

Metsätehon raportti 156
17.12.2003

Korjuujäljen mittauksen kehittäminen

Asko Poikela

Korjuujäljen mittauksen kehittäminen

Asko Poikela

Metsätehon raportti 156
17.12.2003

Ryhmähanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: korjuu, laatu, työnjälki, korjuujälki, tilastollinen laadunvalvonta

© Metsäteho Oy

Helsinki 2003

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Tausta.....	6
1.2 Tavoite	7
2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	7
2.1 Aineistot.....	7
2.2 Maastokokeet	7
3 TILASTOLLISET NÄKÖKOHDAT	8
3.1 Kirjallisuustutkimus SPC:stä	8
3.1.1 Perusteita	8
3.1.2 Valmistautuminen tilastollisen laadunvalvonnan käyttöönottoon	8
3.1.3 Prosessin jakauman tutkiminen ja suorituskykyanalyysi	10
3.1.4 Valvontakortit.....	12
3.2 Muita tilastotieteellisiä näkökohtia	13
3.2.1 Yksittäisen työmaan mittaustulos.....	15
3.2.2 Työmaaketjun mittaustulos.....	19
4 KÄYNNISSÄ OLEVAN TYÖMAAN MITTAUSRUTIINI	22
4.1 Lähtökohdat	22
4.2 Yleiskuvaus.....	22
4.3 Mittauksen valmistelu	23
4.4 Mittaus	24
4.4.1 Ajouraväli	24
4.4.2 Koalamittaukset	24
4.5 Tulosten laskenta	26
4.5.1 Ajouraväli	26
4.5.2 Ajouran leveys.....	27
4.5.3 Jäävä puusto.....	27
4.5.4 Puustovauriot.....	28
4.5.5 Ajourapainumat	29
4.6 Tulosten tulkinta	29
4.6.1 Ajouraväli	29
4.6.2 Ajouran leveys.....	29
4.6.3 Jäävä puusto ja harvennusvoimakkuus.....	30
4.6.4 Puustovauriot.....	31
4.6.5 Ajourapainumat	32
5 KOKEMUKSIA KENTTÄTESTEISTÄ	32
6 MENETELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO	34
7 TULOSTEN TARKASTELU	35
LIITTEET	

TIIVISTELMÄ

Tausta ja tavoite

Kasvatushakkuun hyvä korjuujälki edesauttaa puuston määrällistä ja laadullista kehittymistä. Sen varmistamiseksi seurataan korjuujäljen tasoa ja kehitystä erilaisin menetelmin. Mitä korkeammat tarkkuusvaatimukset seurantamenetelmille asetetaan, sitä peittävämpi näytteenottotapa on tarpeen, ääritapauksena totaalimittaus. Tasapainoilu rutiinin vaatiman työpanoksen ja tulosten tarkkuuden välillä on koettu vaikeasti hallittavaksi. Muun muassa tästä syystä on lähdetty etsimään vaihtoehtoisia lähestymistapoja korjuujäljen laadunvarmistukseen.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää korjuujäljen mittausta sekä tutkia tilastollisen laadunvalvonnan soveltamismahdollisuuksia.

Tutkimuksen toteutus

Kirjallisuustutkimuksessa perehdyttiin tilastollisen laadunvalvonnan perusteisiin ja menetelmiin. Tutkimuksessa kerättyjä ja muilta tahoilta saatuja aineistoja analysoiden arvioitiin tilastollisten menetelmien soveltamismahdollisuuksia kasvatushakkuiden laadunhallinnassa.

Hankeyhteistyöllä haettiin mahdollisuutta eri tahojen suorittaman korjuujälkiseurannan yhtenäistämiseen. Sen puitteissa syntyi myös opinnäytetyö, jossa kartoitettiin nykyisten mittausrutiinien kirjo ja kehitettiin viranomaisrutiinia.

Kehitystyön lähtökohdat

Uraikanantajan ja korjuutyön suorittajan omatoimisessa laadunvarmistuksessa korostuu tarve nopeaan ja osuvaan työmaakohtaiseen palautteeseen. Viranomaistahojen seurannassa olisi puolestaan kyettävä osoittamaan korjuujäljen taso ja kehityssuunta harhattomasti suuremmassa leimikkojoukossa. Sen roolina on siis varmistaa, että omatoiminen laadunohjaus on tuottanut tulosta.

Jo tutkimuksen alkuvaiheessa kävi selväksi, että nämä tavoitteet voi olla vaikea sovittaa yhteen rutiiniin. Metsätehon hankkeessa keskityttiinkin työnaikaisen laadunvarmistusmenetelmän kehittelyyn ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion vetämässä projektissa puolestaan perinteisen jälkiinventointimenetelmän jatkokehitykseen. Yhtenäistämistavoitetta palveli määrittelytyö, jossa käytiin läpi korjuujälkeä kuvaavat tunnuksat. Niiden toivotaan siirtyvän yhtenäisinä kaikkien osapuolten työhjeisiin.

Tarkennetut määritelmät ja uusittu viranomaisrutiini julkaistiin Tapion raporttina ja opinnäytetyössä. Tähän raporttiin on koottu ensisijaisesti omatoimisen laadunvarmistusmenetelmän kehittämiseen liittyvät osiot.

Yksi lupaava vaihtoehto, jolla voidaan aktiivisesti vaikuttaa korjuujäljen positiiviseen kehitykseen, on käynnissä olevien työmaiden kontrollointi. Tämä toimintatapa takaa jälkeinpäin tehtävää mittausta paremmat mahdollisuudet laatupoikkeamien syiden selvittämiseen ja välittömän palautteen antoon työn suorittajalle. Mahdolliset tarkistukset työohjeisiin voidaan tarvittaessa tehdä välittömästi. Korjuujälki on usein moitteeton, ja myös tällainen palaute on tärkeää saada perille.

Kohdistamalla mittaukset sinne, missä laatupoikkeamia yleensä esiintyy, voidaan mittausten tehokkuutta ja palautearvoa nostaa. Vaikka samalla joudutaankin tinkimään mittausten harhattomuusvaatimuksesta, lopputuloksena ovat työmaatasolla selkeämmät tulokset siitä, poikkeako kyseisen työmaan korjuujälki selvästi aiemmin mitatuista työmaista.

Mittausrutiini lyhyesti

Välittömän palautteen antavalla mittausmenetelmällä arvioidaan käynnissä olevan työmaan korjuujälki. Rutiini on tarkoitettu ensisijaisesti puunhankintaorganisaation ja korjuuyrittäjän itsenäisen laadunvarmistuksen apuvälineeksi. Mittaustavat on valittu niin, että ne toisivat tehokkaasti esiin työmaiden välillä tapahtuvat muutokset ja tarjoaisivat samalla mahdollisuuden syy-seuraussuhteiden arviointiin.

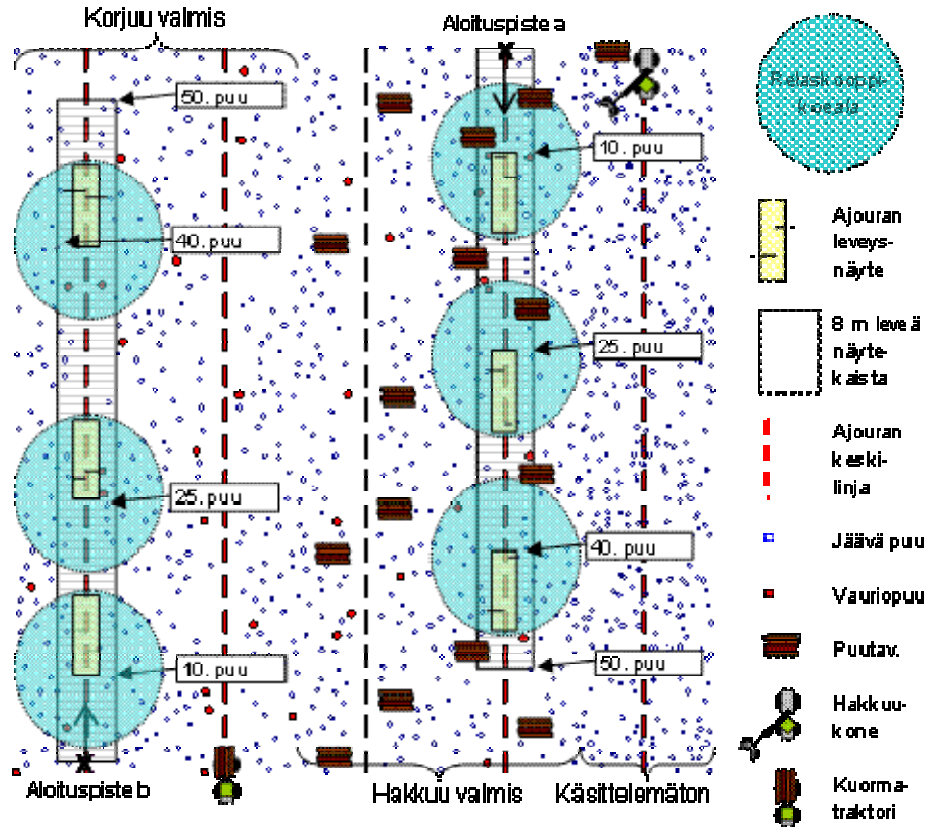
Korjuujälkimittausten runkona on 8 metrin levyinen, ajouran suuntainen kaista, jonka keskilinja myötäilee ajouran keskiviivaa. Jos työmaalla on mitaushetkellä nähtävissä sekä hakkuuvaiheen että koko korjuuketjun tuottama korjuujälki, molemmat arvioidaan erikseen omilta kaistoiltaan (ks. kuvaa seuraavalla sivulla).

Kaistojen aloituspisteet leimikossa voidaan sitoa esim. koneiden sijaintiin mitaushetkellä. Kaistalla edettäessä luetaan pystypuut ja vauriopuut, jotka sijaitsevat korkeintaan 4 metrin etäisyydellä ajouran keskiviivasta. Ajourien leveyden ja jäävän puuston pohjapinta-alan mittauskohdat on sidottu lukupuiden järjestysnumeroon (10., 25. ja 40. pystypuu). Kaista päättyy kun puita on luettu yhteensä 50 kpl. Kaistamittausten lisäksi mitataan ajouraväli esimerkiksi kahden äärimmäisen ajouran keskinäisen etäisyyden ja väliin jäävien urien lukumäärän perusteella.

Mittaustuloksia verrataan kyseisen korjuuketjun edellisiin tuloksiin ja suosituksiin. Jos selviä laatupoikkeamia tai laatutason heikkenemistä esiintyy, syitä arvioidaan mm. yksilöimällä mittaustulosten perusteella hakkuukoneen ja metsätraktorin tuottama korjuujälki ja tekemällä tarvittaessa jäävän puuston lisämittauksia. Myös leimikon koskematonta osaa voidaan havainnoida syiden löytämiseksi (alikasvos, vanhat painumat jne).

Ajouran leveysmittauksia voidaan täydentää tai jopa korvata ne vertaamalla näytekaistan puuston tiheyttä runkolukuun perustuviin harvennusohjeisiin. Näin menetellen voidaan vaikuttaa tehokkaammin siihen, ettei ajouran läheisyyteen synny vajaapuustoisuutta.

Rutiinin tuottamia tunnuslukuja voidaan käyttää myös tilastollisen laadunvalvonnan muuttujina. Poikkeuksellisen suuret poikkeamat asetetuista toleransseista tuottavat 'hälytyksen', jonka syyt arvioidaan paikan päällä.



Periaatepiirros korjuujäljen mittausrutiinista

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Harvennushakkuiden korjuujälkeä on seurattu viranomaisten toimesta 80-luvun loppupuolelta lähtien. Puunhankintaorganisaatiot ovat tehneet mittauksia myös omatoimisesti. Vuosien myötä ovat eri tahojen soveltamat mittausmenetelmät ja korjuujälkeä kuvaavien tunnusien määrittelyt eriytyneet niin, että tulosten vertailukelpoisuus on heikentynyt. Eriytymisen taustalla on osittain erilaiset tarpeet mittaustiedon soveltamisessa. Viranomaistaho seuraa korjuujäljen yleistä kehitystä. Puunhankkijan näkökulmasta on puolestaan tärkeää tunnistaa työmaatasolla mahdollisten laatu-poikkeamien syyt ja ohjata työtapoja aktiivisesti oikeaan suuntaan.

Mitä korkeammat tarkkuusvaatimukset seurantamenetelmille asetetaan, sitä peittävämpi näytteenottotapa on tarpeen, ääritapauksena totaalimittaus. Tasapainoilu rutiinin vaatiman työpanoksen ja tulosten tarkkuuden välillä on koettu vaikeasti hallittavaksi. Muun muassa tästä syystä on lähdetty etsimään vaihtoehtoisia lähestymistapoja korjuujäljen laadunvarmistukseen.

Puunhankintaorganisaatioiden laatujärjestelmissä on viittauksia tilastollisen laadunvalvonnan soveltamiseen korjuujäljen seurannassa. Sen on arveltu parantavan mittausten tehokkuutta ja palautearvoa.

1.2 Tavoite

Tämän projektin tavoitteena oli kehittää korjuujäljen mittausrutiinia ja tutkia tilastollisen laadunvalvonnan tarjoamia mahdollisuuksia korjuujälkimittausten luotettavuuden ja palautearvon parantamiseksi. Avainkysymyksenä oli mitattavien tunnusten vaihtelun hallinta. Samalla etsittiin mahdollisuutta mittausrutiinien ja määritelmien yhtenäistämiseen.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Aineistot

Tutkimuksessa hyödynnettiin useasta eri lähteestä koottuja aineistoja. Alkuvaiheessa haettiin tuntumaa korjuujälkikysymykseen pyytämällä metsäkeskuksilta tietoja kohteista, joissa oli todettu selviä ongelmia korjuujäljen suhteen. Yhteensä 8 ongelmakohdetta käytiin läpi systemaattisin koealमितauksin.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiolta saatiin käyttöön vuoden 1998 työmaakohtaiset tarkastustulokset. Tämän aineiston avulla pyrittiin luomaan kuva työmaiden välisestä korjuujäljen vaihtelusta.

Lisäksi käytettävissä oli yhden puunhankintaorganisaation kokoama koealakohtainen aineisto, josta voitiin analysoida sekä työmaan sisäistä, työmaiden välistä että yrittäjien välistä korjuujäljen vaihtelua.

Neljännän aineiston muodosti Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion projektissa koottu totaalimittausdata kahdelta harvennuskohteelta. Näistä toisella työmaalla yritettiin myös paikantaa puut, mutta gps- ja lasertekniikan yhdistelmään perustuva laitteisto ei yltänyt toivottuun tarkkuuteen.

