

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 592, 1996

# HARVENNUSPUUN KORJUUJÄLKI, KORJUUJÄLJEN SEURAUSSVAIKUTUKSET JA NIIDEN ARVIOINTI



**Pekka Kokko ja Matti Sirén**

**METLA**

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS



# Harvennuspuun korjuujälki, korjuujäljen seurausvaikutukset ja niiden arviointi

Pekka Kokko ja Matti Sirén

Metsäntutkimuslaitos  
Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuskeskus

Metsäntutkimuslaitos - Vantaan tutkimuskeskus

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 592  
Vantaa 1996

Kokko P. ja Sirén, M. 1996. Harvennuspuun korjuujälki, korjuujäljen seurausvaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 592. 70 s. ISBN 951-40-1501-0, ISSN 0358-4283

Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuuden avulla harvennuspuun korjuujäljen seurausvaikutuksia ja -kustannuksia metsänomistajan näkökulmasta. Korjuujäljellä tarkoitetaan tässä yhteydessä ajouria, ajourapainumia ja puustovaurioita. Korjuujäljen seurausvaikutuksilla puolestaan tarkoitetaan edellämäinnittujen tekijöiden jäävälle puustolle aiheuttamia kasvu- ja laatutappioita.

Tutkimuksessa esitellään yleisimmät pohjoismaiset korjuujäljen inventointimenetelmät ja korjuujäljen taso Pohjoismaissa. Yleisenä suuntauksena on todettavissa korjuujäljen paraneminen koneiden ja menetelmien kehittymisen myötä. Korjuujäljen seurausvaikutusten laskemiseksi esitetään Excel-taulukkolaskenta-ohjelmaan pohjautuva Kovalama-laskentamalli (**korjuuvaurioiden laskentamalli**). Malli laskee annetulla korjuujäljellä syntyvät kasvu- ja laatutappiot sekä näistä metsänomistajalle aiheutuvat menetykset.

Tutkimuksessa esitetään Kovalama-mallilla laskettu esimerkkilaskelma. Suurimmat menetykset syntyvät ajourien aiheuttamista kasvutappioista. Keskimääräisellä korjuujäljellä ajourat aiheuttavat yli puolet syntyvistä kokonaismenetyksistä. Kiertoajan hakkuutuloihin verrattuna seurauskustannukset ovat varsin siedettäviä, vain muutama prosentti hakkuutuloista.

**Avainsanat:** Harvennusten korjuujälki, puustovauriot, laskentamallit

**Julkaisija:** Metsäntutkimuslaitos. Hanke 3149. Hyväksynyt: tutkimuskeskuksen päällikkö Eero Paavilainen 19.2.1996.

**Kirjoittajien yhteystiedot:** Pekka Kokko: Ponsse Oy, 74200 Vieremä ja Matti Sirén: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa. Puhelin 90-857 051, Faksi 90-8570 5361.

**Jakelu:** Metsäntutkimuslaitos, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki, Puhelin 90-857 051, Faksi 90-625 308.

## Sisällys

	Sivu
1 Johdanto.....	5
2 Harvennuspuun korjuujälki .....	7
2.1 Korjuujäljen käsite .....	7
2.2 Pohjoismaissa käytetyt korjuujäljen inventointimenetelmät .....	7
2.3 Inventointitulosten vertailtavuus .....	11
2.4 Ajouraleveyden mittaaminen .....	12
2.5 Korjuujäljen taso eri korjuumenetelmillä.....	14
2.5.1 Puustovaurioiden määrä moottorisahahakkuussa ja metsäkuljetuksessa.....	14
2.5.2 Puustovaurioiden määrä koneellisessa hakkuussa .....	16
2.5.3 Puustovaurioiden koko, laatu ja sijainti.....	18
2.5.4 Ajourat ja ajourapainumat.....	19
3 Korjuujäljen seurausvaikutukset.....	22
3.1 Ajourien aiheuttamat kasvutappiot.....	22
3.1.1 Ajoura-aukon vaikutukset.....	22
3.1.2 Tappioiden määrä ja kestoaika.....	23
3.2 Ajourapainumien aiheuttamat kasvutappiot.....	27
3.2.1 Tappioiden taso ja kestoaika.....	27
3.2.2 Tappioiden määrittäminen .....	28
3.3 Puustovaurioiden aiheuttamat kasvutappiot.....	33
3.3.1 Kasvutappiot männyllä .....	33
3.3.2 Kasvutappiot kuusella.....	34
3.4 Lahon aiheuttamat laatutappiot kuusella.....	35
3.4.1 Lahon syntytodennäköisyys ja siihen vaikuttavat tekijät .....	36
3.4.2 Lahon etenemisnopeus ja siihen vaikuttavat tekijät.....	38
3.5 Laatutappiot männyllä ja koivulla .....	42
4 Korjuujäljen seurausvaikutusten arviointi .....	44
4.1 Vaikutusten arvioinnin perusteet.....	44
4.2 Seurausvaikutusten laskentamalli .....	45
4.2.1 Mallin vaatimat syöttötiedot .....	46
4.2.2 Laskennan perusteena olevat lähtötiedot ja laskennan kulku .....	48
4.2.2.1 Kasvutappioiden laskenta.....	48
4.2.2.2 Laatutappioiden laskenta .....	50
4.2.3 Esimerkkilaskelma korjuujäljen seurausvaikutuksista .....	55
4.2.4 Laskelmien herkkyyys lähtötietojen muutoksiin .....	57
4.2.4.1 Muutokset lahoutumisessa.....	57
4.2.4.2 Kustannusten realisoitumisajankohtan vaikutus.....	59
4.2.4.3 Puutavaralajien hintasuhteet sekä korkotasot .....	60
5 Tulosten tarkastelu.....	62
5.1 Vertailu muihin tutkimuksiin .....	62
5.2 Korjuujäljen seurauksien kokonaismerkitys .....	64
Kirjallisuus .....	66



411 011

Kierrätykseen sopiva tuote  
Alhaiset päästöt valmistuksessa

**Hakapaino Oy, Helsinki 1996**

ISBN 951-40-1501-0  
ISSN 0358-4283

# 1 JOHDANTO

Korkeat korjuukustannukset ovat harvennusten suurin ongelma. Harvennuspuun kalleus johtaa helposti harvennusten laiminlyöntiin etenkin puun yltärintatilanteessa. Esimerkiksi 1980-luvulla Etelä-Suomessa harvennushakkuurästä syntyi noin 30 000 ha vuodessa harvennuspinta-alan vaihdellessa 200 000 ha molemmin puolin (Lilleberg & Raitanen 1989).

Kasvatusmalli, jossa harvennukset tehdään ajallaan antaa 40 vuodessa 140 miljardia markkaa suuremman tuoton kuin vaihtoehto, jossa harvennuksista luovuttaisiin kokonaan. Luku saadaan kun tarkastellaan metsiemme lopputuottoarvoa välillä 1990-2030 (Harvennushakkuiden... 1992). Harvennuskertojen määrällä sekä harvennusajankohdalla ja -voimakkuudella voidaan tehokkaasti vaikuttaa puuntuotannon kokonaistalouteen.

Harvennuspuun vaihtelevan menekin ja suhteellisen alhaisen hinnan lisäksi metsänomistajien huolenaiheena on harvennusten korjuujälki. Pelko huonosta korjuujäljestä vähentää metsänomistajien halukkuutta harvennuksiin. Matilaisen (1995) mukaan hyvä korjuujälki on metsänomistajien mielestä tärkein tulevaisuuden puunkorjuukoneelle asetettavista vaatimuksista.

Puunkorjuun koneellistamisaste hankintahakkuuta lukuun ottamatta on maassamme yli 80 %, ja vuosikymmenen lopussa sen arvioidaan olevan jo 95 % (Harvennushakkuiden...1992). Myös ensiharvennuksissa ollaan yhä enemmän siirtymässä koneellisiin menetelmiin. Puunkorjuun tulisi olla mahdollisimman vauriotonta, jotta metsä jäisi sekä rakenteellisesti että laadullisesti hyvään kasvukuntoon.

