

Jori Uusitalo ja Veli-Pekka Kivinen

Leimikon ennakkomittauksen ajanmenekki

Uusitalo, J. & Kivinen, V-P. 1994. Leimikon ennakkomittauksen ajanmenekki. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1994(2): 123–139.

Leimikon ennakkomittauksella tarkoitetaan kevyttä otantaan perustuvaa pystymittausta, jonka tavoitteena on tuottaa ennakkotietoa jalostukseen tulevan leimikon puulajikohtaisista läpimitta-, pituus- ja laatujaumista. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää leimikkotehijöiden vaikutus leimikon ennakkomittauksen eri työnosien ajanmenekkiin erilaisissa päätehakkuoloissa sekä edelleen luoda matemaattiset mallit ennakkomittauksen työnosien ajanmenekille kahdella eri menetelmällä. Tutkimuksessa kehitettäviä ajanmenekifunktioita käytetään ensisijaisesti leimikon ennakkomittausmenetelmien kehittämistyössä.

Tutkimuksessa seurattiin kahden mittajaan työskentelyä kahdella otantamenetelmällä seitsemässä leimikossa. Mittaajien työskentely tallennettiin kuvanauhalle videotekniikkaa hyväksi käyttäen. Analysoitavaa kuvamateriaalia kertyi yhteensä 17 h. Tutkimusaineiston analysoinnin perusteella luotiin mallit kunkin työnosan ajanmenekin ennustamiseksi.

Koepuiden lukumäärän ohella ennakkomittauksen ajanmenekkiin vaikutti selvimmin leimikon pinta-ala. Leimikon runkoluvun kasvu lisäsi koealan perustamisen ajanmenekkiä, kun koepuut valittiin ympyräkoestalalta mittavapaa apuna käyttäen.

Rinnankorkeusläpimitan suuruudella, puun pituudella tai kuivaaksarajan korkeudella ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta kyseisen tunnuksen mittauksen ajanmenekkiin.

Asiasanat: aikatutkimus, leimikot, puusto, metsät, mittaus

Kirjoittajien yhteystiedot: Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos, PL 24, 00014 Helsingin yliopisto. Faksi (90) 191 7755, sähköposti juusitalo@cc.helsinki.fi

Hyväksytty 13.12.1994

Symbolit

- A = leimikon pinta-ala, ha
 a = koealan pinta-ala, ha
 D = leimikon runkoluku, kpl/ha
 $F = (\text{leimikon maksimipituus (m)} / 100)^2 / A$
 N = koepuiden lukumäärä, kpl
 N_b = pohjapinta-alan mittauskerrat, kpl
 N_h = pituuskoepuiden lukumäärä, kpl
 N_q = laatumäärityksen mittauskerrat, kpl
 N_s = koealojen lukumäärä leimikossa, kpl
 q = linja- ja koealaväli, m
 R^2 = selitysaste, %
 S = siirtymismatka, m
 T_A = leimikon pinta-alan määrittämisen ajanmenekki, min
 T_{d1} = rinnankorkeuslähimittauksen runkokohtaisen ajanmenekki, s
 T_d = rinnankorkeuslähimittauksen kokonaisajanmenekki leimikossa, s
 T_{e1} = koealan perustamisen ajanmenekki, s
 T_m = siirtymisen ajanmenekki, min
 T_{r1} = yhden mitatun tunnuksen kirjaamiseen kuluva aika, s
 T_r = kirjaamisen kokonaisajanmenekki leimikossa, s
 V = siirtymisnopeus, m/min

1 Johdanto

Suomalaisen metsäteollisuuden kansainvälisen Skilpailukyvyn yhdeksi keskeisimmäksi menestekijäksi on todettu asiakaslähtöinen toiminta: on valmistettava juuri sellaisia tuotteita, jotka vastaavat asiakkaiden tarpeita ja toiveita. Sahateollisuudessa asiakkaiden tarpeet ja toiveet kohdistuvat ennen kaikkea sahatavaran mittoihin (pituus/leveys/paksuus) ja laatuun.

Asiakaslähtöinen tuotantotoiminta tarvitsee luonnollisesti tietoa asiakkaiden toiveista ja vaatimuksista. Toisaalta, koska sahatavaran laatu määräytyy lähes yksinomaan puuraaka-aineen, sahatukin, laadun perusteella, edellyttää asiakaslähtöinen sahatavaran tuotanto myös asiakaslähtöistä puunhankintaa. Tällöin on ensinnäkin pyrittävä jo leimikoiden ostovaiheessa ottamaan huomioon ostajien sahatavaran

laadulle asettamat vaatimukset. Toiseksi, jotta toiminta olisi kokonaisuudessaan taloudellista ja tehokasta, on pyrittävä löytämään kuhunkin tilaukseen niin puuston määrän kuin laadun näkökulmasta parhaiten soveltuvat leimikot ja annettava edelleen optimaaliset apterausohjeet jokaiseen valittuun leimikkoon.

Asiakastilauksiin parhaiten soveltuvan korjuuohjelman laadinta edellyttää, että pystyvarannon leimikoiden rakenteesta, kuten runkolukusarjoista ja tukkirunkojen laadusta on olemassa riittävästi mitattua tietoa. Tällainen tieto voidaan kerätä esimerkiksi leimikon hinnoittelun tai korjuun suunnittelun yhteydessä suoritettavan leimikon ennakkomittauksen avulla.

Leimikon ennakkomittauksella tarkoitetaan kevyttä otantaan perustuvaa pystymittausta, jonka tavoitteena on tuottaa ennakkotietoa jalostukseen tulevan leimikon puulajikohtaisista lähimitta-, pituus- ja laatujaakumista. Ennakkotiedon liittäminen osaksi sahauskeskuksen tuotannonohjausjärjestelmää antaa erinomaiset mahdollisuudet sahauskeskuksen kokonaisvaltaiselle, metsästä asiakkaalle ulottuvalle, ohjaukselle.

Otantamittauksen luonteeseen kuuluu, että otoskoon lisääntyessä ennustettavan suuren estimaatin keskivirhe pienenee. Toisaalta otoskoon kasvattaminen lisää mittauksen työmäärää ja siitä aiheutuvia kustannuksia. Tästä syystä sopivien mittausmenetelmien kehittäminen ja otoskoon määrittäminen ei ole mielekäästä ilman luotettavaa tietoa ennakkomittauksien ajanmenekistä.

Leimikon ennakkomittauksen ajanmenekkiä ovat aikaisemmin tutkineet ainakin Lämsälä (1989) ja Lemmetty (1993). Samaan kategoriaan voitaneen laskea myös Lindgren (1984) väitöskirjatyö, jossa tosin tutkittu mittauksena on metsätalouden järjestylyyn liittyvää kuvioitten otantamittausta. Puuston pystymittauksen ajanmenekkiin liittyvissä tutkimuksissa (mm. Pennanen 1978, Högnäs 1982, Halinen 1985, Hanhimäki 1988 ja Räsänen 1992) on huomattavan paljon yhtymäkohtia leimikon ennakkomittauksen ajanmenekkitutkimukseen ja niissä saatuja tuloksia voidaankin monessa suhteessa käyttää hyvinä vertailuarvoina leimikon ennakkomittauksen ajanmenekkitutkimuksesta saataviin tuloksiin.

Edellä mainituissa tutkimuksissa kerätyt aikatutkimusaineistot ovat kuitenkin varsin suppeat ja käyt-

Taulukko 1. Tutkimusleimikot.

Leimikko no.	Sijainti	Hakkuutapa	Pinta-ala, ha	Runkoluku, kpl/ha	Mäntyrunkojen osuus, %
1	Kuru	Avohakkuu	0,8	450	77
2	Ikaalinen	Avohakkuu	2,4	600	63
3	Kuru	Ylispuiden poisto	2,7	80	100
4	Ruovesi	Siemenpuuhakkuu	0,6	1130	36
5	Virrat	Siemenpuuhakkuu	0,9	680	96
6	Virrat	Avohakkuu	1,2	510	33
7	Kauhajoki	Siemenpuuhakkuu	1,6	330	100

teytetyn työn osien jaottelut ovat karkeita. Tuloksia voidaan käyttää mittaustyön kokonaisajan estimointiin mutta varsinaiseen mittausmenetelmien kehittämistyöhön näissä tutkimuksissa esitetyt ajanmenekki-funktiot eivät ole riittäviä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää leimikkotekijöiden vaikutus leimikon ennakkomittauksen eri työn osien ajanmenekkiin erilaisissa päätehakkuuoloissa sekä edelleen luoda matemaattiset mallit ennakkomittauksen työn osien ajanmenekille kahdella eri menetelmällä. Lisäksi pyrittiin mallittamaan leimikon pinta-alan määrittämiseen kuluva aika. Tutkimuksessa kehitettäviä ajanmenekki-funktioita käytetään ensisijaisesti leimikon ennakkomittausmenetelmien kehittämistyössä.

Tutkimuksen tarkasteluajan jaksoksi valittiin yhden leimikon (tai lohkon) mittaustyö. Ajanmenekin seuranta alkoi leimikon reunasta ja päättyi paluuseen lähtöpisteeseen. Ennakkomittaukseen oleellisesti liittyvät kulkemisaika eli siirtymiset autolta leimikolle ja takaisin sekä varustelu-aika rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Näin haluttiin varmistaa, että leimikot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Tämä koskee sekä tutkimusleimikoita että niitä leimikoita, joiden leimikon ennakkomittauksen ajanmenekkiä halutaan ennustaa tässä tutkimuksessa kehiteltävien mallien avulla.

Tutkimustilanteessa ennakkomittaukseen kesti pisimmillään noin tunnin, joten mittaustyöhön ei sisällynyt varsinaista työstä johtuvaa väsymystä. Tässä suhteessa tutkimustilanne ei välttämättä aina vastaa käytäntöä, sillä käytännössä mittausta suorittava henkilö voi joutua tilanteisiin, missä hänen on mitattava kaksi tai useampia leimikoita tai lohkoja

peräkkäin. Lepotauot sekä siirtymiset leimikolta toiselle työsuoritusten välillä ovat tämän tutkimuksen rajauksen ulkopuolella.

