa voidaan käyttää geometrinen tunnusten apuna esimerkiksi säteilytunnuksia (Dubayah ja Davis 1988).

Maastoa kuvaavista muuttujista valitaan luokittelumuuttujiksi parhaiten solujen eroja kuvaavat muuttujat, jotka eivät saa olla ristiinkorrelloituneita (Wibel ja DeLotto 1990). Pike (1988) luokittelee nämä maanpinnan korkeuden, kaltevuuden ja kaarevuussäteen tilastollisiin tunnuksiin sekä maanpinnan korkeuden Fourier-muunnoksen muuttujiin. Varsinainen luokittelu tapahtuu yleisillä kuvankäsittelyn luokittelumenetelmillä. Luokittelua voidaan tarkentaa vertaamalla solun luokkaa ympäröivien solujen luokkiin.

Kenttätutkimuksissa keskimääräinen estekorkeus ja esteiden keskimääräinen välimatka sekä kosteus selvitetään koealoilta. Weiss (1982) kuvaa maaston mesomuotoja makrokaltevuudesta puhdistetuista korkeushavainnoista muodostettujen satunnaismuuttujien ja niiden Fourier-muunnosten avulla. Näiden avulla lasketaan edelleen alueittaiset todennäköisyydet tietynlaisen maaston esiintymiselle ajoneuvon reitillä. Maaston korkeushavainnot saatiin maastomittauksilla systemaattisena otantana. Nitami (1990) ja Ohmiya (1990) ovat käyttäneet fraktaaligeometriaa kuvaamaan maaston muotoa.

Kaukokartoituksella ja kenttätutkimuksella voidaan tarkentaa ja täydentää olemassa olevaa tietoa. Matalalennolla tehtävät tutkimukset soveltuvat topografian tarkentamiseen sekä maaston esteiden määrittämiseen ja gammasäteilymittaukset maaperän kosteuden määrittämiseen. Mäkitalo ym. (1993) ennustivatkin maaperän vesipitoisuutta menestyksellisesti gammasäteilyn määrän avulla. Maaston kulkukelpoisuuden arviointia ajatellen menetelmän tekee mielenkiintoiseksi se, että matalalentomittauksilla voidaan kartoittaa laajat alueet kohtuullisin kustannuksin.

Gammasäteilymittauksella voidaan ennustaa myös lumen vesiarvoa (Kuittinen ym. 1985, Offenbacher ja Colbeck 1991). Vesiarvo yhdistettynä tietoon lumipeitteen paksuudesta tai tiheydestä on sinänsä ajoneuvojen liikkuvuuden ennusteparametri. Gammasätelytekniikka soveltuu lumipeitteen alueellisen vaihtelun kartoittamiseen. Granberg ja Irwin (1990) ovat kehittäneet paikkatietojärjestelmään perustuvan lumen alueellisen kulkukelpoisuuden määrittäjäjärjestelmän.

Agbu ym. (1990a ja b) saivat hyviä tuloksia maaperän ominaisuuksien luokittelussa SPOT satelliittikuva-aineiston (kuvaelementin koko maastossa 20 * 20 m) perusteella. Satelliittikuvatulkinnan mahdollisuuksia maaston kulkukelpoisuusluokittelussa heikentää vielä tällä hetkellä kuvaelementin suuri koko ja suuri sijaintivirhe (katso luku 3.4) suhteessa ominaisuuksiltaan homogeenisten maaperäkuvioiden kokoon. Virhe korostuu maaston korkeuserojen lisääntyessä. Virhettä voidaan korjata kolmiulotteisen maastomallin avulla.

Maastotutkimusten varaan jäävät maalajin määrittämisen tarkentaminen sekä maaperän lujuuden määrittäminen. Shoop (1993) on tehnyt hyvän kirjallisuuskatsauksen maaston kulkukelpoisuuden määrittämisestä. Lujuuden määrittämiseen käytännön mittakaavassa voidaan käyttää tunkeutumismittauksen mittausta (U.S. Army ... 1978, Terlesk 1983). Penetrometrillä mitattavasta tunkeumavastuksesta ei voida erottaa toisistaan maaperän kitka- ja koheesio-ominaisuuksia. Tämä rajoittaa tunkeumavastuksen käyttöä kehittyneiden liikkuvuusmallien syöttötietona. Mainittuun ominaisuuksien yhteisvaikutukseen perustuen voidaan rakentaa liikkuvuusmalli, joka perustuu maalajin, sen tiheyden ja lujuuden sekä maaperän kivisyyden ja kasvillisuuden yhteisvaikutukseen.

Kulkualustan ominaisuuksien dynaamisella mallittamisella voidaan vähentää kenttätutkimusten tarvetta korjuukoneiden maastoliikkuvuuden ja maaston vaurioitumisen ennustamisessa. Tällöin kysymykseen tulevat seuraavankaltaiset riippuvuudet:

Kulkualustan lujuusominaisuudet = f (maalaji, kosteus, routa, lumipeite, kivisyys, kasvillisuus)

Kosteus = f (topografia, maalaji, sademäärä, lämpötila)

Routa = f (topografia, maalaji, kosteus, lämpötila)

Lumipeite = f (lämpötila, sademäärä, keskimääräinen lumenpaksuus, lumenpaksuuden alueellisen vaihtelun ja lumipeitteen rakenteen mallitettu käyttäytyminen)

Kasvillisuus = f (puusto ennen edellistä hakkuuta, juurten lahoaminen, nykyinen puusto).

Vastaavasti lahoamisen vaikutus kantojen estevaikutuksessa voidaan ottaa huomioon seuraavasti:

*Estevaikutus tarkasteluhetkellä = f (estevaikutus heti hakkuun jälkeen,
lahoamisnopeus)*

*Lahoamisnopeus = f (puulaji, metsätyyppi, lämpösumma, sademäärä,
puun terveydentila hakkuuhetkellä).*

Kulkualustan ominaisuuksien mallittamista ohjaa vaadittava ennustetaso ja -tarkkuus. Yksinkertaisillakin malleilla saadaan olemassa olevia tietoja yhdistelemällä käsitys maaston osien suhteellisesta kulkukelpoisuudesta. Mallin ennuste on yleensä suunnittelijan henkilökohtaista arviota parempi ja alueellisesti kattavampi. Numeeristen lujuusarvojen ennustaminen edellyttää monimutkaisempia malleja. Mallitus voidaan suunnitella siten, että tarkemmat monimutkaiset mallit muodostetaan alussa käytettävistä yksinkertaisemmista täydentämällä maastotiedon lisääntyessä.

6.3 Koneiden suorituskykymallit

Ajoneuvon liikkuvuutta maastossa voidaan kuvata yksinkertaisesti seuraavilla yhtälöillä:

$$\mu_T + \mu_R = \mu_{T_n} \quad (1)$$

$$\mu_T + \mu_{R_r} + \mu_{R_o} + \mu_{R_s} > 0 \quad (2)$$

missä μ_T = bruttovetovoimakerroin
 μ_R = kulkuvastuskerroin (< 0)
 μ_{T_n} = nettovetovoimakerroin
 μ_{R_r} = vierintävastuskerroin
 μ_{R_o} = estevastuskerroin
 μ_{R_s} = rinnevastuskerroin.