Kun vielä joitakin vuosia sitten pidettiin tiukasti kiinni 30 metrin uravälistä, tämän päivän puunkorjuuohjeisto sallii koneellisen hakkuun vaatiman 20 metrin uravälin. Vaikka koneellisen hakkuun jälki useimmiten täyttää vaatimukset, korjuujäljen valvonnan merkitys korostuu metsien käsittelyohjeiden väljentyessä. Tässä asiassa Metsäkeskus Tapio onkin toiminut aktiivisesti.

Korjuujäljen taso on varsin hyvin tiedossa maassamme. Puustovaurioita, ajouria ja ajourapainumia on tutkittu eri tahoilla. Myös korjuujäljen seurausvaikutuksia kuten kasvutappioita ja lahoutumista on mitattu. Korjuujäljen kokonaismerkitys on kuitenkin jäänyt tutkimuksissa taka-alalle. Yhtenä syynä tähän korjuujäljen kokonaiskuvan hämäryyteen on korjuujälkikäsitteen ja korjuujäljen vaikutusten epämääräisyys. Korjuujälkeä ovat inventoineet teknologit ja metsänarvioijat, kun taas korjuujäljen seuraukset vaativat biologista lähestymistapaa. Metsässä mitattua korjuujälkitietoa on hyvin vaikea kytkeä biologisiin ja edelleen taloudellisiin seuraamuksiin.

Käsillä olevassa julkaisussa valotetaan korjuujäljen seurausvaikutuksia ja niiden taloudellista merkitystä eli seurauskustannuksia. Lähinnä pohjoismaiseen kirjallisuuteen perustuen esitellään tappioita aiheuttavat seurausvaikutukset, joilla tässä yhteydessä

tarkoitetaan ajourista, ajourapainumista ja puustovaurioista aiheutuvia kasvu- ja laatuappioita. Harvennusvoimakkuuden vaikutuksiin tutkimuksessa ei puututa. Eräisiin harvennuspuun korjuumenetelmiin liittyvää puun latvusmassan talteenottoa ja siihen liittyviä ravinnetappioita ei myöskään sisällytetä tähän selvitykseen. Samoin harvennusten mahdolliset sekundäärivaikutukset, kuten tuuli-, lumi- ja hyönteistuhot on jätetty laajemman tarkastelun ulkopuolelle.

Seurausvaikutusten arvioiminen edellyttää korjuujälkimittausten niveltämistä seurauksia kuvaavaan tietoon. Tutkimuksessa luodaan katsaus yleisimpiin pohjoismaisiin mittausten menetelmiin ja niiden vertailtavuuteen. Samoin esitellään inventoinneilla todettua korjuujäljen tasoa eri menetelmillä.

Seurausvaikutusten arvioimiseksi yksittäisistä tutkimustuloksista tai tutkimustulosten yhdistelmistä on valittu laskennassa käytettävät vauriotekijöiden vaikutukset. Usein ristiriitaisistakin tutkimustuloksista on pyritty saamaan mahdollisimman hyvin Suomen oloihin soveltuva ja toisaalta suhteellisen yksinkertaisiin maastomittauksiin yhdistettävä tieto.

Seurausvaikutusten laskemiseksi on laadittu Microsoft Excel -pohjainen laskentamalli. Menetyksiä tarkastellaan metsänomistajan näkökulmasta. Korjuujäljen seurauksenkustannukset heijastuvat eritasoisina myös puuta jalostavaan teollisuuteen ja koko kansantalouteen, mutta näitä kustannuksia ei tässä yhteydessä tarkastella.

*Tutkimuksen käsikirjoituksen ovat laatineet Pekka Kokko ja Matti Sirén yhdessä. Korjuujäljen seurausvaikutusten laskentamallin teknisestä toteutuksesta on vastannut Pekka Kokko. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet tutkimushankkeen vastuututkija Jari Ala-Ilomäki, professori Pentti Hakkila, tutkija Antti Isomäki ja tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen. Tutkimuksen kuluessa Pekka Kokko on saanut rahoitusta Metsämiesten Säätiöltä. Tutkimuksen eri vaiheissa apuaan ovat antaneet erityisesti Pekka Airaksinen MTK:n metsäosastolta, Seppo Hartikainen Metsäkeskus Tapiosta ja Risto Lilleberg Metsätehosta. Kaikille tutkimukseen myötävaikuttaneille tekijät osoittavat lämpimät kiitoksensa.*

## 2 HARVENNUSPUUN KORJUJÄLKI

### 2.1 Korjuujäljen käsite

Harvennushakkuiden korjuujälkeä tarkasteltaessa otetaan yleensä huomioon puustovauriot, ajourapainumat, ajouraväli ja -leveys sekä leimikon harvennusvoimakkuus ja puuvalinta. Tässä tutkimuksessa kaksi viimeistä tekijää rajataan kuitenkin tarkastelun ulkopuolelle.

Ehkä näkyvin osatekijä korjuujäljestä ovat puustovauriot, jotka jaetaan sijaintinsa perusteella runko- ja juurenniskavaurioihin. Tässä yhteydessä jälkimmäisillä tarkoitetaan paitsi juurenniskassa sijaitsevia vaurioita, myös vaurioita, jotka sijaitsevat maanpäällisissä, vähintään 2 cm paksuissa juurissa korkeintaan 100 cm:n etäisyydellä juurenniskasta. Syvyytensä perusteella vauriot jaetaan pinta- ja syvävaurioihin (kuvat 1 ja 2). Pintavaurioilla pelkästään puun kuori on vahingoittunut, kun taas syvävaurioilla myös itse puuaines on vaurioitunut. Vaurion koko ilmaistaan tavallisesti sen pinta-alana. Joissakin yhteyksissä koko on ilmaistu myös vaurion leveytenä tai osuutena rungon vaipasta (Andersson 1984).

Ajourat ja ajourapainumat kuuluvat puustovaurioiden ohella keskeisinä osatekijöinä korjuujälkeen. Ajourat aiheuttavat menetyksiä kasvutappioiden muodossa. Kasvutappiot johtuvat kahdesta syystä. Ajouria avattaessa optimaalisesta puuvalinnasta joudutaan luopumaan, kun kasvatettavaksi tarkoitettu puu poistetaan ajouralta. Lisäksi metsämaata joutuu osittain vajaakäyttöön ajoura-aukkojen hakkaamisen myötä; potentiaalista puiden kasvutilaa menetetään aukoiksi (Bucht 1977). Menetetyn kasvutilan pinta-alan selvittämiseksi on leimikolta mitattava ajourien leveys sekä ajouraväli. Ajourapainumat puolestaan aiheuttavat menetyksiä juuristo- ja maaperävaurioiden seurauksena. Tällaiset vauriot voivat johtaa varsin merkittäviin kasvutappioihin (Wästerlund 1983).

Korjuujälkeen kuuluvat myös harvennusvoimakkuus ja puuvalinta. Harvennusvoimakkuus kertoo, onko puuston tiheys hakkuun jälkeen suositusten mukainen. Puuvalinta puolestaan ilmentää harvennuksen kohdistumista metsänhoidollisesti oikeisiin puihin. Korjuujäljen arvostelun kannalta harvennusvoimakkuus ja puuvalinta ovat keskeisiä arvostelukriteerejä, sillä ne vaikuttavat oleellisesti metsikön tulevaan puuntuotantoon. Tutkimusaiheen laajuuden vuoksi niitä ei kuitenkaan sisällytetä tähän tutkimukseen.

### 2.2 Pohjoismaissa käytetyt korjuujäljen inventointimenetelmät

Korjuujälkeä on selvitelty sekä laajoilla korjuujälki-inventoinneilla että korjuumenetelmä- ja konetutkimusten yhteydessä tehdyillä vaurioselvityksillä. Erityisesti yhteispohjoismaisen NSR-yhteistyön (Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd) puiteissa on korostettu yhteisten menetelmien tärkeyttä tulosten vertailtavuuden parantamiseksi. Tästä huolimatta suomalaiset ja ruotsalaiset inventointimenetelmät samoin kuin suomalaismenetelmät keskenäänkin ovat poikenneet toisistaan.