2 Tutkimusaineisto ja -menetelmä

Tavoitteena oli saada tutkimusleimikoiksi ominaisuuksiltaan mahdollisimman paljon toisistaan poikkeavia mänty-tukkileimikoita. Koska tämän pyrkimyksen toteutuminen haluttiin varmistaa, ei leimikoiden valinnassa käytetty otantaa. Tutkimusleimikoiden sijainti, hakkuutapa ja keskeisimmät tunnuksot on esitetty taulukossa 1.

Tutkittavia ennakkomittausmenetelmiä oli kaksi: linjoittainen ympyräkoelamenetelmä sekä mittaa-ajan vapaaseen liikkumiseen perustuva nk. kolmen lähimmän puun menetelmä. Nämä menetelmät valittiin tarkastelun kohteeksi ensinnäkin siksi, että niitä molempia on ainakin jossain määrin käytetty metsäteollisuuden puunhankinnassa. Tutkimuksen linjaympyräkoelamenetelmä vastaa varsin pitkälti Metsätehon kehittämää ja useissa yrityksissä kehitettyä suunnittelumittausta (Lemmetty ja Mäkelä 1992). Vastaavasti kolmen lähimmän puun menetelmä on ollut käytössä Metsäliiton puunhankinnassa. Toinen keskeinen perustelu menetelmien valinnalle oli niiden erilaisuus: Kolmen lähimmän puun menetelmä perustuu osaksi subjektiivisiin valintoihin ja arviointeihin, kun taas linjaympyräkoelamenetelmä edustaa systemaattista, tarkkoihin mittauksiin pohjautuvaa otantamenetelmää.

Linjaympyräkoelamenetelmässä mittaaja kulki leimikossa yhdensuuntaisia, tasaisin välimatkoin asetettuja linjoja pitkin, joille hän määrävälein sijoitti ympyränmuotoisia koaloja. Matka linjalta linjalle ja koalalta koalalle oli yhtä suuri ja se määriteltiin Metsätehon kehittämän suunnittelumittauksen (Lemmetty ja Mäkelä 1992) ohjeen mukaisesti. Tutkimusaineiston leimikoissa linja- ja koalaväli vaihteli siten välillä 40...60 m, ja tällöin koalojen määräksi muodostui 4...9 kpl/leimikko.

Linjojen suunnat määritettiin käsisuuntakehällä ja matkat linjojen ja koalojen välillä lankamittalaitteella. Leimikossa 2 kokeiltiin myös askelparimittauksen soveltuvuutta matkan määritykseen. Linjat pyrittiin asettamaan kohtisuoraan leimikon pituussuuntaa vasten. Ensimmäinen linja asetettiin puolen linjavälin etäisyydelle leimikon rajasta ja ensimmäinen koala puolen koalavälin päähän ensimmäisen linjan alkupisteestä. Mikäli koala osui leimikon rajalle, siirrettiin koalaa linjaa pitkin, kunnes se mahtui kokonaan leimikon rajojen sisäpuolelle.

Ympyräkoalojen koko oli 100 m², ja ne rajattiin teleskooppivavan avulla. Koalan kaikista ainespuun mitat täyttävistä rungoista mitattiin rinnankorkeuslähimitta, lisäksi mäntytukkirungoista määritettiin kuivaoksaraja sekä tukkiosan päättymiskorkeus. Kuivaoksarajalla tarkoitettiin alimman vähintään 15 mm paksun kuivan oksan etäisyyttä todennäköisestä kaatoleikkaukskohdasta. Yhdestä koalan puusta mitattiin myös pituus. Pituuskoepuiksi valittiin linjan kulkusuuntaan nähden kolmas runko myötäpäivään katsottuna. Rinnankorkeuslähimitta mitattiin kaulaimella, johon oli kiinnitetty mittauskorkeuden osoittava keppi. Kuivaoksarajan ja tukkiosan päättymiskorkeuden määrittämisessä mittaaja käytti apuna teleskooppivapaa (pituus n. 6 m), mikäli hän katsoi sen käytön tarpeelliseksi. Puun pituus mitattiin hypsometrillä. Mittausetäisyytenä käytettiin 15 m:ä, ja se määritettiin joko metsurimitan tai latan ja hypsometrin prisman avulla.

Kolmen lähimmän puun menetelmässä mittaaja kulki leimikossa subjektiivisesti valitsemaansa reittiä pitkin ja pysähtyi aina tietyn matkan (esim. 20 askelparia) kuljettuaan mittaamaan koepuita, joiksi hän valitsi pysähdyspisteen kolme lähintä runkoa. Reitti pyrittiin valitsemaan niin, että pysähdyksiä eli koaloja tulisi mahdollisimman edustavasti eri

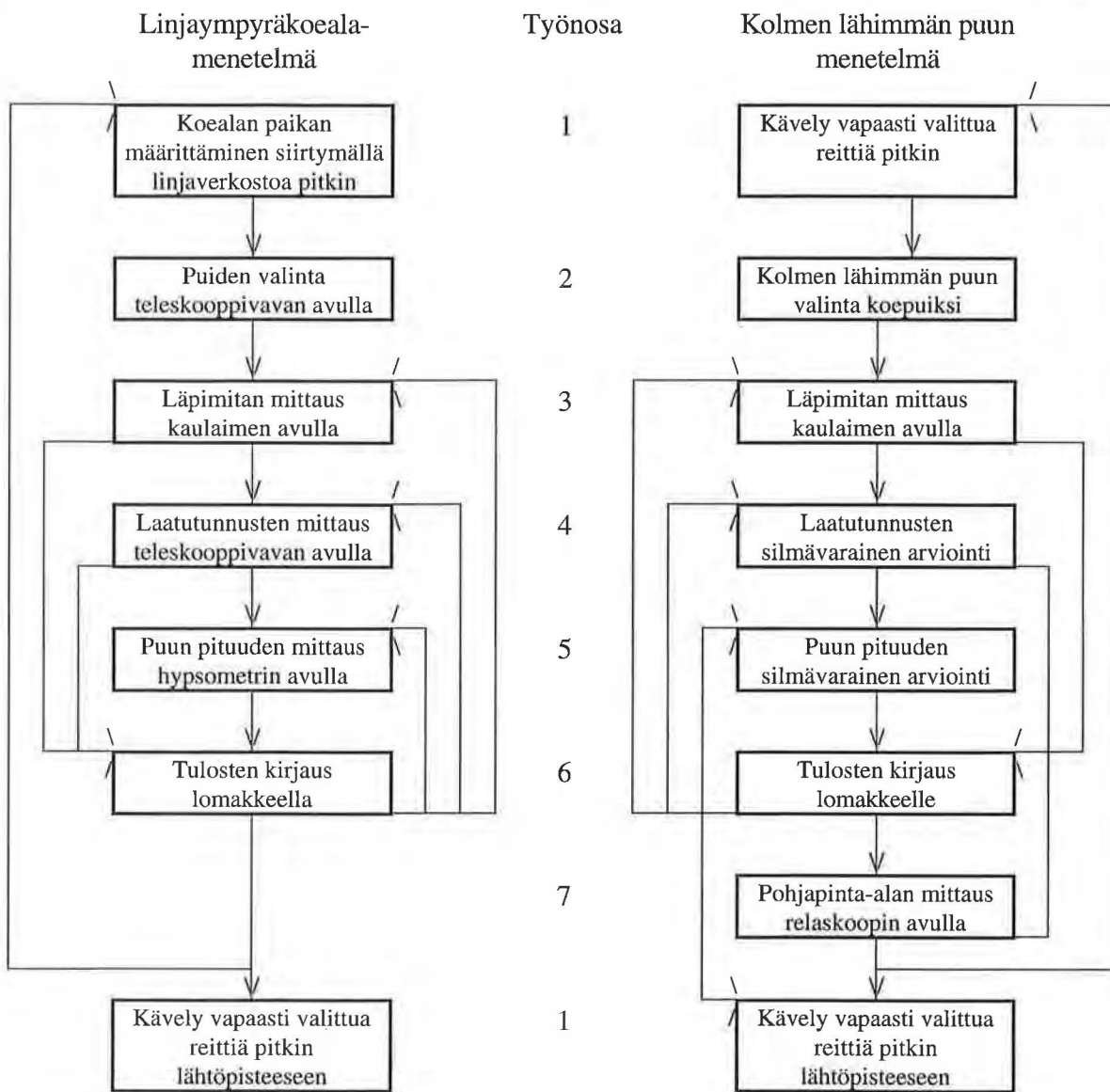
puolille leimikkoa. Viidessä leimikossa seitsemästä koepuita mitattiin 30, joten mittauspisteitä kertyi kymmenen. Leimikossa 2 mittauspisteitä oli 15. Leimikossa 3 niitä oli 22...25, koska tässä ylispuuleimikossa mitattiin jokaisella pysähdyksellä vain yksi lähin puu. Koepuiden rinnankorkeuslähimitta mitattiin kuten linja-ympyräkoelamenetelmässä. Kuivaoksaraja, tukkiosan päättymiskorkeus ja puun pituus arvioitiin silmävaraisesti. Lisäksi mitattiin puuston pohjapinta-ala relaskoopilla. Puuston pohjapinta-alan mittaukseen ei sisällynyt rajapuiden tarkistusta. Pohjapinta-ala ja puun pituus määritettiin vain joka toisessa mittauspisteessä. Pituuskoepuiksi valittiin kulkusuuntaan nähden toinen runko myötäpäivään katsottuna.

Tutkimusaineisto hankittiin seuraamalla kahden mittaajan työskentelyä molemmilla otantamenetelmillä kaikissa seitsemässä leimikossa. Mittaajien työskentely tallennettiin kuvanauhalle videotekniikkaa hyväksikäyttäen. Mittausotoksia kertyi näin ollen yhteensä 28 kpl ja ne ajoituivat vuoden 1993 kesä-elokuuhun.