2.2 Maastokokeet

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion vetämässä projektissa testattiin ja vertailtiin eri puunhankintaorganisaatioiden ja viranomaisen soveltamia korjuujäljen mittausmenetelmiä. Mittaajina oli korjuujälkeä työkseen tarkastavia koehenkilöitä. Kokeiden aineistot ja tulokset on esitelty tarkemmin opinnäytetyössä, joka on tehty Helsingin Yliopiston Metsävarojen käytön laitokselle (Olli Äijälä: Korjuujäljen inventointimenetelmän kehittäminen).

Syksyllä 2002 testattiin pienimuotoisesti projektien tuloksena syntyneitä rutiineja aiemmin totaalimitatuissa kohteissa.

3 TILASTOLLISET NÄKÖKOHDAT

3.1 Kirjallisuustutkimus SPC:stä

Tässä esitetään tiivis kuvaus SPC:n perusteista. Keskeisimmät piirteet on pyritty ottamaan mukaan riippumatta siitä, soveltuvatko ne välttämättä korjuuympäristöön.

3.1.1 Perusteita

SPC:lla (Statistical Process Control, tilastollinen prosessin hallinta) tarkoitetaan kaikkia niitä menetelmiä, joissa pyritään tuotteista mitatun *näytteen* perusteella tekemään johtopäätöksiä prosessista. Tarkkailun kohteena voi olla esimerkiksi prosessin tasaisuus tai epätasaiseen laatuun johtaneet syyt. SPC:n perusajatuksena on pitää prosessin suorituskyky riittävän hyvänä ja kehittää itse prosessia (jatkuva parantaminen). Historiatiedon perusteella laaditaan malleja, joiden avulla voidaan ennakoida prosessin tulevaa käyttäytymistä ja erottaa poikkeukselliset mittaustulokset luonnollisesta vaihtelusta.

Prosessilla tarkoitetaan tapahtumasarjaa, jonka tuloksena on jokin mitattavissa tai arvosteltavissa oleva tuote. On tärkeää ymmärtää, että SPC:n päätelmät kohdistuvat nimenomaan prosessiin eivätkä tuotteeseen. Toinen keskeinen periaate liittyy itse tilastolliseen menetelmään. Sen tulisi mitata prosessin eikä itse seurantamenetelmän suorituskykyä. Tämän varmistamiseksi on tunnettava mittausjärjestelmän suorituskyky (erotuskyky, vaihtelu), mitausepävarmuus.

Prosessista voidaan koota sekä muuttuja- että ominaisuustietoa. Muuttujalla tarkoitetaan tuotteesta tai prosessista mitattavissa olevaa jatkuvaa suuretta (esim. dimensiot). Ominaisuus (attribuutti) on lukumääränä tai prosentiosuutena ilmaistava tunnus, esimerkiksi viallisten tuotteiden lukumäärä aika- tai pinta-alayksikköä kohden.

Korjuuympäristöön sovellettuna:

- *Prosessi = korjuutyö toistuvine rutiineineen*
- *Tuote = valmiiksi korjattu leimikko ja puutavara*
- *Muuttuja = esim. ajouraväli, ajouraleveys, jäävä puusto suhteessa suositukseen*
- *Ominaisuus = esim. puustovaurio-%*

3.1.2 Valmistautuminen tilastollisen laadunvalvonnan käyttöönottoon

Ennen tilastollisen laadunvalvonnan käyttöönottoa etsitään prosessista tärkeimmät seurannan kohteet ja selvitetään mittausjärjestelmän suorituskyky.

Pareto-menetelmä on yksi tapa tunnistaa keskeiset laatutunnukset. Siinä järjestetään prosessissa syntyvät laatu-poikkeamat esiintymistiheyden tai virhekustannusten mukaiseen tärkeysjärjestykseen. Näin esiin saatuja ongelmia-

alueita voidaan lähteä purkamaan ns. syy-seurausanalyysillä. Siinä etsitään havaitun ongelman yhteys esimerkiksi seuraaviin prosessin osatekijöihin: ihminen, kone, materiaali, menetelmä, tieto, ympäristö. Lopputuloksena syntyy ns. kalanruotokaavio, jonka perusteella arvioidaan syy-yhteyttä. Kaaviosta esiin nousseisiin syihin ja niiden ristikkäisvaikutuksiin voidaan etsiä vastauksia esimerkiksi koesuunnittelulla (Taguchi tai Monte-Carlo). Ensin mainitussa menetelmässä tutkitaan prosessin muuttujien vaikutusta laatutunnuksiin testaamatta jokaista mahdollista tunnusta erikseen. Jälkimmäisessä simuloidaan lopputulos erilaisilla satunnaisesti valituilla muuttujien arvoilla ja pyritään etsimään niille optimitaso.

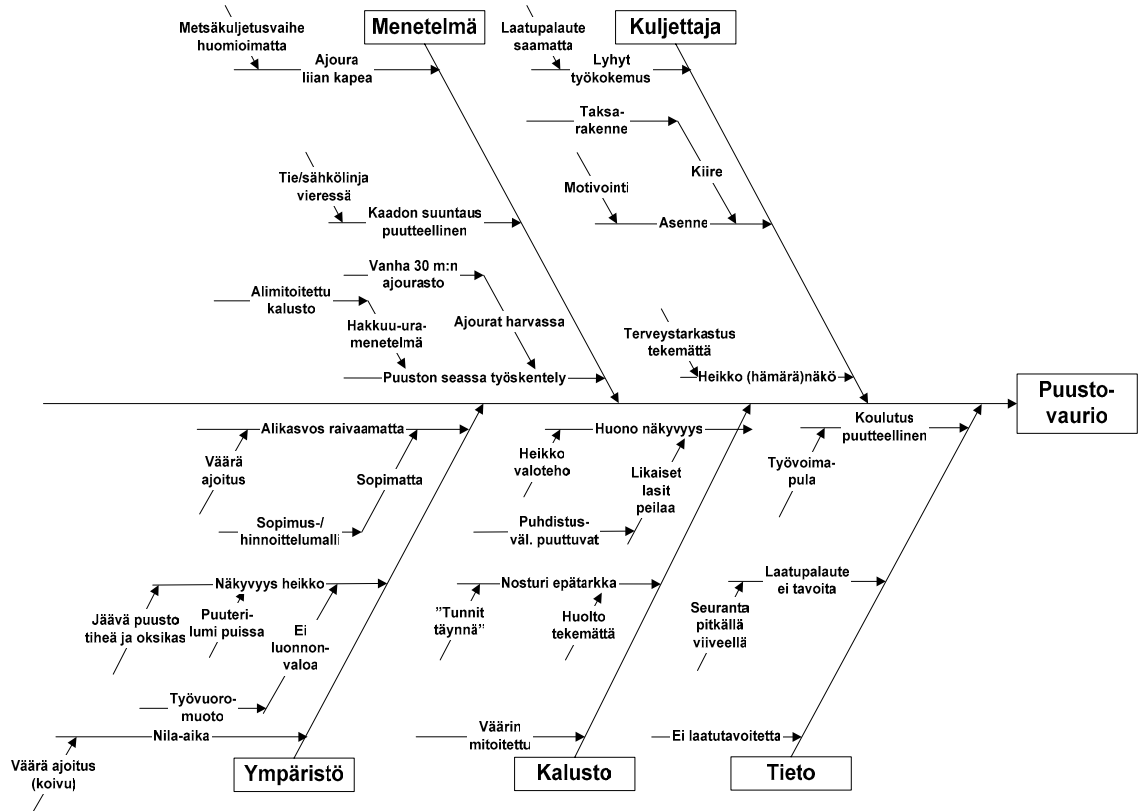
Kun keskeiset laatuun vaikuttavat tekijät on tunnistettu, valitaan niille sopiva mittausmenetelmä. Menetelmän valinnassa tulisi kiinnittää erityistä huomiota sen sisältämään mittausepävarmuuteen. ISO 9000 ja eräät muut alakohtaiset standardit edellyttävät mittausepävarmuuden hallitsemista. Liian karkea mittausmenetelmä ei kykene tunnistamaan prosessissa esiintyvää normaalista vaihtelusta poikkeavaa muutosta (erotuskyky). Nyrkkisääntönä esitetään, että mittausmenetelmän pitää kyetä jakamaan prosessin luonnollinen vaihtelu eli toleranssi vähintään kymmeneen osaväliin. Toisaalta edellytetään, että itse mittausjärjestelmään sisältyvä kokonaisvaihtelu saisi olla korkeintaan 10 % muuttujan toleranssista (suorituskyky).

Mittausepävarmuutta voidaan tutkia ns. GageR&R -menetelmän avulla. Siinä 2 - 4 koehenkilöllä mittaautetaan näyte-erän tiettyä laatutunnusta useampaan kertaan ja selvitetään mittausepävarmuuden osuus tunnuksen kokonaisvaihtelusta. Epävarmuus jaetaan kahteen komponenttiin, toistettavuuteen ja uusittavuuteen. Ensimmäinen kuvaa yksittäisen mittaaajan eri mittauskertojen välistä vaihtelua ja toinen mittaaajien välistä vaihtelua.

Korjuuympäristöön sovellettuna:

- *Pareto-menetelmällä voidaan etsiä ne korjuujäljen osatekijät, jotka esiintymistiheyden ja seurausvaikutusten (kasvu- ja laatutappiot) perusteella ovat merkittävimpiä.*
- *Syy-seurausanalyysillä voidaan jäsenellä esimerkiksi kuljettajan, korjuukoneen, leimikko-olosuhteiden, työnjohdon ja korjuumenetelmän yhteys Pareto-analyysillä löydettyihin merkittävimpiin korjuujäljen osatekijöihin (kuva 1).*
- *Jos esim. ajouraleveyden luonnolliseksi vaihteluksi oletetaan 1 m, leveyshavainnot voidaan kirjata korkeintaan 1 dm:n jaotuksella. Mittausvirheiden kokonaisvaihtelukaan ei saisi nousta kymmeneen senttiin.*
- *Korjuujälkimittaukseen sisältyvän mittausepävarmuuden selvittämiseksi harvennuskohteelle pitäisi järjestää ”rata”, jossa mittaautettaisiin korjuujälkitunnuksia tietyistä, tarkoin merkityistä maastokohdista. Mitta-asteikot tulisi valita niin, että tasatuloksia ei syntyisi kovin herkästi. Esimerkiksi ppa:n ja valtapituuden määrittäminen tulisi tehdä totuttua tarkemmalla asteikolla. Mittauskertojen välillä tulisi pitää reilu tauko, jotta edellinen mittaustulos ei olisi enää muistissa.*

Kuvassa 1 on sovellettu kalanruotokaaviota (syy-seurausanalyysi) puustovaurioiden syntyyn vaikuttavien tekijöiden jäsentämisessä. Esimerkiksi alikasvoksen raivaamattomuus mainitaan usein syyksi puiden kolhiintumiseen. Perimmäinen syy saattaakin tällöin löytyä esimerkiksi puukaupassa sovellettusta sopimusmallista ja hinnoitteluperiaatteista, jotka tulisi tarkastaa. Syiden jäsentelyä pitäisi pyrkiä jatkamaan aina niin pitkälle, että se tuottaisi selviä toimenpide-esityksiä asiointilan korjaamiseksi. Esimerkkikaaviossa-kin useimmat syy-seurausketjut käipaisivat vielä täydennystä.



Kuva 1. Esimerkki kalanruotokaavion hyödyntämisestä puustovaurioiden syiden selvittämisessä.

3.1.3 Prosessin jakauman tutkiminen ja suorituskykyanalyysi

Valmistelevien vaiheiden jälkeen kerätään mittaustietoa keskeisiksi osoitautuneista muuttujista/ominaisuuksista ja tutkitaan niiden jakauman muotoja ja siirtymiä ajan suhteen. Jos jakauma on keskittynyt selvästi muuttujalle asetetun toleranssialueen keskelle, voidaan prosessia luonnehtia tämän muuttujan suhteen *suorituskykyiseksi*. Jos jakauma lisäksi pysyy paikoillaan ajan suhteen, prosessia sanotaan *vakaaksi*.

Suorituskykyisyyttä arvioidessa ollaan ensimmäistä kertaa tekemisissä SPC:n keskeisimmän kysymyksen, *yleisten ja erityisten syiden* tunnistamisen kanssa. Jos prosessista mitatun muuttujan jakauma on toleranssiin nähden suppea, siitä on helppo tunnistaa poikkeamat tai häiriöt, jotka eivät selity muuttujan normaalin kohinan perusteella. Tällaisia poikkeamia kutsutaan erityisiksi syiksi, joiden alkuperä olisi kyettävä jäljittämään ja eliminomaan. Normaalin vaihtelun puitteissa tapahtuvaa muuttujan arvojen huojuntaa kutsutaan yleisistä syistä johtuviksi eikä niiden esiintyminen johda toimenpiteisiin.

Jos jakaumatarkastelut osoittavat, että prosessi on hallinnassa, ts. muuttujissa esiintyy vain yleisistä syistä johtuvaa vaihtelua, voidaan prosessille määrittää maksimisuorituskykyluku ja suorituskykyluku. Ne kuvaavat yksittäiselle muuttujalle asetetun toleranssin suhteen muuttujan vaihteluun (= 6 × näytteen keskihajonta). Toleranssirajat voivat olla peräisin esimerkiksi viranomaismääräyksistä.

Yleensä ensin varmistetaan, että vaihtelu on ylipäätään riittävän pieni suhteessa toleranssiin välittämättä siitä, tapahtuuko vaihtelu toleranssirajojen sisäpuolella. Tätä suhdetta kutsutaan *maksimisuorituskykyluvuksi* (C_p) ja se lasketaan kaavalla:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}}, \text{ missä} \quad (\text{kaava 1})$$

USL	= ylempi toleranssiraja
LSL	= alempi toleranssiraja
$\hat{\sigma}$	= näytteen keskihajonta

Toleranssin tulisi olla vähintään kolmanneksen ”leveämpi” kuin kuusinkertainen keskihajonta ($C_p > 1,33$). Kun tämä tavoite on saavutettu, prosessia säätämällä ohjataan vaihtelu toleranssialueen keskelle. Tämän toimenpiteen onnistumista arvioidaan *suorituskykyluvun* (C_{pk}) avulla:

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}; \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}}\right) \quad (\text{kaava 2})$$

\bar{x}	= näytteen keskiarvo
-----------	----------------------

Jos prosessin tavoitearvo ei sijaitse toleranssialueen keskellä, suorituskykyluku määritetään kaavalla:

$$C_{pk} = \left(1 - \frac{T - \bar{x}}{\frac{1}{2}(USL - LSL)}\right) \times C_p, \text{ missä} \quad (\text{kaava 3})$$

T	= seurattavan muuttujan tavoitearvo
---	-------------------------------------

Myös suorituskykyluvun tavoitetaso on yleensä vähintään 1,33. Mitä lähemmäs ykköstä se laskee, sitä herkemmin pienetkin muutokset prosessissa johtavat toleranssiylityksiin.