*Kuva 1. Tyypillinen pintavaurio. Puuaines säilynyt vaurioitumattomana (kuva P. Kokko).*



*Kuva 2. Tyypillinen syvävaurio. Myös puuaines vaurioitunut (kuva P. Kokko).*

Metsäntutkimuslaitoksessa on tehty 1980-luvulla kolme korjuujälki-inventointia (Sirén 1981, Sirén 1982 ja Sirén 1986). Metlan inventointimenetelmä perustuu koko leimikon tai sen osan inventointiin. Mittaus alkaa leimikon läpikäymisellä ja rajaamisella, jonka jälkeen mitataan leimikon pinta-ala. Tämän jälkeen mitataan puuston määrä, puulajijakauma ja puuston koko relaskooppikoealoilta, joiden lukumäärä vaihtelee 10:stä 30:een leimikon koosta riippuen. Relaskooppikoealat mitataan määräväleihin mittauslinjoilta, jotka sijoitetaan kohtisuoraan ajouraston pääkulkusuuntaan nähden.

Ajourilta mitataan uraleveys, raideleveys ja painuman syvyys. Ajouraleveys mitataan satunnaisesti valituilta 5-15 mittausjaksolta käyttäen Ruotsin Metsäkorkeakoulussa kehitettyä SLU-menetelmää. Ajouraväli mitataan kulkemalla linjoittain kohtisuoraan ajourien pääkulkusuuntaa vastaan ja mittaamalla ajourien keskilinjojen välinen etäisyys. Puustovauriot inventoidaan kulkemalla koko leimikko järjestelmällisesti läpi.

Metsätehon käyttämä inventointimenetelmä on esitetty Metsätehon tiedotuksessa 388 (Lilleberg 1984). Myös siinä inventointi perustuu koko leimikon tai leimikon osan inventointiin. Ajourien mittaus tapahtuu linjoittaisen mittauksen lisäksi myös mittaamalla lankamittalaitteella uraston kokonaispituus. Ajouran leveys mitataan Kniggle-menetelmällä. Puuston määrä eri etäisyyksillä ajourista selvitetään koealoilta. Puustovauriot inventoidaan liikkumalla leimikko läpi ajouria pitkin. Maaperän ja juuriston vaurioitumista selvitetään mittaamalla syvien, yli 10 cm ajourapainumien metrimäärä hehtaarilla.

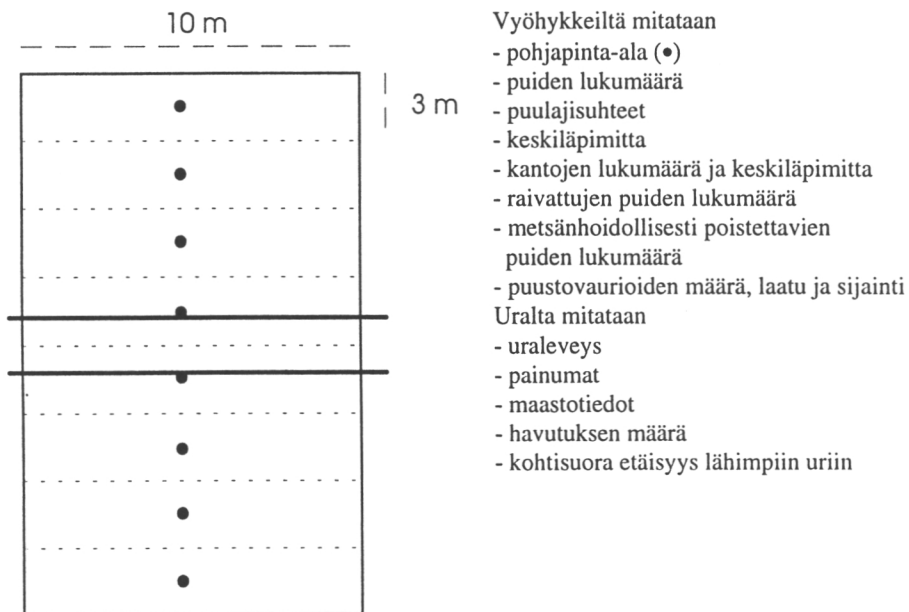
Metsäkeskus Tapio aloitti valvontamielessä korjuujäljen seurannan vuonna 1990. Inventointimenetelmän suunnitteli metsätalouden eri osapuolia edustava työryhmä. Inventointimenetelmä on kaksiosainen, ja se on esitetty Metsätehon oppaassa (Harvennushakkuiden...1990). Leimikon inventointi alkaa yleisarvioinnilla, jonka yhteydessä mitataan puuston määrää, ajourien leveyttä ja ajouraväliä sekä havainnoidaan puusto- ja maaperävaurioiden määrää. Jos leimikko täyttää yleisarvioinnin mukaan Tapion vaatimukset hyvästä korjuujäljestä, leimikosta tehdään tarkistuslaskelma. Jos leimikon korjuussa todetaan yleiskatsauksessa puutteita, aloitetaan systemaattiset mittaukset. Vuonna 1993 Metsäkeskus Tapio siirtyi käyttämään koelamittauksiin perustuvaa inventointimenetelmää. Menetelmä on sovellutus Ruotsin metsäkorkeakoulussa kehitetystä mittaustavasta (Björheden & Fröding 1986).

Björhedenin & Frödingin (1986) SLU-menetelmä perustuu 100 m<sup>2</sup>:n ympyräkoeloihin, jotka sijoitetaan systemaattisesti mittauslinjoille. Koelaväli määräytyy leimikon koon perusteella. Koeloilta mitataan jäävän puuston määrä, kantojen määrä, pystyyn jääneiden mutta metsänhoidollisesti poistettaviin kuuluvien puiden määrä, vaurioituneiden puiden määrä sekä vaurioiden koko, laatu ja sijainti.

Ajouratiedot mitataan jokaista ympyräkoelaa lähinnä olevalta ajouralta. Ensiksi mitataan ajouran keskilinjan kohtisuora etäisyys koelasta. Ajourapainuman syvyys mitataan kohdasta, johon koelalta saavutaan. Ajouraleveys mitataan 20 metrin jaksolta mittaamalla kohtisuora etäisyys uran keskeltä lähimpiin oikealla ja vasemmalla oleviin puihin ja laskemalla nämä etäisyydet yhteen.

Myös Skogsarbeten (nykyisin Skogforsk) on kehittänyt korjuujäljen seurantamenetelmiä, joista uusin on Nordbergin (1985) esittämä menetelmä. Menetelmä perustuu 10 metrin levyisiin koealavyöhykkeisiin, jotka sijoitetaan kahden ajouran väliin. Koealoilta mitataan runkoluku, vaurioiden määrä, ajouraleveys- ja väli sekä yli 10 cm syvien painumien määrä koealalta. Ajouraleveys mitataan mittaamalla raiteesta etäisyys lähimpään puuhun, ja lisätään tähän etäisyyteen lähinnä mittausta kohtaa olevan, vastakkaisella puolella uraa sijaitsevan puun etäisyys samaan raiteeseen.

Metsäntutkimuslaitoksessa on tekeillä tutkimus, jossa selvitetään hakkuukonetyön jälkeä ja työjälkeen vaikuttavia tekijöitä. Samalla pyritään luomaan menetelmä työjäljen ennustamiseen (Sirén 1995). Tutkimus koostuu seurantatutkimuksesta, jossa seurataan koneen työoloja, ajanmenekkiä, liiketyön määrää ja puustovaurioita. Tutkimukseen liittyy myös jälki-inventointi, jonka mittaukset tapahtuvat määrävällein ajourille sijoitettavilta 10 metrin pituisilta koealoilta. Ajouran keskeltä lähtien uran molemmille puolille erotetaan 4 mittausvyöhykettä. Mittausvyöhykkeet ovat kooltaan 10 x 3 m, ja niiltä ja uralta mitataan kuvassa 3 esitetyt tiedot. erotetaan uran molemmille puolille 4 mittausvyöhykettä, jotka ovat kooltaan 10 x 3 m (kuva 3). Vyöhykkeiltä mitataan puiden lukumäärä puulajeittain, kantojen lukumäärä, raivattujen puiden lukumäärä, metsänhoidollisesti poistettavien puiden lukumäärä, jäävien puiden keskiläpimitta ja poistettujen puiden keskimääräinen kantoläpimitta sekä pohjapinta-ala. Vaurioituneista puista mitataan vaurion koko, laatu ja sijainti. Koealan kohdalta mitataan myös ajouratiedot ja etäisyys lähimpiin ajouriin.



