

ACTA FORESTALIA FENNICA

Vol. 100, 1969

Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa
The Amount of Injuries Caused by Timber
Transportation in the Summer

Matti Kärkkäinen



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittää yhden tutkimuksen.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä kirjoitelmia ja lyhyehköjä tutkimuksia. Ilmestyy neljästi vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran kirjastolle, Unioninkatu 40 B, Helsinki 17.

Publications of the Society Forestry in Finland

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contains scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, contain one treatise each.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the Library: Unioninkatu 40 B, Helsinki 17, Finland.

METSÄN VAURIOITUMINEN KESÄAIKAISESSA PUUNKORJUUSSA

*THE AMOUNT OF INJURIES CAUSED
BY TIMBER TRANSPORTATION
IN THE SUMMER*

MATTI KÄRKKÄINEN

*Tutkimus kuuluu osana Harvennuspuun korjuun
koneellistamistoimikunnan selvityksiin*

HELSINKI 1969

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on syntynyt Helsingin yliopiston metsäteknologian laitoksella ensimmäisenä osana Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunnan vaurioitumisselvityksistä. Työtä on valvonut prof. KALLE PUTKISTO, joka on myös tutustunut käsikirjoitukseen ja antanut runsaasti varteenotettuja neuvoja. Myös professorit VELJO HEISKANEN ja AARNE NYSSÖNEN, vt.apul.prof. PEKKA KILKKI sekä MMK RIHKO HAARLAA ovat kritisoineet lukemansa käsikirjoituksen perusteella.

Useat metsäteollisuusyhtiöt ja metsähallinto ovat osoittaneet suurta myötämielisyyttä tutkimusta kohtaan aineiston keruuvaiheessa. Ilman heidän apuaan tutkimuksen tekeminen ei olisi ollut mahdollista.

Aineiston keräämisen alkuvaihetta on valvonut apul.prof. BROR-ANTON GRANVIK. Varsinaisen kenttätöön ovat suorittaneet MH ROGER TURKU sekä silloiset metsäylioppilaat SIMO HANNELIUS ja MARTIN LILLANDT.

MH HEIKKI JUSLININ keskusteluvalmius on ollut hedelmällinen tuki laadittaessa käsikirjoitusta. Sen on kirjoittanut puhtaaksi metsäteknologian laitoksen toimistohenkilökunta. Kuvat on piirtänyt metsät.yo TEEMU RUOSTE.

Suomen Metsätieteellinen Seura on ottanut tutkimuksen julkaisusarjaansa.

Kiitän kaikkia tutkimukseen vaikuttaneita.

Helsingissä, heinäkuussa 1969

Matti Kärkkäinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	Sivu
11. Kasvavan puuston vaurioitumisen merkitys	5
12. Vaurioiden seurausvaikutukset	5
13. Vaurioiden synty	5
14. Tutkimustehtävä	6
2. Ennustamisen ja kausaalisen selityksen mahdollisuudet	7
3. Tutkimusaineisto	8
31. Näyttekikön valinta	8
32. Näytteen valinta	8
33. Näytteen edustavuus ja siitä tehtävät johtopäätökset	9
34. Näytteen alkioiden ominaisuuksia	10
35. Uusien ja vanhojen työmaiden tutkimusaineisto	10
4. Regressioanalyysin käyttö ennustamisessa	12
41. Regressioanalyysin periaate	12
42. Regressioanalyysin käyttömahdollisuuksia	12
5. Vauriopuiden määrän selittäminen	14
51. Ennustemallin konstruointi	14
52. Vauriopuumäärää ennustavan mallin pätevyys toisessa aineistossa	17
53. Vauriopuumäärää ennustavan mallin tulkinta	19
6. Juurivaurioiden määrän selittäminen	21
61. Ennustemallin konstruointi	21
62. Juurivauriomäärää ennustavan mallin pätevyys toisessa aineistossa	22
63. Juurivauriomäärää ennustavan mallin tulkinta	25
7. Runkovaurioiden määrän selittäminen	27
8. Yhdistelmä	28
Kirjallisuusluettelo	30
Summary	32
Liitteet	34

1. JOHDANTO

11. Kasvavan puuston vaurioitumisen merkitys

Korjattaessa puuta harvennusemetsästä lähes aina syntyy jäljelle jäävään puustoon vaurioita. Niitä aiheutuu esimerkiksi kirvesleimauksesta, kun kaikkia merkittäviä puita ei poisteta. Ilmeisesti kuitenkin suurin merkitys on varsinaisen hakkuun ja kuljetuksen aiheuttamilla vaurioilla. Kaatuvat puut sekä kuljetusvälineet voivat kolhia jäljelle jääviä puita, jolloin usein syntyy vaurioita.

Vaurioitumistapahtumaa analysoidessa on syytä erottaa vaurioitumisfrekvenssi ja toisaalta vaurioiden taloudellinen merkitys. Ta-

loudellisen vahingon suuruus määräytyy paitisi vauriofrekvenssistä myös odotettavissa olevista seurausvaikutuksista. Vaurio sinänsä ei ole taloudellisesti merkittävä, ellei se aiheuta joitakin muutoksia myyntikelpoisessa tuotteessa esim. kasvun vähenemisen tai lahottajasienen iskeytymisen kautta. Itse asiassa vaurioiden esiintymislukuisuuteen voi olla vain puhtaasti tiedollista mielenkiintoa, ellei vaurioilla ole vaikutusta mihinkään ihmisen intressien mukaiseen asiaan.

12. Vaurioiden seurausvaikutukset

Puun korjuun kasvavalle puustolle aiheuttamien vaurioiden merkitys on ollut varsinkin kauan kiinnostuksen kohteena. Ennen puun korjuun koneellistumisen aikakautta on kiinnitetty huomiota etenkin kirvesleimoihin, joiden merkitystä kasvavan puuston laadulle on selvitetty varhain mm. Ruotsissa (ERNBERG 1907, NORDFORS 1923, EKBOM 1928) ja myöhemmin Suomessa (METSÄPELTO 1933, HAKKILA ja LAIHO 1967). Huomiota on saanut myöskin puutavaralajien valmistuksen ja kuljetusurien merkitys puuston vaurioitumisessa (SAARNIJOKI 1939).

Koneellisen puun korjuun vaikutusta metsän luontaiseen uudistumiseen ja luonnontaimiston vaurioitumiseen on tutkittu etenkin Kanadassa, Neuvostoliitossa ja Yhdysval-

loissa, missä laajalti harjoitetaan ekstensivistä metsätaloutta (STEINBRENNER 1961, KOROLEFF 1964, ARNOTT 1968, WEBBER ym. 1969). Varsinaisissa harvennushakkuissa syntyvien vaurioiden seurausvaikutuksia koskevia tutkimuksia ovat Amerikan mantereella esittäneet mm. WRIGHT ja ISAAC (1956), PARKER ja JOHNSON (1960) sekä SHEA (1961). Vastaavaa ongelmaa ovat Euroopassa käsitelleet mm. HAGNER ym. (1964), PAWSEY ja GLADMAN (1965), NILSSON ja HYPPEL (1968) ja ÅGREN (1968).

Tässä yhteydessä ei liene syytä analysoida tehtyjen tutkimusten tuloksia. Voidaan kuitenkin todeta niiden selvästi ja yhtäpitävästi korostavan vaurioiden seurausvaikutusten merkitystä käytännön metsätaloudelle.

13. Vaurioiden synty

Varsinaisia puuston vaurioitumisen määriä ja siihen vaikuttavien tekijöiden merkitystä koskevia tutkimuksia on tehty vähän. Useat julkaistut tulokset perustuvat havaintoihin, jotka on saatu muiden tutkimusten yhteydessä.

Ennen varsinaista puun korjuun koneellistamista huomiota on kiinnitetty etenkin

Amerikassa kaatovaurioiden riippuvuuteen eri tekijöistä, koska eläinvetovoimaa käytettäessä kuljetuksesta aiheutuvat vauriot ovat mahdollisesti jopa vähäisempiä kuin puutavaralajien valmistuksesta johtuvat vioittumiset (KUENZEL ja SUTTON 1937). MACKINNEYN (1934) mukaan pääasiallisin kaatovaurioiden määrään vaikuttava tekijä on hak-

kuumäärä. Amerikkalaisissa olosuhteissa on havaittu myös huomattavia puulajeittaisia eroja (KUENZEL ja SUTTON 1937).

Kasvavan puuston vaurioitumisen työmaittaista vaihtelua koneellistetussa korjuussa amerikkalaiset WRIGHT ja ISAAC (1956) ovat selittäneet hakkuumäärän avulla. Kun poistettavan puuston määrä on suuri, ts. kun vaurioitumiselle alttiiksi jäävä puuston osa on pieni, on vaurioituminen kuljetusvaurioiden osalta vähäisempää kuin lievissä harvenuksissa.

Illinoisilaisissa lehtimetsissä tehtyjen havaintojen mukaan käytetyn kaluston pienekö vaihtelu on merkityksellön vaurioitumisen kannalta. Myöskään puutavaran pituudella ei ole näyttänyt olevan vaikutusta vaurioitumiseen suunnattua kaatoa käytettäessä, kun taas telaketjutraktorin koon suureminen on lisännyt jäljelle jäävän puuston vikaantumista (HERRICK ja DEITSCHMAN 1956).

PUTKISTON (1957, s. 229—232) tutkimalla työmaalla pääasiallisen vaurioitumisen vaihtelun saman leimikon sisällä on selittänyt palstateiden mutkaisuuden vaihtelu. Englannissa tehtyjen havaintojen mukaan (PAWSEY ja GLADMAN 1965, s. 3) vaurioitumisen määrään vaikuttavat harvennuspuun korjuussa puuston ikä ja koko, maaston kaltevuusuhheet, puunkorjuumenetelmä sekä puulajien kuoren ominaisuuksia ja juuriston sijaintia koskevat erot.

Yhdysvaltain järvivaltioissa suoritettun tutkimuksen mukaan talvityömailla pieni telaketjutraktori on vaurioittanut puustoa vä-

hemmän kuin suuri runko-ohjattu metsätraktori mahdollisesti jälkimmäisen suuremmista kuormista johtuen. Samoin on havaittu jäljelle jäävän puuston vaurioitumisen lisääntyvän puutavaramäärän pituuden kasvaessa (MEYER ym. 1966). Romanianlaisen IVANIN (1966) vuoristokuusimetsiä koskevassa tutkimuksessa on havaittu vaurioitumisen riippuvan juontomatkasta ja -menetelmästä, puuston iästä, poistetusta puumäärästä sekä ennen kaikkea maaston kaltevuudesta. Mitä vaikeampaa maasto on, sitä vaikeampaa on ollut estää vaurioiden syntymistä.

Hakkuutähteiden merkitykseen vaurioitumisen vähentämisessä on kiinnitetty huomiota mm. Neuvostoliitossa (Ks. KOROLEFF 1964, s. 5) ja Kanadassa (ARNOTT 1968).

Ruotsissa tehtyjen havaintojen mukaan kasvavan puuston vaurioitumisen vaihtelu voidaan selittää maaston vaikeuden, korjuuajankohdan, palstateiden leveyden ja suoruuden, ajoneuvon ominaisuuksien sekä kuljettajan taitavuuden avulla (NILSSON ja HYPPEL 1968, s. 707, ÅGREN 1968, s. 33). Suomessa KANTOLA (1968) on analysoinut traktorin vaurioittavaa vaikutusta. KÄRKÄINEN (1969) on puolestaan kiinnittänyt huomiota mahdollisiin korjuumenetelmien eroihin puuston vaurioitumisessa.

Käytettävissä olevien tutkimusten perusteella on todettava, ettei yleistävää, laajalti sovellettavissa olevaa kasvavan puuston vaurioitumismallia ole esitetty huolimatta seurausvaikutusten oletettavasti huomattavasta merkityksestä.

14. Tutkimustehtävä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on

1. laatia empiirisen aineiston perusteella kasvavan puuston vaurioitumisen ennustemalli ja soveltaa sitä uuteen empiiriseen aineistoon mallin pätevyuden kontrolloimiseksi, ja

2. laatia yleinen kasvavan puuston vaurioitumista koskeva teoria.

Tehtäväksi on tässä yhteydessä katsottu erikseen tunnettujen tapahtumien järjestäminen mielekkääksi kokonaisuudeksi ja uusien tapahtumien ominaisuuksien ennustaminen (Vrt. BRAITHWAITE 1959, s. 1). Laadittavat hypoteesit järjestyksen olemassaolosta ja luonteesta eivät ole tämänkaltaisessa tutkimuksessa kovin ehdottomia esim. klassisen fysi-

kan hypoteeseihin verrattuna, jotka yksikin hypoteesille vastainen havainto kumoaa. Tilastollinenkin hypoteesi tuo kuitenkin järjestyttä havaintomaailmaan. Toisaalta on todettavissa tilastollisten hypoteesien ja eräänlaisen suhteellisen totuuden käyttöönotto mm. modernissa fysiikassa.

Käytännöllisten syiden vuoksi tutkimuksessa on rajoitettu koneellisen puutavaran kuljetuksen aiheuttamiin vaurioihin harvenusmetsissä. Koska puutavaramäärän valmis- tuksesta puustolle aiheutuvat vauriot lienevät vähäisiä ja koska niiden määrä on todennäköisesti riippumaton käytetystä kuljetusmenetelmästä, rajoittuminen lienee puolistettavissa.

2. ENNUSTAMISEN JA KAUSAALISEN SELITYKSEN MAHDOLLISUUDET

Kun tavoitteena on ennustaa uusissa olosuhteissa syntyvien vaurioiden määrää aikaisemman kokemuksen perusteella, voidaan käyttää useita menetelmiä, joiden keskinäisen hyvyden kriteeriona on ennustamisen osuvuus. Ennustamisen tavoitetta pidetään mielekkäänä yleensä silloin, kun tutkittavalla ilmiöllä on vaihtelua ja voidaan olettaa, että siinä vallitsee säännönmukaisuus.

Usein tutkittavassa ilmiössä voidaan havaita muutos ilmiökentän muuttuessa ja päin vastoin. Luonnollinen ja yleisesti käytetty ennustamismenetelmä on kytkeä samanaikaiset tai muuten säännönmukaisesti havaitut ilmiöt yhteen ja käyttää niitä hyväksi ennustamisessa. Mikäli voidaan havaita ennustuksen osuvuuden invarianssia olosuhteiden muuttuessa ja mikäli tehokkuus on tyydyttävä, pidetään ennustamismallia tarkoitukseensa käyttökelpoisena.

Ennustamisen osuvuus ei ole kuitenkaan välttämättä tekemisissä ilmiön tyydyttävän selityksen kanssa. Itse asiassa syyn ja seurauksen esittämisen mahdollisuuksiin on aika ajoin suhtauduttu varsin skeptisesti riippumatta ennustamisen tarkkuudesta (Vrt. BRAITHWAITE 1959, s. 293—318). Kahden tai useamman ilmiön samanaikainen tai muuten säännönmukainen esiintyminen ei vielä merkitse kausaalisen selityksen olemassaoloa ja sen löytämistä.