Yhtälöissä 1 ja 2 tarkastellaan voimakertoimia, jotka saadaan jakamalla voimat ajoneuvon massalla. Yhtälön 1 mukaan osa ajoneuvon kehittämästä vetovoimasta kuluu kulkuvastuksen voittamiseen, jäljelle jäävän nettovetovoiman ollessa käytettävissä esimerkiksi kuorman vetämiseen. Kuormatraktorin liikkuvuuden tarkasteluun sopii yhtälö 2, jonka mukaan ajoneuvon liikkuminen edellyttää, että eteenpäin vievien voimien kerrointen ja liikesuunnan vastaisten kerrointen summa on suurempi kuin nolla.

Korjuukoneiden liikkuvuuden ennustamisessa tarvitaan siis tietoa yhtälön 2 kerrointen arvoista. Rinnevastuskertoimen laskenta perustuu maaston kaltevuuteen, joka saadaan esimerkiksi paikkatietojärjestelmän kaltevuusmallista. Muiden kerrointen laskennassa tarvitaan maastotietojen lisäksi tietoja korjuukoneesta, koska kysymys on maaston ja ajoneuvon vuorovaikutuksesta. Vetovoima- ja vierintävastuskerrointen arvo riippuu kulkualustan ominaisuuksien lisäksi ajoneuvon teknisistä ominaisuuksista, kuten massasta, pyörä- ja/tai telavarustuksesta sekä liikkuvuusparametreista, kuten

pyörien tai telojen luistosta. Pyöräajoneuvon estevastuskertoimen arvoon vaikuttavat ajoneuvon ominaisuuksista mm. massa, renkaan säde, renkaan muodonmuutosominaisuudet sekä pyöränripustuksen ja mahdollisen jousituksen ominaisuudet.

Wismer ja Luth (1972) ovat esittäneet ajoneuvon liikkuvuudelle yksinkertaisen mallin, jossa muutujina ovat vain maaperän tunkeutumisvastus, kuormittamattoman renkaan halkaisija ja renkaan rungon leveys, pyöräkuorma sekä pyörien luisto. Mallin soveltuvuusala on siten melko rajoittunut.

Toista ääripäätä edustaa pyöräajoneuvon liikkuvuusmalli, jossa lähtötietoina ajoneuvon pyörästön osalta ovat mm. akseleiden lukumäärä ja tyyppi (vetävä/vapaasti pyörivä), massan jakautuminen akseleille sekä akseleiden jousituksen jäykkyys (Computer...1987). Kunkin akselin renkaista lähtötietoina mallissa ovat niiden halkaisija, leveys, poikkileikkaussuhde, kuvioinnin osuus rungon pinta-alasta, kuvion ripojen leveys ja korkeus, ilmanpaine, rungon rakenne ja muodonmuutosominaisuudet.

Mallin valinta ja tarvittavien lähtötietojen määrä riippuu ennusteelta halutusta tarkkuudesta. Yksinkertaiset mallit voivat antaa hyviä ennusteita homogeenisissa oloissa. Toisaalta parhaatkaan mallit eivät aina anna tarkkaa ennustetta. Valmiit mallit on yleensä kehitetty lajittuneille maatyypeille, jotka eivät ole yleisiä suomalaisessa metsämaastossa. Näin ollen paras vaihtoehto on kehittää nimenomaan Suomen olosuhteisiin sopivat mallit. Tällöin tarvittaisiin omat mallit ainakin metsäiselle moreenimaalle ja metsäiselle turvemaalle. Malleihin tulisi sisältyä myös roudan ja lumipeitteen vaikutus. Metsämaan pinnassa olevan juurikerroksen vaikutusta ei myöskään ole yleensä otettu huomioon.

6.4 Toimintojen valintaperusteet

Kulkukelpoisuus- ja liikkuvuusennusteilla voidaan selvittää korjuukoneen mahdolliset reitit ajoneuvo-kulkualusta -vuorovaikutussuhteen perusteella. Mahdollisista reiteistä valitaan optimireitti teknisten, ekologisten ja organisatoristen kriteerien perusteella.

Pyörien kehävoima, joka riippuu moottorin, voimansiirron ja pyörien ominaisuuksista, on tärkein teknisistä kriteereistä. Esimerkiksi ajettaessa jyrkkää ylämäkeä kantavalla ja pitävällä alustalla ajoneuvon pyörien kehävoima saattaa rajoittaa etenemistä. Ongelmasta selvittää pienentämällä kuorman kokoa, valitsemalla tehokkaampi ajoneuvo tai loivempi reitti.

Paikkatietojärjestelmän käyttö reitinvalinnassa antaa hyvät mahdollisuudet myös ekologisten kriteerien huomioon ottamiseen. Valinnoilla suojellaan maaperää ja jäävää puustoa sekä toisaalta vältetään liikkumista erityisillä suojelukohteilla ja suojavyöhykkeillä. Hakkuutapa vaikuttaa voimakkaasti reitinvalintaan ja liikkumisen ympäristövaikutuksiin. Reitin- ja työkohteiden valinta on tärkeää maisemallisissa ja muissa erityiskohtieissa.

Tyypillisiä maaperän suojeluun liittyviä ekologistia kriteerejä ovat raiteensyvyydelle, maanpinnan rikkoutumiselle ja maaperän tiivistymiselle asetettavat raja-arvot. Edellä mainitut tunnuksat liittyvät korjuukoneen ja maaperän väliseen vuorovaikutukseen ja ne ovat riippuvaisia liikkuvuusparametreista, kuten korjuukoneen massasta, maaperän lu-

juudesta, pyörä- ja telavarustuksesta sekä maanpintaan välitettävistä voimista. Tietyissä maasto-oloissa ja tietyllä korjuukoneella nämä kriteerit voidaan saavuttaa esimerkiksi vähentämällä kuormaa tai alentamalla koneen nopeutta, jolloin tarvittava pyörien luisto pienenee. Vastaavasti optimointiohjelma saattaa suositella toisen konemallin käyttöä.

Organisaation käytössä olevat korjuumenetelmät ja -koneet sekä mahdollisuudet työmaiden ketjutukseen ja korjuun järjestelyyn rajoittavat optimointimahdollisuuksia. Organisaation käytettävissä olevien kuljettajien ammattitaito ratkaisee viime kädessä työtehtävän onnistumisen. Ammattitaidon vaikutus lopputulokseen on kuitenkin vaikeasti ennustettavissa.

6.5 Ehdotus koneiden suorituskyvyn ennustamismalliksi

6.5.1 Mallittamistyökalut

Paikkatietojärjestelmään ja muihin uusiin tiedonhallintamenetelmiin perustuvalla puunkorjuun suunnittelulla on tavoitteena optimoida annettujen rajoitusten puitteissa korjuukoneiden kulkutarve ja -reitit, kaluston valinta sekä leimikon korjuuajankohta. Lisäksi suunnittelulla minimoidaan ympäristövaurioiden määrä sekä ennustetaan työn tuottavuutta. Paikkatietojärjestelmä on suunnitelujärjestelmän perusta. Sillä talletetaan, päivitetään ja analysoidaan maasto-, puusto-, topologiset- ja topografiset tiedot. Aika voidaan ottaa huomioon esimerkiksi kasvu- ja kustannusmalleilla sekä toimenpiteiden suorituksen päivytyksillä.