Kaikki tutkimusleimikot oli valmiiksi rajattu maastoon. Kyseessä oli siten hyvin usein käytännössä vallitseva tilanne, jossa puunhankintayhtiön metsätoimihenkilö saapuu ensimmäistä kertaa metsänhoitoyhdistyksen suunnittelemaalle leimikolle. Tässä vaiheessa toimihenkilöllä ei voi vielä olla ainakaan kovin syvällistä näkemystä leimikon rakenteesta, joten jäljiteltäessä käytännön toimintaa pyrittiin kaikissa leimikoissa suorittamaan kolmen lähimmän puun menetelmä heti leimikolle saapumisen jälkeen. Linjaympyräkoelamenetelmässä enakkokäsitys leimikosta ei samassa määrin haitannut, koska siinä koalojen paikat määräytyivät objektiivisesti kulloistenkin linja- ja koalavälien mukaan.

Koska tutkimusleimikoiden pinta-alasta tarvittiin tarkka arvo ja koska toisaalta haluttiin selvittää pinta-alan mittauksen ajanmenekki, mitattiin jokaisen leimikon pinta-ala nk. murtoviivamittauksena. Rajalinjojen pituudet mitattiin lankamittalaitteella ja suunnat käsisuuntakehällä. Mittaukseen ilman keskeytyksiä kulunut aika mitattiin aikatutkimuskellolla.

Kuvanauhojen tulkinnessa määritettiin jokaisen eriteltävän työnosan alkamishetki. Koska työnosan alkamishetki oli sama kuin edellisen työnosan päät-



Kuva 1. Tutkimuksessa käytettyjen menetelmien työnkulun kaaviokuvat ja eri työnosien sisältö.

tymishetki, saatiin kulloisenkin työnosan kesto vähentämällä sen alkamishetki seuraavan työnosan alkamishetkestä. Työnosien vaihtumisajat luettiin suoraan kuvanauhalle tallennetun videokameran sisäisen kidekellon näytöstä. Tällä tavoin analysoitavaa kuvamateriaalia oli yhteensä noin 17 tuntia.

Kuvatulkinnassa eriteltävät työnosat ja niiden sisältö olivat seuraavat:

- 1) Siirtyminen: Siirtyminen mittauksen aloituspisteestä ensimmäiselle koealalle, siirtymiset koealalta toiselle, siirtyminen viimeiseltä koealalta mittauksen aloituspisteeseen.
- 2) Koealan perustaminen: a) Kolmen lähimmän puun menetelmä: koepuiden valinta. b) Linja-ympyräkoealamenetelmä: koealan keskipisteen merkintä, teleskooppivavan kokoaminen, koealan rajausta, vavan

purkaminen, siirtymisen valmistelu.

- 3) Läpimitan mittausta: Siirtyminen koealan keskipisteestä mitattavan rungon luokse, rinnankorkeusläpimitan ja runkolajin määrittäminen, siirtyminen seuraavalle koepuulle, siirtyminen takaisin keskipisteeseen.
- 4) Laatu-tunnusten mittausta: a) Kolmen lähimmän puun menetelmä: siirtyminen sopivalle etäisyydelle, tunnusten arviointi. b) Linja-ympeyräkoalamenetelmä: tunnusten mittausta vavan avulla, vavan nouto ja palautus.
- 5) Pituuden mittausta: a) Kolmen lähimmän puun menetelmä: siirtyminen sopivalle etäisyydelle, pituuden arviointi. b) Linjaympyräkoalamenetelmä: latan tai metsurimitan kiinnittäminen puun kylkeen, siirtymisen mittausta etäisyydelle, pituuden mittausta hypsometrillä, latan nouto ja kasaaminen tai metsurimitan irrottaminen ja kelaus.
- 6) Pohjapinta-alan mittausta: Puuston pohjapinta-alan määrittäminen relaskoopilla koealan keskipisteestä käsin.
- 7) Tulosten kirjaus: Mittaustulosten merkitseminen ylös-ottolomakkeelle.
- 8) Keskeytykset: Mittaustyöhön liittyvät tarpeelliset ja tarpeettomat keskeytykset.

Menetelmien etenemisen kulkukaaviot ja eri työ-osien sisältö molemmissa menetelmissä on esitetty kuvassa 1.

Aika, joka kului siirtymiseen koepuiden luokse ja edelleen viimeiseltä koepuulta koealan keskipisteeseen, luettiin rinnankorkeusläpimitan ajanmenekkiin, koska rinnankorkeusläpimita on metsänmittauksen perustunnus, joka mitattaisiin kaikissa tapauksissa. Muutoin työ-osien ajanmenekin määrittämisessä pyrittiin noudattamaan aiheuttamisperiaatetta. Jokaisen työ-osien ajanmenekit laskettiin yhteen koealakohtaisesti, ja summattiin edelleen menetelmittäin, leimikoittain ja mittaajittain. Yksi havaintotietue muodostui näin ollen mittaajan yhden koealan työ-osien ajanmenekistä.

Leimikon puiden sijainnit suorakulmaisessa XYZ-koordinaatistossa määritettiin elektronikymetrillä kuudessa tutkimusleimikossa (1, 2, 3, 5, 6 ja 7). Aineiston perusteella muodostettiin leimikoista kaksiolotteiset puukartat, joissa puut erottuivat puulajin, rinnankorkeusläpimitan tai kuivaoksarajan perusteella. Mittaajan kulkema reitti leimikossa paikallistettiin puukartan ja videokuvan perusteella.

Reitti piirrettiin puukarttapohjalle, josta sen pituus mitattiin millimetrijakoisella viivoittimella. Näin saatu tulos muunnettiin metreiksi puukartan mitta-kaavan avulla.

3 Tulokset

3.1 Työ-osien osuudet kokonaisajanmenekistä

Eri työ-osien ajanmenekin suhteelliset osuudet kokonaisajanmenekistä on esitetty taulukossa 2. Molemmissa menetelmissä eniten aikaa kului siirtymiseen. Erityisen suuri siirtymisen osuus on linjaympyräkoalamenetelmässä, jossa koealan keskipisteet määritetään lankamittalaitteen ja käsisuuntakehän avulla. Ennakkomittauksen työmenetelmien kehittämisen kannalta olisikin erittäin tärkeää pystyä kehittämään objektiivinen ja luotettava, mutta linjoittaista koealamenetelmää joutuisampi siirtymismenetelmä.

Tulosten kirjaamisen osuutta voidaan pitää yllättävän suurena. Lähimmän kolmen puun menetelmässä peräti viidesosa ajasta kuluu mittaustulosten ylös kirjaamiseen. Kun otetaan huomioon, että tuloksia ylösottolomakkeelle kirjattaessa joudutaan vielä tekemään varsinainen tallennustyö, voidaan elektronisten tallentavien mittalaitteiden kehittyä pitää ennakkomittauksen kannalta erityisen tarpeellisenä.

Keskeytysten osuus työmenetelmien kokonaisajanmenekistä jäi pieneksi. Ensimmäisessä tutkimuksessa leimikossa (leimikko 2) keskeytysten osuus linjaympyräkoalamenetelmää käyttäen oli huomattavasti keskiarvoa korkeammalla, mikä johtui todennäköisesti siitä, että menetelmien harjoittelu jäi varsin pieneksi.

Suhteellisten ajanmenekkien hajonta eri leimikoiden välillä oli kummassakin menetelmässä pieni. Tämä johtuu varsin pitkälle siitä, että koeleimikoille määritetyt koealojen tai koepuiden määrätavoitteet vaihtelivat vain vähän. Pinta-alaltaan suurimmissa leimikoissa (leimikot 2 ja 3) siirtymisen osuus luonnollisesti kasvoi ja vastaavasti mittausten osuus pieneni kokonaisajanmenekistä.

Taulukko 2. Työosien suhteelliset osuudet kokonaisajanmenekistä linjajympyräkoelamenetelmässä (menetelmä 1) ja kolmen lähimmän puun menetelmässä (menetelmä 2). Lukuarvo on laskettu kahden mittaajan keskiarvona.

Työosa	1		2		3		Leimikko 4		5		6		7		Keskiarvo	
	1	2	1	2	1	2	Menetelmä		1	2	1	2	1	2	1	2
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Siirtyminen	40	25	37	33	53	42	38	27	35	21	45	26	42	25	41	29
Koealan perustaminen	15	3	15	4	18	1	18	4	15	1	18	2	15	2	17	3
Läpimitan mittaaminen	9	16	12	19	7	8	14	20	10	15	9	16	9	17	10	16
Laatutunnusten mittaus	10	16	4	10	6	12	9	8	11	17	3	7	8	14	7	12
Puun pituuden mittaus	18	4	12	3	10	4	12	3	16	3	17	3	17	3	15	3
Tulosten kirjaus	8	22	8	20	5	13	8	21	13	19	6	20	9	21	8	19
Pohjapinta-alan mittaus	-	14	-	11	-	12	-	16	-	24	-	26	-	18	-	17
Keskeytykset	0	0	12	0	1	8	1	1	0	0	2	0	0	0	2	1
Kaikki	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

3.2 Työosien ajanmenekit ja niiden mallittaminen

3.2.1 Siirtyminen

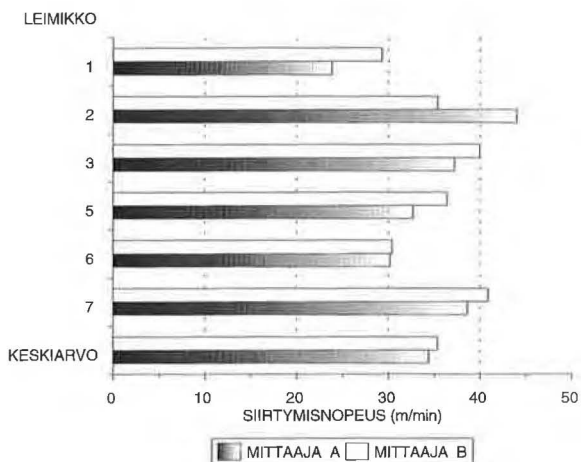
Mittaajan leimikossa kulkemaan matkaan kulunut aika (T_m) saadaan kahden muuttujan, siirtymismatkan (S) ja siirtymisnopeuden (V), osamääränä.

$$T_m = S / V \quad (1)$$

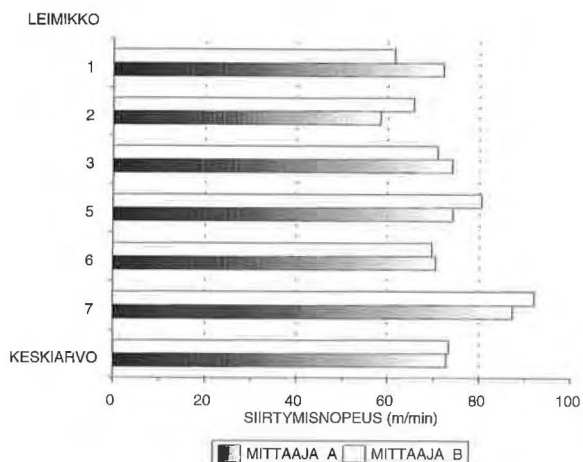
Siirtymismatkaa ja siirtymisnopeutta haluttiin tarkastella erikseen, jotta muodostettuja malleja voi-

daan käyttää tämän tutkimuksen otantamenetelmistä poikkeavien menetelmien ajanmenekin estimointiin. Lähestymistapa mahdollistaa sen, että siirtymisnopeuden vaihtelu eri yksilöiden välillä voidaan ottaa huomioon.