Kuva 3. Jälki-inventoinnin koeala (Sirén 1995). Paksut viivat keskellä kuvaavat ajourapainumia.

### 2.3 Inventointitulosten vertailtavuus

Korjuujäljen inventointi vaatii maastotyötä ja on kallista. Menetelmien kehittämiseen sekä tulosten vertailtavuuteen ja käyttökelpoisuuteen on kiinnitetty yllättävän vähän huomiota. Menetelmiä vertaileva suppea selvitys tehtiin vuonna 1986, jolloin Metsäntutkimuslaitos ja Ruotsin Metsäkorkeakoulu inventoivat leimikoita Suomessa omilla menetelmillään (Sirén 1986b). Alkusysäyksen vertailulle antoivat tasoerot Suomen ja Ruotsin vauriomäärissä. Ruotsalaisissa korjuujälki-inventoinneissa todettiin selvästi korkeampia vauriomääriä kuin suomalaisissa inventoinneissa, jotka toisaalta keskenään antoivat samantasoisia tuloksia.

Vertailussa mitattiin 5 leimikkoa kokonaispinta-alaltaan 14,4 ha. Keskimääräinen vaurioprosentti Metsäntutkimuslaitoksen käyttämällä menetelmällä oli 4,8 ja ruotsalaisella SLU-menetelmällä 7,2. Kolmella leimikolla tulokset olivat lähellä toisiaan, mutta kahdella leimikolla vauriomäärät erosivat huomattavasti. Ruotsalaisella menetelmällä todettiin huomattavasti enemmän pinta-alaltaan pieniä runkovaurioita. Ajouraleveys suomalaisella menetelmällä oli keskimäärin 4,0 m ja ruotsalaisella 3,8 m. Ajouravälit olivat vastaavasti 25,3 m ja 23,3 m ja ajourapainumien syvyydet 1,7 cm ja 2,2 cm.

Metsäkeskus Tapion aloitteesta verrattiin Tapion vuodesta 1990 käyttämää inventointimenetelmää (Harvennushakkuiden korjuujäljelle...1990) ja sovellettua SLU-menetelmää, johon oli tehty pieniä muutoksia suoritettavien mittausten suhteen. Samalla haluttiin verrata kahta erilaista ajouraleveyden mittaustapaa. Vertailussa mitattiin 11 leimikkoa koko leimikon inventointimenetelmällä ja koealaotantaan perustuvalla menetelmällä (Poikela 1992). Inventoidut alueet olivat noin 2 ha:n suuruisia. Koealamittauksissa käytettiin 20-35 m:n koealaväliä, jolloin koealat käsittivät noin 10 % leimikon pinta-alasta.

Mittaustavat antoivat ajouravälistä ja painuman määrästä varsin samansuuntaisia tuloksia. Sen sijaan ajouraleveyttä mitattaessa SLU-menetelmä antoi keskimäärin 1,1 m suurempia leveyksiä kuin Kniggle-mittausmenetelmä. Puustovaurioiden määrässä mittaustulokset erosivat jyrkästi toisistaan. Keskimääräinen vaurioprosentti koko leimikon inventointiin perustuvalla menetelmällä oli 2,4 ja koealamittausmenetelmällä 8,5. Ruotsalainen koealaotantaan perustuva menetelmä antoi 3,5-kertaiset vauriomäärät koko leimikon inventointiin verrattuna. Juurivaurioissa ero oli pienempi, mutta niissäkin koealamittausmenetelmä antoi keskimäärin kaksinkertaiset juurivaurioprosentit Tapion aiemmin käyttämään menetelmään verrattuna.

Erot vauriomäärissä selittynevät pääosin sillä, että 100 m<sup>2</sup>:n ympyräkoelalta kaikkien vaurioiden havaitseminen on todennäköisempää kuin koko leimikolta. Lisäksi inventoijan vaikutus lopputulokseen on vähäisempi koealamittauksiin perustuvassa menetelmässä. Vertailun perusteella Metsäkeskus Tapio siirtyikin vuonna 1993 käyttämään koealamittauksiin perustuvaa menetelmää.

SLU-menetelmä vaati enemmän aikaa kuin koko leimikon inventointiin perustuva menetelmä. Koko leimikon inventoinnin kokonaisajanmenekki oli 80-125 min/ha, pienellä 0,7 ha:n kohteella 170 min/ha. SLU-menetelmän ajanmenekki oli noin 120

min/ha. Menetelmää kehittämällä voidaan ajanmenekkiä kuitenkin pienentää (Poikela 1992).

Björheden & Fröding (1986) selvittivät menetelmänsä ajanmenekkiä ja totesivat hehtaarikohtaisen ajanmenekin pienenevän leimikon koon kasvaessa. Tämä johtuu suurempien leimikoiden osittain pidemmästä koelavälistä. Kun 2 ha:n leimikoissa ajanmenekki oli noin 80 min/ha, 10 ha:n leimikoissa ajanmenekki oli alle 30 min/ha. Koko leimikon mittaukseen perustuvassa menetelmässä hehtaarikohtainen ajanmenekki ei oleellisesti pienene leimikon koon kasvaessa. Pikemminkin suuren leimikon tarkka inventointi on vaikeampaa kuin pienemmän leimikon. Lisäksi leimikon pinta-alan mittaus vie aikaa.

Ruotsin metsäkorkeakoulun (Björheden & Fröding 1986) SLU-menetelmää verrattiin Skogsarbetenin menetelmään (Nordberg 1985). Vertailu tehtiin inventoimalla 23 ha:n leimikko molemmilla menetelmillä 3 kertaa (Björheden 1986). Menetelmien antamat tulokset erosivat erityisesti vauriomäärien osalta. Vauriomäärät eri mittauskerroilla olivat SLU-menetelmällä 9,9 %, 11,6 % ja 11,8 % ja Skogsarbetenin menetelmällä 4,8 %, 9,3 % ja 20,0 %. Vauriomäärien suuri vaihtelu Skogsarbetenin menetelmällä johtunee otoskoon riittämättömyydestä. Muiden tekijöiden, kuten uratietojen ja jäävän puuston määrän suhteen tulokset olivat lähellä toisiaan. Luotettava vaurioiden ja niiden laadun toteaminen edellyttää aina riittävän suurta otosta.

## 2.4 Ajouraleveyden mittaaminen

Ajouraleveyden tarkka määrittäminen on vaikea tehtävä. Ajouraleveyskäsitteitä ja mittausmenetelmiä ovat laajasti esitelleet Isomäki & Niemistö (1990) ja Isomäki (1994), jotka jakavat mittausmenetelmät **korjuuteknistä ajouraleveyttä** ja **puuntuotannollista ajouraleveyttä** mittaaviin. Korjuuteknisiin leveyskäsitteisiin luetaan ajouran *tavoitelevyys*, jolla tarkoitetaan korjuukoneen tilantarvetta eli liikkuvuudelle ja työskentelylle riittävää ajouraleveyttä. Korjuuteknistä ajouraleveyttä mittaa myös ajouran *ulkolevyys*, joka vastaa koneen käytettävissä olevaa koko ajouratilaa.

Puuntuotannollisella ajouraleveydellä puolestaan ymmärretään joko ajouralta poistetun puuston mukana menetettyä kasvua, jolloin puhutaan ajouran *puustolevyydestä*, tai reunapuiden väliin ajouran keskelle vajaakäyttöiseksi jäävää kasvutilan pinta-alaa, mitä vastaa ajouran *sisäleveys*. Puuntuotannollisella ajouraleveydellä pyritään siis ilmentämään ajouran vaikutusta puuston kasvuun ja tuotokseen (Isomäki & Niemistö 1990, Isomäki 1994).