Korjuuympäristöön sovellettuna:

- *Prosessin suorituskyvyn arviointi on korjuujäljen osalta ongelmallista. Käytännössä vaihtelu on olosuhteista johtuen niin suurta, että häiriötilanteiden tunnistaminen tulosjakaumista on vaikeaa. Suuren vaihtelun taustalla on osin myös itse mittausmenetelmiin sisältyvä epätark-*

kuus. Suorituskyvyn analysointi olisi kuitenkin tärkeää toteuttaa, koska sen perusteella arvioidaan koko SPC-metodiikan käytön mielekkyys.

- Jäävän puuston määrälle löytyy toleranssirajat harvennusohjeista. Niiden soveltaminen sellaisenaan toleranssirajoina on hankalaa, koska tasot vaihtelevat leimikoittain kasvupaikan ja valtapituuden mukaan. Suorituskykyä arvioidessa rajat pitäisikin ilmoittaa suhteellisina maksimipoikkeamina harvennussuosituksen ylä- ja alarajan keskiarvosta ja käyttää toteutuneiden poikkeamien hajontoja ja keskiarvoja laskennan lähtöarvoina.*
- Muille korjuujäljen osatekijöille on asetettu yleensä vain joko ylempi tai alempi toleranssiraja (ajouraleveys max. 4,5 m, ajouraväli min. 20 m). Näissä tilanteissa maksimisuorituskykyä (C_p) ei voida määrittää. Suorituskykyä (C_{pk}) sen sijaan voidaan määrittää, mutta kaavasta 2 pudotetaan kokonaan pois se puoli, jolle toleranssirajaa ei ole määritetty.*
- Korjuujäljestä puhuttaessa on muistettava, että toleranssirajat ovat leimikkokohtaisia, eivät yksittäisen koealan mittaustulokselle asetettuja vaatimuksia. Em. kaavoissa ”näyte” muodostuu leimikkotasoisista mittaustuloksista, ja suorituskykyä arvioidaan leimikoiden välisten – ei sisäisten – hajontalukujen ja leimikkojoukosta laskettujen keskiarvojen perusteella.*

3.1.4 Valvontakortit

Kun prosessi on todettu hallituksi ja suorituskykyiseksi (esim. $C_{pk} > 1,33$) voidaan sen tarkkailua jatkaa ns. valvontakorttien avulla. *Muuttujakorteilla* seurataan esimerkiksi keskiarvon, liukuvan keskiarvon, mediaanin, vaihteluvälin ja keskihajonnan muutoksia niille asetettuihin valvontarajoihin nähden. Muutoksia kuvataan valvontakäyrillä, joiden muodosta (trendi, siirtyminen, jaksottaisuus) voidaan tehdä johtopäätöksiä silloinkin kun vaihtelu pysyy valvontarajojen sisällä. Valvontarajat asetetaan usein kolmen keskihajonnan etäisyydelle muuttujan normaalitasosta. Jos valvontaraja ylitetään, syy selvitetään. Jos häiriö kyetään korjaamaan, jatketaan valvontaa normaalisti. Muussa tapauksessa tehdään uusi suorituskykyanalyysi ja sen tuloksen perusteella joko laaditaan uusi valvontakortti ja jatketaan tuotantoa tai harkitaan prosessin perusteellisempaa muutosta.

Ominaisuuskorteissa seurataan lukumäärinä tai prosenttiosuuksina ilmaistavia tunnuksia, yleensä virheellisten tuotteiden tai virheiden esiintymistiheyttä. Virheiden esiintymistodennäköisyyden jakauma poikkeaa yleensä selvästi normaalijakaumasta. Ominaisuuskorttien valvontarajojen laskentakaavat perustuvatkin binomi- ja poisson-jakaumiin.

3.2 Muita tilastotieteellisiä näkökohtia

SPC pitää kapean tulkinnan mukaan sisällään ne tilastolliset menetelmät, joilla pyritään toistuvan näytteenoton avulla tunnistamaan *prosessissa* tapahtuvat poikkeavat muutokset ajoissa, jotta virheellisen tuotteen valmistuminen olisi epätodennäköistä. Kun puhutaan yleisemmin tilastollisesta laadunvalvonnasta, siihen sisältyvät kaikki ne menettelyt, joiden avulla tilastomatematiikkaa hyödynnetään laatutyössä.

Hyödyntäminen voi yksinkertaisimmillaan olla yksittäisestä näyte-erästä tai näyte-erien sarjasta lasketun tuloksen (esim. tuotelaadun) keskiluvun ja keskiluvun luotettavuuden määrittämistä. Luotettavuus määräytyy itse mittauksiin sisältyvän epävarmuuden ja mitattavan tunnuksen vaihtelun perusteella. Kaikkien otantamittausmenetelmien tuloksiin sisältyy epävarmuutta. Tämä epävarmuus on ainakin osittain hallittavissa, jos mitattavan tunnuksen luonnollinen vaihtelu ja itse mittausmenetelmiin sisältyvä vaihtelu tunnetaan.

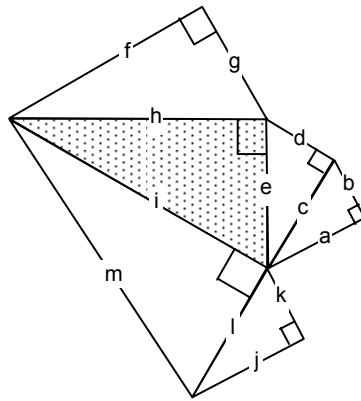
Epävarmuutta voidaan pyrkiä hallitsemaan monin eri tavoin. Yksi huonoimmista vaihtoehdoista on uudelleenmittaus virhetilanteessa: Mittausrutiiniin ei saisi sisältyä elementtejä, jotka johtavat uudelleen mittaukseen virheen löytyessä ja hyväksyvät samalla virheettömän tuloksen sellaisenaan. Jos uusintamittaus kumoo aina edellisen tuloksen, todennäköisyys todellisen virheen löytymiseen pienenee jyrkästi. Ilmiöstä käytetään nimitystä ”uudelleen mittaamisen ansa”. Sen sijaan jos lisämittaukset tehdään kumulatiivasti, ongelmia ei pitäisi syntyä.

Kahdessa seuraavassa luvussa käsitellään mittaustiedon vaihtelun hallintaan liittyviä näkökohtia yksittäisen työmaan ja työmaajoukon tasolla. Ennen sitä käydään vielä lyhyesti läpi vaihtelun eritasoiset lähteet ja yhteydet.

Kuvassa 2 on esimerkki siitä, mistä eri ”komponenteista” työmaatasoinen vaihtelu (= hajonta) voi koostua ja mikä on sen merkitys kokonaisvaihtelun osana. Rasteroidun kolmion lyhyempi kateetti (e) kuvaa mittausvirheistä aiheutuvaa vaihtelua, joka voidaan edelleen hajottaa näytteenotosta ja mittausepävarmuudesta aiheutuvaan vaihteluun (ks. lukua 3.1.2). Pidempi kateetti (h) kuvaa puolestaan mitattavan ilmiön todellista vaihtelua, joka korjuujäljestä puhuttaessa voidaan usein jakaa palstan poikki- ja pitkittäissuuntaiseen vaihteluun. Näistä kahdesta vaihtelukomponentista koostuu työmaan sisäinen, näennäinen kokonaisvaihtelu (i). Näennäinen siitä syystä, että mukana on mittausvirheistä johtuva vaihtelu.

Työmaajoukkoa tarkasteltaessa vaihtelua syntyy jo yksin siitä, että olosuhteet työmaiden välillä vaihtelevat eikä kokenutkaan kuljettaja kykene tällöin tuottamaan tasaista korjuujälkeä. Jos työmaajoukkoon sisältyy lisäksi useiden eri kuljettajien käsittelemiä kohteita, vaihtelu kasvaa entisestään taiteroista johtuen.

Periaatteessa kaikki edellä kuvatut vaihtelukomponentit voidaan kytkeä toisiinsa pythagoraan lausetta soveltaen kuvan 2 mukaisesti.



- a = mittaajasta aiheutuva hajonta
- b = mittalaitteesta aiheutuva hajonta
- c = mittausepävarmuus
- d = näytteiden välinen hajonta
- e = mittausvirheiden kokonaishajonta
- f = ajouran suuntainen hajonta
- g = palstan poikkisuuntainen hajonta
- h = ilmiön todellinen hajonta työmaatasolla
- i = näennäinen hajonta työmaatasolla
- j = eri kuljettajien välinen hajonta
- k = saman kuljettajan eri työmaiden välinen hajonta
- l = työmaiden välinen hajonta
- m = näennäinen kokonaishajonta aluetasolla

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$e = \sqrt{c^2 + d^2}$$

$$h = \sqrt{f^2 + g^2}$$

$$i = \sqrt{e^2 + h^2}$$

$$l = \sqrt{j^2 + k^2}$$

$$m = \sqrt{i^2 + l^2}$$

Kuva 2. Esimerkki työmaan sisäisen ja työmaiden välisen korjuujäljen vaihtelun (= keskihajonnan) osatekijöistä ja niiden matemaattisesta kytkennästä. (Lähde, jota sovellettu: Peter A. Daisley. Process Capabilities, Quality Assurance. Its Management and Techniques.1989.)

Taulukkoon 1 on koottu eri lähteistä esimerkkejä korjuujälkitunnusten keskiarvoista ja vaihtelutasoista työmaiden sisällä ja välillä. Työmaiden välistä hajontaa ei ole mielekästä esittää esimerkiksi valtapituudelle, koska sitä ei koskaan käytetä sellaisenaan työmaajoukkoa kuvaavana korjuujälkitunnuksena vaan ainoastaan työmaatasoisena harvennusvoimakkuuden apusuurena.

TAULUKKO 1 Tyypillisiä korjuujäljen tunnusten keskiarvoja sekä työmaiden sisäisiä ja välisiä hajontoja. On huomattava, että hajonnoissa ovat mukana kaikki mahdolliset vaihtelun lähteet: olosuhteet, kuljettaja, mittausvirheet yms.

	Keskimäärin	Työmaiden välinen hajonta	Työmaiden sisäinen hajonta
Ajouraväli, m	23	2-5	4 - 5
Ajouraleveys, dm	40	5	5
Painumat, %	2	3	2
Valtapituus, m	-	-	1,5
PPA, m ² /ha	-	-	3
Runkoluku, r/ha	-	-	200
Puustovauriot, %	2,5	3	3 - 10

3.2.1 Yksittäisen työmaan mittaustulos

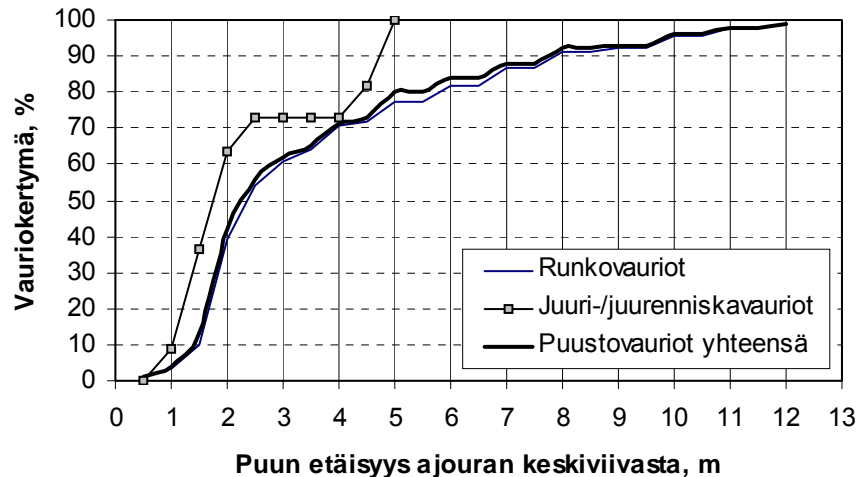
Näyte-erällä tarkoitetaan korjuujäljestä puhuttaessa yksittäiseltä työmaalta mitattua tietyn korjuujälkitunnuksen havaintojoukkoa, esimerkiksi ajouran leveyshavaintoja. Jos niistä laskettu tulos (keskiarvo) raportoidaan työmaakohtaisesti, on tärkeää esittää myös jokin tuloksen luotettavuutta kuvaava tunnusluku. Yleisin tunnusluku on luottamusväli. Toinen mahdollisuus on ilmaista todennäköisyys, jolla todellinen tulos alittaa/ylittää jonkin ennalta asetetun raja-arvon, esimerkiksi viranomaismääräyksen.

Jos näytteenottotapa olisi satunnainen (ts. näytteet sijoitettaisiin kohteelle toisistaan riippumattomasti esimerkiksi arpomalla jokaisen koealan keskipisteen x- ja y-koordinaatti), tuloksen luotettavuutta kuvaavien tunnuslukujen laskentakaavat olisivat yksiselitteisiä. Mittauskohdat sijoitetaan työmaalle kuitenkin yleensä systemaattisesti. Luotettavuuden arvioinnissa joudutaan tyytymään tällöin likiarvoihin koska analyttisiä kaavoja ei systemaattisen näytteenoton luotettavuuden määrittämiseen ole käytettävissä. Likiarvot määritetään yleensä satunnaisen otannan kaavoilla. Luotettavuudesta voidaan tällöin saada todellista parempi tai heikompi kuva riippuen siitä, minkä tyyppistä vaihtelua kohteella esiintyy:

- Jos mitattava tunnus vaihtelee kohteen sisällä trendinomaisesti - esimerkiksi puusto harvenee ylärinteeseen päin – luotettavuudesta saadaan satunnaisen otannan kaavoilla liian pessimistinen kuva.
- Jos vaihtelu on puolestaan syklistä – esimerkiksi ajourien läheisyydessä puustoa vähemmän kuin palstan keskellä – luotettavuus yliarvioidaan.

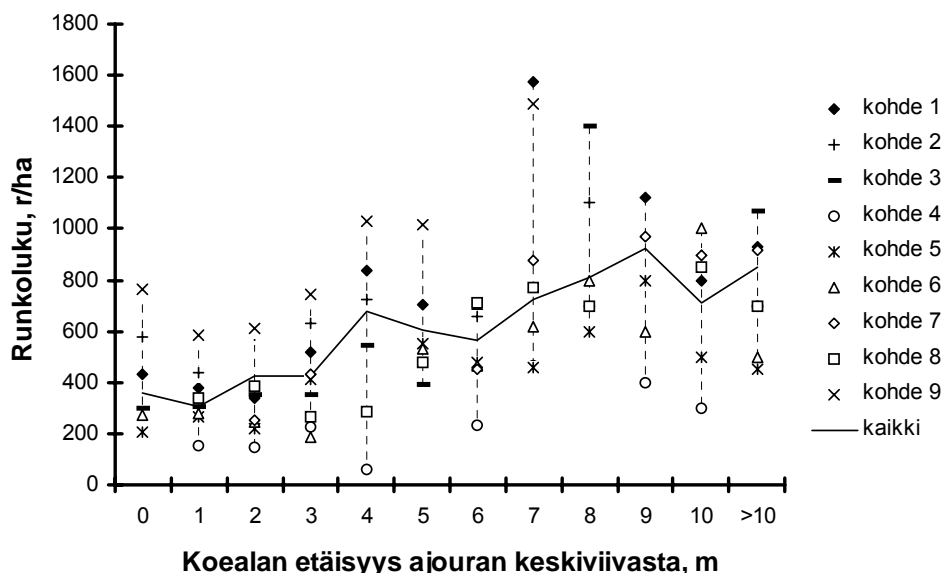
Usein harvennustyömaalla esiintyy yhdessä molemman tyyppistä vaihtelua ja luotettavuuden yli-/aliarvio jää siten aina osittain epäselväksi.