Mittaajien leimikoittaiset ja keskimääräiset siirtymisnopeudet otantamenetelmissä ilmenevät kuvista 2 ja 3. Linjajympyräkoelamenetelmässä (menetelmä 1) mittaajien keskimääräinen siirtymisnopeus oli 35 m/min. Mittaajien välillä oli nopeudessa selvää systemaattisuutta: Mittaaja A eteni ainoastaan yhdessä leimikossa nopeammin kuin mittaaja



Kuva 2. Siirtymisnopeus leimikoittain menetelmässä 1.



Kuva 3. Siirtymisnopeus leimikoittain menetelmässä 2.

B. Leimikossa 2 mittaaja A saavutti suuren nopeuden, koska hän määrittä koealojen ja linjojen väliset etäisyydet lankamittalaitteen sijasta askelpari-mittauksena.

Kolmen lähimmän puun menetelmässä (menetelmä 2) mittaajien keskimääräinen siirtymisnopeus oli 73 m/min eli yli kaksinkertainen linjoittaisessa ympyräkoelamenetelmässä saavutettuun nopeuteen verrattuna. Mittaajien välillä ei nopeuksissa esiintynyt mitään säännönmukaisuutta. Nopeudet puolestaan vaihtelivat enemmän kuin linjaympyräkoelamenetelmässä.

Leimikon runkoluku (kpl/ha) ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi siirtymisnopeuteen: molemmissa menetelmissä runkoluvun vaihtelu selitti lineaarisesti vain noin 6 % siirtymisnopeuksissa esiintyneestä vaihtelusta, kun tarkasteltiin kummastakin mittaajasta saatuja havaintoja (6 kpl) yhtenä kokonaisuutena. Maaston epäilemättä keskeistä vaikutusta siirtymisnopeuteen ei voitu todentaa aineiston homogeenisuuden vuoksi. Kuudessa leimikossa maastoluokaksi määriteltiin luokka 1 (Metsä- ja uittoalan ... 1992) ja ainoastaan leimikko 1 luokiteltiin kuuluvaksi luokkaan 2 maaston kaltevuuden vuoksi. Kun muitakaan siirtymisnopeutta selittäviä tekijöitä ei kyetty löytämään ja kun toisaalta nopeuksissa havaittu vaihtelu ei ollut poikkeuksellisen suurta, voidaan menetelmäkohtaiset siirtymisnopeudet esittää mittaajien keskimääräisten nopeuksien keskiarvona. Täten kaavan (1) termi V saa linjaympyräkoelamenetelmässä arvon 35 m/min ja kolmen lähimmän puun menetelmässä arvon 73 m/min.

Siirtymismatka on perinteisesti estimoitu malleilla, jotka antavat kuljetun matkan estimaatin tutkittavan alueen pinta-alan ja alueelta mitattavien koealojen lukumäärän funktiona (mm. O'Regan ja Arvanitis 1966, Nersten 1967, Nyyssönen ym. 1971, Lemmetty 1993). Koska tässä tutkimuksessa koealojen määrä vaihteli leimikoittain vain vähän, ei koealojen määrää voitu käyttää matkaa ennustavana muuttujana.

Mittaajan leimikossa kulkeman matkan ja leimikon pinta-alan välillä vallitsi vahva lineaarinen riippuvuus: muuttujien välinen, molempien mittaajien havainnoista laskettu korrelaatiokerroin oli linjaympyräkoelamenetelmässä 0,959 ja kolmen lähimmän puun menetelmässä 0,921. Kummassakin

menetelmässä mittaajien yhteisen regressiosuoran kulmakerroin erosi t-testillä mitattuna erittäin merkitsevästi nolasta (riski $< 0,1 \%$). Tämän aineiston perusteella näyttäisi siis siltä, että siirtymismatka voidaan johtaa kohtalaisen tarkasti jo pelkän leimikon pinta-alatiedon perusteella. Molempien mittaajien aineistosta lasketut regressioyhtälöt kuljetun matkan ja leimikon pinta-alan välisestä riippuvuudesta olivat seuraavat:

Linjaympyräkoelamenetelmä:

$$S = 215,7 + 301,7 A \quad (2)$$

$$R^2 = 91,9 \% \quad n = 12$$

Kolmen lähimmän puun menetelmä:

$$S = 39,50 + 304,8 A \quad (3)$$

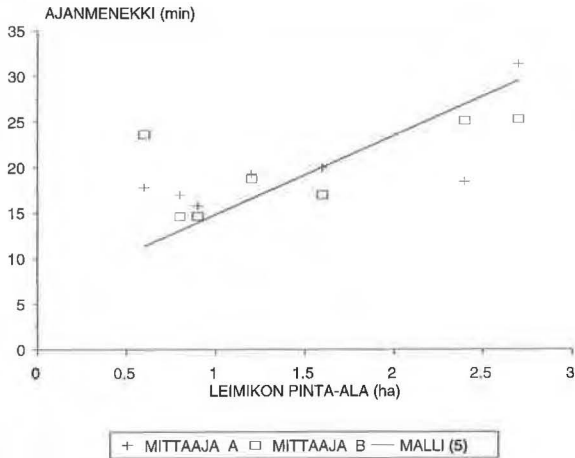
$$R^2 = 84,9 \% \quad n = 12$$

jossa S = siirtymismatka, m
 A = leimikon pinta-ala, ha

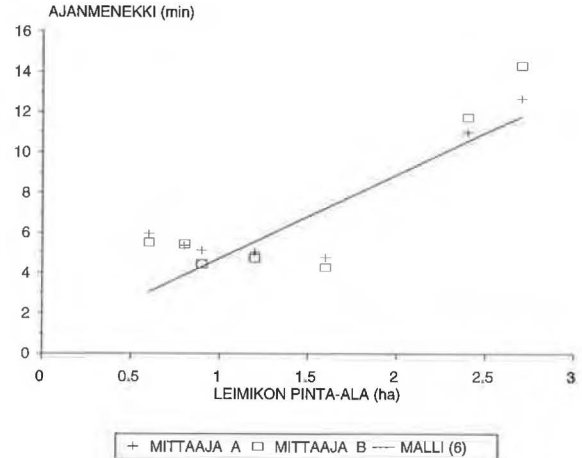
Leimikon pinta-alan avulla saatua siirtymismatkan estimaattia voidaan etenkin kolmen lähimmän puun menetelmän osalta tarkentaa ottamalla huomioon leimikkokuvion muoto. Kolmen lähimmän puun menetelmässä pyritään koealoja mittaamaan tasaisesti ympäri koko leimikon, joten kuljettu matka suhteessa pinta-alaan muodostuu ainakin periaatteessa sitä suuremmaksi mitä pitempi ja kapeampi leimikkokuvio on eli mitä enemmän sen muoto poikkeaa neliöstä.

Leimikon muotoa kuvaava tunnusluku, muotoluku, saatiin jakamalla leimikkokuvion pääpituussuunnan maksimipituuden neliö leimikon pinta-alalla. Mikäli leimikkokuvio oli epäsäännöllinen, esimerkiksi L- tai U-kirjaimen muotoinen, jaettiin kuvio tällöin osiin, joille kullekin määriteltiin maksimipituus. Koko leimikon maksimipituus oli tällöin näiden osien summa.

Leimikon muotoa kuvaavan tunnusluvun mukaan ottaminen malleihin (2) ja (3) paransi niiden selitystasetta. Muototekijän kulmakerroin mittaajien yhteisessä regressiosuorassa ei ollut kuitenkaan linjaympyräkoelamenetelmässä merkitsevä (riski $< 10 \%$). Sitä vastoin kolmen lähimmän puun menetelmässä kulmakerroin erosi nolasta merkitsevästi



Kuva 4. Siirtymisen ajanmenekki menetelmässä 1 leimikon pinta-alan funktiona. Kuvaan piirretty regressiosuora esittää mallia 5.



Kuva 5. Siirtymisen ajanmenekki menetelmässä 2 leimikon pinta-alan funktiona. Kuvaan piirretty regressiosuora esittää mallia 6.

(riski < 2 %). Vaikka leimikon maksimipituuden ja pinta-alan välisen suhteen määrittäminen voi käytännössä olla vaikeaa etenkin ilman kunnollista kuviokarttaa, kannattaisi leimikon muoto ottaa ainakin tämän tutkimusaineiston perusteella huomioon kolmen lähimmän puun menetelmässä seuraavasti:

$$S = -110,9 + 275,3 A + 59,04 F \quad (4)$$

$$R^2 = 92,6 \% \quad n = 12$$

jossa S = siirtymismatka, m
A = leimikon pinta-ala, ha
F = (leimikon maksimipituus (m) / 100)² / A

Sijoittamalla mallit (2) ja (3) sekä menetelmäkohdittaiset siirtymisnopeudet kaavaan (1) saadaan pelkkään leimikon pinta-alaan perustuvat ajanmenekkimallit (mallit 5 ja 6). Kolmen lähimmän puun menetelmässä siirtymisen ajanmenekki voidaan edellä esitetyn perusteella johtaa vaihtoehtoisesti leimikon pinta-alan ja sen muotoluvun funktiona (malli 7).