Ajouran tavoitelevyys, joka kuuluu korjuuteknisiin leveyskäsitteisiin, kuvaa metsätö-koneen tarvitsemaa kulku- ja työskentelytilaa. Sen arvo esitetään yleensä leimikon suunnitteluohjeessa. Maastossa tämän käsitteen mukaista ajouraa ei kuitenkaan voida konkreettisesti osoittaa eikä sen leveyttä yksiselitteisesti mitata (Isomäki & Niemistö 1990). Ajouran korjuuteknisen tavoitelevyyden määrittämiseksi on kehitetty useita mittausmenetelmiä, kuten Sondellin (1974), Arvidssonin & Knutellin (1977), Buchtin (1978 ja 1981) sekä Digglen & Knutellin (1979) kehittämät menetelmät. Näistä teo-

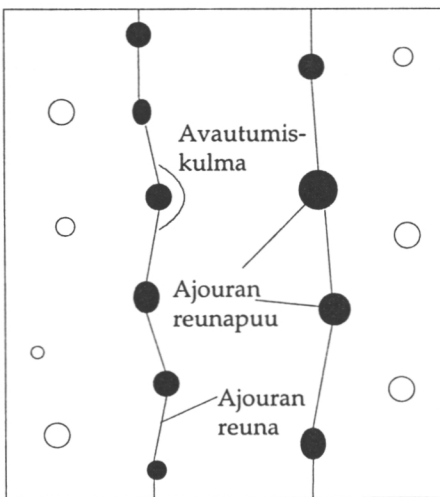
reettisesti edistyksellisin on Digglen & Knutellin (1979) kehittämä Kniggle-menetelmä. Myös Ruotsin Metsäkorkeakoulun ja Metsäntutkimuslaitoksen inventoinneissaan käyttämä SLU-menetelmä (Björheden & Fröding 1986) mittaa korjuuteknistä tavoitelevyettä.

Kniggle-menetelmässä mitataan ajouran keskiviivalta satunnaisesti valituista mittauspisteistä etäisyys lähimpään puuhun ajouran kummallakin puolella. Puu saa sijaita missä suunnassa tahansa mittauspisteeseen nähden. Mittauspisteet sijaitsevat yleensä 10 metrin välein. SLU-menetelmässä taas ajouran leveys määritetään mittaamalla useilta 20 metrin mittaajaksoilta kohtisuora etäisyys ajouran keskiviivasta lähimpään puuhun ajouran kummallakin puolella.

Korjuuteknisiin ajouraleveyskäsitteisiin kuuluu myös ajouran ulkoleveys, joka käsittää korjuukoneiden käytössä olevan ajouran reunapuiden rajoittaman koko avoimen ajouratilaa (Isomäki & Niemistö 1990). Ehkä selkein ulkoleveyden mittaustapa on Isomäen & Niemistön (1990) esittämä tapa (kuva 4). Ulkoleveyttä mitattaessa ajouran reunana pidetään reunapuiden sijaintipisteiden kautta kulkevaa murtoviivaa ja ajouran leveytenä näin määritetyn ajouratilaa keskileveyttä (Isomäki 1994). Puu luokitellaan reunapuuksi, jos sen avautumiskulma on vähintään 120°. Avautumiskulma puolestaan määritetään vierekkäisten reunapuiden avulla, ja se ilmaisee, kuinka suuri sektori puun kasvutilasta liittyy välittömästi ajoura-aukkoon (Isomäki & Niemistö 1990).

Ulkoleveys vastannee parhaiten sitä mielikuvaa, joka syntyy tarkasteltaessa ajouraa maastossa (Isomäki 1994). Muita ulkoleveyden mittausten menetelmiä ovat Carlestälän & Dehlénin (1977), Tørån eli NISKin (1978) sekä Rumpusen HaRu-menetelmä (Isomäki 1994).

Puuntuotannollisia leveyskäsitteitä ovat ajouran puustoleveys ja sisäleveys (Isomäki & Niemistö 1990). Puustoleveys määritetään ajouralta poistetun puuston perusteella, eli sillä kuvataan ajouralle osuneen puuston osuutta metsikön kokonaispuustosta. Sisä-



Kuva 4. Ajouran ulkoleveys Isomäen & Niemistön (1990) ja Isomäen (1994) mukaan.

leveys puolestaan tarkoittaa reunapuiden hyötykäytön ulkopuolelle jäävää ajouran keskialuetta. Sisäleveys on siis puuntuotannollisesti vajaakäyttöön jäävä ajouratila. Ajouran sisäleveys ja puuntuotannollinen merkitys yleensä pienenevät ajan kuluessa.

Isomäki (1994) esittää ajouran puuntuotannollisten ominaisuuksien arviointiin ja kontrollointiin tarkoitetun uuden leveyskäsitteen, ajouran *valvontaleveyden*. Lähtökohtana on ajouran ulkoleveys ja metsikön puiden välinen keskietäisyys, joiden erotus kerrotaan ajouran reunapuiden suhteellisella järeydellä ja suhteellisella tiheydellä. Näin saatu tulo vastaa ajouran valvontaleveyttä.

Eri lähestymistavat ajouran leveyden mittauksessa antavat hyvin erilaisia leveysarvoja. Ulkoleveys antaa huomattavasti suuremman uraleveyden kuin muut leveyskäsitteet. Isomäki & Niemistö (1990) laskivat 20 ensiharvennuskuusikkoa käsittävästä aineistosta ajouraleveydet eri menetelmillä. Mittaustavasta riippuen keskimääräinen uraleveys oli pienimmillään 1,63 m (sisäleveys) ja suurimmillaan 5,12 m (ulkoleveys). Suomessa yleisesti käytetty Kniggle antoi arvoksi 3,43 m ja SLU 4,26 m. Poikelan (1992) vertailussa 11 leimikolla Knigglen antama uraleveys oli keskimäärin 3,60 m ja SLU:n 4,60 m. Sovittaessa suositusarvoja ajouraleveydelle tai käytettäessä leveyttä ajouran seurausvaikutusten arviointiin on mittaustapa otettava huomioon. Mittausmenetelmän valintaan vaikuttaa myös mittaustavan soveltuminen käytännön mahdollisuuksiin; metsässä suoritettavat mittaukset eivät saa olla liian monimutkaisia tai aikaavieviä.

## 2.5 Korjuujäljen taso eri korjuumenetelmillä

Harvennuspuun korjuussa syntyvien korjuuvaurioiden määrä ja korjuujäljen taso on ollut mielenkiinnon kohteena puunkorjuun koneellistamisen alkuajoista lähtien. Pohjoismainen kuormatraktori kehitettiin 1960-luvulla korvaamaan pohjois-amerikkalainen laahusjuontotraktori paljolti juuri siksi, että puustovaurioiden määrä uhkasi nousta kohtuuttoman korkeaksi. Korjuujälkeä on selvitetty puunkorjuumenetelmien ja -koneiden tutkimusten yhteydessä sekä erillisillä inventoinneilla. Tutkimustuloksia ovat Suomessa julkaisseet mm. Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho, Työtehoseura ja Metsähallituksen kehittämisjaosto. Vuodesta 1990 lähtien korjuujälkeä on valvonut Metsäkeskus Tapio (Harvennushakkuiden...1990). Seuraavassa esitellään joitakin 1980- ja 90-lukujen suomalaisten ja ruotsalaisten korjuujälkiselvitysten tuloksia.