Tässä tutkimuksessa on otettu vapaamielinen kanta kausaalisen selityksen mahdollisuuteen. Tavoitteena on ollut malli, jossa korkeammanasteiset, yleisemmät hypoteesit luonnonjärjestyksessä määräävät kausaaliset johtopäätökset alemmalla tasolla (Vrt. BRAITHWAITE 1959, s. 306—307). Käytännössä omaksuttu tavoite merkitsee pyrkimistä laajalti yleistettävissä olevan mallin konstruointiin, jossa vaihtoehtoisista selityksistä valitaan parhaiten ilmiökentän yleiseen luonteeseen sopiva.

Ennustemallin muotoa valittaessa harkittiin kahta vaihtoehtoa, jotka erosivat toisistaan päättelyn suorittamistavan osalta. Esikuvana case study -tyyppisestä tutkimuksesta ongelman ratkaisussa on ollut WEBBERIN ym. (1969) laajahko myös vaurioitumista koskeva tutkimus, jonka havaintomateriaalina on 34 kanadalaista työmaata. Tutkimuksessa käytettyä verbaalista deduktiota tekijät pitävät parhaana sen vuoksi, että työmaalta toiselle muuttuvat matemaattisen käsitteilyn kannalta liian monet tekijät, kuten puulajit ja puumäärät, konetyypit, puunkorjaajan aseet, kasvupaikan ja maaston ominaisuudet jne. (WEBBER ym. 1969, s. 9). — Perustelun katsottiin soveltuvan myös tähän tutkimukseen.

Toisena vaihtoehtona, joka sitten on valittu, oli matemaattisen ennustemallin konstruointi. Huolimatta ilmiökentän ilmeisestä monimuotoisuudesta on katsottu parhaaksi suorittaa päättely havainnoista matemaattisen mallin avulla, koska verbaalista vaihtoehtoa ei ole pidetty tehokkaana ja riittävän objektiivisena puutteellisesti tunnetun alan ollessa kyseessä (Vrt. BRAITHWAITE 1959, s. 43, 48—49, MATTILA 1961, s. 25, ESKOLA 1969, s. 95).

Molempia lähestymistapoja voidaan kuitenkin pitää harkinnan arvoisina, sillä kaikki käytettävissä oleva reaalityö sisältyy havaintoihin, jolloin minkäänlainen deduktio ei lisää informaatiota. Voidaan kuitenkin olettaa, että verbaalisessa päättelyssä eräänlainen menetelmän entropia on huonompi, koska vaarana on joutua epäolennaisiin sivutuloksiin ja virhepäätelmiin helpommin kuin matemaattista mallia käytettäessä.¹ Ilmeisesti matemaattinen malli on myös nopeampi (MATTILA 1961, s. 25).

¹ Lukija voi vakuuttautua verbaalisen deduktion vaikeuksista tarkastelemalla liitetaulukkoita 1 (s. 34) ja 2 (s. 34), joissa tutkimusaineisto on esitetty.

3. TUTKIMUSAINEISTO

31. Näyteyksikön valinta

Lähinnä WEBBERIN ym. (1969) tutkimuksessa esitettyjen näkökohtien perusteella on tutkimuspopulaatio valittu siten, että alkioina ovat harvennushakkuutyomaat. Toisena vaihtoehtona on harkittu menettelyä, jossa tutkittavina alkioina olisivat kasvavat puut. Vaurioituminen katsottiin kuitenkin aikaisemman tietämyksen perusteella niin

poikkeukselliseksi tapahtumaksi, että on pidetty parempana suurta yksikköä kuin pientä. Toisaalta on oletettu myös niin, että tulosten käyttökelpoisuuden kannalta on edullisinta selvittää vaurioitumisen työmaakohdaisiin eroihin vaikuttavia syitä, koska mm. kauppa- ja puunkorjuutoiminnassa leimikko on yleisin yksikkö.

32. Näytteen valinta

Tutkimusprobleeman asettamisen ja populaation yleisen rajaamisen jälkeen tehtävä voitiin täsmentää ongelmaksi, miten voitaisiin selittää kasvavan puuston vaurioitumisen vaihtelua työmaiden välillä ja käyttää selitystä hyväksi ennustettaessa toisilla työmailla sattunutta tai sattuvaa vaurioitumista. Kaiken saatavissa olevan informaation keräämiseen ei ole ollut mahdollisuuksia, joten on jouduttu harkitsemaan tarkoitukseen sopivan osapopulaation rajaamista ja havaintojen keräämistä siitä.

Käytännöllisten syiden vuoksi mahdollinen tutkimuspopulaatio on jo implisiittisesti rajattu ajallisesti ja paikallisesti varsin suppeaksi. Näytealkioiden ominaisuuksien tulee luonnollisesti olla helposti havaittavissa ja tunnistettavissa, joten vain tutkimusajankäynnissä olevat tai muutaman vuoden sisällä korjatut työmaat voivat tulla kysymykseen.

Osapopulaation rajaamisessa on harkittu seuraavia vaihtoehtoja:

1. Täsmennetään populaatiota hankkimalla informaatiota sen alkioden ominaisuuksista ja arvotaan näyte, joka edustaa populaatiota todennäköisyyslaskennalla hallittavissa olevalla tavalla.

2. Rajoitetaan populaatiosta alueellisesti osa, josta arvotaan otos. Tulokset ovat tällöin yleistettävissä rajattuun osapopulaatioon.

3. Valitaan populaatiosta työmaita, joiden

avulla laaditaan haluttu ennustemalli ja kokeillaan ennustamisen osuvuutta toisiin populaatiosta hankittuihin työmaihin.

Ensimmäisen ja toisen vaihtoehdon noudattamisen tuloksena saataisiin satunnaisnäyte tunnetusta populaatiosta. Tästä näytteestä voitaisiin tehdä johtopäätöksiä sekä populaation parametreista että eri ominaisuuksien keskinäisestä riippuvuudesta. Estimoitujen arvojen luotettavuudesta voitaisiin tehdä päätelmiä todennäköisyyslaskennan keinoin.

Kolmannen vaihtoehdon mukaan toimitaessa saataisiin eräässä mielessä edustava näyte tuntemattomasta osapopulaatiosta. Populaation parametrien estimointi olisi mahdollista, mutta vallitsevasta epävarmuudesta olisi vaikea sanoa mitään. Ominaisuuksien keskinäisestä riippuvuudesta voitaisiin laatia aineiston perusteella myös induktiivisiä hypoteesejä määrärajoituksin (ks. kpl 33).

Samaan havaintomäärään pyrittäessä aineiston hankkimiskustannukset olisivat ilmeisesti suurimmat ensimmäisessä vaihtoehdossa ja pienimmät viimeisessä. Asetetun tutkimustehtävän kannalta kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa olisi ylimitoitettua, sillä jossakin populaatiossa vallitsevan kasvavan puuston vaurioitumisen määrän selvittäminen ei kuulu tutkimuksen piiriin. Toisaalta kolmas vaihtoehto olisi tehtävän kannalta alimitoitettu, sillä yleistämisen rajoja olisi vaikea vetää silloin, kun havainnot edustavat

lähinnä vain itseään ja jotakin tuntematonta suurempaa kokonaisuutta.

Heikkouksistaan huolimatta valinnassa päädyttiin kolmanteen vaihtoehtoon käytännöllisten vaikeuksien tehessä muut toteuttamiskelvottomiksi. Toinen vaihtoehto olisi ehkä taloudellisesti vielä ollut mahdollisuuksien rajoissa, mutta arvontakehikon täydellinen puuttuminen esti menetelmän käytön. Hakkuuilmoituksista olisi saatu jonkinlainen yksityismetsiä koskeva kehikko, mutta korjuumenetelmiä ja käytettyjä koneita koskevien tietojen puuttuminen olisi aiheuttanut siinä määrin tarkistuksia ja ongelman selvittämisen kannalta turhaa työtä, ettei tutkimuksen aikataulua olisi voitu laatia kohtuullisen pituiseksi käytettävissä olevien resurssien puitteissa.

Näytteen hankkiminen käytännössä on ta-

33. Näytteen edustavuus ja siitä tehtävät johtopäätökset

Kuten aikaisemmin mainittiin, suysuhteita koskevan induktion käyttö ei läheskään aina vaadi sitä, että aineisto edustaisi jotakin osapopulaatiota. Tämä johtuu siitä, että on aivan eri asia estimoida joitakin ominaisuusarvoja ja toisaalta tutkia ominaisuuksien välisiä yhteyksiä (Vrt. HOEL 1964, s. 61).

Olettakaamme, että käytettävissä oleva aineisto kuvaa vääristyneesti harvennustyoimain muodostamaa populaatiota joidenkin ominaisuuksien suhteen. Voidaan esimerkiksi ajatella, että tutkimustyömailla on käytetty järempää kalustoa kuin keskimäärin ja että pinta-alayksikköä kohti laskettu vaurioiden määrä on keskimääräistä pienempi.

Jos tavoitteena nyt olisi estimoida näytteen perusteella puuston keskimääräistä vaurioitumisastetta, saataisiin virheellisiä tuloksia. Näytteen arpominen sinänsä ei olisi takuu kauniista edustavuudesta, mutta se palauttaisi epävarmuuden lasketussa olevaksi todennäköisyydeksi.

Kun tavoitteena on sen sijaan tutkia eri ominaisuuksien välisiä yhteyksiä, ts. pyrkiä selvittämään, mistä vaurioiden määrä riippuu, voidaan aineiston suhtautua eri tavalla. Mainittu näytteen vääristyneisyys joidenkin ominaisuuksien suhteen ei vielä viittaa siihen, että saatava informaatio eri tekijöiden välisestä yhteydestä olisi virheellinen. Ainoastaan siinä tapauksessa, että vaikuttavat tekijät riippuvat tässä tapauksessa vaurioiden määrästä ja koneiden järeystä, saadaan virheellisiä tuloksia.

Mitään takuuta siitä, etteikö tämä voisi olla mahdollista, ei ole olemassa. Voidaan kuitenkin ajatella, että näytteen riittävän tarkka kuvaaminen rajoittaa kaiken yleistämisen sellaiseen populaatioon,

pahtunut seuraavasti. Toukokuussa 1968 Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos kääntyi Metsätehon suurimpien jäsenyhtiöiden metsäosastojen sekä valtion metsähallinnon ja valtion polttoainetoimiston puoleen pyytäen tietoja toteutetuista ja seuraavana kesänä toteutettavista harvennustyoimaista. Saapuneiden vastausten perusteella on otettu yhteyttä vastaajien kenttähenkilöstöön ilmoitettujen työmaiden sopivuuden tarkistamiseksi. Tutkimuskohteeksi sopimattomat työmaat on jätetty inventoimatta (Ks. s. 10). Vastaavasti on kuitenkin saatu aineistoa lisätyksi niillä tutkimuskohteiksi soveltuvilla työmailla, jotka ovat olleet kenttähenkilökunnan tiedossa, mutta joita ei oltu ilmoitettu metsäosaston taholta. Käytännöllisesti katsoen koko näin saatu aineisto on inventoitu.

jota näyte edustaa vääristymättä. Toisin sanoen näytteestä ei tehdä yhteyksien suhteen vääriä johtopäätöksiä, jos voidaan havaita kaikki ne oleelliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat ominaisuuksien keskinäiseen riippuvuuteen. Vääriytyneet kuva todellisuudesta saadaan taas silloin, kun näytteeseen tulevat ne harvinaiset alkiot, joissa ominaisuuksien suhde on poikkeuksellinen, mutta sille ei ole mitään «syytä». Tällaisen vääristymisen mahdollisuus koskee kuitenkin yhtä hyvin myös satunnaisnäytteitä, joten siihen ei ole syytä kiinnittää erityistä huomiota tässä yhteydessä.

Voidaan ajatella myös niin, että universaaleiksi tarkoitettuja lainalaisuuksia etsittäessä on samantekevää, onko kysymyksessä satunnaisnäyte vai ei. Jos lainalaisuus todella on olemassa, se voidaan havaita kaikilla tavoilla valituista näytteistä (Vrt. ESKOLA 1969, s. 118).

Pohdiskelu antanee tyydyttävän perustelun sille, miksi katsottiin voitavan mennä muuhun kuin satunnaisnäytteeseen osapopulaation valinnassa, kun ongelmana on ominaisuuksien yhteyden selvittäminen. Kun näytteen alkiot kuvataan riittävän tarkoin, voidaan ajatella vaikuttavien tekijöiden tulle siinä määrin ilmaistuksi, että voidaan jossakin määrin hahmotella myös sitä hypoteettista populaatiota, jota näyte vääristymättä edustaa.

Suurimpana vaarana menetelmän käytössä lieinee se, että on mahdollista saada reaalitietoa tutkimuksen käyttökelpoisuuden kannalta harvinaisista tapauksista. Mahdollisuus on käytännössä kuitenkin varsin teoreettinen, joskin se on syytä ottaa huomioon tulosten yleistettävyyttä pohdittaessa.

34. Näytteen alkioden ominaisuuksia

Kaikki tutkimustyömaat sijaitsevat Etelä-Suomessa. Suurimman osan aineistosta käsittävät ne harvennushakkuutyömaat, jotka metsäosastojen johto ilmoitti. Tarkoitukseen sopivien työmaiden valitseminen on perustunut yhtiöiden sisäiseen hakkuutoiminnan tarkkailuun, lähinnä ilmeisesti määräaikaisraportteihin. Työmaatarkastuksissa on osoitautunut varsin usein, että ilmoitetut tiedot ovat olleet varsin ylimalkaiset ja osittain virheellisetkin. Näin ollen ei liene syytä uskoa, että johdon ilmoittamat leimikot olisivat olleet erityisen hyviä tai huonoja vaurioitumisen kannalta. Ilmeistä nimittäin on, etteivät raportit olleet siinä määrin perusteellisia, että johto olisi voinut saada mitään työmaakohdasta kuvaa.

Kenttähenkilöstön ilmoittamien työmaiden laita on mahdollisesti toisin. Paikallisilla valvovilla työnjohtajilla lienee ollut varsin tarkka mielikuva puun korjuun onnistumisesta, ja se on voinut vaikuttaa tutkimustarkoituksiin sopivien työmaiden ilmoittamiseen. Koska kuitenkin koneellisesti korjattuja harvennushakkuutyömaita kertyy vuosittain työnjohtajaa kohti varsin vähän, ei kovin suurta valintamarginaalia ole voinut jäädä. Kentällä tapahtuneessa työmaiden lopullisessa tarkastuksessa on jouduttu sitä paitsi hylkäämään niin paljon ehdotetuista leimikoista, että ilmeisesti myös paikallisten työnjohtajien ilmoittamien tutkimuskohteiden valinta on ollut varsin satunnainen.