Linjajympyräkoalamenetelmä:

$$T_m = 6,182 + 8,644 A \quad (5)$$

Kolmen lähimmän puun menetelmä:

$$T_m = 0,540 + 4,170 A \quad (6)$$

tai

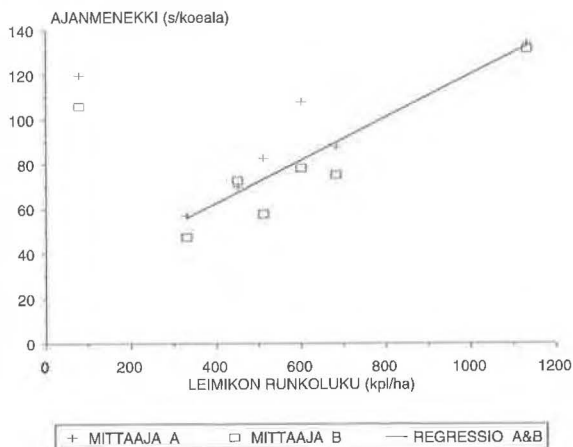
$$T_m = -1,517 + 3,768 A + 0,808 F \quad (7)$$

joissa T_m = siirtymisen ajanmenekki, min
A = leimikon pinta-ala, ha
F = (leimikon maksimipituus (m) / 100)² / A

Siirtymisen ajanmenekin ja leimikon pinta-alan välinen riippuvuus tutkituissa menetelmissä on havainnollistettu kuvissa 4 ja 5.

3.2.2 Koealan perustaminen

Koealan perustamiseen kului linjajympyräkoalamenetelmässä keskimäärin 82 s koealaa kohti, kun leimikko 3, jossa koealat rajattiin vavan sijasta mittanauhan avulla (säde 10 m), jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Mittaajan A koealakohtainen ajanmenekki vaihteli välillä 43...197 s keskiarvon ollessa 86 s. Mittaajan B keskimääräinen ajanmenekki oli jonkin verran pienempi, 73 s, ja myös ajan-

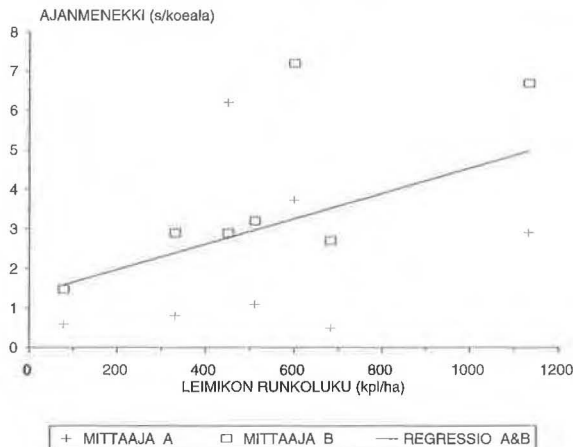


Kuva 6. Koealan perustamisen ajanmenekki leimikon runkoluvun funktiona menetelmässä 1.

menekin vaihteluväli oli suppeampi, 25...154 s. Mittanauhan käyttö koealan rajaamisessa lisäsi ajanmenekkiä, sillä koealan perustamisen ajanmenekki oli mittanauhaa käytettäessä keskimäärin 113 s.

Kolmen lähimmän puun menetelmässä koealan perustamiseen kului erittäin vähän aikaa, keskimäärin vain 3 s koealaa kohti. Mittaajan A ajanmenekki vaihteli koaloittain välillä 0...10 s ja keskiarvo oli 2 s. Vastaavasti mittaajalla B ajanmenekin vaihteluväli oli 0...16 s ja keskiarvo 4 s. Pienet ajanmenekit selittyvät luonnollisesti ennen kaikkea sillä, että kolmen puun valinta on huomattavasti nopeampaa kuin kokonaisen ympyräkoelan rajaaminen. Toisaalta tässä otantamenetelmässä mittaajilta ei juurikaan kulunut aikaa koealan keskipisteen merkitsemiseen eikä mittausvälineiden purkamiseen ja niiden takaisin kokoamiseen.

Koealan perustamisen ajanmenekki korreloi positiivisesti leimikon runkoluvun (kpl/ha) kanssa molemmissa otantamenetelmissä (kuvat 6 ja 7). Linjajympyräkoelamenetelmässä muuttujien välinen lineaarinen riippuvuus oli vahva ($r = 0,918$) ja tilastollisesti merkitsevä (riski $< 0,1\%$). Linjajympyräkoelamenetelmässä ajanmenekki kasvaa leimikon runkoluvun lisääntyessä kahdesta syystä: ensinnäkin vavan käsittely vaikeutuu kaikin puolin metsikön tihtyessä; toisaalta tiheässä metsikössä mittaaja joutuu useimmiten jakamaan koepuiden va-



Kuva 7. Koealan perustamisen ajanmenekki leimikon runkoluvun funktiona menetelmässä 2.

linnan moneen vaiheeseen, jotta hän muistaisi, mitkä puut kuuluvat koealaan ja mitkä eivät. Koealan perustamisen ajanmenekki puuston tiheyden funktiona linjajympyräkoelamenetelmässä on seuraava:

$$T_{e1} = 24,13 + 0,09601 D \quad (8)$$

$$R^2 = 84,2\% \quad n = 12$$

jossa T_{e1} = koealan perustamisen ajanmenekki, s
 D = leimikon runkoluku, kpl/ha

Kolmen lähimmän puun menetelmässä tiheys ei näyttäisi samassa määrin haittaavan koepuiden valintaa. Runkoluvun ja koealan perustamisen ajanmenekin välinen korrelaatio oli heikko ($r = 0,449$). Kyseinen positiivien korrelaatio on teoreettisesti ajatellen hyvin kyseenalainen, sillä lähimmän kolmen koepuun valinnan olettaisi – tiettyyn rajaan asti – olevan sitä helpompaa mitä tiheämpi metsikö on. Koska erot havaintojen välillä ovat hyvin pienet ja koska todettu riippuvuus ei ole tilastollisesti merkitsevä, ei koealan perustamisen ajanmenekkiä kolmen lähimmän puun menetelmän kohdalla ole syytä esittää runkoluvun funktiona. Koealan perustamisen ajanmenekki voidaan siten esittää mittaajien ajanmenekkien keskiarvona, joka oli tässä aineistossa 3 s/koeala. Koalojen perustamisen kokonaisajanmenekki leimikossa saadaan ker-

tomalla yksittäisen koealan perustamisen ajanmenekki koealojen lukumäärällä.

3.2.3 Rinnankorkeusläpimitan mittaus

Linjaympyräkoelamenetelmässä rinnankorkeusläpimitan mittaukseen kului koko aineistossa keskimäärin 10 s mitattua runkoa kohti. Koealoittain runkokohtainen ajanmenekki vaihteli mittaajalla A välillä 7...33 s ja mittaajalla B välillä 5...19 s. Vastaavasti ajanmenekin keskiarvo oli mittaajalla A 12 s ja mittaajalla B 9 s. Suuria ajanmenekkejä kirjattiin etenkin läpimitaltaan 15...19 cm mäntyrunkojen kohdalla, sillä näillä runkolajin määrittäminen oli usein ongelmallista. Myös sellaisten kuusien mittaus oli hidasta, joilla oksisto ulottui tiheänä ja leveänä aina rungon tyvelle asti.

Kolmen lähimmän puun menetelmässä rinnankorkeusläpimitan mittauksen keskimääräinen runkokohtainen ajanmenekki oli 7 s. Ajanmenekki vaihteli koealoittain mittaajalla A välillä 3...17 s ja mittaajalla B välillä 2...15 s. Myös mittaajien ajanmenekkien keskiarvot olivat lähellä toisiaan; A:n keskiarvo oli 8 s ja B:n 6 s.

Kolmen lähimmän puun menetelmässä puun rinnankorkeusläpimitan mittaukseen kului keskimäärin 3 s vähemmän aikaa kuin linjaympyräkoelamenetelmässä, vaikka työnosa on täsmälleen samanlainen molemmissa otantamenetelmissä. Ajanmenekkiero selittynee suurimmaksi osaksi sillä, että kolmen lähimmän puun menetelmässä rinnankorkeusläpimitan mittaukseen sisältyvä siirtymismatka oli yleensä huomattavasti lyhyempi kuin linjaympyräkoelamenetelmässä. Lisäksi linjaympyräkoelamenetelmässä mittaajat siirtyivät aina koealan viimeiseksi mitatulta rungolta koealan keskipisteeseen, kun taas kolmen lähimmän puun menetelmässä mittaajat jatkoivat monesti koealan kolmanneksi mitatun rungon luota suoraan kohti seuraavaa koealaa.

Rinnankorkeusläpimitan mittauksen ajanmenekin riippuvuus leimikon runkoluvusta (kpl/ha), keskimääräisestä rinnankorkeusläpimitasta sekä mäntyrunkojen osuudesta osoittautui korkeintaan keskinertaiseksi. Näiden leimikkotekijöiden vaikutuksen voimakkuus jäi myös varsin pieneksi, joten rinnankorkeusläpimitan mittauksen runkokohtaisen

ajanmenekin estimaattina käytetään aineistosta laskettua kokonaiskeskiarvoa. Linjaympyräkoelamenetelmässä tämä arvo oli 10 s ja kolmen lähimmän puun menetelmässä 7 s. Työnosan kokonaisajanmenekki saadaan luonnollisesti kertomalla tämä keskiarvo leimikosta mitattavien koepuiden lukumäärällä.