### 2.5.1 Puustovaurioiden määrä moottorisahahakkuussa ja metsäkuljetuksessa

Moottorisahahakkuu ei aiheuta merkittäviä puustovaurioita. Kaadettavien puiden osuminen kasvatettaviin puihin saattaa aiheuttaa kuoren irtoamista erityisesti nila-aikana, mutta kaatovaurioiden merkitys on kokonaisuudessaan vähäinen. Korjuuvauriot syntyvätkin pääosin metsäkuljetuksessa. Maataloustraktorin ja metsätraktorin korjuujälkeä vertailtiin 1980-luvun alussa. Sirénin (1981) inventoinnissa keskimääräinen vaurioprosentti maataloustraktorilla korjatuissa leimikoissa oli 2,0 ja metsätraktorilla 1,4, joista viimeksi mainituilla oli hieman

suurempi uraleveys. Samansuuntaisen tuloksen sai Lilleberg (1984), jonka inventoimissa leimikoissa maataloustraktori oli vaurioittanut keskimäärin 0,6 % ja metsätraktori 0,5 % jäävistä rungoista. Tässä tutkimuksessa ei huomioitu juurivaurioita. Myös Metsähallituksen kehittämisjaoston tutkimuksessa (Högnäs 1982) todetut vauriomäärät olivat samaa tasoa Sirénin (1981) ja Lillebergin (1984) tulosten kanssa.

Ruotsin Metsäkorkeakoulu selvitti korjuujälkeä inventoimalla 101 harvennusleimikkoa (Fröding 1982). Tutkimuksessa todettiin huomattavasti korkeampia vauriomääriä kuin suomalaisissa tutkimuksissa. Miestyöhakkuun jälkeisessä metsäkuljetuksessa oli vaurioitunut keskimäärin 8,0 % ja maataloustraktorikuljetuksessa 3,5 % jäävästä puustosta. Korkeammat vauriomäärät selittyvät osittain suomalaisten ja ruotsalaisten inventointimenetelmien eroilla.

Edellä esitetyt inventoinit tehtiin aikana, jolloin pitkäulotteiset kuormaimet eivät olleet käytössä ja lyhyt puutavara kasattiin uran varteen. 1980-luvun puolivälissä 4-5 metrin pituisen puutavaran teko yleisty. Samalla ulottumaltaan 9-10 metrin kuormaimet vähensivät kasaustarvetta. Metsätraktorikalusto alkoi myös keventyä ja pienehköjä tela-alustaisia koneita kehitettiin erityisesti turvemaiden puunkorjuuseen.

Lilleberg (1986) selvitti uudemman kaluston ja hakkuumenetelmien korjuujälkeä. Vauriomäärät olivat kohtuullisia, eikä eri konetyyppien välillä ollut oleellisia eroja. Keskikokoinen metsätraktori vaurioitti keskimäärin 0,9 %, pieni metsätraktori 1,3 % ja telamaasturi 0,9 % jäävästä puustosta. Hakkuumenetelmistä verrattiin kasausta ajouran varteen, kasausta vyöhykkeelle ja kasausta palstalle. Vaurioprosentit olivat vastaavasti 0,6, 0,9 ja 0,8. Juurivaurioita ei inventoitu.

Metsäkeskus Tapion selvityksessä vuonna 1990 (Harvennushakkuiden...1990) inventoitiin 88 moottorisahalla hakattua leimikkoa, joissa puut oli kuljetettu metsätraktorilla. Keskimääräinen runkovaurioprosentti (juurivaurioita ei mukana) oli 0,6. Keskimääräinen vaurioprosentti metsälautakunnittain oli 0,2-1,3. Vuonna 1991 vaurioprosentti oli keskimäärin 0,7 vaihdellen lautakunnittain 0,6-1,6 (Hartikainen 1991) ja vuonna 1992 keskimäärin 0,5 vaihdellen lautakunnittain 0,1-0,8 (Hartikainen 1992). Vuoden 1993 vauriomäärät eivät ole suoraan verrannollisia aiempiin mittausmenetelmän muutoksen vuoksi (Hartikainen 1993). Vuonna 1993 keskimääräinen vaurioprosentti miestyönä hakatuissa leimikoissa oli 1,5 ja vuonna 1994 (Hartikainen 1994) keskimäärin 1,3.

Uusimpia tutkimustuloksia edustaa ruotsalainen Frödingin (1992b) laaja korjuujälkitutkimus. Tutkimusaineisto käsitti kaikkiaan 403 leimikkoa, joista moottorisahakuuleimikoita oli 31,5 %. Tutkimus tehtiin koalamittauksiin perustuvalla menetelmällä. Verrattuna 1980-luvun alun vauriomääriin (Fröding 1982) korjuujälki oli parantunut, sillä keskimääräinen vaurioprosentti moottorisahakuussa oli 3,0, kun se vuosikymmen aiemmin oli ollut 8,0.

Miestyövaltaisiin hakkuumenetelmiin kuuluu myös erilaisia osapuuta tai kokopuumenetelmiä. Niiden ongelmana on pidetty maaperän vaurioitumista, koska hakkuutähteiden suoja ajourilla on vähäinen. Sirénin (1986) tutkimuksessa keskimääräinen vaurioprosentti osapuumenetelmällä oli 2,6. Frödingin (1983)

tutkimuksessa vaurioprocentti oli keskimäärin 12,9 ja uudemmassa inventoinnissa 5,9 (Fröding 1992b).

## 2.5.2 Puustovaurioiden määrä koneellisessa hakkuussa

Koneellisen harvennuksen alkuaikoja leimasivat korkeat vauriomäärät. Esimerkiksi korjuuketjulla yksioteprosessori-metsätraktori tutkimuksissa todettu vaurioprocentti oli Suomessa keskimäärin 11,1 (Sirén 1982) ja Ruotsissa 13,4 (Fröding 1983). Kaksioteprosessoreilla Fröding (1983) totesi vieläkin korkeampia vauriomääriä. Osasyynä korkeisiin vauriomääriin saattoi olla kuljettajien kokemattomuus ja tietämättömyys korjuujäljen merkityksestä, sillä kokeessa, jossa kuljettaja tiesi korjuujälkeä seurattavan (Imponen & Sirén 1983), keskimääräinen vaurioprocentti yksioteprosessorilla oli 6,0.

Koneellisen hakkuun koneet ja menetelmät ovat kehittyneet nopeasti. Eräitä keveitä maataloustraktorisovitteisia prosessoreita lukuun ottamatta lähes kaikki hakkuukoneet ovat nykyisin yksioteharvestereita, jotka soveltuvat sekä harvennuksiin että päätehakkuihin. Seuraavassa esitellään joitakin pohjoismaisia tuloksia koneellisen hakkuun aiheuttamista puustovaurioista.

Mäkelä (1987) tutki yksioteharvesteria myöhemmissä harvennuksissa. Osa tutkituista menetelmistä oli täysin koneellisia, osassa ajourista etäimpänä oleva keskikaista kaadettiin miestyönä. Vaurioprocentti tutkimusleimikoissa vaihteli välillä 2-10. Koneenkuljettajan valitessa itse poistettavat puut vaurioprocentti oli hieman alempi kuin etukäteen leimattaessa.

Ruotsissa Orke & Scherman (1986) vertailivat korjuujälkeä eri työskentelymenetelmillä Valmet 901 -yksioteharvesterilla. Vaurioprocentti vaihteli ensiharvennuskannikossa välillä 2,3-7,4, ensiharvennuskuusikossa välillä 3,8-5,7 ja kuusikon toisessa harvennuksessa välillä 2,8-4,5. Menetelmässä, jossa keskikaistan puut kaadettiin moottorisahalla, vaurioita syntyi vähemmän kuin koneen avatessa ajourien väliin hakkuu-uran.

Kuitto ja Mäkelä (1988) tutkivat eri työmenetelmiä yksioteharvesterilla. Metsäkuljetusurien väli oli 30-35 m. Osassa leimikoita hakkuu tehtiin täyskoneellisesti, jolloin kone työskenteli myös hakkuu-urilla ajourien välissä. Osassa leimikoita keskivyöhykkeen puut kaadettiin moottorisahalla. Ensiharvennuksessa vaurioprocentti oli 0,5-2,6 ja toisessa harvennuksessa 1,7-4,5. Kuljettajan valitessa poistettavat puut vaurioita syntyi vähemmän myös tässä tutkimuksessa.