Näytteen ominaisuuksiin on voinut vaikuttaa myöskin aineiston keränneiden henkilöi-

den suorittama työmaiden lopullinen hyväksyminen. Aineistosta on hylätty kaikki sellaiset puunkorjuualueet, joiden puun korjuun kulusta ei ollut käytettävissä riittäviä tietoja. Tällaisia ovat olleet mm. yksityismetsänomistajien suorittamat toimitushakkuut ja pienet leimikot. On mahdollista, että tämä on vaikuttanut aineiston laatuun siten, että tutkimuksen kohteeksi on tullut verraten vähän vaurioituneita työmaita suurten työmaiden tehokkaamman työn valvonnan takia.

Aineistoksi ei ole hyväksytty myöskään sellaisia työmaita, joilla on käytetty useita puunkorjuumenetelmiä rinnakkain siten, ettei niiden keskinäisistä suhteista ole tietoa. Tällaisia tapauksia ovat olleet esim. ne työmaat, joilla on käytetty samoilla palstoilla hevosta ja maataloustraktoria. Myös ne työmaat, joilla on poistettu puustoa varsinaisen puun korjuun jälkeen, on jätetty pois näytteestä.

Kuitenkin oletettavasti suurin näytteen alkioden ominaisuuksiin vaikuttava tekijä lienee se, että valtaosa työmaista on metsäteollisuusyhtiöiden omistamissa metsissä. On sängen luultavaa, että työmaiden suunnittelu ja toteutus on ollut keskimääräistä parempaa ja kuljettajat ammattitaitoisempia kuin maassa yleensä. Missä määrin tämä heijastuu puuston vaurioitumisessa, on mahdotonta sanoa. Täysin avoin kysymys on edelleen se, onko tällä voinut olla vaikutusta alkioden eri ominaisuuksien yhteyksiin. Varminta lienee rajoittaa kaikki yleistys samanlaiseen populaatioon.

35. Uusien ja vanhojen työmaiden tutkimusaineisto

Tämän tutkimuksen aineistona on 14 sellaista harvennushakkuutyömaata, joilla puun korjuu on toteutettu tutkimusajankohdalla. Näitä nimitetään jäljempänä uusiksi työmaiksi. Niiden lisäksi aineistoon kuuluu 10 harvennushakkuutyömaata, joilla puun korjuu on saatettu loppuun tutkimusajankohdalla mennessä. Näitä nimitetään jäljempänä vanhoiksi työmaiksi.

Tehtävän asettamisen mukaisesti on käytetty uusien työmaiden antamaa informaatiota ennustemallin konstruointiin ja vanhoja työmaita mallin pätevyuden kontrollointiin.

Syynä käytettyyn menettelyyn on se, että uusien työmaiden tiedot ovat tutkimustilanteesta johtuen täydellisemmät kuin vanhojen. Tutkimuksen aikana toteutetuilla työmailla on voitu seurata koneiden käyttäytymistä metsässä jatkuvasti, kun taas vanhoilla työmailla on ollut tyydyttävä ainoastaan vaurioiden inventointiin.

Tutkimusajankohdalla ei liene ollut suurta merkitystä vaurioiden havaitsemisen kannalta, sillä keskimäärin samanlaisissa olosuhteissa uusien ja vanhojen työmaiden vauriomäärille ei saatu merkitsevää eroa ($p = 0.05$)

Mann-Whitney'n U-testillä (SIEGEL 1956). Inversoiden lukumäärä viittaa kuitenkin siihen, että uusilla työmailla on löydetty enemmän vaurioita kuin vanhoilla, mutta ero voi johtua sattumastakin.

Tässä tutkimuksessa käsiteltävät työmaakohdaiset variaabelit on esitelty liitetauluissa 1 (s. 34) ja 2 (s. 34). Vauriokohtaista informaatiota on kerätty runsaasti, mutta tässä tutkimuksessa käytetään hyväksi ainoastaan vaurion sijainnin mukaan tapahtuvaa vaurioiden jakoa juuri- ja runkovaurioihin. Edellisillä tarkoitetaan tässä yhteydessä oletetun kaatoleikkauksen alapuolelle syntyneitä kuoren irtoamisesta tai juuren katkeamisesta johtuvia vaurioita, jälkimmäisillä taas kaatoleikkauksen yläpuolelle syntyneitä kuoren irtoamisesta johtuvia puun solukoiden paljastumia.

Syynä mainittuun jakoon on se, että vaurion sijainti vaikuttaa merkittävästi seurausvaikutuksiin, joskin vaikutuksen suunnasta amerikkalaisilla ja eurooppalaisilla tutkijoilla on erilaiset käsitykset (WRIGHT ja ISAAC 1956, s. 20, PARKER ja JOHNSON 1960, s. 35, PAWSEY ja GLADMAN 1965, s. 7, NILSSON ja HYPPEL 1968, s. 684).

Kaikilla tutkimustyömailla käytetty korjuumenetelmä on ollut puutavaran teko palstatien varteen. Kuljetus on suoritettu kuorma- ja kantavilla metsätraktoreilla tai maataloustraktori-perävaunuyhdistelmillä.

Lyhyesti kuvattuna vauriotietojen tallentaminen on tapahtunut seuraavasti. Kuten on todettu, uusilla työmailla kenttätöön tekijä on kulkenut jatkuvasti kuormaa kuljetavan koneen perässä merkiten muistiin syntyvät vauriot ja mitaten liitteessä 1 (s. 34) esitetyt vaurio- ja vauriokuohdaiset muutokset. Kukin vauriokuohde on merkitty punavärillä kaksoishavaintojen estämiseksi. Jokaista vauriota ei ole pystytty erikseen merkitsemään, joten samassa puussa olevien vaurioiden lukumäärä on voinut jossakin määrin jäädä epävarmaksi. Tämän tutkimustehtävän kannalta sillä ei ole kuitenkaan merkitystä.

Vanhoilla työmailla on käytetty useita inventointimenetelmiä. Pääasiallisesti on pyritty löytämään työmaalla käytetyt palstatiet ja niitä seuraamalla havaitsemaan niiden varteen syntyneet vauriot. Joillakin työmailla on käytetty otosta, joka on inventoitu linjoittaisena ympyräkoela-arviointina tai kaistalearviointina. Vaurioiden muistiin merkitseminen on tapahtunut samalla tavoin kuin uusilla työmailla.

Kuten aikaisemmin on viitattu, vauriokuohde on luettu kukin vaurioitunut puu riippumatta vaurioiden määrästä ja niiden suuruudesta.

Ilmeisesti kesäolosuhteista ja käytetystä kuljetuskalustosta on johtunut, että vauriokuohdet ovat olleet subjektiivisesti arvioiden varsin pahoin vaurioituneet.

4. REGRESSIOANALYYSIN KÄYTTÖ ENNUSTAMISESSA

41. Regressioanalyysin periaate

Regressio-ongelma on kysymyksessä silloin, kun halutaan ennustaa yhden muuttujan saamia arvoja muiden muuttujien arvojen avulla (WILLIAMS 1959, s. 2). Regressioanalyysin idea voidaan esittää seuraavasti lyhyessä matriisimuodossa (VÄLIIAHO 1969, s. 100–103).

Olkkoon Z havaintomatriisi, jonka vaakarivivektorit ovat havaintoja ja pystyrivivektorit muuttujia. Olkkoon muuttujia m kappaletta, joista vektorit X ovat riippumattomia muuttujia ja vektorit Y riippuvia muuttujia teoreettisessa regressiomallissa

$$(1) \quad Y = X\beta + \varepsilon \text{ jossa}$$

β = regressiokerroinmatriisi
 ε = virhematriisi

Mikäli selittävät muuttujat ovat lineaarisesti riippumattomia, saadaan pienimmän neliösumman menetelmällä mallin empiirinen vastine

$$(2) \quad Y = XB + E \text{ jossa}$$

$B = \beta$:n estimaatti
 $E =$ jäännösmatriisi

Haluttaessa voidaan käyttää myös painotettua regressioanalyysiä, jolloin edellisten lisäksi oletetaan lävistäjämatriisi W .

42. Regressioanalyysin käyttömahdollisuuksia

Tässä tutkimuksessa on harkittu seuraavia regressioanalyysin käytön vaihtoehtoja.

1. Regressioanalyysi, jossa kriteerivariaabelia selitetään kaikkien niiden muuttujien avulla, jotka on valittu tutkimukseen (esim. TORVELA 1966).

2. Regressioanalyysi, jossa selittäjiksi valitaan jotakin kriteeriä käyttäen sellaiset muuttujat, jotka tuottavat mahdollisimman suuren selityksen pienellä muuttujamäärällä (esim. LEIKOLA 1969).

3. Regressioanalyysi, jossa kriteerivariaabeli on alkuperäinen muuttuja, mutta jossa selittävät muuttujat konstruoidaan alkuperäisistä muuttujista tai jossa käytetään faktori- tai pääkomponenttiansalyysiä parhaiden selittäjien valitsemiseen (esim. MÄKELÄ 1968).

Oikeastaan vain kolmas vaihtoehto edustaa puhdasta monimuuttuja-analyysiä, jonka soveltamistapoja on esitetty useitakin (ks. VAHERVUO ja AHMAVAARA 1958, s. 53, MÄKELÄ 1966, MÄKELÄ 1968, s. 43–46). Pääkomponentti- tai faktorianalyysitekniikan soveltamisen tarkoituksena on yleensä tällaisissa tapauksissa joko parhaiden selittäjien valitseminen suuresta muuttujajoukosta tai muuttujien

Erityisesti on tässä yhteydessä syytä huomata, että ainoa oletettu teoreettisen mallin ominaisuus on selittävien muuttujien lineaarinen riippumattomuus. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että vastaava matriisi on ei-singulaarinen.

Mikäli oletetaan eräitä lisärajoituksia, joista tärkeimmät koskevat selittävien muuttujien ei-stokastisuutta ja selitettävien stokastisuutta, ts. oletetaan kaiken satunnaisvaihtelun olevan selitettävissä muuttujissa, sekä virheen eräitä ominaisuuksia (VÄLIIAHO 1969, s. 101–102), voidaan osoittaa, että estimaateilla on eräitä tärkeitä jakautumallisia ominaisuuksia, joita voidaan käyttää hyväksi esim. testattaessa regressiokerrointen merkitsevyyttä (DRAPER ja SMITH 1968, s. 59–60, VÄLIIAHO 1969, s. 104). Käytännössä suhtaudutaan menetelmän teoreettisiin edellytyksiin varsin vapaamielisesti tulosten pätevyyden siitä oleellisesti kärsimättä, mikäli olosuhteet eivät ole aivan poikkeukselliset (KULOKARI 1969, s. 8–9). Tässä yhteydessä korostettakoon myös sitä, että regressioanalyysin virheellinen käyttö koskee yleensä merkitsevyyden testausta, ei niinkään pienimmän neliösumman menetelmän käyttöä eräänlaiseen havaintojen tasoitukseen (vrt. WILLIAMS 1959, s. 3–9, NIITAMO 1961, s. 44). Kuten aikaisemmin on todettu, varsinaiseen konstruointiin tarvitaan vain muuttujien lineaarinen riippumattomuus.

sisältämän informaation tiivistäminen muutamaa harvaan faktoriin. Kun tässä tutkimuksessa havaintomäärä on pieni ja potentiaalisten selittäjien määrä suurehko alan puutteellisesta tuntemisestä johtuen, monimuuttuja-analyysin käyttö tuntuu houkuttelevalta.

Kriteerivariaabelin ja alkuperäisten muuttujien interkorrelaatioiden tarkastelu (Liitetaulukko 3, s. 35) kuitenkin osoittaa, että todennäköisimpien selittäjien keskinäinen riippuvuus on vähäistä. Koska monimuuttujamenetelmiä voidaan pitää traditionaalisia menetelmiä parempina vasta silloin, kun selittävillä muuttujilla on tuloksiin vaikuttavaa korreloitumista, on hylätty pääkomponentti- tai faktorianalyysin käyttö. Ainoastaan työmaalla käytettyä kuljetuskalustoa koskevia muuttujia on pyritty tiivistämään yhdeksi selittäjäksi (ks. s. 22).

Regressioanalyysi, jossa aikaisemman kokemuksen tai laadittujen hypoteesien perusteella valitaan kriteerivariaabelia selittävät muuttujat ja jotka kaikki käytetään hyväksi ennustamisessa, on ollut etenkin ennen tietokoneiden käyttöönottoa yleinen

tarkastelutapa. Syynä lienee ollut ennen muuta se, että valikoivien regressioanalyysimenetelmien käyttäminen pelkän pöytälaskukoneen avulla on hankalaa menetelmien usein iteratiivisen luonteen takia.

Mikäli havaintoaineisto on laaja ja selittäjien määrä siihen nähden pieni, kaikkien selittäjien käyttäminen regressioanalyysissä voi olla aiheellista etenkin silloin, kun kysymyksessä ei ole edustava näyte jostakin populaatiosta. Tällöin halutaan kuvata jonkin äärellisen havaintojoukon ominaisuuksia regressiomallin avulla (vrt. TORVELA 1966). Sen sijaan, kuten tässä tutkimuksessa, kun havaintoaineisto on pieni ja potentiaalisten selittäjien määrä siihen nähden suuri alan puutteellisesta tuntemisestä johtuen, jää mm. vapausasteiden määrä kovin pieneksi tilastollisten hypoteesien testausten kannalta (vrt. MÄKELÄ 1968, s. 38).

Vapausasteiden määrää voidaan lisätä karsimalla pois sellaiset tekijät, joiden tuoma lisäselvitys on merkityksetön. Useita menetelytapoja on kehitetty valikoivan regressioanalyysin suorittamiseksi (DRAPER ja SMITH 1968, s. 163–177). Teoreettisesti parhain menetelytapa lienee kaikkien mahdollisten selittäjäkombinaatioiden kokeilu, mutta suurehkon potentiaalisen selittäjäjoukon käsittelemisen on tietokoneillakin aikaa vievä ja huomattavan kallis operaatio. Sen sijaan käyttöön on vakiintunut vähemmän optimaalisia menetelmiä. Tunnetuin lienee regressioanalyysi, jossa selittäjiä lisätään malliin yksi kerrallaan tehokkaimmista

aloittain testaten niiden ja aikaisemmin lisättyjen tekijöiden merkitsevyyttä (DRAPER ja SMITH 1968, s. 171–172, VÄLIIAHO 1969). Menetelyä jatketaan yleensä siihen saakka, kunnes yhtään uutta selittäjää ei saada lisäksi eikä yhtään poistetuksi. Menetelmää on modifioitu myös siten, että toisia selittäjiä käsitellään pakollisempina kuin toisia (VÄLIIAHO 1969, s. 127), esim. laadittujen hypoteesien tai aikaisempien tutkimusten perusteella.