Kolmen lähimmän puun menetelmässä koepuiden lukumäärä koealaa kohti on tarkasti tiedossa, kun taas linjaympyräkoelamenetelmässä koepuiden määrä vaihtelee koealoittain kulloisenkin tiheyden mukaan. Koska koealakohtaisesta tiheydestä ei ole tietoa, on jokaiselle koealalle laskettava tällöin keskimääräinen koepuiden lukumäärä leimikon runkoluvun ja koealan pinta-alan perusteella seuraavasti:

$$T_d = D \cdot a \cdot N_s \cdot T_{d1} \quad (9)$$

jossa T_d = rinnankorkeusläpimitan mittauksen kokonaisajanmenekki, s

T_{d1} = rinnankorkeusläpimitan mittauksen runkokohtainen ajanmenekki, s

D = leimikon runkoluku, kpl/ha

a = ympyräkoelan pinta-ala, ha

N_s = koealojen lukumäärä leimikossa, kpl

3.2.4 Laatutunnusten mittaus

Puuston rakennetta kuvaavilla keskimääräisillä leimikkotunnuksilla, kuten keskimääräisellä kuivaoksarajalla, keskimääräisellä rinnankorkeusläpimitalla ja runkoluvulla (kpl/ha) ei ollut vaikutusta laatutunnusten mittauksen ajanmenekkiin. Koska puustotunnusten mittaustulokset oli tutkimustilanteessa kirjattu ylösottolomakkeelle, voitiin laatutunnusten mittauksen ajanmenekin riippuvuutta tarkastella myös runkokohtaisesti. Varsin yllättävää oli, ettei myöskään runkokohtaisessa tarkastelussa löydetty laatutunnusten mittauksen ajanmenekkiin vaikuttavia tekijöitä (vrt. Halinen 1985).

Koska laatutunnusten mittauksen ajanmenekin vaihtelua ei kyetty selittämään, voidaan laadun mittauksen ajanmenekki esittää havaintojen keskiarvona. Laatutunnusten mittauksen ajanmenekin keskiarvot ja vaihteluvälit on koottu taulukkoon 3.

Mittaajalla A kului laatutunnusten silmävarai-

Taulukko 3. Laatutunnusten määrityksen ajanmenekki.

Mittaja	Linjajympyräkoela-menetelmä						Kolmen lähimmän puun menetelmä		
	Mittaus vavan kanssa			Silmävarainen arviointi			Silmävarainen arviointi		
	\bar{x} s	min...max s	n	\bar{x} s	min...max s	n	\bar{x} s	min...max s	n
A	18	10...38	86	5	2...9	14	10	4...21	135
B	12	3...22	26	7	1...18	92	8	2...21	137
Yht.	16	3...38	112	6	1...18	106	9	2...21	272

seen arviointiin kolmen lähimmän puun menetelmässä keskimäärin kaksi kertaa enemmän aikaa kuin linjajympyräkoelamenetelmässä, vaikka työosan pitäisi olla täsmälleen samanlainen kummasakin menetelmässä. Tämä johtui siitä, että mittaja A suoritti linjajympyräkoelamenetelmässä mittauksen silmävaraisesti ainoastaan aivan selvissä tapauksissa. Vastaavan suuruista eroa ei esiintynyt mittajaan B kohdalla.

Edellisen perusteella voidaan laatutunnusten mittauksen runkokohtaisena ajanmenekkinä käyttää vavan avulla mittauksessa arvoa 16 s ja silmävaraisessa arvioinnissa arvoa 9 s. Laatutunnusten mittauksen ajanmenekki koko leimikossa saadaan kertomalla yhden rungon laatutunnusten mittaukseen kuuluva ajanmenekki laadun määrityskertojen lukumäärällä.

3.2.5 Puun pituuden mittaus

Puun pituuden mittauksen ajanmenekkiä tarkasteltiin sekä leimikkokohtaisesti, jolloin tarkasteltavina muuttujina olivat leimikon puuston keskipituus ja puun pituuden mittauksen keskimääräinen ajanmenekki että runkokohtaisesti, jolloin vastaavat muuttujat olivat yksittäisen puun pituus ja sen mitaamiseen kuuluva aika. Kaikissa näissä tarkasteleissa havaittiin heikko positiivinen korrelaatio puun pituuden ja puun pituuden mittauksen ajanmenekin välillä. Koska muodostettujen yhtälöiden selitykset jäivät hyvin alhaiseksi ja koska havaintojen keskijajonta oli varsin pieni, voidaan puun pituuden mittauksen ajanmenekki esittää havaintojen keskiarvona.

Puun pituuden mittauksen keskiarvo oli hypsometrillä mitaten 77 s/runko. Mittauksen joutuisuudessa oli selvä ero mittajien kesken. Mittaajalla A pituuden mittauksen runkokohtainen ajanmenekki vaihteli välillä 60...105 s keskiarvon ollessa 82 s ja mittaajalla B välillä 49...106 s keskiarvon ollessa 71 s. Puun pituuden mittausta perinteisen Suuntohypsometrin avulla voidaan pitää varsin työläänä, sillä puun pituuden mittaus vie kolmen henkilön työryhmältäkin keskimäärin 64 s (Hyppönen ja Roiko-Jokela 1978). Vapaasti valitulta etäisyydeltä mittaavat lasersäteeseen tai ultraääneen perustuvat pituuden mittalaitteet syrjäyttänevät tulevaisuudessa perinteisen optisen hypsometrin (ks. Jonsson ym. 1992, s. 418).

Puun pituuden silmävaraisen arvioinnin ajanmenekin keskiarvo oli 7 s/runko. Mittajien joutuisuudessa oli varsin suuri ero, sillä puun pituuden silmävaraisen arvioinnin runkokohtainen ajanmenekki vaihteli mittaajalla A välillä 2...28 s keskiarvon ollessa 10 s ja mittaajalla B välillä 1...12 s keskiarvon ollessa 5 s. Puun pituuden silmävaraisen arviointi kestää siis vain yhden kymmenyksen hypsometrillä mittaukseen verrattuna. Puun pituuden silmävarainen arviointi näyttäisi siten leimikon ennakkomittauksen kannalta hyvin varteenotettavalta vaihtoehdolta, mikäli arviointiin liittyvä harha pysyy kohtuullisena.

Saatujen tulosten perusteella voidaan puun pituuden mittauksen ajanmenekkinä käyttää hypsometrillä mitaten arvoa 77 s/runko ja silmävaraisessa arvioinnissa arvoa 7 s/runko. Puun pituuden mittauksen ajanmenekki koko leimikossa saadaan kertomalla yhden puun pituuden mittauksen ajanmenekki pituuskoepuiden lukumäärällä.

3.2.6 Kirjaus

Mittaustulosten kirjaamiseen kuuluva aika määritettiin ajanmenekkinä yhtä kirjaustapahtumaa kohti. Yhdellä kirjaustapahtumalla tarkoitettiin yhden mitaustunnuksen tuloksen merkitsemistä ylösottolomakkeelle. Mikäli mittaaaja kirjasi tuloksia ryhmittäin esimerkiksi kahden tai kolmen mitatun tunnuksen jälkeen, kohdistettiin kirjauksen ajanmenekki kullekin kirjaustapahtumalle jakamalla kokonaisajanmenekki mitattujen tunnuksien lukumäärällä. Rinnankorkeusläpimitta ja runkolaji samoin kuin kuivaoksaraja ja tukkiosan päättymiskorkeus käsitettiin yhdeksi tunnukseksi.

Mittaustulosten kirjaamiseen käytetty aika pysyi vakiona leimikko-oloista ja käytetystä menetelmästä riippumatta. Mittaajien välillä oli vain hyvin pieni ero. Yhden kirjaustapahtuman ajanmenekki vaihteli mittaaajalla A välillä 3...11 s keskiarvon ollessa 5 s ja mittaaajalla B välillä 2...15 s keskiarvon ollessa 4 s. Havaintojen keskihajonta oli kummallakin mittaaajalla ainoastaan 1 s. Kaikkien kirjaushavaintojen keskiarvo oli 5 s. Kirjaamisen ajanmenekki koko leimikossa voidaan määrittellä seuraavasti:

$$T_r = T_{r1} (N + N_q + N_h + N_b) \quad (10)$$

jossa T_r = kirjaamisen kokonaisajanmenekki leimikossa, s

T_{r1} = yhden mitatun tunnuksen kirjaamiseen kulunut aika, s

N = koepuiden lukumäärä

N_q = laadun määrittyskerrat

N_h = pituuskoepuiden lukumäärä

N_b = pohjapinta-alan mittauskerrat

3.2.7 Pohjapinta-alan mittaus

Puuston pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekin ja puuston keskitiheyden välillä havaittiin keskinertainen positiivinen korrelaatio, joka ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Ajanmenekin vaihtelu eri leimikoiden välillä oli varsin pieni lukuun ottamatta leimikkoa 5, joka oli erittäin homogeeninen, lähes puhdas männikkö. Puuston keskitiheys tässä leimikossa oli 680 r/ha. Tämän leimikon pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekin keskiarvo

oli kummallakin mittaaajalla yli 20 s suurempi kuin kaikkien havaintojen keskiarvo. Vastaavasti leimikossa 7, joka myös oli lähes puhdas männikkö, mutta puuston keskitiheys oli vain 330 r/ha, pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekki oli samaa tasoa kuin koko aineiston keskiarvo. Tämä viittaa siihen, että puhtaissa männiköissä runkoluku vaikuttaa pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekkiin, varsinkin kun havainto oli kummallakin mittaaajalla samanlainen ja se perustuu yhteensä 10 koelahavaintoon.

Mittaajien kesken ei ollut selvää eroa mittauksen nopeudessa. Pohjapinta-alan mittauksen koelakohmainen ajanmenekki vaihteli mittaaajalla A välillä 19...85 s ja mittaaajalla B välillä 23...71 s. Vastaavat mittaajakohtaiset keskiarvot olivat mittaaajalla A 39 s ja mittaaajalla B 41 s. Aineiston kaikkien havaintojen keskiarvo oli 40 s.

Koska puuston pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekkiin vaikuttavia tekijöitä ei perustellusti voitu mallintaa, on myös pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekin estimointiin syytä käyttää saatua havaintojen keskiarvoa. Pohja pinta-alan mittauksen kokonaisajanmenekki saadaan kertomalla yhden pohjapinta-alan mittauksen ajanmenekki pohjapinta-alan mittausten lukumäärällä.

3.3 Ennakkomittauksen kokonaisajanmenekki

Ennakkomittauksen kokonaisajanmenekki leimikossa saadaan laskemalla yhteen eri työnosien ajanmenekit, jota ennen työnosien ajanmenekki-funktiot on muunnettava yhteismitallisiksi. Taulukkoon 4 on koottu yhdistelmä edellä laadituista työnosien ajanmenekki-funktioista, jotka antavat kyseisen työnosan ajanmenekin estimaatin minuutteina.