Mäkelä (1989a) vertaili kahdeksaa yksioteharvesteria ensiharvennuskannikossa. Kokeessa oli mukana myös pieniä, tela-alustaisia koneita. Vaurioprocentti hakkuussa vaihteli 0,3:sta 2,5:een. Metsäkuljetuksen vauriot mukaan luettuna vaurioitui 0,6-3,7 % jäävästä puustosta. Mäkelä (1989b) tutki myös kuusikon ensiharvennusta neljällä keskikokoisella ja kolmella pienellä yksioteharvesterilla. Ajouraväli oli 20 m, ja kuljettajat valitsivat poistettavat puut. Jäävästä puustosta vaurioitui hakkuussa keskimäärin 1,4 % vaihteluvälin ollessa 0,1-3,1 %. Metsäkuljetuksessa vaurioprocentti oli konetyypistä riippuen 0,4-1,7 keskiarvon ollessa 1,0.

Mäkelä (1990a, 1990b) jatkoi koesarjaa tutkimalla hakkuukoneita turvemaiden kesäaikaisessa puunkorjuussa kolmella keskikokoisella yksioteharvesterilla, yhdellä kaivinkonealustaisella yksioteharvesterilla ja kolmella pienellä yksioteharvesterilla. Keskikokoisilla hakkuukoneilla ajouraväli oli 20 m ja pienillä hakkuukoneilla 30 m, jolloin ajourien väliin avattiin hakkuu-ura. Keskimääräinen vaurioprocentti korjuussa oli 3,0. Hakkuussa vaurioitui keskimäärin 1,6 % ja metsäkuljetuksessa 1,4 % jäävästä puustosta. Vaurioprocentti vaihteli koneittain suuresti. Alhaisin vaurioprocentti oli pienkoneketjun 0,8 ja korkein keskikokoisen hakkuukoneketjun 6,6. Koe osoitti turvemaiden kesäaikaisen korjuun olevan mahdollista usean tyyppisillä koneilla.

Pieniä hakkuukoneita käytetään Ruotsissa huomattavasti enemmän kuin Suomessa. FMG 0470 Lillebror on Ruotsissa yleinen pyöräalustainen hakkuukone, joskaan sitä ei valmisteta enää. Konetta tutkittiin männikön ja kuusikon ensiharvennuksessa (Brunberg & Nilsson 1988) Mäntyleimikoissa vaurioprocentti vaihteli välillä 1,6-2,9 ja kuusikoissa 0,9-4,3. Valtaosa vaurioista sijaitsi ajourien välisten hakkuu-urien varressa, jossa koneen työskentelytila on pieni.

Sirén (1990) tutki pieniä hakkuukoneita pohjoismaisen harvennusprojektin puitteissa. Tutkimuksessa oli mukana sekä yksi- että kaksioteharvestereita. Tutkimusleimikoissa oli vaurioitunut keskimäärin 5,0 % jäävästä puustosta, eikä konetyyppien välillä ollut eroa. Samaan tutkimukseen liittyen verrattiin kevyttä yksi- ja kaksioteharvesteria tiheässä kuusikossa. Vaurioprocentti yksioteharvesterilla oli keskimäärin 0,7 ja kaksioteharvesterilla 3,8.

Metsäkeskus Tapio on tarkastanut korjuutyön laatua vuodesta 1990 lähtien. Vuonna 1993 Tapio siirtyi käyttämään koealamittauksiin perustuvaa menetelmää, joten tuloksia ei voida suoraan verrata aiempiin vuosiin. Keskimääräinen vaurioprocentti, vaihtelu lautakunnittain ja tarkastettujen konehakuuleimikoiden määrä ovat olleet seuraavat (Harvennushakkuiden...1990, Hartikainen 1991, 1992, 1993 ja 1994):

Vuosi	Vaurio-%	Vaihtelu lautakunnittain	Leimikoiden lukumäärä
1990	2,5	1,0-4,6	178
1991	2,2	0,5-4,2	157
1992	1,6	0,3-3,9	197
1993*	5,1	0,8-10,3	195
1994*	3,9	1,7-9,1	195

\* uusi mittausmenetelmä

Sirénin (1995) tutkimuksessa analysoitiin hakkuukonetyötä korjuujäljen kannalta. Keskimääräinen vaurioprocentti 15 tutkimustyömaalla oli 4,6. Metsäkuljetuksen vauriot eivät ole luvuissa mukana. Kuljettajakohtaiset erot vauriomäärissä olivat huomattavia.

Metsäkeskus Tapion mukaan harvennushakkuu on puustovaurioiden osalta erinomaisesti toteutettu, kun vaurioituneita puita on enintään 5 % jäävän puuston runkoluvusta. Korjuujälki täyttää puustovaurioiden osalta vähimmäisvaatimukset, jos jäävistä puista korkeintaan 9 % on vaurioituneita ja korkeintaan 5 % vakavasti

vaurioituneita (Hartikainen 1993). Vauriota pidetään vakavana, jos sen pinta-ala on yli 100 cm<sup>2</sup> tai jos vaurio on puuainekseen saakka ulottuva syvävaurio.

### 2.5.3 Puustovaurioiden koko, laatu ja sijainti

Korjuujälki-inventoinneissa ei aina ole inventoitu juurivaurioita eikä vaurioiden sijaintia, kokoa tai laatua. Kuitenkin vain riittävän tarkoista inventointituloksista on mahdollista arvioida vaurioiden seurausvaikutuksia. Näin ollen on syytä inventoida myös juurivauriot ja selvittää vaurioiden koko, laatu sekä sijainti.

Juurivaurioista huomioidaan yleensä vauriot, jotka sijaitsevat läpimitaltaan vähintään 2 cm paksuissa juurissa korkeintaan 70 cm:n etäisyydellä juurenniskasta. Ruotsalaiset tutkijat (Nilsson 1967, Nilsson & Hyppel 1968) ovat todenneet, että 70-100 cm kauempana olevat juurivauriot eivät aiheuta kuusella rungon käyttöarvoa alentavaa lahoutumista. Läpimitaltaan alle 2 cm:n kokoiset juuret aiheuttavat vaurioituessaan vain värivikaa (Nilsson & Hyppel 1968, Isomäki 1972). Ajourapainumat voivat kuitenkin aiheuttaa juuristovaurioita, joista voi seurata kasvatappioita, vaikka vauriot sijaitsisivatkin yli 100 cm:n etäisyydellä juurenniskasta (Wästerlund 1983). Tämä tulee huomioon otetuksi urapainumia inventoitaessa.

Sirénin (1981) inventoinnissa metsätraktorin aiheuttamista vaurioista kohdistui runkoon 55,0 %, juurenniskaan 8,2 % ja juuristoon 36,8 %. Metsätraktorin aiheuttamista runkovaurioista 37,5 % oli pintavaurioita ja 62,5 % syvävaurioita, joissa myös puuaines oli vahingoittunut. Pintavaurioista 69,9 % ja syvävaurioista 45,5 % oli pinta-alaltaan alle 100 cm<sup>2</sup>. Högnäsin (1982) inventoinnissa metsäkuljetusvaurioista kohdistui runkoon 81,5 % ja juuristoon 18,5 %. Vaurioista 27 % oli pintavaurioita, 56 % syvävaurioita ja 17 % vaurioita, joissa puu oli kallistunut tai katkennut. Vaurioista 62 % oli kooltaan alle 100 cm<sup>2</sup>.

Frödingin (1982) inventoinnissa vaurioista kohdistui runkoon 68 % ja juuristoon tai juurenniskaan 32 %. Vaurioista oli 86 % pintavaurioita ja 14 % syvävaurioita. Yli puolet vaurioista oli kooltaan alle 100 cm<sup>2</sup>. Frödingin (1992a) uudemmassa tutkimuksessa syvävaurioiden osuus oli suurempi kuin vuoden 1982 tutkimuksessa, sillä 63 % vaurioista oli syvävaurioita. Vauriot olivat kuitenkin pinta-alaltaan pieniä; 95 % pintavaurioista ja 67 % syvävaurioista oli alle 100 cm<sup>2</sup>.