Ajoneuvojen liikkumisen mallitus toteutetaan olio-ohjelmoinnilla, joka tarjoaa mahdollisuuden kehittää mallia yksinkertaisesta monimutkaiseen tietojen karttuessa (luku 2.3). Koneiden ja maaston toiminta voidaan kuvata luonnonmukaisena ohjelman rakenteessa. Olio-ohjelmointi soveltuu hyvin simulointiin, jota käytetään suorituskyvyn ennustamiseen. Ohjelman kirjoittaminen on tehokasta, koska sekä valmiita että itse tehtyjä ohjelmaosia voidaan periaatteessa käyttää uudelleen. Mallitus voidaan monin osin toteuttaa myös paikkatietojärjestelmien sisällä matemaattisten funktioiden avulla.

Asiantuntijajärjestelmällä ja älykkäillä hauilla verrataan toimintavaihtoehtoja ja niiden ympäristövaikutuksia sekä tutkitaan esimerkiksi sää- ja aikatekijöiden vaikutusta maaston ominaisuuksiin. Asiantuntijajärjestelmien käyttömahdollisuuksista metsätalouden suunnittelussa antavat mm. Fisher ja Geddes (1983), Sieg ja McCollum (1988) sekä Kaila ja Saarenmaa (1990). Tietämystyökalujen viimeisimmästä kehityksestä on tehnyt katsauksen Hedberg (1993).

6.5.2 Olotietojen kuvaus

Metsikkökuvion olotietojen kuvausta varten muodostetaan kokoomarakenteinen kuvioolosuhdeolio, joka koostuu kokoomarakenteisista maasto-, puusto- ja ilmasto-olioista. Oliota muodostettaessa käytetään hyväksi valmiita numeerisia aineistoja, mitattuja aineistoja ja malleja. Olosuhdeoliota päivitetään aikatekijällä suunnitteluajanjakson mukaan.

Kuvio-olosuhdeolio voidaan rakentaa esimerkiksi seuraavasti:

-maasto-olio

- topologia
- pinnanmuoto
- maaperä
- kasvillisuus

-puusto-olio

- laji
- sijainti
- järeys

-ilmasto-olio

- lämpötila
- säteily
- sademäärä

Suurin osa kuvion ominaisuuksista saadaan tietokannoista keskiarvotietoina, jotka mallien avulla muunnetaan tilastollisiksi jakaumiksi. Esimerkiksi kuvion puulajeittaiset kokonaisuudet jaetaan runkolukujakaumaksi, josta saadaan runkojen koot ja lukumäärä. Nämä puut sijoitetaan sitten kuviolle sijaintijakauman perusteella. Tästä voidaan sitten laskea esimerkiksi puiden välimatkoja.

6.5.3 Koneen ominaisuuksien kuvaus

Kokoomarakenteinen kone-olio kootaan moottori-, voimansiirto-, runko-, pyöränripustus-, pyörä/tela-, kuorma-, toimilaitte- ja ajokäyttötymisolioista. Esimerkiksi samaa pyöräoliota voidaan käyttää erityyppisten koneolioiden osana.

-moottoriolio

- vääntömomentin ja pyörintänopeuden riippuvuus
- polttoaineen kulutus
- päästöt

-voimansiirto-olio

- tyyppi
- sisään menevän ja ulos tulevan pyörintänopeuden riippuvuus
- sisään menevän ja ulos tulevan vääntömomentin riippuvuus

-runko-olio

- tyyppi
- mitat

-pyöränripustusolio

- tyyppi
- jousivakio

-pyörä/telaolio

- tyyppi
- mitat
- jousivakio

-kuormaolio

- mitat

-toimilaitteolio

työtehtävät
mitat, massat ja painopisteet sekä niiden muutokset työssä
energian kulutus
päästöt

-ajokäyttäytymisolio

osien sijainnit, massat ja painopisteet
kuljettaja
ajotila

Suurin osa tiedoista saadaan rakennepiirustuksista ja teknisistä selostuksista. Kuljettajan "keskimääräisen käyttäytymisen" ennustamiseen voidaan aluksi käyttää työntutkimustietoja.

6.5.4 Suorituskykymalli

Puunkorjuun suunnittelujärjestelmä on puunhankintayrityksen johtamisen tiedonhallintajärjestelmän osa, jonka avulla täytetään teollisuuden puumäärä- ja laatutarpeet sovitussa aikataulussa. Järjestelmän avulla valitaan leimikkovarannolle edullisin työjärjestely sekä korjuun toteutusmenetelmät, ohjataan ja seurataan töiden suoritusta, tehdään voimavaratarve-ennusteet sekä kehitetään toimintaa. Puutavaralajitarpeet määrittävät tavoitteet, jotka pyritään toteuttamaan käytettävissä olevien voimavarojen puitteissa paikkatietojärjestelmässä kuvatuilla leimikkokuvioilla.

Oliorakenteisesti toteutetuilla työ- ja kuljetuskoneiden suorituskykymalleilla simuloidaan koneketjujen tuottavuutta, kustannuksia ja ympäristövaikutuksia korjattavien kuvioiden oloissa. Paikkatietojärjestelmän topologisten rutiinien avulla voidaan automaattisesti etsiä paras kulkureitti. Simulointitulosten, leimikoiden ja teiden sijaintitietojen sekä ympäristö-, vuodenaika- ym. rajoitusten perusteella optimoidaan työjärjestely ja voimavaratarpeiden käyttö. Järjestelmän avulla voidaan nopeasti tuottavuuksien ja kustannusten lisäksi vertailla esimerkiksi korjuun ympäristövaikutuksia käytettäessä pientä telakonetta kesäaikana heikosti kantavalla kuviolla saman kuvion korjuuseen roudan aikana tavanomaisella pyöräkoneella. Sumeaa logiikkaa hyväksi käyttäen voidaan tehdä järkeviä ratkaisuja myös tilanteissa, joissa tarkkoihin numeroarvoihin perustuvat päätökset johtavat epätarkoituksenmukaisiin ratkaisuihin (Lam 1993). Hyväksyttävän raidesyvyyden raja-arvo voi olla liukuva, jolloin lyhyellä raja-arvon ylittävän reitin käytöllä voidaan välttää pitkän reitin käyttö, jolla raiteenmuodostus on kriteerin ylärajalla. Järjestelmällä voidaan tuottaa monenlaisia muissa tehtävissä tarvittavia tietoja, kuten välivarastojen puutavaralajimäärät ja aikataulut kaukokuljetusten ohjausta varten.

Seuraavassa kuvataan esimerkkinä tarkemmin ajoneuvojen etenemisnopeuden määrittämiseen tarvittavien voimien laskentaa (katso luvun 6.3 suorituskykymallit). Ajonopeus on eräs tärkeimpiä maastokuljetuskaluston tuottavuutta määrittäviä tekijöitä. Aikamallilla päivitetty ilmasto- ja puusto-oliot ovat viesteillään päivittäneet maasto-olion tilan ennen maaperän ja pyörän vuorovaikutusta. Pyöräolio lähettää maaperäoliolle viestin, joka sisältää tiedot maaperään kohdistuvista voimista. Maaperäolio reagoi itseensä kapseloitujen käyttäytymisohjeiden mukaisesti ja viestiittää muuttuneesta tilastaan, kuten pyörän alla tapahtuvasta maaperän muovautumisesta. Tämän perusteella

pyöräolio tietää saavutettavan vetovoiman ja aiheutuvan kulkuvastuksen. Ajoneuvon muiden pyöräolioiden tila määritetään vastaavalla tavalla.