Taulukossa 4 esitetyt ajanmenekki-funktiot ovat yhdenmukaiset luvussa 2 esitettyjen otantamenetelmien kuvausten kanssa (kuva 1). Vaikka seuraavaksi esitetään kokonaismallit tässä tutkimuksessa käytettyjen otantamenetelmien ajanmenekille, voidaan työnosien ajanmenekkiarvoja käyttää soveltuvin osin myös tämän tutkimuksen otantamenetelmistä poikkeavien menetelmien ajanmenekin estimointiin.

Kokonaismallia voidaan yksinkertaistaa määrittämällä laadun määrittyskertojen sekä pituusko-

Taulukko 4. Ennakkomittausmenetelmien kokonaismallissa käytettyjen työnosien ajanmenekifunktiot.

Työnoisa	Työnosan ajanmenekki leimikossa, min	
	Linjaympyräkoela-menetelmä	Kolmen lähimmän puun menetelmä
Siirtyminen	6,18+8,64 A	0,540 + 4,170 A
Koealan perustaminen	(0,402+0,00160 D) N _s	0,05 N _s
Läpimitan mittaus	0,167 N	0,117 N
Laatutunnusten mittaus	0,267 N _q	0,150 N _q
Puun pituuden mittaus	1,284 N _h	0,117 N _h
Tulosten kirjaus	0,0833 (N + N _q + N _h)	0,0833 (N + N _q + N _h + N _b)
Pohjapinta-alan mittaus	-	0,0667 N _b
Keskeytykset	2 %	1 %

puiden suhde koepuiden lukumäärään. Pituuskoe-puiden osuus koepuiden määrästä voidaan hyvin tarkasti määrittellä kyseisen otantamenetelmän ohjeen mukaisesti. Sen sijaan laatu määritetään yleisimmin pelkästään mäntytukkirungoista, joten ko. suhdetta varten on pyrittävä arvioimaan mäntytukkirunkojen osuus kokonaisrunkoluvusta.

Kun työnosien ajanmenekifunktiot lasketaan yhteen, lisätään arvoihin keskeytysten osuus ja suoritetaan tarvittavat sievennykset, saadaan seuraavanlaiset kokonaismallit:

Linja-ympyräkoelamenetelmä:

$$T_t = 6,31 + 8,82 A + 0,410 N_s + (0,00418 + 0,00357 k_q + 0,0139 k_h) D N_s \quad (11)$$

Kolmen lähimmän puun menetelmä:

$$T_t = 0,545 + 4,21 A + (0,219 + 0,236 k_q + 0,202 k_h) N + 0,758 N_b \quad (12)$$

jossa T_t = ennakkomittauksen kokonaisaika leimikossa, min

k_q = laadun määrittyskertojen ja koepuiden lukumäärän suhde ($k_q = N_q/N$)

k_h = pituuskoe-puiden ja koepuiden lukumäärän suhde ($k_h = N_h/N$)

A, D, N, N_s, N_b, N_q ja N_h kuten edellä

Linjaympyräkoelamenetelmässä koepuiden lukumäärää ei ole ennakolta tiedossa, vaan se on estimoitava runkoluvun ja koealojen lukumäärän pe-

rusteella. Toisaalta, myöskään koealojen lukumäärä ei useinkaan ole etukäteen tiedossa, joten sen estimointiin on käytettävä hyväksi leimikon pinta-alaa sekä koeala- ja linjaväliä. Kun lisäksi koealan perustamisen ajanmenekki vakioidaan (82 s/koeala), voidaan linjaympyräkoelamenetelmän kokonaisajanmenekki esittää vaihtoehtoisesti seuraavasti:

$$T_t = 6,31 + 8,82 A + [1,396 + (0,00255 + 0,00357 k_q + 0,0139 k_h) D] A/(q/100)^2 \quad (13)$$

jossa q = linja- ja koealaväli, m
A, D, T_t, k_q ja k_h kuten edellä

3.4 Leimikon pinta-alan määrittämisen ajanmenekki

Leimikon pinta-alan määrittämiseen kuluva aika voidaan johtaa samalla tavalla kuin siirtymisen ajanmenekki tutkituissa otantamenetelmissä l. kuljettavan matkan ja mittajaan etenemisnopeuden perusteella (kaava 1). Lähtökohtaisesti voidaan olettaa, että leimikon pinta-alan määrittämisessä mittajaan kulkema matka on sitä pidempi mitä suurempi leimikon pinta-ala on. Ainakin tässä tutkimuksessa tämä oletamus piti hyvin paikkansa, sillä matkan ja pinta-alan välinen korrelaatiokerroin oli koko aineistossa 0,921. Kun riippuvuus oli lisäksi tilastollisesti merkitsevä (riski < 0,1 %), voidaan pinta-alan määrittämisessä kuljettava matka ennustaa kohtuullisen luotettavasti jo pelkän pinta-alatiedon perusteella seuraavasti:

$$S = 253,1 + 232,4 A \quad (14)$$

$$R^2 = 84,8 \% \quad n = 14$$

jossa S = leimikon pinta-alan määrittämissä kuljet-
tava matka, m
A = leimikon pinta-ala, ha

Leimikon pinta-alan määrittämissä leimikon muo-
toluku (ks. kappale 3.2.1) selitti suurimman osan
siitä mittaajien kulkemassa matkassa esiintyneestä
vaihtelusta, jota ei leimikon pinta-alan avulla kyet-
ty selittämään. Pinta-alan määrittämissä leimikon
muoto pääsee vaikuttamaan matkaan vielä koros-
tuneemmin kuin otantamenetelmissä, sillä mittaaja
kulkee siinä leimikon rajoja pitkin ja seuraa näin
ollen tarkemmin leimikon muotoa.

Koska muotoluku paransi kuljettavaa matkaa en-
nustavan mallin selitysastetta ja koska muotoluvun
kulmakerroin mittaajien yhteisessä regressiosuo-
rassa oli tilastollisesti merkitsevä (riski < 0,1 %),
on muotoluvun käyttäminen matkaa ennustavana
muuttujana perusteltua. Täten leimikon pinta-alan
määrittämissä kuljettavan matkan estimaatti saa-
daan leimikon pinta-alan ja muodon funktiona seu-
raavasta yhtälöstä:

$$S = 93,01 + 261,1 A + 27,23 F \quad (15)$$

$$R^2 = 97,6 \% \quad n = 14$$

jossa S = leimikon pinta-alan määrittämissä kuljet-
tava matka, m
A = leimikon pinta-ala, ha
F = (leimikon maksimipituus (m) / 100)² / A

Keskimääräinen etenemisnopeus pinta-alan määri-
tyksessä oli 42 m/min. Mittaajien nopeudessa oli
selvä ero: Mittaajan A keskinopeus oli 39 m/min,
kun se mittaajalla B oli 45 m/min. Molemmilla
mittaajilla nopeudet vaihtelivat huomattavasti, A:lla
vaihteluväli oli 29...47 m/min ja B:llä 33...55 m/
min. Kumpikin mittaaja saavutti suurimman no-
peutensa leimikossa 7, jossa maasto oli tasaista,
puusto harvaa (330 kpl/ha) ja rajat suhteellisen sel-
väpiirteisiä. Vastaavasti hitaimmin mittaaja B eteni
leimikossa 4, joka oli puustoltaan aineiston tihein
(1 130 kpl/ha) ja jossa rajalinjojen määrittelyssä oli
ilmeisiä ongelmia. Myös mittaajalla A nopeus jäi
alhaiseksi tässä leimikossa, mutta vielä tätäkin al-

haisempi se oli leimikossa 1, jossa mittaajalla oli –
suystä tai toisesta – vaikeuksia rajalinjojen hah-
mottamisessa.

Etenemisnopeuden vaihtelua selitti parhaiten mi-
tattujen suuntien pinta-alayksikköä kohti laskettu
määrä (kpl/ha). Samaan tulokseen on päädytty myös
Metsähallituksen pinta-alan mittauksen tarkkuutta
ja ajanmenekkiä käsittelevässä tutkimuksessa (Pin-
ta-alan ...1986). Vaikka suuntien määrä korreloi
nopeuden kanssa lähes vahvasti ($r = 0,776$) ja tilas-
tollisestikin merkitsevästi (riski < 0,2%), ei tämän
tunnuksen käyttäminen selittävänä muuttujana ole
kuitenkaan mielekästä, koska suuntien määrästä ei
etukäteen voi olla tarkkaa tietoa. Leimikon runko-
luvun (kpl/ha) ja etenemisnopeuden välillä vallitsi
puolestaan vain keskinkertainen korrelaatio ($r =$
0,509), mikä on ymmärrettävää, sillä rajalinjat ei-
vät aina sijoittuneet puustoihin kohtiin ja tällais-
sakin kohdissa rajalinjan läheinen tiheys ei välttä-
mättä ollut sama kuin mitattavan leimikon tiheys.

Kun etenemisnopeudelle ei edellisen perusteella
löydetty selittäviä muuttujia, esitetään nopeus mit-
taajien leimikkokohtaisten nopeuksien kokonais-
keskiarvona, joka oli edellä mainittu 42 m/min.
Sijoittamalla tämä arvo yhdessä matkaa ennusta-
van regressioyhtälön (15) kanssa kaavaan (1) saa-
daan seuraava, pinta-alan määrittämissä ajanmenek-
kiä ennustava malli:

$$T_A = 2,206 + 6,194 A + 0,646 F \quad (16)$$

jossa T_A = leimikon pinta-alan määrittämissä ajanme-
nekki, min
A = leimikon pinta-ala, ha
F = (leimikon maksimipituus (m) / 100)² / A

4 Tulosten tarkastelu

Koepuiden lukumäärän ohella ennakkomittauksien
ajanmenekkiin vaikuttaa selvimmän leimikon pin-
ta-ala, sillä leimikon pinta-alan kasvu lisää siirty-
mismatkaa ja edelleen siirtymisen ajanmenekkiä.
Leimikon runkoluvun kasvu lisää koealan perusta-
misen ajanmenekkiä, mikäli koepuut valitaan ym-
pyräkoealalta mittavapaa apuna käyttäen. Toisaal-

ta, runkoluvun kasvu lisää linjajymyräkoelamene-
telmässä myös koepuiden lukumäärää, joka vas-
taavasti kasvattaa mittaustyön kokonaisajanmenek-
kiä.