Tyypillinen syklistesti leimikossa vaihteleva tunnus on puuston vaurioprosentti. Vauriopuut keskittyvät melko voimakkaasti ajouran läheisyyteen. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen vauriopuiden kertymä ajouran keskiviivalta palstan keskelle siirryttäessä. *Noin 70 % vauriopuista sijaitsee enintään 4 metrin etäisyydellä ajouran keskiviivasta.*



Kuva 3. Vauriopuiden kertymä ajouralta palstalle päin. Aineistona 46 koneellisesti korjattua harvennusleimikköä.

Myös kasvatettavaksi jäävän puuston tiheys saattaa vaihdella palstan poikisuunnassa. Puuntuotannollisesti olisi edullista, jos kasvatettava puusto painottuisi hieman uran varteen mutta käytännössä tilanne on yleensä toisin. Ajouran läheisyydessä oleva puusto hakataan helpoimmin alitiheyteen ja palstan keskiosaan voi jäädä samalla enemmän puuta. Esimerkiksi HARKO-projektin kenttäkokeissa ilmiö tuli selvästi esiin (Työtehoseuran julkaisu 382). Kuvassa 4 on esimerkki vanhemmasta, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion keräämästä jälki-inventointiaineistosta, jossa kunkin koealan etäisyys ajouran keskeltä tunnettiin.

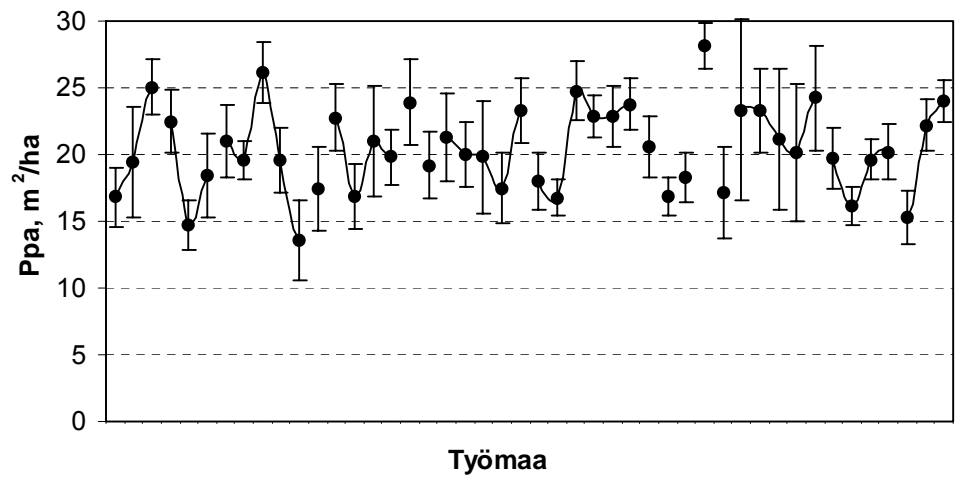
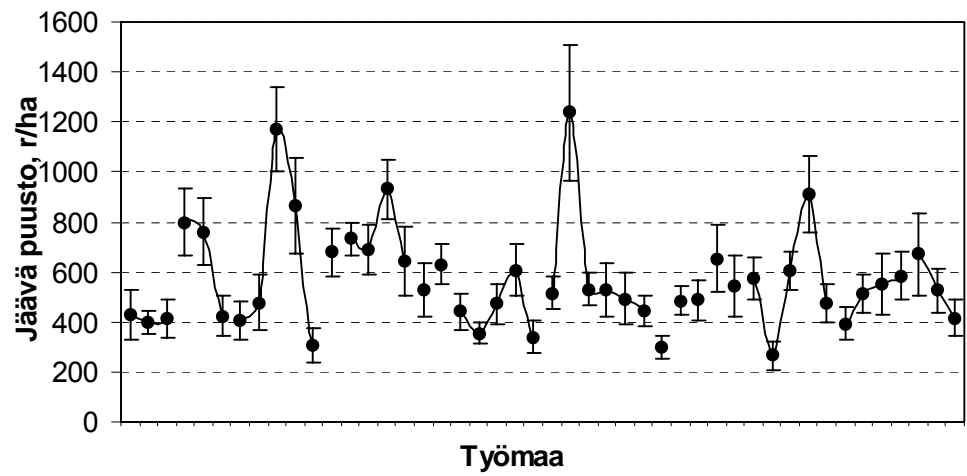
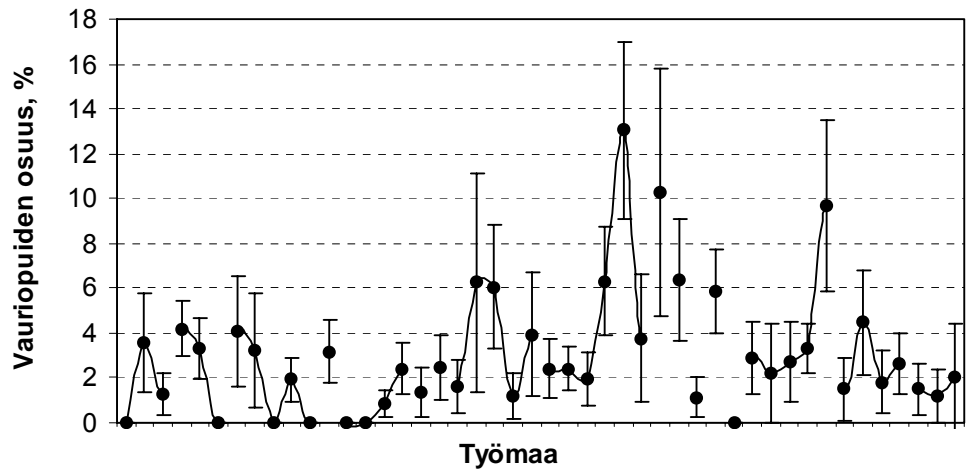


Kuva 4. Jäävän puuston tiheys eri etäisyyksillä ajourasta. (Ajouran läheisyydessä ympyräkoalojen pinta-alasta on vähennetty ajouran ulkoleveyttä vastaava segmentti ennen tiheyden laskentaa.)

Ajouran läheisyyteen painottuvat laatuongelmat – liittyvät ne sitten puustovaurioihin tai jäävän puuston määrään – pitäisikin ottaa huomioon näytteenottotapaa määrättäessä. Ne voidaan nähdä sekä ongelmana että mahdollisuutena mittausrutiinin kehittämistyössä. Ongelmat liittyvät lähinnä tuloksen luotettavuuden arviointiin (ks. edellä). Samalla tarjoutuu kuitenkin mahdollisuus laatuongelmien tehokkaampaan havaitsemiseen.

Tilannetta voisi verrata tehtaan tuotantolinjaan (liukuhihna, paperikone), jossa esiintyy yleensä sekä poikittaista että pitkittäistä laatuvaihtelua. Ongelmat keskittyvät usein linjan reunoille, jolloin poikittainen laatuvaihtelu voi olla selvästi suurempaa kuin linjan suuntainen vaihtelu. Tätä ilmiötä käytetäänkin hyväksi teollisuusprosessien laadunseurannassa keskittämällä näytteenotto reuna-alueelle, missä mahdolliset häiriöt tulevat helpommin esiin. Pitkittäistä näytteenottoa voidaan tällöin keventää huomattavasti ja sen rooliksi jää keskimääräisen laatuolosuhteiden tarkkailu.

Tällaisen näytteenottotavan luotettavuus on vaikea arvioida vaikka edut ovatkin ilmeiset. Sen sijaan ”perinteiseen” systemaattiseen koelaverkoston perustuvan näytteenoton arviointi on helpompaa. Tampereen yliopisto laati Metsätehon toimeksiannosta tiiviin esityksen siitä, kuinka yksittäisen työmaan ja työmaaketjun mittaustuloksen luotettavuus määritetään (vaurio-% ja runkoluku). Dokumentti on tämän raportin liitteenä (liite 1). Kuvassa 5 on esitetty muutaman korjuujälkitunnuksen osalta työmaatasoiset tulokset, jotka on laskettu TY:n esittämiä kaavoja soveltaen. Dokumenttia ja kuvia tarkasteltaessa on muistettava, että niissä ei ole voitu sulkea pois edellä kuvattuja, systemaattiseen näytteenottoon liittyviä riskejä luotettavuuden yli-/aliarvioon. Kaavoissa on kuitenkin mukana korjaustekijä (*f*), jolla huomioidaan se, että tihentyessään systemaattinen koelaverkosto kattaa yhä suuremman osan työmaan pinta-alasta ja otantavirheen mahdollisuus pienenee.



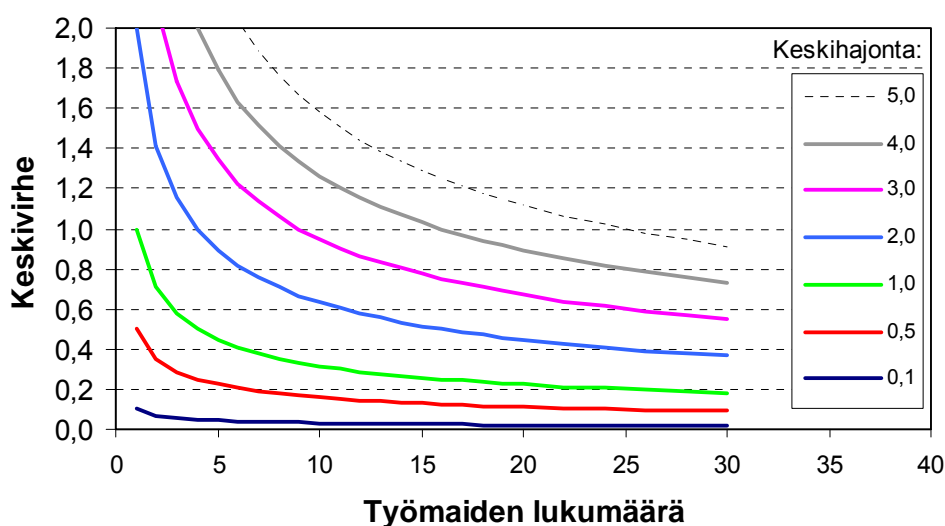
Kuva 5. Muutamien korjuujälkitunnusten leimikkokohtaiset tulokset ja tuloksille lasketut 95 %:n luottamusvälit. Aineistona 46 harvennustyömaata 17:lta eri yrittäjältä. Samalta yrittäjältä mitatut tulokset on yhdistetty viivalla toisiinsa.

3.2.2 Työmaaketjun mittaustulos

Näytesarja koostuu usean työmaan näyte-eristä. Näytesarjasta saadun tuloksen luotettavuuden arviointi tulee ajankohtaiseksi esimerkiksi silloin kun raportoidaan korjuujäljen seurantatuloksia jollain tarkastelujaksolla. Tulokset esitetään tyypillisesti aluekohtaisina tunnuslukuina. Puunhankintaorganisaatiolla voi tarkasteluyksikkönä olla esimerkiksi hankinta-alue ja viranomaismittauksissa metsäkeskusalue tai koko maa.

Tärkein ja helpoimmin hallittava aluekohtainen tunnusluku on keskiarvo. Jos mittausmenetelmä perustuu satunnaiseen tai systemaattiseen koealaverkostoon ja otanta takaa kaikille työmaille saman todennäköisyyden osua tarkastukseen, edellytykset kohtuullisen tarkkojen alueellisten keskiarvojen määrittämiseen ovat hyvät. Aluekohtaisten tulosten keskiarvon luotettavuuden arviointiin riittää käytännössä tieto siitä, kuinka suuri on ko. tunnuksen keskihajonta työmaiden välillä (vrt. taulukko 1, s. 14).

Kuvassa 6 on esitetty mitattujen työmaiden lukumäärän ja keskihajonnan vaikutus tuloksen keskivirheeseen, ts. siihen toleranssiin (keskiarvosta ylösjä alaspäin), johon todellinen aluetasoinen tulos kahden kolmasosan (68 %:n) todennäköisyydellä osuu. Jos esimerkiksi hankinta-alueen puitteissa on tarkastettu yhteensä 30 harvennustyömaata, joissa ajouravälimitausten keskiarvo on 23 m ja työmaiden välinen vaihtelu 5 m, todellinen aluekohtainen keskiarvo on 68 %:n todennäköisyydellä välillä $23 \pm 0,9$ m. Jos tulokselle halutaan varmempi luottamusväli, keskivirhe on kerrottava ensin t-jakauman ns. kriittisillä arvoilla. Esimerkiksi 95 % luottamusväli em. tulokselle saadaan kertomalla keskivirhe 2,045:llä.



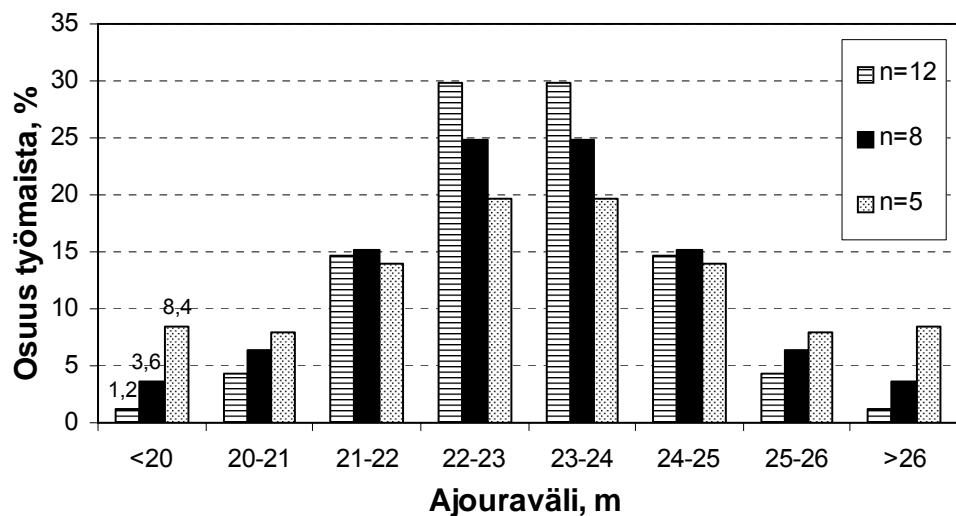
Kuva 6. Työmaiden lukumäärän ja työmaiden välisen korjuujälkitunnusten vaihtelun (= keskihajonnan) vaikutus tuloksen keskivirheeseen ts. siihen toleranssiin, johon todellinen tulos sattuu $\frac{2}{3}$:n todennäköisyydellä (keskiarvo \pm keskivirhe).