Yleensä askelettain valikoivaa regressioanalyysiä pidetään tehokkaana, koska siinä saadaan pienellä muuttujamäärällä selitetyksi maksimiosuus selitettävissä olevasta varianssista. Sen automaattisesta käytöstä on kuitenkin varoitettu tähdenäen mm. residuaalien tutkimisen tarpeellisuutta (DRAPER ja SMITH 1968, s. 172). Myös valikoivan regressioanalyysin perusteiden kriittiköä on esitetty mm. huomattamalla eräänlaisesta satunnaisten virheiden kapitalisoinnista regressioanalyysissä etenkin silloin, kun suoritetaan selittäjien valintaa. Yhdessä havaintoaineistossa saatu tulos voi näyttää lupaavalta, mutta toiseen havaintojoukkoon sovelletuna pätevyys voi olla heikko (vrt. COOLEY ja LOHNES 1966, s. 35).

Tässä tutkimuksessa päädyttiin valikoivan regressioanalyysin käyttöön lähinnä pienen havaintoaineiston vuoksi. Automaattisten muuttujien valinnan sijasta menetelmää kuitenkin on pyritty kehittämään optimaalisempaan suuntaan jäljempänä esitetyllä tavalla.

5. VAURIOPUIDEN MÄÄRÄN SELITTÄMINEN

51. Ennustemallin konstruointi

Uusien työmaiden aineistoon on sovellettu valikoivaa regressioanalyysiä siten, että ensimmäiseksi selittäjäksi valitaan kriteerivariaabelin kanssa eniten korreloitunut muuttuja. Tämän jälkeen kokeillaan muita potentiaalisia selittäjiä toiseksi malliin lisättäväksi selittäjäksi. Näistä valitaan malliin se, joka parhaiten selittää jäännösvarianssia jne. Jokaisessa lisäysvaiheessa testataan tekijöiden merkitsevyys. Koska muuttujat lisätään tai poistetaan yksi kerrallaan, on mahdollista käyttää regressiokertoimen merkitsevyyden testauksessa myös t-testiä yleensä käytetyn F-testin sijasta (DRAPER ja SMITH 1968, s. 26).

Koska käytetty tietokoneohjelma ei ole ollut automaattinen, on ollut mahdollista kokeilla haluttaessa kahta tai useampaa selittäjäkombinaatiota seuraavan vaiheen pohjana, mikäli muuttujayhdistelmät ovat olleet suunnilleen yhtä tehokkaita. Samoin on voitu jatkaa valikoinnin suorittamista huolimatta siitä, että viimeksi mukaan tulleen selittäjän lisäys jäännösvarianssin pienentämisessä ei ole ollut merkitsevää. Joskus käy nimittäin selittäjien korreloitumisesta johtuen niin, että seuraavassa vaiheessa kaikkia mu-

kana olevia selittäjiä voidaan pitää merkitsevinä (vrt. DRAPER ja SMITH 1968, s. 173).

Käytettyä menettelytapaa lienee pidettävä etenkin pienissä havaintoaineistoissa tehokkaampana kuin automaattista muuttujien valintaa, jota yleensä sovelletaan vastaavissa tietokoneiden kirjasto-ohjelmissa.

Kun kriteerivariaabelina on vaurioiden määrä hehtaaria kohti, etenee valikoiva regressioanalyysi seuraavassa esitetyllä tavalla. Kustakin vaiheesta on esitetty suluissa kerrointen standardipoikkeamat sekä yhteiskorrelaatiokertoimen neliö (selityssaste) ja F-arvo, joka on laskettu kaavasta (3) (COOLEY ja LOHNES 1966, s. 34).

$$(3) \quad F = \frac{R^2 (N - m - 2)}{(1 - R^2) (m - 1)} \quad \begin{array}{l} \text{vapausasteet} \\ m-1 \\ N-m-2 \end{array}$$

jossa
 R^2 = selityssaste
 N = havaintojen lukumäärä
 m = muuttujien lukumäärä (kriteerivariaabeli mukaanluettuna)

Seuraavassa etenemisessä on esitetty ainostaan lopputulokseen johtanut haarautumaton ketju.

		R^2	F
(4)	$y_1 = -31.49 + 0.19x_3$ (0.09)	.276	4.57
(5)	$y_1 = -76.94 + 0.19x_3 + 0.35x_5$ (0.07) (0.10)	.650	10.20
(6)	$y_1 = -80.69 + 0.18x_3 + 0.35x_5 + 29.14x_8$ (0.06) (0.09) (13.28)	.764	10.76
(7)	$y_1 = -91.57 + 0.19x_3 + 0.24x_5 + 33.39x_8 + 0.42x_6$ (0.05) (0.09) (11.27) (0.18)	.851	12.85

jossa
 y_1 = vaurioiden määrä kpl/ha
 x_3 = palstateiden määrä m/ha
 x_5 = puuston kuutiomäärä hakkuun jälkeen $k\text{-m}^3/\text{ha}$
 x_8 = maalajivalemuuttuja
 = 0, jos kivennäismaa
 = 1, jos turvemaa
 x_6 = hakattu puumäärä $k\text{-m}^3/\text{ha}$

Koska metsäalan tutkimuksissa ei ole juuri käytetty valemuuttujatekniikkaa regressio-

analyysissä, lienee syytä selostaa menettelyn perusteita. — Periaatteessa maalajin vaikutuksen voi ottaa huomioon kahdella tavalla, joko valemuuttujien (engl. Dummy variable) avulla tai luokittelemalla maalajit lujuusjärjestykseen aikaisemman tietämyksen perusteella. Jälkimmäisessä tapauksessa käytet-

täisiin luokan numeroa muuttujan arvona. Regressioanalyysi vaatii kuitenkin tarkempaa mittaustapaa kuin järjestyksittöisyys. Periaatteessa pitäisi tuntea myös maalajien keskimääräiset suhteet tarkemmin kuin pelkkänä järjestyksenä. Siitä huolimatta regressioanalyysin sovellutuksissa joudutaan käyttämään usein myös järjestysasteikkoa paremman menettelyn puutteessa, joskaan sitä ei voi pitää oikeana menettelynä.

Käytettäessä valemuuttujia oletetaan, että kaikilla maalajeilla vallitsee samanlainen yhteys eri muuttujien välillä. Valemuuttujan 0,1-dikotomia tavallaan laskee tai nostaa regressiosuoraa sen mukaan, miten alkioiden maalajiominaisuudet suhtautuvat muiden muuttujien konstruoimaan regressiosuoraan. Eri maalajien tärkeys nähdään suoraan regressiokertoimen merkitsevyydestä toisin kuin järjestyksellistä käytettäessä. Tästä on se etu, että ennustamisessa voidaan yhdistää suunnilleen samanlaiset maalajit samanarvoiseksi ryhmäksi. Järjestyksellisyys tällaisessa maalajien toisistaan eroamattomuus taas pienentäisi yleistä havaittavaa riippuvuutta maalajista.

Tässä tutkimuksessa on sängen perusteltua olettaa, että muuttujien yhteydet säilyvät samanlaisina eri maalajeilla. Samana viittaa myös residuaalitarkastelu. Etenkin tutkimuksen pienen havaintoaineiston vuoksi on edullista, että vain todella muista merkitsevästi erottuvat maalajit tulevat ennusteyhtälön tekijöiksi, ts. että käytetään nimenomaan valemuuttujatekniikkaa.

Muuttujien merkitsevyyden testauksessa on hyväksymis- ja hylkäämisrajana käytetty $p = 0.05$. Huomattakoon kuitenkin, että esim. yhtälössä (6) maalajivalemuuttujan x_8 regressiokerroin ei ole tilastollisesti merkitsevästi nollasta poikkeava. Valikoivaa regressioanalyysiä jatkettaessa yhtälössä (7) kaikki selittäjät ovat teoreettisesti merkitseviä.

Tässä yhteydessä lienee myös syytä pohtia, mitä testaus itse asiassa merkitsee. Kuten aikaisemmin todettiin, tässä tutkimuksessa kyseessä ei ole satunnaisnäyte tunnetusta populaatiosta. Todettiin myöskin, että siitä huolimatta on mahdollista laatia perusteltuja hypoteeseja eri tekijöiden välisistä yhteyksistä.

Pelkistään tutkimusaineistoa ajatellen pienikin regressiokerroin on eräässä mielessä äärettömän tosi, koska se sisältää pätevää informaatiota muuttujien välisistä suhteista tietyssä aineistossa. Jos olet-

taan, että havaintomateriaali muodostaa edustavan näytteen jostakin suuremmasta kokonaisuudesta, voidaan, tehden eräitä oletuksia mm. satunnaisvirheestä, testata, voisiko sama näytteestä havaittu yhteys päteä myös populaatioissa, ja millä todennäköisyydellä tehdään virheellisiä päätelmiä. Esim. jos testattavana hypoteesina on

$$\begin{array}{l} H_0: b_3 = 0 \\ H_1: b_3 \neq 0 \end{array}$$

voidaan tehdä virheet

1. Hylätään H_0 , vaikka se on tosi (I lajin virhe)
2. Hyväksytään H_0 , vaikka se on väärä (II lajin virhe) (HOEL 1964)

Tilastollisessa tutkimuksessa otetaan huomioon yleensä vain I lajin virhe, joskaan se ei liene edullisin menettelytapa hypoteesien kehittämisessä (vrt. BRAITHWAITE 1959, s. 196–254). Tällöin käytetty strategia on nimittäin yleensä konservatiivinen, ts. vältetään hypoteesien kehittäminen, koska pannaan väärin hypoteesien välttämiseksi suuri paino (vrt. CHERNOFF ja MOSES 1959, s. 10). Uuden tiedon löytämisen kannalta konservatiivisuuden moraalilienee kyseenalaista.

Tässä tutkimuksessa aineisto edustaa vain itseään ja jotakin tuntematonta populaatiota, jonka ominaisuuksia on hahmoteltua kappaleessa 34 (s. 10). Ei liene mitään syytä aloittaa tai lopettaa vaurioiden syiden analyysiä silloin, kun jokin todennäköisyys ylittää tai alittaa jonkin luvun, esim. 0.05. Lieneekin tässä yhteydessä parasta tulkita testauksen olevan ainoastaan sovitulla tavalla tehtävää jonkinlaisten epävarmuuden indikaattoreiden konstruoinnista, etenkin kun tiededellytysten olemassaolo on epävarmaa (vrt. ESKOLA 1969, s. 110–119). Toisaalta, kuten residuaalitarkastelu osoittaa (s. 16), mikään ei viittaa siihen, etteivät testiedellytykset olisi voimassa ainakin virheiden satunnaisuuden, nollakeskiarvon ja samansuuruisen varianssin osalta, joten testauksen suorittaminen voidaan tulkita vapaamielisemminkin.

On kuitenkin syytä korostaa, ettei tässä yhteydessä kannata kovin automaattisesti esittää mitään tunnuslukuja pienestä aineistosta johtuen. Pienemmän neliösumman menetelmässä yksikin muista huomattavasti poikkeava havainto vaikuttaa kohtuuttoman paljon erilaisten tunnuslukujen suuruuteen.

Muodolliseen $p = 0.05$ rajan pyrittäessä valikoivassa regressioanalyysissä on päädytty yhtälöön (7). Seuraavaksi mukaan tulleen selittäjän t-arvo olisi ollut n. 1, joten lienee epätodennäköistä, että lisättävä selittäjä olisi sisältänyt mitään toissakkain aineistoissa käyttökelpoista informaatiota.

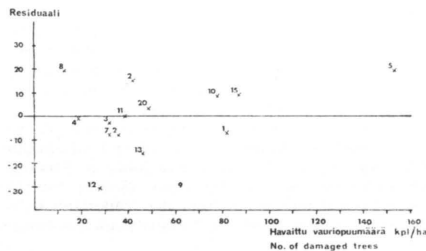
Kriteerivariaabelin sekä yhtälössä (7) olevien selittäjien interkorrelaatiot on esitetty seuraavassa korrelaatiomatriisissa.

		x_3	x_5	x_8	x_8
Palstatiemäärä	x_3	1.000			
Puuston kuutio	x_5	.004			
Hakkuumäärä	x_6	-.017	.530		
Maalajivalem.	x_8	.047	-.002	-.141	
Vauriopuumäärä	y_1	.525	.614	.516	.360

Yhtälön (7) selittäjien interkorrelaatiot ovat siinä määrin pieniä, että regressiokertoimia voidaan tarkastella myös yksinään multikollinearisuuden vahvasti häiritsemättä. Ainoa huomattava poikkeus on hakkuun jälkeisen puuston määrän ja hakatun puumäärän voimakas korrelaatio. Sen vaikutusta osoittaa mm. se, että hakkuumäärän ja kriteerivariaabelin välinen osittaiskorrelaatiokerroin, kun puuston määrän vaikutus on eliminoitu, on ainoastaan .285. Osittaiskorrelaatiokerrointa olisi voitu käyttää myöskin regressioanalyysin lähtökohdaksi, mutta tällaisena menettelyyn ei katsottu olevan aihetta aineiston pienuuden vuoksi.

Multikollinearisuuden vähäistä vaikutusta osoittaa myöskin se, että valikoivassa regressioanalyysissä regressiokertoimet muuttuvat varsin vähän selittäjiä malliin lisättäessä. Silloin kun riippumattomat muuttujat ovat täysin korreloimattomat, regressiokertoimien arvot eivät lainkaan muutu vaihteellisessa regressioanalyysissä.

Beta-kertoimet, jotka ilmaisevat kunkin selittäjän suhteellisen voimakkuuden, on esi-



Kuva 1. Residuaalitarkastelu havaitun vauriopuumäärän suhteen. Havaintopisteen numero tarkoittaa työmaan numeroa.

Figure 1. The residual analysis against the amount of injured trees. The number of the observation point is the number of the logging site. Residuaali = residual

tetty seuraavassa jaotelmassa yhtälöstä (7) laskettuina. Ne on saatu kertomalla regressiokertoimet selittäjän standardipoikkeaman ja kriteerivariaabelin standardipoikkeaman suhteella (EZEKIEL 1950, s. 217, SNEDECOR 1956, s. 416).

	Beta-kerroin
Palstatiemäärä	.51
Puuston kuutiomäärä hakkuun jälkeen	.42
Maalajivalem.	.39
Hakattu puumäärä	.35

Voidaan havaita, että mallissa (7) muuttujien suhteellinen tärkeys on sama kuin selittäjien tulojärjestys valikoivassa regressioanalyysissä. Tämä onkin odotettavissa pienestä multikollinearisuudesta johtuen.

Yhtälöstä (7) on myöskin suoritettu jännösvaihtelun tarkastelu testiedellytysten olemassaolon kontrolloimiseksi (DRAPER ja SMITH 1968, s. 86—95). Kuvassa 1 esitetyllä tavalla voidaan todeta kaikkien mallissa olevien tekijöiden suhteen

1. Virheiden riippumattomuus
2. Virheiden tasainen jakautuma (nollakeskiarvo)
3. Varianssin samansuuruisuus

Mikään virheiden jakaantumisesta ei myöskään viittaa siihen, etteivätkö residuaalit voi olla myöskin normaali-jakautuneita.