Oliorakenteella toteutettujen koneketjujen simulointituloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi seuraavin tavoin:

- leimikon toteutusmahdollisuuksien ennustaminen
- reititys ja reitinvalinta
- kone- ja työmenetelmävertailut
- työntuottavuusennusteet ja -vertailut
- kustannusennusteet ja vertailut
- ympäristövaikutusennusteet ja -vertailut
- kone- ja menetelmävalinnat
- työskentelyajankohdan valinta
- korjuujärjestyksen valinta
- resurssitarvelaskelmat
- leimikon ja toiminnan hinnoittelu
- koneiden reaaliaikainen seuranta ja ohjaaminen
- puuraaka-aineen tarjontamahdollisuuksien ennustaminen
- toimitusaikataulujen ennustaminen
- tienrakennustarpeen selvittäminen.

7 Päätelmiä

Paikkatietojärjestelmä metsää omistavan tai puuta hankkivan yrityksen tiedonhallintajärjestelmän perustana tarjoaa relaatiotietokantajärjestelmistä poiketen mahdollisuuden käsitellä tietoja myös niiden keskinäisen sijainnin tai niiden välisten etäisyyksien perusteella. Metsien käsittelyssä ja puunhankinnassa nämä ovat oleellisia kustannuksiin, toimenpiteiden ympäristövaikutuksiin, metsätalouden kestävyYTEEN sekä sen harjoittamisen kuvaan vaikuttavia tekijöitä.

Paikkatietojärjestelmän perustaminen on relaatiotietokantaa kalliimpaa, koska se sisältää ominaisuustietojen lisäksi myös sijaintitietoja. Ominaisuustiedot ovat organisaatioissa tavallisesti jo olemassa erilaisissa tietokannoissa, joita voidaan yleensä hyödyntää paikkatietojärjestelmään siirryttäessä. Paikkatietojärjestelmän käyttöönotto vaatii ohjelmistojen hankinnan sekä tietomuotojen ja -kantojen luomisen lisäksi henkilökunnan koulutuksen. Perustamiseen ja koulutukseen kuluu yleensä muutama vuosi, jonka jälkeen paikkatietojärjestelmän etuja voidaan täysipainoisesti hyödyntää. Järjestelmän luomisvaiheessa joudutaan perehtymään yrityksen tietovirtoihin ja -tarpeisiin. Keskitetyssä järjestelmässä tiedot voidaan turvata tehokkaasti ja niiden käsittelykustannukset alenevat. Tietojen hakua voidaan automatisoida ja räätälöidä käyttäjäkohtaisesti. Yhtenäisessä järjestelmässä tietojen tarkkuus, yhdenmukaisuus, saatavuus ja hakunopeus paranevat.

Metsätalouden toimien suunnittelijalla on paikkatietojärjestelmästä sitä suurempi hyöty mitä pitempi suunnitteluajanjänne on, koska suunnittelijan valittavissa olevien vaihtoehtojen määrä kasvaa. Tyypillisesti pisin suunnitteluajanjänne on metsää omistavilla ja puun itse korjaavilla organisaatioilla, jotka voivat hyödyntää kaikkia aiemmin mainittuja paikkatietojärjestelmien mahdollisuuksia. Puunkorjuun toteuttaja toimii paikkatietojärjestelmän tuottaman toimintaohjeen ja kartan perusteella.

Suomen metsätalous perustuu pienmetsänomistukseen, jolloin puunkorjaajalla ei ole etukäteen tietoa korjuukohteesta. Korjaajan paikkatietojärjestelmässä voi olla kuljetusväylien lisäksi yleisesti saatavaa tietoa kohteesta. Ostoa voidaan ohjata esimerkiksi Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventointitietojen perusteella. Peruskartta- ja muiden valmiiden numeeristen aineistojen perusteella voidaan suunnitella korjuutoimia. Maastossa kerättävää tietoa voi ostaja kerätä järjestelmäänsä vasta puukaupan teon jälkeen. Tällöin ei voida saada kaikkia paikkatietojärjestelmän mahdollistamia optimointihyötyjä korjuu- ja kuljetusresurssien ohjauksessa ja metsälön kehityksessä.

Pienissä yksityismetsälöissä nykyiset paikkatietojärjestelmät ovat turhan järeitä ja erityistaitoja vaativia työkaluja. Mikrotietokoneessa toimivaan paikkatietojärjestelmään perustuva metsänomistajan suunnittelujärjestelmä voisi tulevaisuudessa korvata nykymuotoisen metsätaloussuunnitelman. Suunnittelija kerää metsälön puusto- ym. tiedot, siirtää ne metsänomistajan järjestelmään ja laatii metsänomistajan kanssa hänen toiveidensa pohjalta muutamia perussuunnitelmia, joita metsänomistaja voi edelleen kehittää. Järjestelmä näyttää taloudellisten laskelmien lisäksi toimintavaihtoehtojen vaikutukset kartalla sekä piirtää kuvat metsiköiden ja maiseman kehityksestä (luku 3.2). Toimenpidekuvioiden tiedot voidaan tulostaa taulukoiksi ja kartaksi tai tiedostoksi puunostajan ja -korjaajan järjestelmiä varten. Ostaja saa tiedot puustosta ja korjuuloista, jotka liitetään puunkorjuun suunnittelujärjestelmään.

Paikkatietojärjestelmien hyödyt tulevat korostetusti esiin yhteiskunnan ja metsänomistajien metsiin kohdistamien tavoitteiden moninaistuessa. Sijaintitietojen ansiosta tietojen analysointimahdollisuudet monipuolistuvat juuri puunhankinnassa ja metsien käsittelyssä hyödyllisillä tavoilla. Järjestelmän käyttöönottoineissa metsäorganisaatioissa sille on löydetty jatkuvasti uusia käyttömahdollisuuksia. Ohjelmistojen ja laitteiden kehittyminen nopeuttaa käytön oppimista sekä mahdollistaa uusia, esimerkiksi ajan- ja liikkeen käsittelyyn sopivia työkaluja.

Puunkorjuun ja kuljetuksen suunnittelussa on paikkatietojärjestelmän avulla mahdollista verrata etäisyyksiin ja sijainteihin liittyviä tekijöitä sekä optimoida niitä. Luvussa 6 esitetty järjestelmä mahdollistaa luonnon monimuotoisuuden säilyttämisen ja lisäämisen. Sen osana oleva oliopohjaiseen suunnitteluun perustuva työ- ja kuljetuskoneiden suorituskyky malli perustuu kriittisen ajoneuvo-maaperä -vuorovaikutussuhteen alueelliseen tarkasteluun. Järjestelmän avulla on siten myös mahdollista minimoida puunkorjuun aiheuttamat ympäristövauriot.