Keskiarvon lisäksi saatetaan olla kiinnostuneita myös tulosten jakaumasta tai tarkemmin siitä, mikä osuus työmaista ei ole täyttänyt viranomaismääräyksiä tai suosituksia. Tätä esitystapaa on käytettävä harkiten. Seuraava esimerkki havainnollistaa hyvin tätä ongelmaa:

Vuoden 2001 korjuujäljen inventointitulokset julkaistiin toukokuussa 2002 ja niissä otsikoihin nousi ylitteävät ajouraverkostot. Keskimääräinen ajouraväli oli laskenut melko tasaisesti muutaman vuoden takaiselta 24 metrin tasolta noin 23 metriin. Tältä osin tulos oli yksiselitteinen. Kehityksen havainnollistamiseksi esitettiin myös aikasarja, joka kuvaa 20 metrin ajouravälisuosituksen alittavien työmaiden osuuden kehitystä vastaavana ajanjaksona. Osuus näytti kasvaneen 9 prosentin tasolta yli 20 prosenttiin. Tämän osuuden trendi on jo keskiarvostakin päätellen varmasti oikeansuuntainen, mutta muutoksen jyrkkyys (14 % / 4 vuotta) ja taso (n. 20 % työmaista) voidaan helposti kyseenalaistaa. Tämä lähinnä kahdesta syystä:

- Koska ajouravälimittaus perustuu otantaan, mittaustulosten perusteella työmaiden välinen vaihtelu on näennäisesti suurempi kuin käytännössä.
- Jos työmaakohtainen näytemäärä muuttuu vuosien välillä, myös 20 metrin ”hälytysrajan” alittavien osuus muuttuu vaikka ajouravälikäytäntö säilyisi ennallaan.

Ongelmaa voidaan havainnollistaa tarkastelemalla sitä, miltä tarkastustulokset näyttäisivät työmailla, joissa kussakin ajouravälin keskiarvo on todellisuudessa tasan 23 metriä ja työmaan sisäinen hajonta 4 metriä – siis hyvin tyypillisissä kohteissa. Tarkastustulosten valossa osa näistä työmaista alittaa väijäämättä uravälisuosituksen vaikka todellisuudessa huomautettavaa ei ole. Alittavien osuus riippuu työmaakohtaisten ajouravälihavaintojen lukumäärästä (kuva 7). Jos havaintoja kertyy 12 kpl/työmaa, vain noin joka sadas työmaa arvostellaan virheellisesti ajouraverkostoltaan ylittehäksi. Jos havaintomäärä laskee viiteen, väärän tuomion saa jo lähes joka kymmenes (8,4 %) näistä työmaista, joilla siis uraväli on selvästi ohjeen mukainen.



Kuva 7. Ajouravälin tarkastusmittauksen tulosten (keskiarvon) jakauma niillä työmailla, joissa ajouravälin keskiarvo on todellisuudessa 23 metriä ja työmaan sisäinen vaihtelu (= hajonta) 4 m.

Tämä tarkastelu osoittaa siis sen, että jo itse otantamittaukseen on sisäänrakennettuna niin suuri tulosjakauman muotoon liittyvä *systemaattinen* virhelähde, ettei korjuujälkiseurannan tuloksia ole mielekästä lähteä esittämään jakaumana tai sen osana eli tietyn raja-arvon ylittävien/alittavien osuutena. Toinen – ei-systemaattinen – virhelähde tulee esiin silloin jos työmaakohtaisia näytemääriä ei kyetä vuositasolla vakioimaan. Kuten kuvasta 7 voidaan nähdä, esimerkiksi näytemäärän pudotus kahdeksasta viiteen riittää jo yksinään tuplaamaan ylitiheiden ajouraverkostojen osuuden 3,8 prosentista 8,4 prosenttiin vaikka käytäntö olisi pysynyt vuosien välillä täysin muuttumattomana.

Kun siis vuoden 2001 tarkastustulosten mukaan ylitiheitä ajourastoja näytti esiintyvän yli 20 %:lla työmaista, merkittävä osa poikkeamista saattaakin johtua yksinomaan otantamittauksen ominaispiirteistä – otantavirheestä ja mittausepävarmuudesta. Ja ylitiheiden uraverkostojen yleistymistrendi voisi selittyä jo sillä, että työmaakohtaisia mittaushavaintoja on rutinoitumisen myötä vähennetty vuosi vuodelta. Nythän keskiarvon valossa tihentymistä on todella hieman tapahtunut ja ylitiheyskin niin ollen täytynyt yleistyä mutta niin kauan kuin näytemääristä johtuvaa virhelähdettä ei voida sulkea pois, kehityksen voimakkuudesta ei voida sanoa mitään. *On syytä vielä muistaa, tarkastettavien työmaiden määrän lisääminen ei vaikuta millään tavalla tähän ongelmaan. Virheellisesti arvosteltujen työmaiden osuus säilyy vakiona vaikka kohteiden määrä nostettaisiin moninkertaiseksi.*

Edellä esitetyt ongelmat ovat yleistettävissä kaikille korjuujälkeä kuvaaville tunnuksille ja ne tulevat esiin nimenomaan niissä tilanteissa, joissa tarkastellaan jakaumia. Keskiarvot ovat huomattavasti helpommin hallittavia ja siten suositeltavia tunnuslukuina. Tämä ero korostuu erityisesti silloin, kun vertailtavana on kahden eri organisaation tai otantamenetelmän tuottamat tulokset. Jos korjuujälkeä kuvaavat tunnuksset on määritelty yhtenäisiksi eikä itse mittausmenetelmiin sisälly systemaattisia virhelähteitä, alueelliset keskiarvot ovat usein vertailukelpoisia vaikka näytemäärät vaihtelisivatkin. Sen sijaan jakaumia ei voida yleensä verrata eikä se edellisen esimerkin valossa ole tarpeellistakaan.

4 KÄYNNISSÄ OLEVAN TYÖMAAN MITTAUSRUTIINI

4.1 Lähtökohdat

Jo tämän tutkimuksen alkuvaiheessa otettiin tavoitteeksi se, että uuden mittausrutiinin tulisi soveltua käynnissä olevien työmaiden seurantaan. Sillä nähtiin saavutettavan useita etuja:

- Palaute tavoittaa aina työn suorittajan, myös hyvä palaute.
- Laatupoikkeamien syyt ovat selvitettävissä: Jos osa leimikosta on mitaushetkellä vielä täysin käsittelemättä, laatupoikkeamien syiden arvioinnissa voidaan huomioida myös lähtötilanne (alikasvos, aiemmat ajourapainumat ja ajouraverkosto, lähtöpuuston laatu).
- Ei synny epäselvyyttä siitä, missä vaiheessa ja kenen toimesta mahdolliset korjuuvauriot ovat syntyneet.

Mittausrutiinia kehitettäessä on otettu huomioon mm. seuraavat, käynnissä olevan työmaan mittaukseen liittyvät näkökohdat:

- Lopullista korjuujälkeä ei ole välttämättä vielä edes nähtävissä kun tarkastus tehdään. Mittauksen kohteena saattaa olla työmaa, jossa hakataan ensimmäistä ajouraa eikä lähikuljetusta ole vielä aloitettu.
- Pääosa puustovaurioista syntyy yleensä ajouran läheisyyteen. Puustovaurioiden taso (normaali/poikkeava) havaitaan tehokkaimmin keskittymällä näihin puihin (vrt. kuvaa 3, s. 16).
- Mittausta tehdään myös talvella, jolloin lumi haittaa liikkumista urien välisellä alueella.
- Jotta rutiini voitaisiin toistaa riittävän usein, mittauksista on käytännössä suoriuduttava alle puolessa tunnissa.

Mittausrutiini soveltuu parhaiten korjuutyöstä vastaavan tahon käyttöön. Mittauksessa sovelletaan samoja korjuujäljen tunnusten määritelmiä kuin viranomaistarkastuksissa (mitattava puusto, puustovaurioiden luokittelu, ajoura/hakkuu-ura, urapainumat, uraleveys). Eroa on kuitenkin siinä, kuinka tieto kyseisistä tunnuksista kootaan.

4.2 Yleiskuvaus

Kaikki mittaukset pyritään tekemään ajouralta käsin. Näytteenoton runkona on ajouran suuntaisesti rajattu, 8 metriä leveä kaista. Kaistan keskilinja myötäilee ajouran keskiviivaa ja sen pituus määräytyy jäävän puuston tiheyden mukaan: päätepiste sijaitsee 50:nneen lukupuun kohdalla. Kaistan reunat rajataan 4 metrin vapaa tai muuta mittavälinettä, tulevaisuudessa ehkä laseretäisyysmittaria apuna käyttäen mittaajan kulkiessa ajouran keskellä tai raidetta pitkin. Kaikki puut, jotka sijaitsevat enintään 4 metrin etäisyydellä keskiviivasta, luetaan näytteeseen (ks. periaatepiirrosta sivulla 6).

Normaalisti leimikoille rajataan kaksi tällaista kaistaa, joista ensimmäinen (ns. hakkuukoeala) sijoitetaan leimikon hakattuun osaan ja toinen (ns. kor-

juukoeala) valmiiksi korjattuun osaan. Kaistojen aloituspiste määräytyy seuraavasti:

- Hakkuukoealan aloituspisteen määrää ensisijaisesti hakkuukoneen sijainti mittaushetkellä. Jos hakkuutyö on käynnissä, aloituspiste sijoitetaan ajouralle turvaetäisyyden päähän hakkuukoneesta (= viimeksi hakatusta kohdasta) sen tulosuuntaan. Mikäli hakkuutyö on jo valmis, aloituspisteeksi valitaan väliavarastolta nähden kauimmainen kohta ajouralla, jonka varresta puutavaraa ei ole vielä ajettu pois.
- Korjuukoealan aloituspiste on väliavarastoa lähin kohta ajouralla, jonka varresta puutavara on ajettu ainakin pääosin pois.

Jos käsittely on kaikkialla leimikossa samassa vaiheessa, leimikolle sijoitetaan kaksi koealaa samoin periaattein kuin edellä, mutta tulokset yhdistetään korjuuvaiheen mukaan koskemaan vain joko hakkuukoneen tai koko korjuuketjun tuottamaa korjuujälkeä.

4.3 Mittauksen valmistelu

Mittaukseen varataan seuraavat mittausvälineet:

- 3,99 metrin vapa, jossa merkinnät 2 dm:n välein
- kirjoituslaskin ja maastolomake tai vaihtoehtoisesti maastotallennin (maastolomakemalli liitteessä 2)
- metsurin kappalelaskin, vähintään 3-luokkaa
- relaskooppi, kertoimet 0.5, 1 ja 2
- (lankamittalaite)

Käytettävä relaskooppikerroin riippuu puustosta. Kerroin valitaan leimikko-kohtaisesti niin, että hahlon täyttäviä puita saadaan myös yli kymmenen metrin etäisyydeltä.

Ennalta pyritään varmistamaan, että mitattavaksi valitulla työmaalla on korjuutyö käynnissä. Parhaassa tapauksessa sekä hakkuukone että metsätraktori työskentelevät leimikolla mittausta aloitettaessa. Mittausajankohtaa ei voida kuitenkaan yleensä ajoittaa näin tarkasti, joten mittaushetkellä voi korjuutyön vaihe olla mikä tahansa seuraavista:

- a) Leimikolla on vasta hakkuukone töissä ts. korjuuketjun (hakkuukone + metsätraktori) yhdessä tuottamaa työnjälkeä ei voida vielä havainnoida.
- b) Osa leimikosta on kokonaan korjattu ja osa ainoastaan hakattu tai hakkuuvaiheessa mittausta aloitettaessa (optimitilanne).
- c) Metsäkuljetusvaihe on vielä kesken, mutta kaikkialta leimikosta on jo ajettu puuta pois ts. ”puhdasta” hakkuukoneen korjuujälkeä ei ole enää nähtävissä.
- d) Koko korjuutyö on juuri saatu päätökseen.

4.4 Mittaus

4.4.1 Ajouraväli

Ensimmäiseksi arvioidaan, onko kyseisessä leimikossa mielekäästä määrittää ajouraväliä. Jos jäävän puuston tiheys on yli 600 r/ha ja ajouraverkosto on tehty tai täydennetty meneillään olevassa hakkuussa, ajouraväli mitataan esimerkiksi seuraavasti:

Leimikolta etsitään pääsuunta, jota vasten mahdollisimman kohtisuoraan on avattu pääosa ajourista. Tässä pääsuunnassa mitataan kahden äärimmäisen ajouran keskilinjojen etäisyys toisistaan ja lasketaan väliin jäävien ajourien lukumäärä. Jokainen matkalla ylitetty *ajoura* luetaan mukaan vaikka mittauslinja sattuisi kahden yhdistymässä olevan ajouran läheisyyteen. Mittaus voidaan tehdä kokoojauralta käsinkin, jos sen suunta on sopiva ja ajouraverkosto sekä leimikon muoto ovat riittävän säännöllisiä. Etäisyyden mittauksessa käytetään esimerkiksi lankamittalaitetta tai pitkää metsurimittaa. Myös työmaakarttaa ja käsi-gps-laitetta voidaan hyödyntää tässä työvaiheessa etenkin suurilla työmailla.

Ajouravälin mittaus käy luontevasti hakkuukoneen tai metsätraktorin luoksementäessä. Samalla voidaan informoida ja kuulla kuljettajaa korjuujälkimitaukseen liittyen.

4.4.2 Koealamittaukset

Ajouravälin mittauksen jälkeen on muodostunut käsitys siitä, missä koealakaistojen aloituspisteet (ks. edellistä sivua) sijaitsevat.

Molemmilla koealatyypeillä tehdään pääsääntöisesti samat mittaukset:

- Aloituspisteeseen kiinnitetään lankamittalaitteen lanka ja lähdetään etenemään ajouran suuntaisesti. Luetaan kasvatettavaan jaksoon kuuluvat elävät puut (min. $d_{1,3}$ 7 cm), jotka sijaitsevat enintään 4 metrin etäisyydellä ajouran keskiviivasta.
- Samalla luetaan ja luokitellaan vaurioituneet puut. Vaurioita tarkkaillaan uralta käsin huolellisesti niin, että mahdollisimman suuri osa vaurioituneista puista tulee kirjatuksi.
 - Sekä luku puut että vauriot on syytä kirjata sitä mukaa kun luku etenee joko metsurin kappalelaskimeen, maastotallentimelle tai maastolomakkeella (esim. tukkimiehen kirjanpito). Kappalelaskinta käytettäessä yksi luokka varataan luku puille, toinen luokka juurivauriopuille ja kolmas luokka runkovauriopuille.
- Kun kasassa on 10 luettua puuta, pysähdytään ja mitataan pohjapinta-ala ajouralla seisten. Jos ajouran reunapuuston tiheystietoa aiotaan käyttää hyväksi laadun arvioinnissa (ts. luvut 4.5.3 ja 4.6.3), kymmenennen puun rinnankorkeusläpimitta kirjataan ylös.
- Ennen kuin puiden lukua jatketaan, yksilöidään seuraavalta 10 metrin matkalta silmämääräisesti ne kaksi puuta, jotka ovat lähinnä ajouran keskiviivaa (yksi oikealta, yksi vasemmalta puolelta).