Käytetyn havaintoaineiston perusteella regressiomalli näyttää varsin onnistuneelta. Esitetyt perusaineistoon liittyvät tunnusluvut ovat varsin tyydyttäviä. Esimerkiksi yhtälön (7) F-arvo on 3.6 kertaa niin suuri kuin F-jakautuman vastaavia vapausasteita edustava ($p = 0.05$) arvo. Eräiden arvioiden mukaan (ks. DRAPER ja SMITH 1968, s. 64) hyvän ennustamiskyvyn omaavassa regressioyhtälössä F-suhteen tulisi olla yli neljä kertaa suurempi kuin valitun F-jakautuman vastaava arvo.

On kuitenkin syytä korostaa, että kaikki esitetyt kriteerit perustuvat siihen aineistoon, josta regressiomalli on rakennettu. Näin ollen erilaiset aineiston manipuloinnit voivat saada aikaan liian edullisen kuvan ennustamisen onnistumisesta (vrt. MÄKELÄ 1968, s. 36—39).

52. Vauriopuumäärää ennustavan mallin pätevyys toisessa aineistossa

Kuten aikaisemmin on viitattu, parhaita keinoja mallin pätevyuden tutkimisessa on soveltaa saatua ennusteyhtälöä toiseen, riippumattomaan aineistoon. Voidaan laskea esimerkiksi ennustettujen ja havaittujen määrin korrelaatiokerroin (VÄLIAHO 1963, s. 84). Joskin ennustetun ja havaitun suhde on alttiina satunnaisvaihtelulle, voitaneen jo yhdenkin rinnakkaisaineiston avulla tehdä luotettavampia johtopäätöksiä kuin pelkästään mallin pohjana ollut havaintomateriaalia analysoimalla.

Tämän tutkimuksen kontrolliaineiston muodostavat vanhat työmaat, kuten aikaisemmin on todettu. Materiaalin keräysmenetelmästä johtuen sekä uudet että vanhat työmaat edustanevat samalla tavalla jotakin tuntematonta populaatiota. Tästä seuraa, että yleistämisen osalta pätevät samat rajoitukset sekä uusilla että vanhoilla työmailla.

Vanhoille työmailla on laskettu vauriopuumääräennusteet yhtälöiden (4) — (7) mukaan. Kuvissa 2—5 on esitetty havaittujen ja ennustettujen määrien suhteet teoreettisine ja havaittuine riippuvuuksineen. Seuraavassa jaotelmassa on esitetty eri ennusteiden ja havaintojen väliset korrelaatiot.

	Ennusteyhtälö			
	(4)	(5)	(6)	(7)
Korrelaatiokerroin	.980	.954	.974	.841

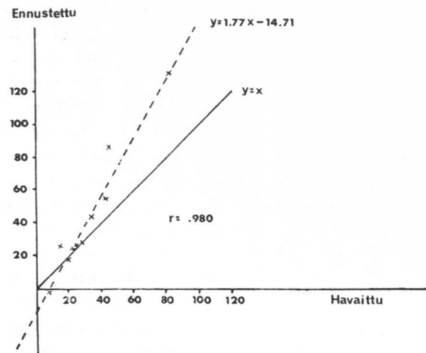
Korrelaatiokertoimen mukaan arvostellen näyttää ilmeiseltä, etteivät ennusteyhtälöt oleellisesti poikkea toisistaan lukuunottamatta yhtälöä (7), jonka ennustamiskyky on muita huonompi. Yhtälö (7) poikkeaa yhtälöstä (6) hakkuumäärämuuttujan osalta. Sen lisäksi myös muiden selittäjien regressiokertoimet ovat muuttuneet multikollinearisuudesta johtuen. Työmaalla 49 hakatun puumäärän suuruus on peräti 216 k-m³/ha, kun taas muilla vanhoilla työmailla se vaihtelee rajoissa 22—92 k-m³. Uusien työmaiden hakkuumäärät taas ovat 15—141 k-m³/ha. Jos työmaa 49 poistetaan aineistosta sen ilmeisen poikkeuksellisuuden vuoksi (EZEKIEL 1950, s. 347—349), saadaan yhtälön (7) mu-

kaan ennustettujen ja havaittujen vauriopuumäärien korrelaatioksi .972. Tällöin voitaneen todeta, etteivät ennusteyhtälöt (4)—(7) poikkea ennustamiskyvyltään toisistaan korrelaatiokertoimen mukaan arvostellen.

Syynä siihen, miksi palstatiemäärä yksinään selittää kontrolliaineiston varianssista yhtä paljon kuin kaikki selittävät tekijät yhdessä, lienee osittain selittäjämuuttujien piehenköt vaihteluvälit uusien työmaiden aineistoon verrattuna. Esimerkiksi uusien työmaiden toiseksi paras selittäjä, hakkuun jälkeinen puuston kuutiomäärä, vaihtelee uusilla työmailla rajoissa 58—267 k-m³/ha, kun taas vanhoilla työmailla vaihteluväli on 80—200 k-m³/ha. Näin ollen regressiokertoimien vaikutukset kontrolliaineistossa ovat pienet alkuperäiseen aineistoon verrattuna, ja ainoastaan vähäisiä muutoksia työmaiden välisissä suhteissa tapahtuu selittäjä määrän lisääntyessä.

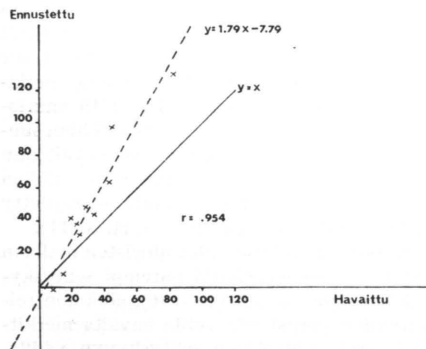
Kuvista 2—5 voidaan havaita ennustamisen systemaattista virheellisuyttä, joka ei vaikuta korrelaatiokertoimen suuruuteen. Suuret vauriopuumäärät on ennustettu liian suuriksi, mahdollisesti myös pienet määrät liian pieniksi. Systemaattinen virhe ei ole kuitenkaan tässä yhteydessä kovin merkityksellistä, jos voidaan olettaa, että vauriopuumäärät on arvioitu systemaattisesti liian suureksi siten, että virhe on suhteessa havaittuun vauriopuumäärään. Selityksenä voi tällöin olla se, ettei vanhoilta työmailla ole löydetty kaikkia sattuneita vaurioita (vrt. s. 11).

Koska uusien työmaiden aineiston mukaan yhtälö (7) on oleellisesti parempi selityskyvyltään kuin yhtälöt (4) — (6), eikä kontrolliaineiston perusteella voida havaita merkittäviä eroja yhtälöiden selityskyvyn välillä, lienee tarkoituksenmukaisinta ottaa valikoivalla regressioanalyysillä saatu ennusteyhtälö (7) lähemmään tarkastelun kohteeksi. Vanhojen työmaiden aineistossa ilmennyt systemaattinen virheellisyys ei haittaa tulosten tulkintaa, koska se johtuu lähinnä regressiokertoimien suuruudesta, ei niinkään periaatteellisesti väärin arvostelluista muuttujien välisistä suhteista.



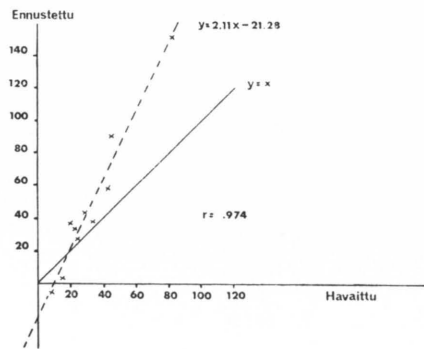
Kuva 2. Ennustettujen ja havaittujen vauriopuumäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_1 = -31.49 + 0.19x_3$.

Figure 2. The correlation between the predicted and observed amounts of injured trees on 10 old logging sites. Predictive equation $y_1 = -31.49 + 0.19x_3$. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed



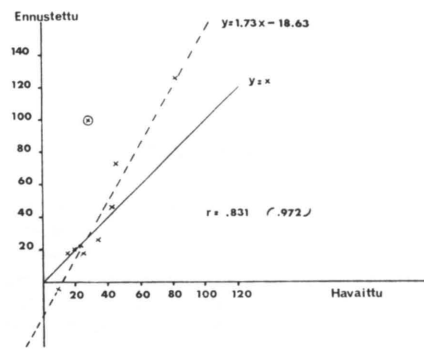
Kuva 3. Ennustettujen ja havaittujen vauriopuumäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_1 = -76.94 + 0.19x_3 + 0.35x_5$.

Figure 3. The correlation between the predicted and observed amounts of injured trees on 10 old logging sites. Predictive equation $y_1 = -76.94 + 0.19x_3 + 0.35x_5$. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed



Kuva 4. Ennustettujen ja havaittujen vauriopuumäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_1 = -80.69 + 0.18x_3 + 0.35x_5 + 29.14x_8$.

Figure 4. The correlation between the predicted and observed amounts of injured trees on 10 old logging sites. Predictive equation $y_1 = -80.69 + 0.18x_3 + 0.35x_5 + 29.14x_8$. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed



Kuva 5. Ennustettujen ja havaittujen vauriopuumäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Hakkumäärältään poikkeuksellinen työmaa on ympyröity. Ennusteyhtälö $y = -91.57 + 0.19x_3 + 0.42x_6 + 33.39x_8$.

Figure 5. The correlation between the predicted and observed amounts of injured trees on 10 old logging sites. The logging site exceptional in its logging quantity is circled. Predictive equation $y = -91.57 + 0.19x_3 + 0.42x_6 + 33.39x_8$. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed

53. Vauriopuumäärää ennustavan mallin tulkinta

Perusmuodossaan regressioanalyysi voi mahdollistaa ennustamisen, ei niinkään selittämistä. Periaatteessa on mahdollista löytää pätevä ennustamismalli, jolla kuitenkin ei ole mitään tekemistä kausaalisen selittämisen ja vaurioitumisilmion ymmärtämisen kanssa. Asetetun tavoitteen mukaisesti pelkkä sokea ennustaminen ei riitä, vaan pyrkimyksenä on myös ymmärtää havaittujen yhteyksien pohjana olevaa taustaa.

Regressioanalyysiä käytettäessä mallin tulokinnan vaikeus johtuu suurelta osalta selittäjien keskinäisestä korreloimisesta. Tässä tutkimuksessa multikollinearisuus on kuitenkin varsin vähäistä. Sen puuttumisesta huolimatta jonkin tekijän regressiokerrointa ei voi ilman muuta tulkita siten, että se ilmaisi ko. tekijän vaikutuksen kriteerivariaabeliin muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina. Tämä johtuu siitä, että havaittu muutos voi olla yhdistynyt vaihteluun sellaisissa tekijöissä, joita ei ole tarkkailtu tutkimuksessa (vrt. TORVELA 1966, s. 95—96). Näin ollen muuttujavalinta merkitsee huomattavan paljon havaittujen yhteyksien selkeän ymmärtämisen kannalta.

Edelleen on syytä tehdä ero regressioanalyysissä käytettyjen muuttujien ja »selittävien» muuttujien välillä. Matemaattinen malli rajoittaa usein mittausteknisistä syistä muuttujien valintaa siten, että regressioanalyysin riippumattomia muuttujia on pidettävä pikemminkin jonkin vaikuttavan tekijän indikaattoreina eikä vaikuttavina tekijöinä. Selkeän ymmärtämisen kannalta lähes ainoa keino on useinkin kääntää matemaattinen malli verbaalisen mallin epätasemmalle, mutta yleisemmälle kielelle.

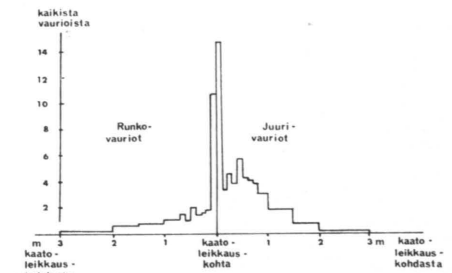
Seuraavassa tulkinnassa huomiota ei ole kiinnitetty regressiokerroimien absoluuttisiin arvoihin, koska havaintoaineisto on kovin pieni. Johtopäätöksiä tehdään ainoastaan havaittujen vaikutusten suunnista ja niiden keskinäisestä merkityksestä, koska ne lienevät parhaiten yleistettävissä laajoja kokonaisuuksia koskeviksi hypoteeseiksi vaurioitumisprosessista.

Harvennushakkuutyömaalla vaurioituvien puiden määrä riippuu suunnilleen samanlaista korjuumenetelmää käytettäessä ensi kädessä siitä, kuinka monella puulla on mahdollisuus vaurioitua. Tässä tapauksessa vä-

littömään kosketukseen puutavaran maastokuljetuksen kanssa ovat joutuneet palstatien varrella olevat puut, joiden määrä pinta-alayksikköä kohti riippuu palstatietihyeydestä ja puuston runkoluvusta. Palstatiemäärä onkin saatu mallia konstruoidessa parhaaksi selittäväksi tekijäksi, joka kontrolliaineistossa yksinään pystyy ennustamaan yhtä hyvin kuin kaikki selittävät tekijät yhdessä.

Runkoluvun vaikutus tulee ilmi epäsuorasti toiseksi parhaassa selittäjässä, puuston kuutiomäärässä. Se lienee runkolukua parempi selittäjä mahdollisesti siksi, että puuston kuutiomäärä heijastaa myös muita vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Toisena ryhmänä vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä voidaan tarkastella niitä, jotka vaikuttavat vaurioitumisen todennäköisyyteen vaurioitumismahdollisuuden ollessa olemassa. Erilaisen puuston vaurioitumisalttius ilmenee puuston kuutiomäärän vaikutuksena. Mitä vanhempaa puusto on, sitä suurempi on yleensä kuutiomäärä pinta-alayksikköä kohti harvennushakkuista huolimatta. Toisaalta etenkin kuusipuuston vaurioitumisalttius suurenee puuston vanhetessa, koska maan pintaosissa olevan juuriston määrä lisääntyy (KALELA 1949). Näin ollen puuston kuutiomäärä voi heijastaa erilaisen puuston vaurioitumisalttuitta. Hypoteesin oikeutusta tukee se, että inventoiduilla työ-



Kuva 6. Vaurioiden sijainti puussa alkamiskohdan mukaan.

Figure 6. Location of injuries on the tree according to the starting position.

Kaikeista vaurioista = of all scars
Runkovauriot = scars on the stem
Juurivauriot = scars on the roots
Kaatoleikkauskohhta = cutting point
Kaatoleikkauskohdasta = from the cutting point

mailla yleisin vaurioitumiskohta on ollut nimenomaan kanto ja juurenniskat (kuva 6).