8 Kirjallisuus

- Aarts, E. & Korst, J. 1989. Simulated annealing and Boltzman machines: a stochastic approach to combinatorial optimization and neural computing. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Great Britain. 1-272. Artikkelin (Dahlin, B. & Sallnäs, O. 1993. Harvest Scheduling under Adjacency Constraints - A Case Study from the Swedish Sub-alpine Region. Scand. J. For. Res. 8: 281-290) mukaan.
- Agbu, P.A., Fehrenbacher, D.J. & Jansen, I.J. 1990a. Soil property relationships with SPOT satellite digital data in East Central Illinois. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 807-812.
- Agbu, P.A., Fehrenbacher, D.J. & Jansen, I.J. 1990b. Statistical comparison of SPOT spectral maps with field soil maps. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 812-818.
- Aplicom - Kuljetusten ohjauksen ja paikannusjärjestelmä, 1993. Esite. Computec Oy, 00211 Helsinki ja Genimap Oy, 33100 Tampere. 1-4.
- Ainola, Anna-Maija 1993. Haastattelu ja kirjallinen selvitys syyskuussa 1993. Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus.
- Bare, B. & Mendoza, G. 1992. Timber harvest scheduling in a fuzzy decision environment. Can. J. For. Res. 22: 423-428.
- Becker, G. & Jaeger, D. 1992. Integrated design, planning and evaluation of forest roads and logging activities using GIS-based interactive CAD-systems. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 159-164.
- Bekker, M.G. 1956. Theory of land locomotion. University of Michigan press, Ann Arbor, Michigan. 1-846.
- Berry, J.K. 1994. Averages are mean. GIS World (7) 1: 22-23.
- Berry, J.K. & Sailor, J.K. 1981. A Spatial Analysis Of Timber Supply. Proceedings of the Place Resource Inventories: Principles and Practices, University of Maine, August 9 -14 1981. 828-833.
- Bolstad, P.V. & Smith, J.L. 1992. Errors in GIS - Assessing spatial data accuracy. Journal of Forestry 90 (11): 21-29.
- Booch, G. 1991. Object Oriented Design with applications. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Redwood City CA. 1- 580.
- Bowersox, D., Closs, D. & Helferich, O. 1986. Logistical Management. Third edition. Macmillan Publishing Company. New York. 1-586.
- Brodie, J.D. & Sessions, J. 1991. The Evolution of Analytic Approaches to Spatial Harvest Scheduling. Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. Compiled by M.A. Buford. USDA Forest Service, South-Eastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE 74: 187-191.
- Budd, T. 1991. Object-Oriented Programming. Addison-Wesley Publishing Company. 1-399.
- Burrough, P.A. 1987. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on soil and resources survey no. 12. Oxford University Press, New York. 1-194.
- Clements, S.E., Dallain, P.L. & Jamnick M.S. 1990. An operational, spatially constrained harvest scheduling model. Can. J. For. Res. 20: 1438-1447.
- Coad, P. & Yourdon, E. 1990. Object-Oriented analysis. Yourdon Press. 1-232.

- Corlis, K. 1993. Innovative technologies enrich data collection/conversion. *GIS World* (6) 9: 34-35.
- Computer simulation models NTVPM-86 and NWVPM for tracked and wheeled vehicle performance. 1987. Vehicle systems development corporation. Ontario, Canada. Ohjelmistoeste. 1-19.
- Croswell, P. 1993. Open systems mean "open sesame" for the GIS community. *GIS World* (6) 11: 40-42.
- Dahlin, B. & Sallnäs, O. 1993. Harvest Scheduling under Adjacency Constraints - A Case Study from the Swedish Sub-alpine Region. *Scand. J. For. Res.* 8: 281-290.
- Daniel, L. 1993. Easier data exchange sparks GIS workplace evolution. *GIS World* (6) 12: 48-49.
- Davis, C.J. 1987. Planning Timber Harvest Activities with Geographic Information/Decision Support Systems. Väitöskirja. Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette, IN, U.S.A. 1-249. Kirjan (Reisinger, T.W. 1989. GIS-Based Decision Support Systems: A Forest Industry Perspective. Kirjassa: GIS Applications in Natural Resources. Toimittajat: Heit, M. & Shortreid, A. GIS World Inc, Fort Collins, CO, USA. 223-227.) mukaan.
- Davis, R.G. & Martell, D.L. 1993. A decision support system that links short-term silvicultural operating plans with long-term forest-level strategic plans. *Can. J. For. Res.* 23: 1078-1095.
- Dubayah, R. & Davis, F.W. 1988. Factors influencing the utility of digital elevation models in ecological research. Proceedings of the 3rd International Symposium on Spatial Data Handling, Sydney.
- Dunningham, A. & Thompson, S. 1989. Use of Geographic Information Systems in New Zealand Forestry Applications. *Commonw. For. Rev.* 68 (3): 203-213.
- Dykstra, D. 1992. GIS as a supporting tool for timber harvesting scheduling on the Fort Apache indian reservation, Arizona. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 143-150.
- Flagg, A. 1993. Follow a Seven-Step Path to GIS Nirvana. *GIS World*, Vol. 6, september (9): 48-49.
- Fisher, E. & Geddes, L. 1983. An Artificial Intelligence Approach to Forest Harvest Planning. American Society of Agricultural Engineers, 1983 Winter Meeting, Chicago, Illinois. Paper no. 83-1610: 1-18.
- Fridman, J. & Gunnarsson, P. 1989. GIS i storskogsbruket - en lägesrapport, hösten 1989. Seminariearbete i fjärranalys. Institutionen för Biometri och Skogsindelning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. 1-47.
- Fridstrand, K & Persson, J. 1990. Framkomlighet i Övre Norrland, Utveckling och utvärdering av framkomlighetsmodell, FOA Rapport C 20819-2.6 (2.7). 1-77.
- Fridstrand, K. & Svantesson, M. 1990. Framkomlighet i Övre Norrland, Geografiskt Informationssystem, FOA Rapport C 20792-2.6 (2.7). 1-37.
- Genimap TransPlanner. Genimap Oy, Tampere. Esite. 1-4.
- Granberg, H.B. & Irwin, G.J. 1990. A Geographic Snow Information System for vehicle mobility prediction. Proceedings of 10th International Conference of the ISTVS. Kobe, Japan. Vol 1: 95-106.
- Gunnarsson, P. 1992. GIS as a tool for transport planning. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 151-158.