Rinnankorkeuslöpimitan suuruudella, puun pituu-
della tai kuivaoksarajan korkeudella ei havaittu ole-
van merkittävää vaikutusta kyseisen tunnuksen mit-
tauksen ajanmenekkiin. Rinnankorkeuslöpimitan
mittauksen työnosaan liittyvä runkolajin määrittely
rinnankorkeuslöpimitaltaan 15...19 cm:n mäntyrun-
goilla tosin lisää ajoittain kyseisen työnoosan ajan-
menekkiä. Pohja-pinta-alan mittaukseen ja tulosten
kirjaamiseen kuluva aika näyttäisi pysyvän lä-
hes vakiona.

Tutkimukseen valitut päämenetelmät ovat luon-
teeltaan hyvin erilaisia. Kolmen lähimmän puun
menetelmä perustuu osaksi subjektiivisiin valintoi-
hin ja arviointeihin, kun taas linjajymyräkoela-
menetelmä edustaa systemaattista, tarkkoihin mit-
tauksiin pohjautuvaa menetelmää. Koska menetel-
miin valitut suoritustavat edustavat työn tarkkuus-
tasossa ja joutuisuudessa lähes ääripäitä metsän
ennakkomittaukseen soveltuvista työmenetelmistä,
voidaan työnosien ajanmenekkiarvoja käyttää so-
veltaen myös tämän tutkimuksen otantamenetel-
mistä poikkeavien menetelmien ajanmenekin esti-
mointiin.

Mittaustyö suoritettiin kesäoloissa. Kesällä suo-
ritettavan mittaustyön joutuisuudessa ei liene mer-
kittävää eroa verrattuna syysoloissa suoritettavaan
mittaustyöhön, mutta maaston pehmeys keväällä ja
erityisesti talven lumisuus lisäävät mittaustyön ajan-
menekkiä. Halisen (1985) mäntytukkirunkojen laa-
dun määrittämisen ajanmenekkiä käsittelevässä tut-
kimuksessa mittaustyön ajanmenekki kasvoi 30...50
% siirryttäessä lumettomista olosuhteista lumisiin.
Lumiolojen todellinen vaikutus mittaustyön osien
joutuisuuteen voidaan selvittää kuitenkin ainoas-
taan toteuttamalla mittaustyön aikatutkimus sekä
kesä- että talvioloissa.

Aikatutkimukset toteutettiin seitsemässä erilai-
sessa mäntytukkileimikossa. Muiden puulajien
osuus näissä leimikoissa oli 0...67 %. Maastoltaan
leimikot olivat melko tasaisia yhtä leimikkoa lu-
kuunottamatta. Ajanmenekki-funktioiden luotetta-
vuutta tutkimusleimikoista poikkeavissa leimikko-
oloissa on tarkasteltava tapauskohtaisesti. On to-
dennäköistä, että tutkimuksessa esitetyt mallit ali-

arvioivat mittauksen ajanmenekkiä tiheissä kuusi-
koissa ja maastoltaan vaikeakulkuisissa leimikois-
sa.

Tutkimusleimikoiden pinta-ala vaihteli välillä
0,6...2,7 ha. Siirtymismatkaa ennustavat mallit (2,
3, 4) ja niistä johdetut siirtymisen ajanmenekkiä
ennustavat mallit (5, 6, 7) eivät välttämättä ole va-
lideja, mikäli leimikon pinta-ala ylittää tutkimus-
leimikoiden pinta-alan vaihteluvälin. Vaihteluväli
kattanee kuitenkin valtaosan yksityismetsätalouden
leimikkokuvioista ainakin Etelä-Suomessa.

Tutkimukseen osallistui ainoastaan kaksi koe-
henkilöä. Koska mittaajan työskentelyä seurattiin
molemmilla menetelmillä kaikissa tutkimusleimi-
koissa, voidaan vertailuja leimikko-olosuhteiden
vaikutuksesta mittaustyöhön pitää jokseenkin luot-
tettavina. Kahden henkilön mittaustyöstä ei voida
kuitenkaan saada luotettavaa keskiarvotietoa mit-
taustyön ajanmenekistä, joten saatuja ajanmenek-
kiarvoja voidaan pitää vain suuntaa-antavina.

Yksi keino tulosten laajamittaisempaan sovelta-
miseen on käyttää vertailevan aikatutkimuksen pe-
riaatetta henkilökohtaisten joutuisuuserojen selvit-
tämiseen. Vertaamalla esimerkiksi omaa siirtymis-
nopeuttaan tässä tutkimuksessa esitettiin siirty-
misnopeuksiin, linjalla etenemiseen 35 m/min, va-
paaseen etenemiseen 73 m/min ja pinta-alan määri-
tyksen etenemiseen 42 m/min, voi kukin henkilö-
kohtaisesti suhteuttaa oman joutuisuutensa tämän
tutkimuksen koehenkilöiden joutuisuuteen.

Videotekniikka soveltui erinomaisesti metsänmit-
taustyön aikatutkimukseen, sillä mittaaja sai va-
paasti työskennellä aina olosuhteisiin nähden mie-
lekkäimmällä tavalla. Työskentely etukäteen sovi-
tussa järjestyksessä tuo eteen tilanteita, jossa työ-
skentely ei ole rationaalista tai se voi olla jopa mah-
dotonta. Jos tutkimus olisi toteutettu kellomittauk-
sena, olisi työnosien määrää jouduttu supistamaan
ja vapaan suoritusjärjestyksen periaatetta rajoitta-
maan. Tällä olisi ollut vaikutusta myös tutkimuk-
sesta saataviin tuloksiin.

Leimikon ennakkomittausta on tässä tutkimuk-
sessa käsitelty ainoastaan aikatutkimuksen näkö-
kulmasta. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että
leimikon ennakkomittausta voidaan pitää myös työ-
psykologisena ongelmana. Työtä suorittava toimi-
henkilö näkee leimikon ennakkomittauksen ylimää-
rällisenä rasitteena, joka mieluummin jätetään teke-

mättä, koska työsuorituksella sinällään ei ole vaikutusta ko. henkilön palkkaan. Tässä suhteessa on erityistä huomiota kiinnitettävä mittaustyön ajanmenekkiin ja työn mielekkyyteen. Mikäli työmenetelmä on selkeä ja sen tavoitteet ovat mittaajan työn kannalta mielekkäät, voidaan ennakkomittaus työ liittää osaksi toimihenkilön työruutiineja.

Kiitokset

Tutkimuksen toteutukseen on tekijöiden lisäksi osallistunut MH Timo Saarentaus. Tutkimusleimikoiden löytämisessä olemme saaneet merkittävää tukea Aureskoski Oy:n metsäosastolta, erityisesti metsäpäällikkö Toivo Palonevalta ja Kari Silomäeltä. Tutkimusraportin käsikirjoituksen ovat lukeneet prof. Esko Mikkonen, prof. Rihko Haarlaa sekä MMT Herman Hakala. Tutkimustyötä ovat rahoittaneet sekä Suomen Akatemia että TEKES. Kaikille edellä mainituille henkilöille ja taustaryhmille haluamme lausua parhaimmat kiitoksemme.

Kirjallisuus

- Halinen, M. 1985. Laatumaksutavan vaatiman mittaustyön ajanmenekki ja kustannukset. Metsätehon katsaus 11. 4 s.
- Hanhimäki, P. 1988. Metsämikron käyttö pystymittauksessa. Metsäteknologian opinnäytetyö MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 76 s.
- Hyppönen, M. & Roiko-Jokela, P. 1978. Koepuiden mittauksen tarkkuus ja tehokkuus. Folia Forestalia 356. 25 s.
- Högnäs, T. 1982. Ajanmenekki pieniläpimittaisen puun pystymittauksessa. Metsähallitus, kehittämisjaosto, koeselostus 169. 10 s.
- Jonsson, B., Holm, S. & Kallur, H. 1992. A forest inventory method based on density-adapted circular plot size. Scandinavian Journal of Forest Research 7: 405–421.
- Lemmetty, J. 1993. Leimikon puutavaralajiosuuksien arviointi systemaattisella koealaotannalla. Metsänarvioimistieteen opinnäytetyö MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 63 s.
- & Mäkelä, M. 1992. Suunnittelumittauksen perusteet ja toteutus. Metsätehon katsaus 11. 4 s.
- Lindgren, O. 1984. A study on circular plot sampling of Swedish forest compartments. Sveriges lantbruksuniversitetet, Institutionen för biometri och skogsindelning, Rapport 11. 153 s.
- Länsitalo, J. 1989. Otosyksikön valinta kuvion puuston pohjapinta-alan ja läpimittajakauman arvioinnissa. Metsänarvioimistieteen opinnäytetyö MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 64 s.
- Metsä- ja uittoalan työehtosopimus. 1992. Metsätyöpalkkojen taulukot 1.3.1992–31.10.1993.
- Nersten, S. 1967. Noen beregningar over optimale oppleg for systematiske prøvveflatetakster. Summary: Some calculations on optimal sampling schemes for systematic plot surveys. Medd. fra det Norske skogsforsöksvesen, Bind XXII, Hefte 84: 367–429.
- Nyysönen, A., Roiko-Jokela, P. & Kilkki, P. 1971. Studies on improvement of the efficiency of systematic sampling in forest inventory. Seloste: Systemaattiseen otantaan perustuvan metsän inventoinnin tehokkuudesta. Acta Forestalia Fennica 116. 26 s.
- O'Regan, W.G. & Arvanitis, L.G. 1966. Cost-effectiveness in forest sampling. Forest Science 12(4): 406–414.
- Pennanen, O. 1978. Pysty- ja jälkimittauksen ajanmenekki. Metsätehon tiedotus 347. 19 s.
- Pinta-alan mittauksen tarkkuus ja ajanmenekki. 1986. Metsähallitus, kehittämisjaosto, koeselostus 234. 20 s.
- Räsänen, T. 1992. Koepuiden mittauksen ajanmenekki kahden tunnuksen pystymittauksessa yhden mittaajan tekemänä. Metsätehon moniste 4.2.1992. 9 s.

16 viitettä