Vaurioitumisen todennäköisyys lisääntyy myöskin maaperän kantavuuden huonontuessa. Tämä tulee regressioanalyysissä esille maalajimuuttujan vaikutuksena. Vaurioitumisalttius lisääntyy myöskin ajokertojen määrän kasvaessa, koska satunnainen runkojen kolhiminen riippuu mahdollisten törmäysten määrästä. Sekä maalajin että ajokertojen määrän vaikutusta kuvannee regressioanalyysissä havaittu mahdollinen riippuvuus hakkuumäärästä.

Havaintojen kanssa ristiriidassa ei ole

myöskään oletamus, että vaurioitumistodennäköisyys riippuu edellisten lisäksi puunkorjuumenetelmästä ja siihen liittyvistä muuttuvista tekijöistä. Tässä tutkimuksessa ei voitu kuitenkaan havaita mitään selviä yhteyksiä kaiken muun vaihtelun joukosta, joten käytännössä vaikutukset lienevät vähäisiä tehtäessä puutavaraa palstatien varteen. Tämän tutkimuksen perusteella näyttää lähinnä siltä, että puusto- ja maalajitunnukset antavat varsin hyvän kuvan odotettavissa olevasta vaurioitumisesta. Menetelmissä, joissa ei käytetä palstateita, vaurioitumisprosessi voi olla aivan toisenlainen.

6. JUURIVAURIOIDEN MÄÄRÄN SELITTÄMINEN

6.1. Ennustemallin konstruointi

Kuten aikaisemmin on todettu, vaurioitumisen indikaattoreina on käytetty vaurioiden määrän lisäksi juuri- ja runkovaurioiden määrää. Juurivaurioiksi on luettu kaikki juurien katkeamiset ja sellaiset kuoren irtoamiset puusta, jotka ovat sattuneet olete-

tun kaatoleikkauskohdan alapuolella (s. 11).

Kun kriteerivariaabelina käytetään juurivaurioiden määrää hehtaaria kohti, etenee valikoiva regressioanalyysi seuraavasti aikaisemmin selostetulla tavalla meneteltäessä (s. 14).

		R ²	F
(8)	$y_2 = -18.20 + 0.58x_5$ (0.17)	.491	11.56
(9)	$y_2 = -30.35 + 0.58x_5 + 56.24x_8$ (0.14) (21.06)	.691	12.30
(10)	$y_2 = -115.50 + 0.58x_5 + 54.06x_8 + 0.20x_3$ (0.11) (16.59) (0.07)	.826	15.83
(11)	$y_2 = -99.80 + 0.62x_5 + 41.73x_8 + 0.18x_3 - 34.53x_{10}$ (0.06) (13.75) (0.06) (12.75)	.904	21.24
(12)	$y_2 = -106.26 + 0.52x_5 + 42.37x_8 + 0.17x_3 - 45.04x_{10} + 0.43x_6$ (0.08) (11.45) (0.05) (11.60) (0.19)	.941	25.53
(13)	$y_2 = -95.00 + 0.50x_5 + 28.21x_8 + 0.19x_3 - 58.20x_{10} + 0.42x_6 - 25.08x_7$ (0.07) (10.61) (0.04) (10.50) (0.15) (10.13)	.969	35.95

Yhtälöissä (8) — (13) esiintyvät muuttujat ovat

- y_2 = juurivaurioiden määrä kpl/ha
- x_5 = puuston kuutiomäärä hakkuun jälkeen $k\text{-m}^3/\text{ha}$
- x_8 = maalajivalemuuttuja
= 1, jos turvemaa
= 0, jos muu maalaji
- x_3 = palstatiemäärä m/ha
- x_{10} = maalajivalemuuttuja
= 1, jos hietamoreeni
= 0, jos muu maalaji
- x_6 = hakattu puumäärä $k\text{-m}^3/\text{ha}$
- x_7 = maalajivalemuuttuja
= 1, jos savimaa tai savimoreeni
= 0, jos muu maalaji

Valikoiva regressioanalyysi on lopetettu yhtälöön (13), koska viimeksi mukaan tullut selittäjä on jo ilmeisen harhainen, ja koska teoreettisesti merkitseviä selittäjiä ei saatu malliin analyysiiä jatktaessa.

Liitetaulukossa 3 (s. 35) on esitetty muuttujien väliset korrelaatiot. Valemuuttujat ovat luonnollisesti korreloituneet varsin vahvasti negatiivisesti, joskaan ehdottomasta teknisestä riippuvuudesta ei ole kysymys. Joka tapauksessa multikollinearisuus häi-

ritsee tulosten tulkintaa huomattavasti enemmän kuin vauriopuumääräanalyysin osalta. Tämä näkyy myöskin regressiokerrointen voimakkaasta muuttumisesta lisättäessä uusia selittäjiä malliin valikoivassa regressioanalyysissä (yhtälöt (8) — (13)).

Eri ennusteyhtälöistä lasketut beta-kertoimet on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

Yhtälö	muuttuja					
	x_5	x_8	x_3	x_{10}	x_6	x_7
(8)	.70					
(9)	.70	.45				
(10)	.70	.43	.37			
(11)	.75	.33	.33	-.30		
(12)	.63	.34	.32	-.39	.25	
(13)	.60	.22	.35	-.51	.25	-.22

Puuston kuutiomäärän ja palstatiemäärän merkitys näyttää säilyvän selittäjiä lisättäessä, minkä voi päätellä myös pienistä interkorrelaatioista. Sen sijaan valemuuttujien keskinäinen riippuvuus aiheuttaa sen, että valemuuttuja x_8 :n suhteellinen tärkeys vähenee ja x_{10} :n merkitys kasvaa selittävien muuttujien määrän kasvaessa.

Jäännösvaihtelun tarkastelu on suoritettu valikoivan regressioanalyysin eri vaiheissa

aikaisemmin selostetulla tavalla (s. 16). Viimeisimmässä malleissa virheiden jakautuma on tyydyttävä osoittaen lineaarisen mallin käyttökelpoisuutta sekä sen, ettei aineistossa mikään viittaa tiededellytysten puuttumiseen virhevarianssin osalta.

Kuten aikaisemmin on mainittu, käytetty regressioanalyysitekniikka on mahdollista-

$$(14) \quad y_2 = -133.93 + 0.57x_5 + 46.92x_8 + 0.18x_3 + 0.09x_{18}$$

(0.09) (14.09) (0.06) (0.04)

jossa

y_2 = juurivaurioiden määrä kpl/ha
 x_5 = puuston kuutiomäärä hakkuun jälkeen $k-m^3/ha$
 x_3 = palstatiemäärä m/ha
 x_{18} = yhdistetty muuttuja, joka indikoi käytetyn puutavaraa kuljettaneen koneen tilantarvetta ja kuljetuskapasiteettia

Yhtälössä (14) lasketut beta-kertoimet ovat

puuston kuutiomäärä	.68
maalajivalemuuttuja x_8	.37
palstatiemäärä	.35
yhdistetty muuttuja	.27

Yhdistetty muuttuja x_{18} , jota on käytetty myöskin vauriopuumaäärän regressioanalyysissä potentiaalisena selittäjänä, on konstruoitu muuttujista »kuljetuskoneen pituus» ja »kuljetuskoneen leveys». Syynä yhdistetyn muuttujan käyttöön on se, että pienessä havaintoaineistossa vapausasteiden määrä pyrkii tulemaan liian vähäiseksi. Eräänlainen yksikköinformaation luotettavuus on katsottu kuitenkin suureksi, koska kriteerivariaabelin arvoa ovat jo »tasoittaneet» työmaan sisällä olevat vaurioitumisen vaihtelut. Näin ollen kannattaneekin pyrkiä informaation täyteen käyttöön.

62. Juurivauriomäärää ennustavan mallin pätevyys toisessa aineistossa

Yhtälöistä (8) — (13) on laskettu juurivauriomäärien ennustearvot vanhoille työmaalle, joista yhtälöiden (8) — (11) mukaan lasketut on esitetty kuvissa 7—10. Kuvassa 11 on esitetty ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien välisen korrelaatiokertoimen muuttuminen ennusteyhtälöstä (8) yhtälöön (13).

Korrelaatiokertoimen mukaan arvostellen

nut monipuolisen mallinrakentamisen rinnakkaisyhtälöiden tarkasteluineen. Kun kriteerivariaabelina on juurivaurioiden määrä hehtaaria kohti, saadaan neljän selittäjän tapauksessa yhteiskorrelaatiokertoimen mukaan arvostellen toiseksi parhaaksi ennusteyhtälöksi yhtälöä (11) vastaava yhtälö (14). Suluissa on esitetty standardipoikkeamat.

$$R^2 = .892$$

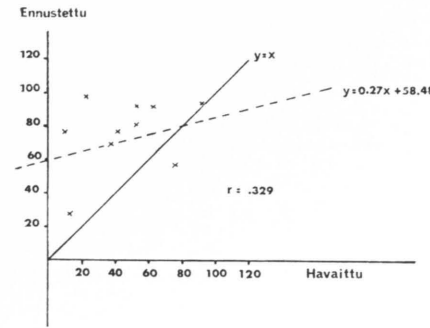
$$F = 18.64$$

Yksittäisten konemuuttujien osalta on havaittavissa selityskyvyn heikkoutta, jota on pyritty yhdistämällä parantamaan. On nimittäin syytä olettaa, ettei heikkous ole johtunut koneen ominaisuuksien ja vaurioitumisen riippumattomuudesta, vaan siitä, että on vaikea löytää yhtä koneen vaurioittavaa ominaisuutta kuvaavaa muuttujaa. Käytettyä menettelyä parempi vaihtoehto olisi mahdollisesti ollut juurivaurioiden selittämisen kannalta jokin pintapainetta kuvaava muuttuja, mutta sellaisen mittaamiseen tutkimuksessa ei ollut mahdollisuuksia.

Yhdistettyä muuttujaa konstruoidessa on pidetty parhaana yksinkertaisinta mahdollista menettelyä, jossa yhdistetyn muuttujan kulloinenkin arvo on saatu laskemalla yhteen standardisoitujen alkuperäisten muuttujien arvot (HOLZINGER ja HARMAN 1951, s. 34—37). Menettelytapa ei liene optimaalinen, mutta alkuperäisten muuttujien pienestä korreloimisesta johtuen tulos kriteerivariaabelin suhteen on tyydyttävä.

Valikoivaa regressioanalyysiä jatkettaessa yhtälöstä (14) on havaittu, ettei mahdollisesti merkitseviä lisäselittäjiä saada malliin.

parhain selitysmalli kontrolliaineistossa on yhtälö (10). Yhtälö (11) on kuitenkin uusien työmaiden mukaan oleellisesti edellistä parempi. Kun kontrolliaineistossa korrelaatiokertoimien erot ovat pieniä ja ennustearvot mielekkäämpiä yhtälön (11) mukaan laskien (kuvat 9—10), lienee mahdollista pitää myös mallia (11) tyydyttävän pätevänä. Ratkaisun vaikuttaa myöskin se, että valikoivassa



Kuva 7. Ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_2 = -18.20 + 0.58x_5$.

Figure 7. The correlation between the predicted and observed amounts of root injuries on 10 old logging sites. Predictive equation $y_2 = -18.20 + 0.58x_5$. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed

regressioanalyysissä yhtälön (10) jälkeen lisätylle maalajivalemuuttujalle x_{10} ei ole ollut käyttöä kontrolliaineistossa, koska sen saamat arvot ovat olleet 0 kaikilla työmailla. Näin ollen yhtälöiden (10) ja (11) mukaan lasketut ennustearvot poikkeavat toisistaan kontrolliaineistossa ainoastaan multikollinearisuudesta aiheutuvan kerroinmuutoksen takia, jota ei voida pitää pätevänä syynä maalajivalemuuttujan x_{10} hylkäämiselle.

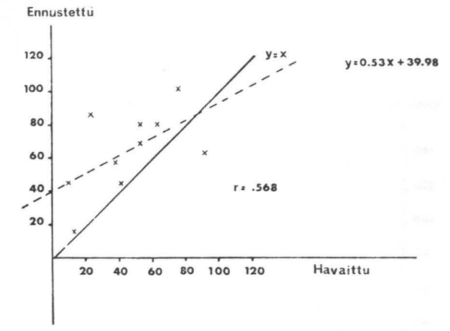
Sen sijaan yhtälöt (12) ja (13) näyttävät olevan kontrolliaineiston mukaan jo heikompi ennustamisessa. Vaikka vanhojen työmaiden aineistosta poistettaisiinkin hakatun puumäärän suhteen poikkeuksellinen työmaa 49, pienenee ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien korrelaatiokerroin lisättäessä selittäjiä regressioyhtälöön (11).

Siirryttäessä yhtälöstä (11) yhtälöön (12) lisätään selittäjä »hakattu puumäärä». Voidaan ajatella, että korrelaatiokertoimella mitattu ennustamiskyvyn heikkeneminen johtuu alkuperäisessä aineistossa vallitsevasta multikollinearisuudesta, joka aiheuttaa regressiokertoimien muuttumisen aikaisemmin malliin lisättyjen tekijöiden osalta. Tällöin

$$(15) \quad y_2 = -z + 0.62x_5 + 41.73x_8 + 0.18x_3 - 34.53x_{10} + b_6x_6$$

jossa z on vakiotermin ja b_6 on tuntematon hakatun puumäärän regressiokerroin.

Kun muuttujan x_6 arvot ovat kullakin työ-



Kuva 8. Ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_2 = -30.35 + 0.58x_5 + 56.24x_8$.

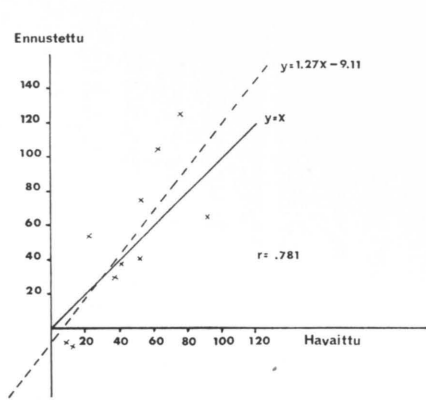
Figure 8. The correlation between the predicted and observed amounts of root injuries on 10 old logging sites. Predictive equation $y_2 = -30.35 + 0.58x_5 + 56.24x_8$. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed

mallin ennustamiskyky voi huonontua, vaikka todellisuudessa hakatulla puumäärällä olisikin positiivinen osittaiskorrelaatio juurivauriomäärän kanssa.