- Hannila, A. 1993. Puuha puunhankintapeli. Ohjelman rakennekuvaus. Metsäntutkimuslaitos, Tietohallinto. Moniste. 1-7.
- Hedberg, S. 1993. New Knowledge Tools - State of the Art. Byte July. 106-111.
- Hermansen, C. 1989. The Practical Application of GIS in Forest Resource Management. Kirjassa: GIS Applications in Natural Resources 1991. Toimittajat: Heit, M. & Shortreid, A. GIS World Inc, Fort Collins, CO, USA. 207-215.
- Herrington, L.P. & Korten, D.E. 1988. A GIS based decision support system for forest management. Proceedings of the GIS/LIS' 88 - accessing the world. November 30 - December 2, 1988, San Antonio, Texas. Volume 2: 825-831.
- Hokkanen, Hannu 1992. Enso-Gutzeit Oy, metsänhoitaja. Haastattelu 10.12.1992 Imatralla.
- Howard, A. & Nelson, J. 1993. Area-based harvest scheduling and allocation of forest land using methods for multiple-criteria decision making. Can. J. For. Res. 23: 151-158.
- Hämäläinen, J. & Räsänen, T. 1994. GPS-paikannus metsäolosuhteissa. Metsätehon katsaus 5: 1-8.
- Hämäläinen, J., Imponen, V. & Kaila, S. 1990. Paikannettujen koealatiетоjen käyttö puunkorjuun ja metsä uudistamisen suunnittelussa. Summary: Utilization facilities of data from positionally fixed sample plots for harvesting and regeneration planning. Metsätehon katsaus 18: 1-8.
- Iverson, D.C. & Alston, R.M. 1987. The Genesis of FORPLAN II: An historical and analytical review of USDA Forest Service planning models. USDA For. Serv., Land Manage. Plan. Sys. Sect., Washington DC. Viitauksessa Nelson, J.D., Brodie, J.D. & Sessions, J. 1991. Integrating Short-Term, Area-Based Logging Plans with Long-Term Harvest Schedules. Forest Science, Vol. 37, (1): 101-122.
- Jaakkola, S. 1993. Puunkuljetusta ilman piirirajoja. Koneyrittäjä 6: 36.
- Jameson, D. 1993. Object-oriented approaches add value to GIS. GIS World (6) 11: 43, 46-47.
- Jamnick, M. & Walters, K. 1993. Spatial and temporal allocation of stratum-based harvest schedules. Can. J. For. Res. 23: 402-413.
- Johansson, S. & Gunnarsson, P. 1994. GPS och GIS för inventering och åjourhållning av vägnätet. Skogsforsk, Resultat 2: 1-4.
- Johnson, K.N. 1987. FORPLAN, version II. Dept. of For. Manage., Oregon State Univ., in cooperation with USDA For. Serv., Land Manage. Plan. Viitauksessa Nelson, J.D., Brodie, J.D. & Sessions, J. 1991. Integrating Short-Term, Area-Based Logging Plans with Long-Term Harvest Schedules. Forest Science, Vol. 37, (1): 101-122.
- Johnson, L.B., Johnston, C.A. & Pastor, J. 1988. Raster and vector data in ecological applications. Proceedings of the GIS/LIS' 88 - accessing the world. November 30 - December 2, 1988, San Antonio, Texas. Volume 1: 386-394.
- Jordan, G.A. & Baskent, E.Z. 1991. GISFORMAN - A Next Generation Wood Supply Model. Kirjassa: GIS Applications in Natural Resources 1991. Toimittajat: Heit, M. & Shortreid, A. GIS World Inc, Fort Collins, CO, USA. 365-372.
- Kaila, E. & Saarenmaa, H. 1990. Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa. Summary: Computer-aided decision making in forestry. Folia For. 757: 1-34.
- Kangas, J., Päivinen, R. & Varjo, J. 1992. Integroitu metsäsuunnittelu. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 2: 1-34.

- Karafiath, L.L. & Nowatzki, E.A. 1987. Soil mechanics for off-road vehicle engineering. Series on rock and soil mechanics, Vol. 2 (1974/77) No. 5. Trans Tech Publications. 1-515.
- Keefer, B.J., Smith, J.L. & Gregoire, T.G. 1991. Modeling and Evaluating the Effects of Stream Mode Digitizing Errors on Map Variables. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 57 (7): 957-963.
- Kempainen, H. 1991. Oliot paikkatiedossa. Geodeettinen laitos. Kartografia, Tiedote 2: 1-27.
- Kent, B.M., Dyer, A.A. & Joyce, L.A. 1991. The Utility of Forplan for USDA Forest Resource Planning. The Perspective of Agency Personnel. Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. Compiled by M.A. Buford. USDA Forest Service, South-Eastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE 74: 300-307.
- Keskinen, K. 1987. KPO:n tekoälyvälineet. Korkeakoulujen ATK-uutiset. 1987 (3): 22-28.
- Kessler, B.L. 1992. Glossary of GIS Terms. Journal of Forestry 90 (11): 37-45.
- Kilikki, P. 1985. Timber management planning. Silva Carelica 5: 1-160.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. & Vecchi, M.P. 1983. Optimizing by simulated annealing. Science 220: 671-680. Artikkelin (Dahlin, B. & Sallnäs, O. 1993. Harvest Scheduling under Adjacency Constraints - A Case Study from the Swedish Sub-alpine Region. Scand. J. For. Res. 8: 281-290) mukaan.
- Kirby, M.W., Wong, P., Hager, W.A. & Huddleston, M.E. 1980. A guide to the integrated resources planning model. USDA Forest Service, Berkeley CA, USA. 1-211.
- Kokkola, J. 1993. Paikkatietojärjestelmät metsäteknologiassa. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 13: 1-34.
- Korhonen, K.T., Nalli, A. & Varjo, J. 1992. Metsätalouden suunnittelu Ruotsissa. Päivinen, R., Kangas, J. & Varjo, J. (toimittajat): Katsaus metsätalouden suunnitteluun Suomessa ja Ruotsissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 406: 36-52.
- Koten, D.E., Herrington, L.P., Chambers, R.E. & Davis, C.J. 1991. A knowledge-based approach to the evaluation of future forest conditions. Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. Compiled by M.A. Buford. USDA Forest Service, South-Eastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE 74: 386-390.
- Kuittinen. 1985. Lumen vesiarvon määrittäminen luonnon gammasäteilyn ja satelliittikuvien avulla. VTT tutkimuksia 370: 1-98.
- Kusan, V., Vondra, V., Martinic, I., Ananic, M & Belusic, R. 1992. Linking GIS and harvest regression models for planning. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 165-173.
- Kyhälä, Kalevi 1994. Tuusulan kunta, maankäyttöinsinööri. Haastattelu 26.8.1994.
- Kylén, B. 1990. Nordic KVANTIF II. Economics of geographic information. Organizational impacts of technological change in the road GIS case. 1-126. Kirjan (Naasset, E. 1992. Bruk av geografiske informasjonssystem i norsk skogbruk. Summary: Use of geographic information systems in Norwegian forestry. Rapport fra Skogforsk 18: 1-17.) mukaan.
- Lam, S. 1993. Fuzzy sets advance spatial decision analysis. GIS World (6) 12: 58-59.
- Langran, G. 1992. Time in Geographic Information Systems. Taylor & Francis. 1-189.