- Jatketaan puiden ja vaurioiden lukua ja kirjataan samalla edellä määritettyjen kahden ajouran reunapuun etäisyys ajouran keskiviivaan.
- Pohjapinta-alan ja ajouraleveyden mittausta (+ tarvittaessa $d_{1,3:n}$ mittaus) toistetaan samanlaisena 25:n ja 40:n lukupuun kohdalla.
- Puiden ja vaurioiden lukua jatketaan vielä kolmannen pysähdysten jälkeen kunnes puita on kertynyt yhteensä 50 kpl. Tässä päätepisteessä kirjataan ylös lankamittalaitteen lukema.
- Seuraavaksi palataan kaistan alkupisteeseen ja mitataan matkalla ajourapainumien kokonaispituus. Samalla voidaan tutkia huolellisemmin juureniskat ja ne puolet rungoista, jotka ensimmäisellä mittauskerralla jäivät vähemmälle huomiolle. Ajouralta ei kuitenkaan poistuta. Uudet vauriohavainnot kirjataan. Samalla voidaan kerätä pois lankamittalaitteen lanka.

Ensimmäisen koealan mittausten valmistuttua siirrytään toisen koealan aloituspisteeseen. Jos ajouraväliä ei mitattu leimikkoon tutustuttaessa, havaintoja siitä tehdään siirtymisen aikana. Toisen koealan mittaus toteutetaan samalla tavalla kuin ensimmäinenkin.

Kun molemmat kaistat on mitattu, koossa on seuraava aineisto (suluissa parametrin kirjainsymbolit, joita käytetään edempänä esitetyissä laskentakavoissa):

- 100 lukupuuta, joista
 - hakkuukoealalta 50 kpl (N_{ph})
 - korjuukoealalta 50 kpl (N_{pk})
- vaurioiden lukumäärät koealoittain juuri- ja runkovaurioihin luokiteltuina:
 - hakkuukoealan runkovauriopuut (R_{vh}), kpl
 - hakkuukoealan juurivauriopuut (J_{vh}), kpl
 - korjuukoealan runkovauriopuut (R_{vk}), kpl
 - korjuukoealan juurivauriopuut (J_{vk}), kpl
- kaistojen pituudet koealoittain:
 - hakkuukoealan pituus (K_{ph}), m
 - korjuukoealan pituus (K_{pk}), m
- kuusi havaintoa pohjapinta-alasta, joista
 - hakkuukoealalta 3 kpl ($P_{pah1} \dots P_{pah3}$), m^2
 - korjuukoealalta 3 kpl ($P_{pak1} \dots P_{pak3}$), m^2
- kaksitoista ajouran reunapuun etäisyshavaintoa, joista
 - hakkuukoealalta (3 vas + 3 oik.=) 6 kpl ($R_{eth1} \dots R_{eth6}$), dm
 - korjuukoealalta (3 vas + 3 oik.=) 6 kpl ($R_{etk1} \dots R_{etk6}$), dm
- kaksi havaintoa valtapituudesta, joista
 - hakkuukoealalta 1 kpl (V_{pith}), m
 - korjuukoealalta 1 kpl (V_{pitk}), m

- painumien pituudet koealoittain:
 - hakkuukoealan painumat (P_{pith}), m
 - korjuukoealan painumat (P_{pit_k}), m
- sekä ajouravälin mittaustulokset:
 - äärimmäisten ajourien keskiviivojen etäisyys (U_{et}), m
 - näiden väliin jäävien ajourien lukumäärä (U_{lkm}), kpl

4.5 Tulosten laskenta

Mittausrutiinin tavoitteena on antaa palautetta sekä metsäkuljetuksen, hakkuun että koko korjuuketjun tuottamasta korjuujäljestä. Aikaisessa (kohta 4.3, vaihtoehto **a** tai myöhäisessä vaiheessa (vaihtoehto **c** tai **d**) toteutetussa mittauksessa tästä tavoitteesta joudutaan tinkimään. Optimivaihtoehdossa **b** palaute voidaan antaa puustovaurioiden ja ajourapainumien osalta yleensä yksilöidysti hakkuulle ja metsäkuljetukselle.

Seuraavassa esitetään yksittäisten korjuujälkitunnusten laskentakaavoja, joita voidaan soveltaa esimerkiksi maastotallentimen ohjelmoinnissa. Kaavoissa on huomioitu se, että koealojen pituutta saatetaan käytännössä joutua syystä tai toisesta rajoittamaan, jolloin lukupuita voi kertyä vähemmän kuin 100 kpl.

Seuraavissa kaavoissa käytetään luvussa 4.4.2 esitettyjen muuttujanimien lisäksi seuraavia symboleja:

- relaskoopikoealojen lukumäärä
 - hakkuukoealalla (N_{ppah}), kpl (yleensä 3)
 - korjuukoealalla (N_{ppa_k}), kpl (yleensä 3)
- ajouran reunapuiden etäisyshavaintojen lukumäärä
 - hakkuukoealalla (N_{reth}), kpl (yleensä 6)
 - hakkuukoealalla (N_{ret_k}), kpl (yleensä 6)
- Tapion harvennussuosituksen mukaisen jäävän puuston pohjapinta-alan
 - yläraja ($P_{paylär}$)
 - alaraja ($P_{pa_{alar}}$)

Selkokiehisen kaavan perässä on täsmällinen kaava, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi maastotallentimen ohjelmoinnissa.

4.5.1 Ajouraväli

Jos ajouravälimittaus tehtiin luvussa 4.41 kuvatulla tavalla, ajouraväli

$$U_v = \frac{\text{Äärimmäisten urien etäisyys (m)}}{\text{Väliin jäävien urien lkm} + 1} = \frac{U_{et}}{(U_{lkm} + 1)}$$

Muussa tapauksessa ajouraväli saadaan yksittäisten ajouravälihavaintojen keskiarvona.

4.5.2 Ajouran leveys

Ajouran leveys saadaan summaamalla kaikki ajouran reunapuiden etäisyys-havainnot, jakamalla summa etäisyyshavaintojen lukumäärällä ja kertomalla tulos kahdella ts.

$$U_L = \frac{\text{etäisyyshavaintojen summa (dm)}}{\text{etäisyyshavaintojen lukumäärä}} \times 2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{Nret_h} Ret_{hi} + \sum_{i=1}^{Nret_k} Ret_{ki}}{Nret_h + Nret_k} \right) \times 2$$

Ajouran leveysmittauksia voidaan täydentää tai ne voidaan jopa korvata ajouran reunapuuston tiheystietoa hyödyntämällä.

4.5.3 Jäävä puusto

Jäävän puuston määrä – samoin kuin kaikki edellisetkin tunnuksot – kuvaa lähes yksinomaan hakkuuvaiheen onnistumista. Jos hakkuukone poistaa myöhemmin metsätraktorin kolhimia puita runsaasti, tästä aiheutuva vajaa-puustoisuus (ja uran leventyminen) kuvaa jo osittain metsäkuljetusvaiheen-kin epäonnistumista. Harvennusvoimakkuutta kuvaava tunnusluku (indeksi) saadaan vertaamalla kaikkien ppa-havaintojen keskiarvoa Tapion harven-nussuosituksen alarajaan:

$$Harv.ind = \frac{Ppa_{alar} (m^2)}{Ppa_{keskiarvo} (m^2)} = Ppa_{alar} \div \left(\frac{\sum_{i=1}^{Nppa_h} Ppa_{hi} + \sum_{i=1}^{Nppa_k} Ppa_{ki}}{Nppa_h + Nppa_k} \right)$$

Kun indeksi saa alle yhden arvoja, on puustoa näytteen mukaan jäänyt vä-hintään suositettu minimimäärä. Indeksien noustessa selvästi yli yhden, puuta on näytteen perusteella poistettu suositusta voimakkaammin. Harvennus-suositukset (sekä yläraja että alaraja) on esitetty funktiomuotoisina liitteessä 3. Niitä hyväksikäyttäen indeksien laskenta on helposti ohjelmoitavissa esi-merkiksi maastotallentimeen.

Jäävän puuston relaskooppimittauksista, kuten ajouran leveysmittauksiakin, voidaan täydentää ajouran reunavyöhykkeen puuston tiheystietoa hyväksi käyttäen. Jos näytekaistoilta on mitattu rinnankorkeusläpimittoja keskiläpi-mitan määrittämistä varten, voidaan taulukkoa 2 (seur. sivulla) käyttäen tarkas-tella, oliko puuta jätetty ajouran läheisyyteen vastaava määrä kuin työmaalle keskimäärin tai toisaalta sitä, onko puuta ajouran läheisyydessä ylipäättään riittävästi harvennussuositukseen nähden. Tämä tarkastelutapa parantaa mahdollisuuksia syy-seuraussuhteiden jäljittämiseen (ylileveä ajoura vai epätasainen harvennusvoimakkuus). Tämä lähestymistapa voisi tarjota sen-kin mahdollisuuden, että perinteisestä ajouran leveysmittauksesta voitaisiin luopua.

TAULUKKO 2 Metsäntutkimuslaitoksen laatima taulukko, jonka avulla leimikkokohtainen runkolukuohje voidaan muuntaa reunavyöhykkeen ohjeitehdeksi.

Runkolukuohje (r/ha)	Vyöhykkeen runkoluku (r/ha)	
	ajouraväli 20 m	ajouraväli 30 m
500	483	480
550	523	518
600	563	557
650	602	594
700	641	631
750	680	668
800	718	705
850	756	741
900	794	777
950	831	812
1000	868	847
1050	905	882
1100	942	917
1150	978	951
1200	1014	986

Leimikon harvennusohje perustuu yleensä pohjapinta-alaan ja valtapituu-
teen. Tällöin taulukon käyttö edellyttää, että ppa-vaatimus muunnetaan en-
sin runkolukuohjeeksi. Tätä tarkoitusta varten on olemassa valmiit taulukot
(esim. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432, Pentti Niemistö). Kaikki
edellä esitetyt ja mainitut taulukot voidaan tarvittaessa toteuttaa ohjelmalli-
sesti niin, että näytekaistan runkolukuvaatimus saadaan helposti tuotettua
esimerkiksi maastotallentimella.

4.5.4 Puustovauriot

Puustovauriota syntyy sekä hakkuu- että metsäkuljetusvaiheessa, joten tämä
korjuujäljen osatekijä analysoidaan konekohtaisesti yksilöiden. Hakkuu- että
korjuukoelalle lasketaan ensin puustovaurioiden määrää kuvaavat indeksit,
joiden erotuksena saadaan metsäkuljetuksen vastaava indeksi:

$$\text{Hakkuun puustovaurioindeksi}(Pvi_h) = \frac{\text{Vauriopuita kaistalla}}{\text{Lukupuita kaistalla}} * 10 = \frac{Rv_h + Jv_h}{Np_h} * 10$$

$$\text{Korjuun puustovaurioindeksi}(Pvi_k) = \frac{\text{Vauriopuita kaistalla}}{\text{Lukupuita kaistalla}} * 10 = \frac{Rv_k + Jv_k}{Np_k} * 10$$

$$\text{Metsäkulj. puustovaurioindeksi}(Pvi_m) = Pvi_k - Pvi_h$$

Koska tässä esitettyä rutiinia ei ole vielä laajemmin käytetty, indeksin normaalitasosta ei ole tarkkaa käsitystä. Korjuun indeksitaso asettunee normaalisti alle 1:n tasolle, ja tätä selvästi korkeammat tulokset ovat merkki poikkeuksellisen suurista vauriomääristä.

Vaurioindeksit on tarkoitettu ensisijaisesti kuvaamaan työmaiden välillä tapahtuvia muutoksia ja 'hälyttämään' tarvittaessa. Vaurioiden absoluuttisesta tasosta (vaurioprosentista) ei tällä menetelmällä saada edes suuremmassa leimikkojoukossa täyttä varmuutta. Jos oletetaan, että 70 % vaurioista sijaitsee aina näytekaistalla, indeksi tai reunavyöhykkeen vaurioprosentti on muunnettavissa kertoimella koko leimikkoa koskevaksi vaurioprosentiksi. Runkovaurioiden sijainti ajouraan nähden voi kuitenkin vaihdella kuljettajittain ja leimikoittain. Myös juurivaurioiden osuus kaikista puustovaurioista vaikuttaa tulokseen. Jos korjuuketju onnistuu välttämään runkovauriot lähes kokonaan ja aiheuttaa vain juurivaurioita, kaistan sisään jää käytännössä kaikki vauriopuut, jolloin 70 %:n oletuksesta johdettu vakiokerroin johtaa vaurioprosentin yliarvioon. Tätä ongelmaa voidaan pienentää pitämällä juurivauriot ja runkovauriot laskennassa erillään ja soveltamalla näille kahdelle vauriotyypille omaa kerrointa.

4.5.5 Ajourapainumat

Myös ajourapainumia voi syntyä sekä hakkuu että metsäkuljetusvaiheessa vaikka ne pääsääntöisesti ovatkin metsätraktorin aiheuttamia. Niinpä myös painumamittaustulokset lasketaan erikseen hakkuu- ja korjuukoealalle.

$$\text{Hakkuukoealan urapainumasuhde } (Ups_h) = \frac{\text{Hakkuukoealan painumat (m)}}{\text{Hakkuukoealan pituus (m)}} = \frac{Up_h}{Kp_h}$$

$$\text{Korjuukoealan urapainumasuhde } (Ups_k) = \frac{\text{Hakkuukoealan painumat (m)}}{\text{Hakkuukoealan pituus (m)}} = \frac{Up_h}{Kp_h}$$

4.6 Tulosten tulkinta

4.6.1 Ajouraväli

Ajouravälin tulisi olla vähintään 20 m. Jos tulos jää tämän alle, arvioidaan, onko siihen vaikuttanut leimikon rakenne tai muu tekijä.