Hakatun puumäärän vaikutuksen selvittämiseksi on laskettu aluksi yhtälöllä (11) juurivauriomäärien ennustearvot vanhoille työmaalle. Työmaata 49 ei kuitenkaan otettu mukaan poikkeuksellisen hakkuumäärän vuoksi. Ennustettujen ja havaittujen määrien välistä korrelaatiokerrointa on pidetty tässä yhteydessä riittävänä ennustamiskyvyn mittana huolimatta siitä, ettei se ota huomioon ennusteen mielekkyyttä ja systemaattista virhettä.

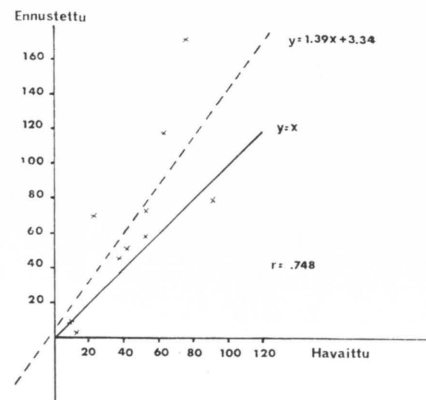
Silloin kun selittäjillä ei ole multikollinearisuutta, aikaisemmin malliin lisättyjen tekijöiden regressiokertoimet pysyvät muuttumattomina. Ainoastaan vakiotermin arvo mallissa vaihtuu selittäjiä lisättäessä, mutta se ei vaikuta korrelaatiokertoimen suuruuteen. Jos oletetaan, että yhtälö (11) on pätevä, voidaan hakatun puumäärän vaikutus ottaa huomioon laskemalla uudet ennustearvot yhtälöstä (15), joka on vakiotermin ja lisättyä termiä x_6 lukuunottamatta samanlainen kuin yhtälö (11).

maalla tunnettuja, voidaan laskennallisesti osoittaa, että regressiokertoimen ollessa positiivinen yhtälön (15) tuottamat juurivaurio-



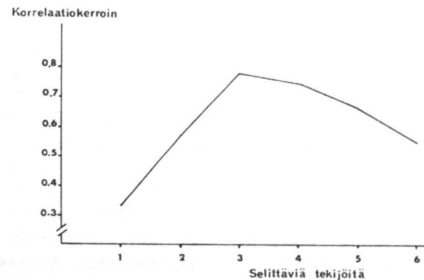
Kuva 9. Ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_2 = -115.50 + 0.58x_5 + 54.06x_8 + 0.20x_3$.

Figure 9. The correlation between the predicted and observed amounts of root injuries on 10 old logging sites. Predictive equation $y_2 = -115.50 + 0.58x_5 + 54.06x_8 + 0.20x_3$ Ennustettu = predicted, Havaittu = observed



Kuva 10. Ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien suhteet 10 vanhalla työmaalla. Ennusteyhtälö $y_2 = -99.80 + 0.65x_5 + 41.73x_8 + 0.18x_3 - 34.53x_{10}$.

Figure 10. The correlation between the predicted and observed amounts of root injuries on 10 old logging sites. Predictive equation $y_2 = -99.80 + 0.65x_5 + 41.73x_8 + 0.18x_3 - 34.53x_{10}$ Ennustettu = predicted, Havaittu = observed



Kuva 11. Ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien korrelaation riippuvuus selittäjien lukumäärästä regressioyhtälössä.

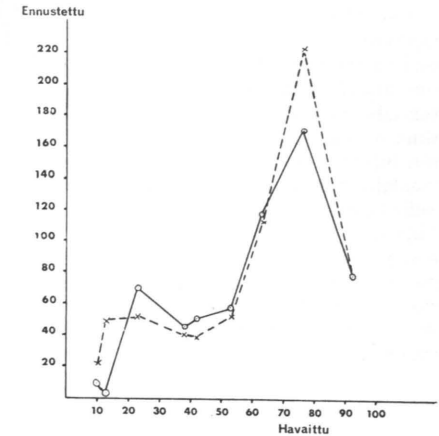
Figure 11. The dependence of correlation coefficient of the predicted and observed amounts of root injuries on the number of independent variables in the regression equation. Korrelaatiokerroin = correlation coefficient, Selittäviä tekijöitä = no. of independent variables

määrien ennustearvot korreloivat huomomin havaittujen määrien kanssa kuin yhtälön (11) tuottamat ennustearvot.

Kuvassa 12 on sama asia esitetty graafisesti. Ehyt murtoviiva yhdistää yhdeksän vanhan työmaan juurivauriomäärien ennustearvot, jotka on laskettu yhtälöstä (11). Jos ennustettujen ja havaittujen määrien korrelaatio olisi täydellinen, pisteet olisivat samalla regressiosuoralla. Hakatun puumäärän huomioon ottaminen merkitsee sitä, että kunkin ennusteeseen lisätään jollakin vakiolla kerrottu ko. työmaalla hakattu puumäärä ja vähennetään kaikkien työmaiden arvoista jokin vakio.

Kuten kuvassa 12 esitetystä uusista ennusteista yhdistävästä katkoviivasta voidaan todeta, huonontaa jokainen lisäys, so. regressiokertoimen positiivinen arvo, murtoviivan muotoa siten, että ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien korrelaatio pienee. Tältä pohjalta lähtien lienee ymmärrettävissä, miksi yhtälöiden (12) ja (13) tuottamat ennusteet ovat huonompia kuin yhtälöillä (10) ja (11) saadut.

Kontrolliaineiston perusteella lienee taroituksenmukaisinta pitää mallia (11) parhaana ennustamisen osuvuuden kannalta. Vaikka sen antamat ennusteet näyttävät olevan vanhojen työmaiden aineistossa systemaattisesti liian suuria (kuva 10), ei liene aiheellista ryhtyä kerroinmuutoksiin mahdollisen aikaisemmin mainitun vaurioiden aliarvioimisen takia (s. 11). Myös uusien työmaiden aineiston perusteella malli (11) tuntuu



Kuva 12. Havaittujen ja kahdella tavalla ennustettujen juurivauriomäärien suhteet 9 vanhalla työmaalla.

Figure 12. The correlations between the observed and in 2 different ways predicted amounts of root injuries on 9 old logging sites. Ennustettu = predicted, Havaittu = observed

tyydyttävältä, ja yhtälöiden (12) ja (13) näennäinen paremmuus lienee vähemmän invarianttia.

Koska vanhoilta työmailta ei ole käytävissä riittäviä koneita koskevia tietoja, ennusteyhtälön (14) pätevyyttä ei valitettavasti voitu mitenkään kontrolloida.

63. Juurivauriomäärää ennustavan mallin tulkinta

Luotettavimman pohjan ennustemallin kausaalille tulkinnalle antaa yhtälö (11), jonka kanssa on sopuosinnussa sekä uusilta että vanhoilta työmailta saatu informaatio. Mitään selityshypoteesiä aineiston perusteella ei voi todentaa, mutta jos se, että havainnot eivät ole ristiriidassa teorian kanssa, vahvistaa hypoteesien oikeutusta.

Kuten vauriopuumäärää selitettäessä, voidaan myös tässä yhteydessä olettaa vaurioitumisen toisaalta riippuvan vaurioitumismahdollisuudesta ja toisaalta niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat vaurioitumisen todennäköisyyteen e.m. mahdollisuuden ollessa olemassa. Kun korjuumenetelmänä on

puutavaran teko palstatien varteen, vaurioitumismahdollisuuksia kuvaa palstatietiheys ja maan pintaosissa olevan juuriston määrä. Yhtälössä (11) parhaaksi selittäjäksi saatu puuston kuutiomäärä kuvannee vaurioitumiselle alttiin juuriston osuutta. Kun puuston kuutiomäärä pinta-alayksikköä kohti on pieni, puusto on yleensä nuorta ja sen juuristo pientä ja vähäisessä määrin maan pinnalla. Kun puusto vanhenee, kasvaa yleensä kuutiomäärä harvennuksista huolimatta, ja maan pinnalla olevan juuriston määrä lisääntyy (vrt. s. 19).

Yhtälössä (11) saadaan myös palstatie-määrä ennustavaksi muuttujaksi.

Juurivaurioiden todennäköisyyteen vaikuttanee toisaalta maan lujuus, josta riippuu vaurioitumiselle alttiiksi tulevan juuriston määrä pinnalla olevien juurien lisäksi, toisaalta se raskaus, jonka kohteeksi maa ja siinä olevat puiden juuret joutuvat. Maaperän lujuus riippuu monista tekijöistä, joista maalajin vaikutus tulee regressioanalyysissä esille kahtena valemuuttujana yhtälössä (11). Lujuuteen vaikuttaa myös esim. maaperän kivisyys ja säästä riippuva kosteus, mutta niiden vaikutusta ei ole voitu havaita empiirisessä ennusteyhtälössä. Mahdollisesti niiden merkitys on vähäinen muiden tekijöiden rinnalla.

Puun korjuutoiminnasta johtuvaa maahan kohdistuvaa raskautta kuvannee ennusteyhtälössä (14) yhdistetty konemuuttuja x_{18} , joka voidaan tulkita joko tilantarvetta tai kuljetuskapasiteettia indikoivaksi muuttujaksi. Havainnot eivät ole ristiriidassa kummankaan tulkinnan kanssa. Tilantarvekäsitystä tukee mm. havaittu juurivaurioiden sijainti lähellä runkoa (kuva 6, s. 19), koneen järeyden merkitystä taas se, että maalajin vaikutus tulee varsin selvästi ilmi maalajivalemuuttujissa. — Kontrolliaineiston puutteellisuudesta johtuen lienee kuitenkin syytä pitää hypoteesiä koneen vaikutuksesta varsin epävarmana.

7. RUNKOVAURIOIDEN MÄÄRÄN SELITTÄMINEN

Kun kriteerivariaabelina käytetään runkovaurioiden määrää hehtaaria kohti, ei valikoivalla regressioanalyysillä saada pätevää ennusteyhtälöä. Ainoaksi muodollisesti merkitseväksi ($p = 0.05$) selittäjäksi tulee uusien työmaiden aineistosta hakattu puumäärä. Jatkettaessa valikoivaa regressioanalyysiä saadaan seuraaviksi selittäjiksi puuston kuutiomäärä, palstatiemäärä sekä eräs maalajivalemuuttuja.

Kokeiltaessa kaikesta huolimatta erilaisia ennusteyhtälöitä vanhojen työmaiden aineistoon ei voida havaita käytännöllisesti katsottuna minkäänlaista osuvuutta. Esimerkiksi kun ennusteyhtälössä riippumattomina muuttujina ovat mainitut hakkuumäärä, puuston kuutiomäärä, palstatiemäärä ja maalajivalemuuttuja, on ennustettujen ja havaittujen runkovaurioiden korrelaatioksi saatu .164.

Syynä huonoon osuvuuteen kontrolliaineistossa on ennen muuta se, että runkovauriomäärien vaihteluväli on vanhoilla työ-

mailla hyvin pieni uusien työmaiden aineistoon verrattuna (Liitetaulukot 1 ja 2, s. 34, 34). Mahdollisesti uusien työmaiden suuremman vaihtelun runkovaurioissa aiheuttavat tekijät, joita tutkimuksessa ei ole tarkkailtu. Muuttujapatteriston puutteellisuuteen viittaa myös se, ettei edes alkuperäisessä aineistossa ole voitu rakentaa tehokasta selitysmallia. Tärkeitä puuttuvia selittäjiä ovat mahdollisesti kapeiden kohtien määrä palstateilla, niiden keskimääräinen leveys jne.

Toisaalta voidaan perustellusti olettaa myöskin niin, että käytettäessä riittävän leveitä palstateita runkojen kolhminen on siinä määrin satunnainen ilmiö, ettei sen selittämiseen ole kovin suuria mahdollisuuksia. Jos näin olisi asian laita, runkovaurioiden määrä riippuisi ilmeisesti pääasiassa ajokertojen määrästä. Mahdollisesti uusien työmaiden aineistossa havaittu hakkuumäärän ja runkovaurioiden määrän korrelaatio viittaa juuri tähän.

8. YHDISTELMÄ

Tutkimuksia puun korjuussa syntyvien vaurioiden seurauksivaikutuksista on julkaistu varsin runsaasti, ja ne tähdentävät yhtäpitävästi vaurioitumisen huomattavaa merkitystä käytännön metsätaloudessa. Sen sijaan vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä tunnetaan varsin puutteellisesti.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on laatia matemaattinen vaurioitumisen ennustemalli ja kokeilla sen käyttökelpoisuutta ennustamisessa. Empiirisen aineiston muodostaa 24 harvennushakkuutyömaata, jotka sijaitsevat pääasiassa metsäteollisuusyhtiöiden omistamissa metsissä. Kaikilla työmailla puutavara on tehty palstatien varteen. Puutavaran maastokuljetuksen ovat suorittaneet kuormaa kantavat metsätraktorit tai maatalustraktori-perävaunu-yhdistelmät.

Ennustemalli, jota käytetään myös kausaalisen selityksen pohjana, on laadittu mul-

tiregressioanalyysin avulla. Varsinaisten monimuuttujamenetelmien käyttöön ei katsottu olevan aihetta selittäjien vähäisen korreloitumisen vuoksi.

Multiregressioanalyysissä on sovellettu valikoivan regressioanalyysin tekniikkaa. Kun 14 työmaan aineistosta laadittuja ennustemalleja on kokeiltu riippumattomaan 10 työmaan aineistoon, voidaan havaita vain parhaiden kriteerivariaabelia selittävien muuttujien olevan oleellisia ennustamisen osuvuuden kannalta. Viimeisinä malliin lisättyjen muodollisesti merkitsevien muuttujien selityksen merkitys ei ole ollut invarianttia havaintoaineiston muuttuessa.

Parhaaksi vauriopuiden määrää ennustavaksi yhtälöksi saadaan eräiden Etelä-Suomessa sijaitsevien metsäteollisuusyhtiöiden työmaiden mukaan yhtälö (7)

$$(7) \quad y_1 = -91.57 + 0.19x_3 + 0.24x_5 + 33.39x_8 + 0.42x_6$$

jossa

- y_1 = vauriopuiden määrä kpl/ha
 x_3 = palstatiemäärä m/ha
 x_5 = puuston kuutiomäärä hakkuun jälkeen k-m³/ha
 x_8 = maalajivalemuuttuja
 = 0, jos kivennäismaa
 = 1, jos turvemaa
 x_6 = hakattu puumäärä k-m³/ha

Alkuperäisessä 14 työmaan aineistossa yhteiskorrelaatiokerroin on .922. Kontrolliaineistossa, johon sisältyy erään työmaan poikkeuksellisuuden vuoksi 9 työmaata, ennustettujen ja havaittujen vauriopuumäärien korrelaatiokerroin on .972. Systemaattista vauriopuiden määrän yliarviointia on selvästi havaittavissa, mutta se voi johtua

myöskin kontrolliaineistossa sattuneesta epätäydellisestä vaurioiden havaitsemisesta.