- Lappi, J. 1992. A linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 414: 1-134.
- Leggat, K. & Buckley, D. 1991. Implementing GIS into Alberta's Integrated Resource Planning Program. Kirjassa: GIS Applications in Natural Resources. Toimittajat: Heit, M. & Shortreid, A. GIS World Inc, Fort Collins, CO, USA. 251-257.
- Leino, R. 1993. Tekoäly ohjaa Enson puunkeräilyä. Tekniikka ja talous, 22: 19.
- Linnainmaa, S. 1992. Kartoihin perustuva raskaiden teollisuuskuljetusten optimoiva ohjaus. Paikkatietomarkkinat 22-23.9.1992. Moniste. 1-5.
- Lockwood, C. & Moore, T. 1993. Harvest scheduling with spatial constraints: a simulated annealing approach. Can. J. For. Res. 23: 468-478.
- Maaperäkartat - Jordartskartor - Maps of quaternary deposits 1:20 000 & 1:50 000, 1994a. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. Esite. 1-2.
- Maaperäkartat - Jordartskartor - Maps of quaternary deposits 1:100 000 & 1:400 000, 1994b. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. Esite. 1-2.
- Maaperän peruskartoitus - Kartoitusperusteet ja kuvausohjeet, 1994. Kartoitusperusteet ja kuvausohjeet. Geologian tutkimuskeskus. Espoo 1-19.
- MacDonald, A.J. 1993. A computer model for harvest planning. Forest Research Institute of Canada, Western Division. Field note No.: General-32. 1-2.
- MacDonald, R.L., Goodbrand, C. & Johnstone, W.M. 1991. Application of GIS to the Planning and Preliminary Design of the Vancouver Island Highway. Kirjassa: GIS Applications in Natural Resources. Toimittajat: Heit, M. & Shortreid, A. GIS World Inc, Fort Collins, CO, USA. 259-265.
- Many Databases Developed In-House, 1994. GIS Strategies (2) 3. Julkaisussa: GIS-World (7)3: 12.
- Mark, D.M. 1975. Geomorphometric parameters: A review and evaluation. Geografiska Annaler 57 A 3-4: 165-177.
- Mattila, E. 1992. Valtakunnan metsien inventointi ja kaukokartoitus. Nikula, A., Varmola, M. & Lahti, M.-L. (toimittajat). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437: 16-38.
- Mattila, E. 1993. Paikkatietojärjestelmien virhelähteistä. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M.-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 27-41.
- McGaughey, R. 1992. An overview of PLANS: Preliminary Logging Analysis System. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 100-111.
- McGregor, D. 1988. Geographic information system trends. Proceedings of the GIS/LIS' 88 - accessing the world. November 30 - December 2, 1988, San Antonio, Texas. Volume 2: 915-921.
- Merzenich, J.P. 1991. Spatial Disaggregation Process: Distributing Forest Plan Harvest Schedules to Subareas. Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. Compiled by M.A. Buford. USDA Forest Service, South-Eastern Forest Experiment Station. General Technical Report SE 74: 250-254.
- Montgomery, G. & Schuch, H. 1993. GIS Data Conversion Handbook. GIS World Inc, Fort Collins, CO, U.S.A. 1-292.

- Mäkitalo, K., Sutinen, R., Sutinen, M-L. & Päänttjä, M. 1993. Metsämaan vesipitoisuuden luokitus dielektrisyiden ja gammasäteilyn avulla: potentiaalinen apuväline metsänuudistamisen suunnitteluun. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 62-78.
- Nalli, A. & Hyttinen, P. 1992. Metsätalouden suunnittelujärjestelmien nykytila Suomessa. Päivinen, R., Kangas, J. & Varjo, J. (toimittajat): Katsaus metsätalouden suunnitteluun Suomessa ja Ruotsissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 406: 23-35.
- Nearhood, D. 1992. Planning ground based harvesting using digital elevation models. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 94-99.
- Nelson, J. & Brodie, J.D. 1990. Comparison of a random search algorithm and mixed integer programming for solving area-based forest plans. Can. J. For. Res. 20: 934-942.
- Nelson, J.D., Brodie, J.D. & Sessions, J. 1991. Integrating Short-Term, Area-Based Logging Plans with Long-Term Harvest Schedules. Forest Science, Vol. 37, (1): 101-122.
- Nelson, J.D. & Finn, S.T. 1991. The influence of cut-block size and adjacency rules on harvest levels and on road networks. Can. J. For. Res. 21: 595-600.
- Niemeläinen, P., Kangas, J. & Päivinen, R. (toimittajat) 1994. Integroidun metsäsuunnittelun menetelmiä ja välineitä. Integroidun metsällisen päätöksenteon tukijärjestelmä (IMPJ) - yhteistutkimushankkeen loppuseminaari 2.2.1994. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 16: 1-102.
- Niininen, Iiris, 1994. Vesi- ja ympäristöhallituksen Ympäristötietokeskus, atk-suunnittelija. Haastattelu 17.8.1994.
- Nitami, T. 1990. The fractal structure of mountainous terrain and its influence on logging operations. Proceedings of 10th International Conference of the ISTVS. Kobe, Japan. Vol 1: 15-24.
- Numeeriset tuotteet 1993. Tuotedemo, versio 1.0, 21.9.1993. Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus. Datalevyke.
- Nuutinen, T. 1989. Combinatorial optimization in short-term forest planning. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Thesis for the degree of licentiate of science in agriculture and forestry. 1-54.
- Nuutinen, T. 1992. GIS-based analysis for timber sale planning. Proceedings of the 4th Scandinavian Research Conference on GIS. Espoo, Finland, 22-25. November, 1992. 192-201.
- Nuutinen, T. 1994. GISMELA-paikkatietojärjestelmä metsäsuunnittelussa. Julkaisussa: Niemeläinen, P., Kangas, J. & Päivinen, R. (toimittajat) 1994. Integroidun metsäsuunnittelun menetelmiä ja välineitä. Integroidun metsällisen päätöksenteon tukijärjestelmä (IMPJ) - yhteistutkimushankkeen loppuseminaari 2.2.1994. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 16: 18-33.
- Nuutinen, T. & Pukkala, T. 1992. Long term forestry management with landscape illustrations. Proceedings of Joint FAO/ECE/ILO Committee The use of information systems in forestry. Garpenberg, Sweden, 14-18. September, 1992. 12-27.
- Offenbacher, E.L. & Colbeck, S.C. 1991. Remote sensing of snow covers using the gamma-ray technique. CRREL report 91-9: 1-18.
- O'Hara, A.J., Faaland, B.H. & Bare, B.B. 1989. Spatially constrained timber harvest scheduling. Can. J. For. Res. 19: 715-724.