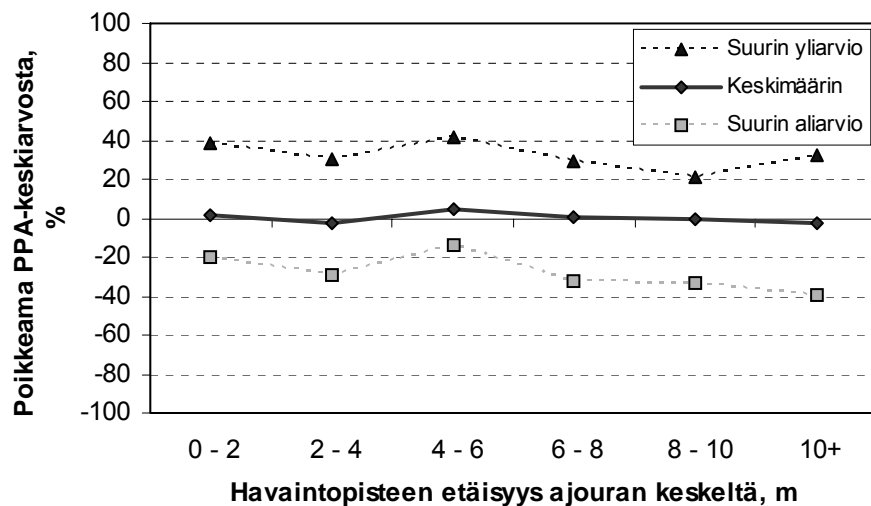
4.6.2 Ajouran leveys

Ajouran tavoiteleveys on 4 m. Selvästi kapeampi ura johtaa viimeistään metsäkuljetusvaiheessa korkeisiin juurivaurioihin ja yli 4,5 metriä leveä kasvutappioihin. Jos ajouran leveys todetaan selvästi yli 4 metriksi ja kyseessä on myöhempi harvennus, on syytä varmistaa, että jäävän puuston tiheys on yli 600 r/ha. Jos puusto on tätä harvempi, leveysmittaus jätetään huomiotta. Muussa tapauksessa tarkistetaan työohjeita kapeamman ajouran aikaansaamiseksi.

4.6.3 Jäävä puusto ja harvennusvoimakkuus

Koska ppa-näytteet kootaan ajouralta käsin, jäävän puuston määrä saattaa tulla tällä menetelmällä hieman aliarvioiduksi. Jos hakkuu on painottunut ajouran läheisyyteen ja samalla palstan keskiosa on jäänyt ylitiheäksi tai jopa käsittelemättä, pohjapinta-ala tulee selvemmin aliarvioiduksi. Tämä mittaustapa ei siis 'palkitse' epätasaisesta harvennusvoimakkuudesta vaan ohjaa käytäntöä oikeaan suuntaan ts. tasaiseen harvennusvoimakkuuteen antamalla tällaisessa tilanteessa hälytyksen alitiheydestä.

Kuvassa 8 on esitetty laajaan leimikkoaineistoon (46 kpl) perustuva tarkastelu siitä, kuinka relaskooppikoealan sijainti vaikuttaa ppa-tulokseen. Aineisto perustuu systemaattisella koealaverkostolla koottuihin näytteisiin. Aineisto painottuu järeisiin harvennuksiin ja kaikki mittaukset on tehty relaskooppikerrointa 1 käyttäen. Tässä aineistossa ajourilta mitaten on päästy keskimäärin melko tarkkoihin arvoihin, jopa tarkempiin kuin esimerkiksi 4 - 6 metrin etäisyydellä ajourasta. Suuria yli- ja aliarvioita on syntynyt lähinnä silloin, kun ajouralle on sattunut vain yksi relaskooppikoeala.



Kuva 8. Relaskooppikoealan sijainnin vaikutus ppa:n mittaus-tulokseen. Leimikkokohtaiset suurimmat yli- ja aliarviot sekä koko leimikkojoukon keskimääräinen poikkeama mittauskohdittain.

Palaute harvennusvoimakkuudesta voidaan antaa harvennusindeksin lukuarvon pohjalta seuraavasti:

- Indeksi < 1: *harvennusvoimakkuus on ohjeen mukainen* ts. vähintään harvennusohjeen alarajan mukainen.
- Indeksi > 1: puustoa on poistettu näytteen mukaan harvennusohjetta runsaammin. Tuloksen varmistamiseksi ota **lisää ppa-näytteitä** palstan keskivaiheilta ts. mahdollisimman kaukaa ajourista ja vertaa tuloksia uralta mitattuihin pohjapinta-aloihin.

- Sama tulos: *harvennusvoimakkuus on ohjetta korkeampi*, joten työohjetta on tältä osin tarkistettava
- Selvä ero: yhdistä kaikki ppa-näytteet ja laske indeksi uudelleen:
 - Indeksi on edelleen > 1 : *harvennusvoimakkuus on ohjetta korkeampi*
 - Indeksi on nyt < 1 : *harvennusvoimakkuus on ohjeen mukainen*. Arvioi, johtuiko mittauskohtien (ajoura, palsta) välinen ero
 - liian suuresta relaskooppikertoimesta ts. lukupuita ei tullut yli 10 metrin etäisyydeltä. Pyri jatkossa käyttämään kertoimeltaan pienempää relaskooppia tällaisessa puustossa
 - vai epätasaisesta harvennusvoimakkuudesta ts. palstan keskivaiheilla on selvästi harventamattomia kohtia ja/tai ajouran varressa silmämääräisesti alitiheyttä. *Harvennusohjetta on syytä tarkistaa tasaisuuden osalta vaikka voimakkuus onkin keskimäärin oikea.*

4.6.4 Puustovauriot

Kun puustovauriot havainnoidaan ajouralta käsin ja suhteutetaan ajouran läheisyydessä olevaan puustoon, vaurioituneiden puiden osuus helposti yliarvioidaan. Niinpä tätä tulosta ei esitetä suoraan vaurioprosenttina vaan indeksinä, jonka lukuarvolla ei ole suoraa kytkentää työmaan keskimääräiseen puustovaurioprosenttiin. Se, mikä indeksitaso on kriittinen (= ”hälytysraja”), riippuu mm. seuraavista tekijöistä:

- Mittaajasta
 - jos vaurioita jää usein huomaamatta => matalampikin raja-arvo voi olla hälyttävä ts. hälytysraja laskee.
- Vaurioituneiden puiden sijainnista ajouraan nähden
 - jos pääosa vaurioista juurivaurioita tai kosketusvaurioita => hälytysraja laskee
 - jos pääosa vaurioista kaadetun puun aiheuttamia => hälytysraja nousee.
- Runkovaurioiden sijainnista rungossa
 - jos merkittävä osa vaurioista syntyy sille puolelle runkoa, jota ei uralta käsin näy => hälytysraja laskee.
- Harvennusvoimakkuuden tasaisuudesta
 - jos palstan keskellä ylitheyttä => hälytysraja nousee.
- Ajouravälistä
 - jos ajouraväli normaalia suurempi => hälytysraja nousee.

Näillä virhelähteillä ei ole merkitystä silloin, jos mittauksessa on kysymys omavalvonnasta tai työnjohtajan suorittamasta valvonnasta, jossa mittaaja ja mittauksen kohde (korjuuketju/kuljettaja) pysyy mittauskerrasta toiseen samana. Tällöin voidaan olettaa, että edellä mainitut tekijät pysyvät suhteellisen vakioina ja menetelmä havaitsee tehokkaasti vauriotasossa tapahtuvat muutokset. Työmaiden välisiä indeksivaihteluita seuraamalla löytyy se in-

deksitaso, jota korkeampia arvoja voidaan kyseisen korjuuketjun kohdalla pitää hälyttävinä. Jos ajouran varren puustossa vaurioindeksitaso laskee, on se selvä ja melko varma merkki keskimääräisen vaurioprocentin positiivisesta kehitymisestä.

4.6.5 Ajourapainumat

Jos painumia ylipäätään esiintyy, ne ovat yleensä syntyneet metsäkuljetusvaiheessa. Korjuukoealan urapainumasuhde (Ups_k) on aina selvästi korkeampi kuin hakkuukoealalla (Ups_h). Palaute annetaan ensisijaisesti korjuukoealan urapainumasuhteen perusteella. Hälytysrajana on pidetty yleensä 0,05:ttä ts. viittä prosenttia. Tätä suurempien urapainumasuhteiden syyt arvioidaan heti paikanpäällä. Vasta tässä arviointivaiheessa hyödynnetään hakkuukoealan mittaustulosta. Jos urapainumia on esiintynyt runsaasti jo hakkuuvaiheessa ($Ups_h > 0,05$), on syytä varmistaa käsittelemätöntä leimikon osaa arvioimalla ja/tai kuljettajaa kuulemalla, ettei painumien syynä ole edellisellä käsittelykerralla tapahtunut maanpinnan rikkoutuminen. Jos painumat ovat syntyneet meneillään olevassa hakkuussa, syyksi voidaan yksiselitteisesti kirjata korjuuajankohdan väärä ajoitus. Jos vauriot ovat syntyneet yksinomaan metsäkuljetusvaiheessa, ts. hakkuukoealan urapainumasuhde on 0, on syytä arvioida myös heikon havituksen ja mahdollisten ylikuormien osuus painumien syntyyn.

5 KOKEMUKSIA KENTTÄTESTEISTÄ

Näytekaistoihin perustuvaa seurantamenetelmää on kokeiltu muutamilla harvennustyömailla. Kokemusta on hankittu lähinnä rutiinin ajanmenekistä ja toimivuudesta käytännön olosuhteissa.

Rutiinin ajanmenekki on yleensä selvästi alle 15 minuuttia/näytekaista. Kun kaistoja on mitattavana yleensä 2 kpl ja ajouravälin mittaus suoritetaan tarvittaessa erillisenä työvaiheena, varsinaisiin mittauksiin kuluva aika nousee yli puoleen tuntiin.

Kahdella kohteella on ollut käytettävissä referenssitietona totaalimittaustieto ja Tapion uusitulla, koealalinjaan perustuvalla menetelmällä saatu inventointitulos. Pohjapinta-alan mittaus osoittautui yllättäen epätarkaksi etenkin Suokannan kohteella. Molemmilla vertailumenetelmillä päädyttiin selvään aliarvioon totaalimittaukseen nähden. Kohteen järeä puusto painottui melko pienelle alueelle, joka ei sattunut kummankaan menetelmän näytteeseen. Orimattilan kohteella ajourilta käsin suoritettu ppa-mittaus tuotti koealalinjaa tarkemman tuloksen. Ajouravälin määrittäminen onnistui puolestaan parhaiten koealalinjaan perustuvalla menetelmällä. Puustovaurioiden määrästä saatiin näytekaistaan perustuvalla menetelmällä odotetusti 1,4 - 2 -kertainen yliarvio. Koealalinjaan perustuvalla menetelmällä yliarvio oli 1,1 - 2 -kertainen.

TAULUKKO 3 Totaalimitattu ja kahdella eri otantamenetelmällä mitattu korjuujälki kahdella tutkimustyömaalla. (Uraleveyden vertailuluku määritetty yhdistämällä kaikki, erilaisilla otantamenetelmillä kootut uraleveyshavainnot.)

Kohde	Tunnus	Mittausmenetelmä		
		Totaalimittaus	Koealalinja (Tapio)	Näytekaista (Metsäteho)
Orimattila	PPA (m ²)	17	21	17
	Uraleveys, dm	(4,6)	4,4	4,5
	Vaurio-%	11	21	15
Suokanta	PPA (m ²)	22	16,5	16
	Uraleveys, dm	(3,9)	4,0	4,3
	Vaurio-%	7	8	14

Orimattilan leimikossa toteutettiin myös kokeilu, jossa mittaja kulki koko ajouraston läpi ja kirjasi kaikki ajouralta käsin havaitsemansa runkovauriot, jotka sijaitsivat korkeintaan 4 metrin etäisyydellä ajouran keskilinjasta. Kun tätä tulosta verrattiin vastaavaan totaalimittaukseen, todettiin mittajan löytäneen 70 % kaikista näytekaistalla sijainneista vaurioista. Lievästi vaurioituneista puista havaittiin vain joka kuudes. Jos lievät vauriot jätetään huomiotta, mittaja onnistui Orimattilan kohteella havaitsemaan 86 prosenttia näytekaistan vaurioista. Tämä havainto vahvistaa sitä käsitystä, että lievät (< 12 cm²:n) vauriot on syytä jättää huomiotta korjuujälkeä inventoitaessa. Niitä ei kuitenkaan havaita riittävän hyvin ja mittajien väliset erot tuloksissa voivat kasvaa suuriksi. Tämä johtopäätös koskee kaikkia mittausmenetelmiä.

TAULUKKO 4 Puustovaurioiden tyyppijakauma ja runkovaurioiden sijainti näytekaistaan nähden Orimattilan harvennuskohteella. Oikealla ajouralta käsin toteutetun vaurioinventoinnin tulokset.

ORIMATTILA	Leimikolla yhteensä		Totaalimittaus				< 4 m:n etäisyydellä ajourasta sijainneista runkovaurioista havaittiin ajouralta käsin	
			Runkovauriopuun etäisyys ajouralle					
	kpl	%	> 4 metriä		< 4 metriä		kpl	%
Vauriottomia runkoja	611	88,2						
Lievä runkovaurio (< 12 cm ²)	15	2,2	9	29,0	6	22,2	1	16,7
Runkovaurio (12 - 100 cm ²)	29	4,2	17	54,8	12	44,4	10	83,3
Vakava runkovaurio (> 100 cm ²)	14	2,0	5	16,1	9	33,3	8	88,9
Lievä juurivaurio	2	0,3						
Juurivaurio	5	0,7						
Vakava juurivaurio	17	2,5						
Yhteensä	693	100,0	31	100,0	27	100,0	19	70,4

6 MENETELMÄN KÄYTTÖNOTTO

Mittausmenetelmää on kehitetty yleiskäyttöisyyttä silmällä pitäen:

- ajanmenekki ja välineistö on minimoitu
- mittaustavat helppo omaksua
- riittävän joustava koealojen sijoittelutapa, joka samalla mahdollistaa objektiivisen tuloksen sekä käynnissä olevalla että valmiilla työmaalla.