Ennustemalli on tulkittu siten, että vaurioituminen riippuu toisaalta vaurioitumiselle alttiiden puiden määrästä ja toisaalta vaurioitumisen todennäköisyyteen vaikuttavista tekijöistä e.m. mahdollisuuden ollessa olemassa. Vaurioitumiselle alttiiden puiden määrä riippuu palstatietihydestä ja hakkuun jälkeen jäljelle jäävän puuston määrästä. Vaurioitumisen todennäköisyyteen vaikuttavat taas tutkimuksen mukaan eniten puuston laatu, maaperä ja puun korjuun intensiivisyys.

Paras juurivaurioiden määrää ennustava yhtälö on (11)

$$(11) \quad y_2 = -99.80 + 0.62x_5 + 41.73x_8 + 0.18x_3 - 34.53x_{10}$$

josta

- y_2 = juurivaurioiden määrä kpl/ha
 x_5 = puuston kuutiomäärä hakkuun jälkeen k-m³/ha
 x_8 = maalajivalemuuttuja
 = 1, jos turvemaa
 x_3 = 0, jos muu maalaji
 x_3 = palstateiden määrä m/ha
 x_{10} = maalajivalemuuttuja
 = 1, jos hietamoreeni
 = 0, jos muu maalaji

Alkuperäisessä 14 työmaan aineistossa yhteiskorrelaatiokerroin on .951. Kontrolliaineistossa, johon kuuluu tässä yhteydessä 10 työmaata, ennustettujen ja havaittujen juurivauriomäärien korrelaatio on .748. Systemaattista yliarviointia on havaittavissa myös juurivauriomäärien osalta, mutta se voi johtua, kuten aikaisemmin todettiin, puutteellisesta vaurioiden huomaamisesta kontrolliaineistossa.

Ennustemalli on tulkittu samaan tapaan kuin vauriopuumäärien osalta. Vaurioitumisen mahdollisuuteen vaikuttaa ennen muuta palstateiden pituus ja puuston määrä. Vaurioitumisen todennäköisyyteen vaikuttaa juurivaurioiden määrän osalta ennen muuta maalajin lujuus, mahdollisesti myös kuljetuskalusto.

Runkovaurioiden määrälle ei tutkimuksessa löydetty pätevää ennusteyhtälöä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ARNOTT, J. T. 1968. Tree-length — Wheeler skidder logging and its effects in certain black spruce forest types in Quebec. *Pulp and paper magazine of Canada* 17: 103—109.
- BRAITHWAITE, RICHARD BEVAN 1959. *Scientific explanation*. Cambridge.
- CHERNOFF, HERMAN & MOSES, LINCOLN E. 1959. *Elementary decision theory*. New York — London.
- COOLEY, WILLIAM W. & LOHNES, PAUL R. 1966. *Multivariate procedures for the behavioral sciences*. New York — London — Sydney.
- DRAPER, N. R. & SMITH, H. 1968. *Applied regression analysis*. New York — London — Sydney.
- EZEKIEL, MORDEKAI 1960. *Methods of correlation analysis*. New York.
- EKBOM, OLOF 1928. Bidrag till kännedom om bleckningsskador på gran. *Skogsvårdsföreningens Tidskrift* 26: 659—684.
- ERNBERG, VICTOR FR. 1907. Skador af bleckning å ståndskog. *Skogsvårdsföreningens Tidskrift* (4—5): 172—179.
- ESKOLA, ANTTI 1969. *Sosiologian tutkimusmenetelmät I. 3. painos*. Porvoo — Helsinki.
- HAGNER, STIG, KLOFSTEN, KJELL, LUNDMARK, AXEL & WENTZELL, ROLAND 1964. Studium av rötangrepp på gran förorsakade av rotskador. *Norrlands Skogsvårdsföreningens Tidskrift* (4): 337—352.
- HAKKILA, PENTTI & LAIHO, OLAVI 1967. Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. Summary: On the decay caused by axe marks in Norway spruce. *MTJ* 64:3.
- HERRICK, DAVID E. & DEITSCHMAN, GLENN H. 1956. Effect of tractor logging upon hardwood stands. *Forest Products Journal* 6 (10): 403—408.
- HOEL, PAUL G. 1964. *Introduction to mathematical statistics*. New York — London.
- HOLZINGER, KARL J. & HARMAN, HARRY H. 1951. *Factor analysis. A synthesis of factorial methods*. Chicago.
- IVAN, GHEORGHE 1966. Vatamari aduse arborilor ce ramin in picioare dupa efectuarea rariturilor. *Revista Padurilor* 81 (3): 154—157.
- KANTOLA, MIKKO 1968. Miten traktori vahingoittaa metsää? Työteho-seuran metsätiedotus 132.
- KALELA, ERKKI K. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhhteista I. On the horizontal roots in pine and spruce stand I. *AFF* 57.
- KOROLEFF, A. 1964. Logging mechanization, manufacturing chemization and waste elimination in Russia. *Woodlands Research Index* 157.
- KUENZEL, J. G. & SUTTON, C. E. 1937. A study of logging damage in upland hardwoods of Southern Illinois. *Journal of Forestry* 35 (12): 1150—1155.
- KULOKARI, HANNU 1969. ATK havaintomatriisien käsittelyssä. Helsingin yliopiston laskentakeskuksen julkaisuja n:o 1. Moniste.
- KÄRKKÄINEN, MATTI 1969. Tutkimus puuston vaurioitumisesta eräällä harvennustyömaalla. *Metsä ja puu* (1): 8—9.
- LEIKOLA, MATTI 1969. The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees. *AFF* 92.
- MACKINNEY, A. L. 1934. Logging damage in selectively logged loblolly pine stands. *Journal of Forestry* 32 (1): 84—96.
- MATTILA, SAKARI, 1961. *Matematiikka ja taloustieteellinen tutkimus*. Liiketaloudellinen aikakauskirja 10 (1): 24—32.
- METSÄPELTO, E. E. 1933. Leimauksen johdosta kuuseen syntyvistä lahovioista. Suomen paperi- ja puutavaralehti 15 (2): 62—63.
- MEYER, GENE, OHMAN, JOHN H. & OELLEL, RUSSEL 1966. Skidding hardwoods — articulated rubber-tired skidders versus crawler tractors. *Journal of Forestry* 64 (3): 191, 194—196.
- MÄKELÄ, JOUKO 1966. Faktorianalyysi ja sen käyttö regressio-ongelman ratkaisussa. *MA* 83 (12): 522—524.
- *— 1968. Puunkorjuun tuottavuuteen vaikuttavat tekijät maatilametsätaloudessa. Summary: Factors affecting logging productivity in farm forests. *AFF* 85.
- NIITAMO, OLAVI 1961. Moniyhtälömallien estimoinnista. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 57 (1): 44—53.
- NILSSON, PER OLOV & HYPPEL, ARNE 1968. Studier över rötangrepp i särskador hos gran. *Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift* (8): 675—713.
- NORDFORS, GEORG A. 1923. Om efter stämpling uppkommen rötskada å gran. *Skogsvårdsföreningens Tidskrift* 21: 149—184.
- PARKER, A. K. & JOHNSON, A. L. S. 1960. Decay associated with logging injury to spruce and balsam in the Prince George region of British Columbia. *The Forestry Chronicle* 36 (1).
- PAWSEY, R. G. & GLADMAN, R. J. 1965. Decay in standing coniferous developing from extraction damage. *Forestry Commission. Forest Record* 54.
- PUTKISTO, KALLE 1957. Tutkimuksia pyörätraktoreiden käytöstä puutavaran metsäkuljetuksessa. Teknillis-taloudellinen selvittely. Summary. Investigations of the use of wheel tractors for the forest transport of timber. *Techno-economic analysis*. *AFF* 66.
- SAARNIJOKI, SAKARI 1939. Eräitä paperipuu-hakkuiden yhteydessä tehtyjä, kuusen tyvilahoa ja sen yleisyyttä koskevia havaintoja. *MA* 56 (2): 47—52.
- SHEA, KEITH 1961. Deterioration resulting from logging injury in Douglas-fir and western hemlock. *Weyerhaeuser Company. Forestry Research Note* 36. Moniste.
- SIEGEL, SIDNEY 1956. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. Tokyo.
- SNEDECOR, GEORGE W. & COCHRAN, WILLIAM G. 1956. *Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology*. Ames.
- STEINBRENNER, R. C. 1961. Ten years of forest soil research in retrospect and prospect. *Weyerhaeuser company. Bulletin from the timberland division*. Moniste.
- TORVELA, MATIAS 1966. Tuotantopanosten käytöstä ja käytön edullisuudesta maataloudessa Etelä-Suomen alueen kirjanpito viljelmillä. Summary. On the use of agricultural inputs on bookkeeping farms in South Finland. *Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja* 8.
- VAHERVUO, TOIVO & AHMAYAARA, YRJÖ 1958. Johdatus faktorianalyysiin. Porvoo — Helsinki.
- WEBBER, B., ARNOTT, J. T., WEETMAN, G. F. & CROOME, G. C. R. 1969. Advance growth destruction, slash coverage and ground conditions in logging operations in Eastern Canada. *Woodlands Papers* 8. Moniste.
- WILLIAMS, E. J. 1959. *Regression analysis*. New York — London.
- WRIGHT, ERNEST & ISAAC, LEO A. 1956. Decay following logging injury to western hemlock, Sitka spruce and true firs. U.S. Department of Agriculture. *Technical Bulletin* 1148.
- VÄLIAHO, HANNU 1963. Yleinen lineaarinen regressioanalyysi. Tilastomatematiikan perusteet II. Suomen teknillinen seura.
- *— 1969. A synthetic approach to stepwise regression analysis. *Commentationes Physico-Mathematicae* 34 (12).
- ÅGREN, ANDERS 1968. Produktionsförfluster till följd av virkestransport i gallringskog. Ska vi gallra? Föredrag och diskussionsinlägg vid Skogsveckans konferens den 5 mars 1968, Sveriges Skogsvårdsförbund.

KÄYTETYT LYHENTEET:

AFF = Acta Forestalia Fennica
 MA = Metsätaloudellinen aikakauslehti
 MTJ = Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja

SUMMARY

Studies on the consecutive effects of injuries caused by timber harvesting have been abundantly published. They are all compatible with regard to the considerable importance of injuries in the forest management. On the other hand, factors influencing the formation of injuries are only inadequately known.

The purpose of this study is to build a mathematical predictive model for the formation of injuries and to try its usability in predicting. The empirical data consists of 24 thinning sites, which are situated mainly in forests owned by forestry companies. In all the thinning sites timber has been made by strip roads. The terrain transportation of timber has been carried out by forwarders or by agricultural tractor-trailer combinations.

The predictive model, which is also used as a basis for causal explanation, has been compiled by multiple regression analysis. The application of

real multivariate methods proper was not regarded as necessary due to the slight correlation between the independent variables.

The technique of the stepwise regression analysis has been applied in the multiple regression analysis. As the predictive models from the material of 14 logging sites (*new logging areas*) have been tested in the independent material of 10 logging sites (*old logging areas*), one can notice that only the best independent variables are essential with regard to the pertinence of predicting. The significance of the explanation concerning the formally significant variables, which have last entered the model, has not been invariant when the observation material changes.

The best predictive equation will be, according to certain logging sites in Southern Finland owned by forestry companies, the following: (7)

$$(7) \quad y_1 = -91.57 + 0.19x_3 + 0.24x_5 + 33.39x_8 + 0.42x_6$$

where

y_1 = the number of injured trees per ha

x_3 = the length of strip roads m/ha

x_5 = the volume of standing timber after logging
cbm/ha

x_8 = dummy variable indicating the type of soil
= 0, if mineral soil
= 1, if peat soil

x_6 = logging quantity cmb/ha

In the basic material of 14 sites, the multiple correlation coefficient is .922. In the control material, which includes 9 logging sites due to the exceptional nature of one site, the correlation coefficient for the predicted and observed number of injured trees is .972. Systematic overestimation of the number of injuries is clearly to be noticed, but it might also be due to inadequate tallying of injuries in the control material.

$$(11) \quad y_2 = -99.80 + 0.62x_5 + 41.73x_8 + 0.18x_9 - 34.53x_{10}$$

where

y_2 = the number of root injuries per ha

x_5 = the volume of timber after logging

x_8 = dummy variable indicating the type of soil
= 1, if peat soil
= 0, if other type of soil

x_3 = length of strip roads m/ha

x_{10} = dummy variable indicating the type of soil
= 1, if sand moraine
= 0, if other type of soil

In the basic material of 14 logging sites the multiple correlation coefficient is .951. In the control material, which included 10 sites in this connection, the correlation between the predicted and observed root injuries is .748. There is also systematic overestimation of root injuries, but it might be caused,

as it was stated in the foregoing, by inadequate tallying of injuries in the control material.

The predictive model has been interpreted in the same fashion as the number of injured trees. The possibility of the formation of injuries is mainly affected by the length of strip roads and the amount of the standing timber. The probability of the for-

mation of injuries is influenced, for the part of the number of root injuries, by the strength of the type of soil, and probably also by transportation equipment.

For the amount of stem injuries no valid predictive equation was found in this study.

ACTA FORESTALIA FENNICA

EDELLISIÄ NITEITÄ — PREVIOUS VOLUMES

- VOL. 90, 1968. YRJÖ KANGAS.
Beschreibung des Wachstums der Bäume als Funktion ihres Alters.
- VOL. 91, 1968, PEKKA KILKKI.
Income-Oriented Cutting Budget. Seloste: Tulotavoitteeseen perustuva hakkuulaskelma.
- VOL. 92, 1969. MATTI LEIKOLA.
The Influence of Environmental Factors on the Diameter Growth of Forest Trees. Auxanometric Study.
- VOL. 93, 1969, KUSTAA SEPPÄLÄ.
Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemilla. Summary: Post-Drainage Growth Rate of Norway Spruce and Scots Pine on Peat.
- VOL. 94, 1969. ERKKI LÄHDE.
Biological Activity in Some Natural and Drained Peat soils with Special Reference to Oxidation-Reduction Conditions.
- VOL. 95, 1969. OLLI MAKKONEN.
Ancient Forestry. An Historical Study, Part II. The Procurement and Trade of Forest Products.
- VOL. 96, 1969. YRJÖ ILVESSALO.
Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Summary: On the Development of Natural Normal Forest Stands on Mineral Soils in Ostrobothnia.
- VOL. 97, 1969. EINO OINONEN.
The Time Table of Vegetative Spreading of the Lily-of-the-Valley (*Convallaria majalis* L.) and the wood Small-Reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) in Southern Finland.
- VOL. 98, 1969. PEITSA MIKOLA.
Comparative Observations on the Nursery Technique in Different Parts of the World.
- VOL. 99, 1969. P. M. A. TIGERSTEDT.
Progeny Tests in a *Pinus silvestris* (L) Seed Orchard in Finland.

KANNATUSJÄSENET — UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR

CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR
SUOMEN PUUNJALOSTUSTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA
SUNILA OSAKEYHTIÖ
OY WILH. SCHAUMAN AB