- Ohmiya, K. 1990. Fractal dimensions of terrain profiles. Proceedings of 10th International Conference of the ISTVS. Kobe, Japan. Vol 1: 3-14.
- Oranne, Pirkko, 1993. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Haastattelut lokakuussa 1993 ja elokuussa 1994.
- Paananen, R. 1994. A data model for a GIS-based forest information system. Tiivistelmä: Paikkatietojärjestelmään perustuvan metsätietojärjestelmän tietomalli. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 493: 1-78.
- Paananen, R. & Nuutinen, T. 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsien tiedonhallinnan ja suunnittelun kehittäminen. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 8-20.
- Paikkatietojen yhteiskäyttö 1994. Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus. The World-Wide Web Virtual Library tietokanta Internet verkon osoitteessa *ptk@mmh.fi*.
- Palander, T. 1993. Puunhankintaorganisaation informaatiojärjestelmät. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 14: 1-32.
- Pike, R.J. 1988. The geometric signature: Quantifying landslide - terrain types from digital elevation models. *Mathematical Geology* (20) 5: 491-510.
- Pukkala, T. 1988. Monikäytön suunnitteluohjelmisto MONSU. Ohjelman toiminta ja käyttö. Joensuun yliopisto. Moniste. 1-40.
- Pukkala, T. 1993. Metsämaisema metsäsuunnittelussa. Mäkkeli, P. ja Kangas, J. toimittajat. Metsäluonnon ja -ympäristön hoito - Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 478: 29-36.
- Pulkki, R. 1984. A spatial database - heuristic programming system for aiding decision-making in long-distance transport of wood. Tiivistelmä: Sijaintitietokanta-heuristinen ohjelmointijärjestelmä puutavaran kaukokuljetuksen päätöksenteossa. *Acta Forestalia Fennica* 188: 1-89.
- Rainio, A. 1988. Paikkatietojärjestelmät ja yhteiskäyttö. *Silva Carelica* 10: 31-38.
- Reisinger, T.W. 1989. GIS-Based Decision Support Systems: A Forest Industry Perspective. Kirjassa: GIS Applications in Natural Resources 1991. Toimittajat: Heit, M. & Shortreid, A. GIS World Inc, Fort Collins, CO, USA. 223-227.
- Reisinger, T.W. & Davis, C.J. 1986. A Map-based Decision Support System for Evaluating Terrain and Planning Timber Harvests. *Transactions of the ASAE* 29(5): 1199-1203
- Rimpiläinen, M. 1994. Enso siirtyy vuoden 2000 tietojärjestelmiin. *Transpress, VR:n kuljetus- ja materiaalitaloudellinen asiakaslehti* 2: 10-12.
- Road data bank of Finland - General description 1993. Finnish National Road Administration, Traffic and road research. Esite 15.3.1993. 1-15.
- Robson, D. 1981. Object-Oriented Software Systems. *Byte*. August: 74-86.
- Roise, J.P. 1990. Multicriteria nonlinear programming for optimal spatial allocation of stands. *For. Sci.* 36: 487-501.
- Saarenmaa, H. 1988. Model-based reasoning in ecology and natural resource management. Buhyoff, G. (toim.) Proceedings of Resource Technology 88. International Symposium on Advanced Technology in Natural Resource Management. Fort Collins, Colorado, June 20-23, 1988. 141-157.

- Saarenmaa, H. & Nikula, A. 1989. Managing Moose Damage in Forest Plantations: A Deep Model of Animal Behavior on a Geographic Information System Platform. Proceedings of the Ninth International Workshop Expert Systems 6 Their Applications, Avignon, France, May 29 - June 2 1989. 825-831.
- Saatsi, Asko 1992. Metsähallitus, pääsuunnittelija. Haastattelu 20.10.1992, Tikkurila.
- Sessions, J. 1992. Using network analysis for road and harvest planning. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 26-35
- Sessions, J & Sessions, J.B. 1991. Scheduling and Network Analysis Program (SNAP II). Users guide. Department of Forest Management, Oregon State University, Corvallis OR, U.S.A. 1-145.
- Sessions, J & Sessions, J.B. 1992. Tactical harvest planning using SNAP 2.03. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 112-120.
- Shiba, M. 1992. Optimization of road layout in opening up of forests. Proceedings of the Computer supported planning of roads and harvesting workshop. Sponsored by IUFRO 3.05 and 3.06 and the University of Munich. Editor John Sessions. August 26-28, 1992, Feldafing, Germany. 1-12.
- Shoop, S.A. 1993. Terrain characterization for trafficability. CRREL report 93-6: 1-23.
- Sieg, G.E. & McCollum, M.P. 1988. Integrating geographic information systems and decision support systems. Proceedings of the GIS/LIS' 88 - accessing the world. November 30 - December 2, 1988, San Antonio, Texas. Volume 2: 901-910.
- Siitonen, M. 1983. A Long Term Forestry Planning System Based on Data from the Finnish National Forest Inventory. Julkaisussa Forest Inventory for Improved Management. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration. 17: 195-207.
- Siitonen, M. 1993. Experiences in the use of forest management planning models. Tiivistelmä: Kokemuksia mallien käytöstä metsätalouden suunnittelussa. Silva Fennica 27(2): 167-178.
- Smith, D.A. & Tomlinson, R.F. 1992. Assessing costs and benefits of geographical information systems: methodological and implementation issues. International Journal of Geographical Information Systems 6(3): 247-256.
- Star, J. & Estes, J. 1990. Geographic Information Systems - An Introduction. Prentice Hall. 1-303.
- Strand, E. 1993. Model-view-controller architecture expedites embedded applications. GIS World (6) 10: 20-21.
- Sucksdorf, Yrjö 1994. Vesi- ja ympäristöhallituksen Ympäristötietokeskus, vanhempi tutkija. Haastattelu 17.8.1994.
- Suomen Reittikartta. Genimap Oy, Tampere. Esite. 1-2.
- Suomen tiestö (ST). Karttakeskus, Helsinki. Esite. 1-2.
- Tan, J.M. 1992. Planning a Forest Road Network by A Spatial Data Handling-Network Routing System. Tiivistelmä: Metsätieverkon suunnittelu sijaintitietokantamenetelmällä. Acta Forestalia Fennica 227: 1-85.
- Terlesk, C.J. 1983. A proposed terrain classification for harvesting in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry 28 (1): 43-57.

- The 1994 International GIS Sourcebook. GIS World Inc, Fort Collins, CO, U.S.A. 1-711.
- Thieme, R., Jones, D., Gibson, H., Fricker, J. & Reisinger, T. 1987. Knowledge-Based Forest Road Planning. AI applications. Vol 1 (1): 25 - 33.
- Tiestön palvelutietokanta 1994. Maanmittauslaitos, Maastotietokeskus, Tuotepalvelut ja myynti. Helsinki. Esite 7.2.1994. 1 s.
- Tomlin, C.D. 1990. Geographic Information Systems and cartographic modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1-249.
- Tveitdal, S. 1987. Nordisk KVANTIF. Samhällsnyttan av digital lägesbunden information. Slutrapport. 1-70. Kirjan (Naasset, E. 1992. Bruk av geografiske informasjonssystem i norsk skogbruk. Summary: Use of geographic information systems in Norwegian forestry. Rapport fra Skogforsk 18: 1-17.) mukaan.
- U.S. Army Test and Evaluation Command 1978. Tracked vehicle drawbar pull on soft soil. International test operations procedure (ITOP) 2-2-604 (1): 1-5.
- Vuorenpää, T. 1992. Puutavarankuljetuksen ohjauksen välineet. Metsähallitus, Kehittämisjaosto, Seloste 4: 1-8.
- Weibel, R. & DeLotto J.S. 1990. Automated terrain classification for GIS modeling. GIS/LIS'88 proceedings, volume 2: 618-627.
- Weibel, R. & Heller, M. 1991. Digital terrain modelling. Teoksessa: Maguire, D., Goodchild, M. & Rhind, D. (toim.) 1991. Geographical information systems - Principles and applications. Longman Scientific & Technical. Longman Group, Avon. Vol 1. 269-297.
- Weiss, R.A. 1982. Terrain mesoroughness description and its application to mobility and cover. Transactions of the twenty-eight conference of army mathematicians. ARO report 83-1: 353-387.
- Wismer, R.D. & Luth, H.J. 1972. Off-road prediction for wheeled vehicles. ASAE paper No.72-619. 1-16.
- Yong, R.N., Fattah, E.A. & Skiadas, N. 1984. Vehicle Traction Mechanics. Developments in Agricultural Engineering, 3. Elsevier. 1-309.

ISBN 951-40-1386-7
ISSN 0358-4283
Hakapaino Oy, Helsinki 1994