Eri toimijoilla on kuitenkin yksilöllisiä tarpeita korjuujälkiseurannan käytännön toteutuksessa. Siihen halutaan kenties liittää muita laadunvarmistukseen (luontolaatu, raaka-aineen laatu) liittyviä mittauksia tai kuviotietojen päivitystä. Niinpä seurannan toteutustapaa ei ole tarkoituksenmukaista määrittellä tässä kovin tarkasti. Seuraavat seikat on kuitenkin syytä huomioida menetelmän käyttöönottoa ja toteutustapaa mietittäessä:

- Välittömän palautteen antava menetelmä on tarkoitettu ensisijaisesti puunhankintaorganisaation sisäisen laadunvarmistuksen välineeksi. Kun mittauksen suorittaa työnjohto ja mittausajankohtaa ei etukäteen ilmoiteta, edellytykset objektiivisen tuloksen saantiin ovat hyvät.
- Yrittäjän omatoiminen korjuujälkiseuranta (omavalvonta) on hyvä keino lisätä seurannan taajuutta ja ohjaavaa vaikutusta silloin kun taustalla on aito pyrkimys korjuujäljen laadun varmistamiseen. Omavalvonnan tuottamaa tietoa ei ole välttämätöntä koota urakanantajalle. Työmaakartan kopio, josta ilmenee kaistojen sijoittelu, on riittävä dokumentti. Lisäksi voidaan sopia, että omavalvonnassa huomatuista selvistä laatupoikkeamista raportoidaan urakanantajalle.
- Jos näytekaistojen alkupisteet merkitään maastoon, näytteenotto on jopa toistettavissa ja seurannan onnistumista voidaan tarkkailla.
- Laaturapalkkion liittäminen korjuujälkiseurannan tuloksiin ei ole välttämättä eduksi. Lähes kaikki korjuujäljen osatekijät ovat riippuvaisia muidenkin kuin yrittäjän/koneenkuljettajan työpanoksesta ja onnistumisesta:
 - korjuun ajoitus
 - alikasvoksen raivaus/raivaamattomuus
 - lähtöpuuston määrä ja tilajärjestys
 - vanhat ajourat
 - jne.
- Myös mittausten objektiivisuus saattaa vaarantua - mittaajatahosta riippumatta - kytkettäessä tulos palkkioon.
- Viranomaistaho seuraa pistokokein kantokäsittelyn onnistumista lumetomana aikana. Mittaukset tehdään satunnaisotannalla käynnissä olevilla työmailla. Tähän seurantaan voitaisiin kytkeä myös korjuujälkimittaus.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää korjuujäljen mittausta sekä tutkia tilastollisen laadunvalvonnan soveltamismahdollisuuksia. Korjuuympäristö osoittautui kuitenkin haastavaksi sovellusympäristöksi tilastollisille menetelmille. Korjuujälkitunnusten vaihtelu on sekä leimikoiden sisällä että niiden välillä niin suurta, että edellytykset ainakin tavanomaisten SPC-metodien käytölle ovat heikot. Mittaus- ja otantamenetelmiä on ensin kyettävä kehittämään niin, että niiden suorituskyky ja nopeus vastaa SPC-menetelmien vaatimuksia.

Tämän hankkeen tuloksena syntyi esitys käynnissä olevan työmaan mittausrutiinista, joka esimerkiksi nopeutensa puolesta voisi täyttää tilastollisen laadunvalvonnan tarpeet. Rutiini on tarkoitettu ensisijaisesti urakanantajan itsenäisen laadunvarmistuksen apuvälineeksi. Viranomaismittauksen tarpeisiin se ei sellaisenaan sovi.

Viranomaismittauksen kehitystyötä edistettiin osallistumalla asiantuntijatyöpanoksella Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion hankkeeseen. Korjuujälkimittauksen yhtenäistämistavoitetta palveli kyseisen hankkeen puitteissa tehty korjuujälkitunnusten määrittelytyö. Hankkeessa oli edustettuna keskeiset puunhankinnan toimijat mikä varmistanee sen, että jatkossa korjuujäljen mittaustyö on ainakin määrittelytasolla aiempaa yhtenäisempi. Esimerkiksi ajoura ja hakkuu-ura erotellaan vastaisuudessa samoin periaattein, myös jäävän puuston ja vaurioituneen puun tunnusmerkistö harmonisoituu.

Eri osapuolten suorittamia mittausrutiineja ei onnistuttu kuitenkaan yhtenäistämään. Tutkimuksen edetessä kävi selväksi, että kaikki korjuujäljen mittaukselle asetetut tavoitteet voi olla vaikea sovittaa yhteen rutiiniin. Korjuutyön suorittajan ja suorituttajan aktiivisessa laatutyössä korostuu tarve nopeaan ja osuvaan työmaakohtaiseen palautteeseen. Viranomaistahojen seurannassa olisi puolestaan tärkeää kyetä osoittamaan korjuujäljen kehitys-suunta harhattomasti suuremmassa leimikkojoukossa.

Jos nämä kaksi ”linjaa” on yhdistettävä, harkittavaksi jää, tingitäänkö mieluummin aktiivisen laadunohjauksen vai viranomaistyyllisen jälkiinventoinnin vaatimuksista ja tavoitteista. Koska kaiken valvontatyön perimmäisenä tavoitteena on varmistaa laadukas lopputulos, viisainta lienee suosia aktiivista laadunohjausta palvelevia piirteitä mittausrutiineissa.

Tämän hankkeen ja sen puitteissa toteutetun hankeyhteistyön tuloksia hyödynnettiin kevään 2003 aikana laaditussa korjuujälkioppaassa. Siihen koottiin puunhankintaorganisaatioiden ja viranomaistahon yhteiset näkemykset hyvästä korjuujäljestä ja sitä tukevista toimenpiteistä.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion KELK-projektissa testattiin kesällä 2003 mm. tässä raportissa esitelty menetelmä. Tulokset julkaistaan kyseisen projektin loppuraportissa, joka ilmestyy tammikuussa 2004.

SAMI HELLE
 Tampereen yliopisto
 Matematiikan, tilastotieteen ja filosofian laitos
 PL 607
 33101 TAMPERE

1. Vaurioiden prosenttisuuden estimaattorin luottamusväli yhdelle työmaalle

Vaurioiden prosenttisuuksien estimaattorin varianssi voidaan laskea kaavalla

$$\text{Var}(\hat{p}) = (1 - f) \frac{1}{M(M-1)} \sum_{i=1}^k n_i (p_i - \hat{p})^2,$$

missä n_i on puiden lukumäärä i :nnessä koealassa, $M = \sum_{i=1}^k n_i$ koealojen puiden kokonaislukumäärä $f = \frac{A_i}{k} \times 0,01$ on koealojen pinta-alojen summan suhde työmaan pinta-alaan, p_i on i :n koealan vaurioiden suhteellinen osuus, \hat{p} on koealojen vaurioiden yhteislukumäärä jaettuna puiden yhteislukumäärällä koealoissa.

Suhteellisen osuuden estimaattorin 95 % luottamusväli on

$$\hat{p} \pm t_{0,025;M-1} \sqrt{\text{Var}(\hat{p})},$$

missä $t_{0,025;M-1}$ on t -jakauman arvo vapausasteilla $M-1$. Kuitenkin luottamusvälin alarajan tulee olla suurempi kuin koealojen vaurioiden yhteislukumäärä jaettuna estimoidulla puiden lukumäärällä työmaalla.

2. Vauriopuiden prosenttiosuuden estimaattorin luottamusväli usealle työmaalle

Vauriopuiden prosenttiosuuksien estimaattorin varianssi voidaan laskea kaavalla

$$\text{Var}(\bar{p}) = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{1}{n(M_T - 1)} \sum_{j=1}^n M_j (\hat{p}_j - \bar{p})^2 + \frac{1}{n(M_T - 1)} \sum_{j=1}^n (M_j - 1) \text{Var}(\hat{p}_j),$$

missä N on työmaiden kokonaislukumäärä, n on työmaiden lukumäärä otoksessa, \hat{p}_j on j :nnen työmaan vauriopuiden suhteellinen osuus, \bar{p} on työmaiden vauriopuiden suhteellinen osuus, $\text{Var}(\hat{p}_j)$ on j :nnen työmaan vauriopuiden suhteellisen osuuden estimaattorin varianssi, M_T on työmaiden jäävän puuston runkolukumäärä ja M_j on j :nnen työmaan jäävän puuston runkolukumäärä.

Suhteellisen osuuden estimaattorin 95 % luottamusväli on

$$\hat{p} \pm t_{0,025;M_T-1} \sqrt{\text{Var}(\bar{p})},$$

missä $t_{0,025;M_T-1}$ on t -jakauman arvo vapausasteilla $M_T - 1$. Kuitenkin luottamusvälin alarajan tulee olla suurempi kuin työmaiden vauriopuiden yhteislukumäärä jaettuna estimoidulla puiden lukumäärä työmailla.

3. Runkoluvun (r/ha) estimaattorin luottamusväli yhdelle työmaalle

Runkoluvun estimaattorin $rl = 100\bar{y} = 100\frac{1}{m}\sum_{i=1}^m y_i$ varianssi voidaan laskea

$$Var(rl) = 100^2(1-f)\frac{1}{m(m-1)}\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2,$$

missä f on koealojen pinta-alojen summan suhde työmaan pinta-alaan, y_i on i :nnen koealan jäljellejääneiden puiden lukumäärä, \bar{y} on koealojen jäljellejääneiden puiden keskiarvo ja m on koealojen lukumäärä.

Jäljellejääneiden puiden lukumäärän hehtaarilla estimaattorin 95 % luottamusväli on

$$rl \pm t_{0,025;m-1}\sqrt{Var(rl)},$$

missä $t_{0,025;m-1}$ on t -jakauman arvo vapausasteilla $m-1$.

4. Runkoluvun (r/ha) estimaattorin luottamusväli usealle työmaalle

Runkoluvun estimaattorin $rl = 100\frac{1}{m}\sum_{i=1}^m y_i$ varianssi voidaan laskea kaavalla

$$Var(rl) = \left(1 - \frac{n}{N}\right)\frac{1}{n(n-1)}\sum_{j=1}^n (rl_j - rl)^2 + \frac{1}{n}\sum_{j=1}^n Var(rl_j),$$

missä N on työmaiden kokonaislukumäärä, n on työmaiden lukumäärä otoksessa, rl_j on j :nnen työmaan runkoluku, rl on työmaiden runkoluvun keskiarvo ja $Var(rl_j)$ on j :nnen työmaan runkoluvun estimaattorin varianssi.

Runkoluvun estimaattorin 95 % luottamusväli on

$$rl \pm t_{0,025;mn-1}\sqrt{Var(rl)},$$

missä $t_{0,025;mn-1}$ on t -jakauman arvo vapausasteilla $mn-1$.

KÄYNNISSÄ OLEVAN TYÖMAAN KORJUJÄLJEN TARKASTUS

Organisaatio:

Hankinta-alue:

Piiri/tiimi:

Hakkuukoealan mittaus:

Aloituspiste turvaetäisyyden päässä motosta tai leimikon kauimmainen nurkka

(Mitataan leimikon *hakattua* osaa)

10. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
25. puu	Valtapit. _____ m
d _{1,3} = _____ cm	PPA _____ m ²
	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
40. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm

Tm. kirjanpito

Runkovaur: kpl

Juurivaur.: kpl

Kaistan pituus _____ m

Ajouravälimittaus:

Äärimmäisten ajourien
välinen etäisyys: _____ m

Ajourien lukumäärä
(pl. aloituskohdan ura) _____ kpl

Mittaaja:

Mittauspvm:

Työmaatunniste:

Korjuukoealan mittaus:

Aloituspiste mahdollisimman läheltä välivarastoa

(Mitataan *valmiiksi korjattua* leimikon osaa)

10. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
25. puu	Valtapit. _____ m
d _{1,3} = _____ cm	PPA _____ m ²
	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
40. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm

Tm. kirjanpito

Runkovaur: kpl

Juurivaur.: kpl

Kaistan pituus _____ m

HUOMIOITAVAA:

.....

KÄYNNISSÄ OLEVAN TYÖMAAN KORJUJÄLJEN TARKASTUS

Organisaatio:

Hankinta-alue:

Piiri/tiimi:

Hakkuukoealan mittaus:

Aloituspiste turvaetäisyyden päässä motosta tai leimikon kauimmainen nurkka

(Mitataan leimikon *hakattua* osaa)

10. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
25. puu	Valtapit. _____ m
d _{1,3} = _____ cm	PPA _____ m ²
	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
40. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm

Tm. kirjanpito

Runkovaur: kpl

Juurivaur.: kpl

Kaistan pituus _____ m

Ajouravälimittaus:

Äärimmäisten ajourien
välinen etäisyys: _____ m

Ajourien lukumäärä
(pl. aloituskohdan ura) _____ kpl

Mittaaja:

Mittauspvm:

Työmaatunniste:

Korjuukoealan mittaus:

Aloituspiste mahdollisimman läheltä välivarastoa

(Mitataan *valmiiksi korjattua* leimikon osaa)

10. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
25. puu	Valtapit. _____ m
d _{1,3} = _____ cm	PPA _____ m ²
	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm
40. puu	PPA _____ m ²
d _{1,3} = _____ cm	Lähin vas. _____ dm
	Lähin oik. _____ dm

Tm. kirjanpito

Runkovaur: kpl

Juurivaur.: kpl

Kaistan pituus _____ m

HUOMIOITAVAA:

.....

y = pohjapinta-alasuositus, m²/ha

x = valtapituus, m

y = ax³ + bx² + cx + d

TAPION HARVENNUSMALLIT

METSÄTYYPPI	PUULAJI		SUOSITUKSEN YLÄRAJA (kertoimet)			
			a	b	c	d
Lehtomaisen kankaan (OMT)	kuusikko	Etelä-Suomi	-0,002885	0,0851	0,990	-3,82
Tuoreen kankaan (MT)	kuusikko	Etelä-Suomi	-0,000764	-0,0039	1,712	-4,21
Lehtomaisen ja tuoreen kankaan	kuusikko	Pohjois-Suomi	0,000764	-0,0786	2,743	-8,22
Tuoreen kankaan (MT)	männikkö	Etelä-Suomi	-0,000139	-0,0479	2,509	-5,74
Kuivahkon kankaan (VT)	männikkö	Etelä-Suomi	0,000382	-0,0799	2,948	-8,15
Kuivan kankaan (CT)	männikkö	Etelä-Suomi	-0,002396	0,0485	1,066	-3,32
Tuoreen kankaan	männikkö	Pohjois-Suomi	0,001528	-0,1277	3,655	-12,64
Kuivahkon kankaan	männikkö	Pohjois-Suomi	0,000972	-0,1017	3,314	-12,82
Kuivan kankaan	männikkö	Pohjois-Suomi	-0,001250	-0,0036	1,735	-5,84
Lehtomaisen ja tuoreen kankaan (OMT ja MT)	rauduskoivikko	Etelä-Suomi	0,000379	-0,0616	2,647	-15,27
Viljavan turvemaan	hieskoivikko	Pohjois-Suomi	-0,002801	0,0858	-0,008	4,19

SOVELTAMISVÄLI, m (valtapituus)			SUOSITUS ANNETTU	SUOSITUKSEN ALARAJA (kertoimet)			
				a	b	c	d
10	-	24	18.4.1994	-0,002339	0,0686	0,826	-3,20
10	-	22	24.11.1993	-0,000625	-0,0032	1,401	-3,44
10	-	22	1989	0,000625	-0,0643	2,244	-6,73
10	-	24	24.11.1993	-0,000114	-0,0392	2,053	-4,69
10	-	22	25.3.1994	0,000313	-0,0654	2,412	-6,67
10	-	18	24.11.1993	-0,001771	0,0319	0,976	-3,16
10	-	22	1989	0,001250	-0,1045	2,991	-10,35
10	-	22	1989	0,000764	-0,0817	2,688	-10,38
10	-	18	1989	-0,000833	-0,0107	1,523	-5,23
10	-	24	1989	0,000600	-0,0641	2,370	-13,48
10	-	20	24.11.1993	-0,002292	0,0702	-0,007	3,43

Huom! Funktio voi käyttäytyä epäloogisesti soveltamisvälin ulkopuolella