Yleensä vauriot inventoidaan metsäkuljetuksen jälkeen, jolloin ei pystytä erittelemään hakkuutyön ja metsäkuljetuksen vaurioita. Metsäkuljetusvauriot keskittyvät uran varteen ja sijaitsevat yleensä alhaalla rungossa. Sirénin (1981) tutkimuksessa lähes 90 % vauriopiusta sijaitsi alle 250 cm:n etäisyydellä uran keskeltä ja runkovaurioiden keskimääräinen etäisyys juurenniskasta oli 97 cm. Metsätraktorin kone-elimistä eniten runkovaurioita aiheuttivat pyörä, pankko, kuormain ja koneen runko. Tutkimuksessa noin 15 % syvävaurioista oli suurempia kuin 500 cm<sup>2</sup>. Yleensä suurin osa vakavista vaurioista syntyy metsäkuljetuksessa.

Metsäkeskus Tapion korjuujälkiselvityksessä inventoitiin 195 konekorjuuleimikkoa. 80 % vaurioista sijaitsi rungossa ja 20 % juurenniskassa tai juuressa. Suurin osa vaurioista oli pieniä, pinta-alaltaan alle 100 cm<sup>2</sup>:n pintavaurioita (Hartikainen 1993).

Puustovaurioiden seurausvaikutusten arvioimiseksi on tärkeää mitata vaurioiden pinta-ala mahdollisimman tarkasti. Entisen luokittelun (alle tai yli 100 cm<sup>2</sup>) sijasta Metsäkeskus Tapio siirtyikin vuonna 1994 käyttämään hieman tarkempaa jaottelua, jossa vauriot jaetaan pinta-alaluokkiin alle 30 cm<sup>2</sup>, 30-100 cm<sup>2</sup> ja yli 100 cm<sup>2</sup> (Koealamittauksiin... 1994).

Hakkuukoneiden aiheuttamat puustovauriot poikkeavat metsäkuljetuksen aiheuttamista vaurioista. Hakkuutyön vaurioista kohdistuu valtaosa runkoon, ja vaurioita syntyy myös korkealle puuhun. Sirénin (1982) inventoinnissa yksioteprosessorileimikoissa vaurioista kohdistui runkoon 64 %, juurenniskaan 3 % ja juuriin 33 %. Runkovaurioista 20 % sijaitsi yli 2 metrin korkeudella juurenniskasta, ja 1 % vaurioista oli yli 5 metrin korkeudella. Sirénin (1990) tutkimuksessa pienten hakkuukoneiden vaurioista oli rungossa 86,7 %, juurenniskassa 7,7 % ja juuristossa 5,6 %.

Konehakkuun vaurioista suuri osa on pienehköjä pintavaurioita. Sirénin (1982) tutkimuksessa 74 % yksioteprosessorin vaurioista oli pintavaurioita, ja 70 % vaurioista oli kooltaan alle 100 cm<sup>2</sup>. Pienten hakkuukoneiden vaurioista (Sirén 1990) 85 % oli pintavaurioita ja 15 % syvävaurioita. Runko- ja juurenniskavaurioista yli 90 % oli kooltaan alle 100 cm<sup>2</sup>.

Metsäntutkimuslaitoksen uusimmassa hakkuukonetutkimuksessa hakkuuvaurioista lähes 90 % oli pieniä pintavaurioita. Vaurioiden keskikoko oli 54 cm<sup>2</sup>. Talvella keskikoko oli 39 cm<sup>2</sup>, keväällä ja syksyllä 55 cm<sup>2</sup> ja nila-aikana 78 cm<sup>2</sup>. Runkovaurioiden keskimääräinen etäisyys juurenniskasta oli 288 cm, ja vauriopuiden etäisyys lähimmän ajouran keskeltä 595 cm (Sirén 1995). Konehakkuun vauriot ovat siis keskimäärin lievempiä kuin metsäkuljetuksen vauriot ja voivat sijaita kaukana ajouralta hyvinkin korkealla rungossa.

Korjuujälki riippuu paljon korjuun suunnittelusta. Suunnittelemalla ajourat riittävän leveiksi ja välttämällä jyrkkiä mutkia voidaan jäävän puuston vaurioitumisriskiä pienentää. Myös korjuuajankohta vaikuttaa korjuujälkeen. Puustovaurioita syntyy kesäaikaisessa puunkorjuussa talvikorjuuta enemmän ja syntyneiden vaurioiden keskikoko on suurempi. Heikosti kantavilla mailla ja kuusikoissa kesäaikaista puunkorjuuta on vältettävä. Hyvän korjuujäljen edellytyksenä on leimikon suunnittelun ja oikean korjuuajankohdan lisäksi korjuukoneen kuljettajan ammattitaito.

#### 2.5.4 Ajourat ja ajourapainumat

Tuloksia ajouravälistä ja -leveydestä ei tässä yhteydessä esitellä laajasti, koska mittaustulokset riippuvat käytetystä mittausten menetelmästä. Ajouraväli mitataan usein linjoittaisella mittausten menetelmällä, joka Lillebergin (1984) mukaan antaa yliarvion ajouravälistä. Todellinen ajouraväli saadaan mittaamalla ajourien kokonaispituus leimikolla, jolloin myös yhdysurat tulevat huomioiduiksi.

Metsäkeskus Tapion vuoden 1993 korjuujälkiselvityksessä saatiin keskimääräiseksi ajouraväliksi linjoittaisella mittausten menetelmällä 22,8 m ja SLU-mittaustavalla mitatuksi keskimääräiseksi ajouraleveydeksi 4,2 m. Tämän hetkisten korjuujälkivaatimusten mukaan ajouravälin on oltava vähintään 20 m, ja uraleveys (SLU) saa olla enintään 4,5 m (Hartikainen 1993).

Ajourapainumia on mitattu painuman keskimääräisenä syvyytenä tai yli 10 cm syvyisen painuman määränä joko prosentiosuutena ajourien määrästä tai pituutena hehtaarilla. Jälkimmäinen mittaustapa perustuu tutkimustuloksiin, joiden mukaan pahimmat maaperä- ja juuristovauriot syntyvät syvillä yli 10 cm:n painumilla. Mitattaessa yli 10 cm painuman määrää jäävät matalammat raiteet huomioimatta. Koska myös matalat painumat ja maaperän tiivistyminen voivat aiheuttaa kasvun menetyksiä (Wästerlund 1988), keskimääräinen raiteiden syvyys lienee parempi kriteeri seurausvaikutuksia arvioitaessa.

Högnäsin (1982) korjuujälki-inventoinnissa ajourapainuman syvyys luokiteltiin kolmeen luokkaan. Koealoilla painuman syvyys oli alle 5 cm 94,7 %:ssa tapauksista, 6-10 cm 3,8 %:ssa ja yli 10 cm 1,5 %:ssa tapauksista. Lilleberg (1986) mittasi yli 10 cm painuman määrää eri konetyypeillä. Keskikokoinen metsätraktori oli aiheuttanut keskimäärin 14 m, pieni metsätraktori 30 m ja telamaasturi 62 m yli 10 cm:n syvyistä painumaa hehtaarilla. Konetyyppien tuloksia ei voi verrata, koska telamaastureitahan käytetään pääasiassa heikosti kantavilla turvemilla.

Metsäkeskus Tapion (Harvennushakkuiden... 1990) inventoinnissa mitattiin yli 10 cm painuman määrä. Inventoiduissa 269 leimikossa yli 10 cm:n painumaa oli keskimäärin 4,6 % ajourien kokonaispituudesta. Moottorisahalla hakatuissa leimikoissa painumaa oli keskimäärin 3,3 % ja konehakuuleimikoissa 6,4 %. Konehakuuleimikoiden suurempi painumamäärä johtuu osittain aineiston jakaumasta, sillä konehakuuleimikot keskittyivät Etelä-Suomeen, jossa lauhan talven takia kantavuusolot olivat huonot. Vuoden 1991 inventoinnissa konehakuuleimikoissa yli 10 cm painuman osuus oli 2,9 % (Hartikainen 1991), vuonna 1992 2,8 % (Hartikainen 1992) ja vuonna 1993 3,9 % (Hartikainen 1993). Korjuujäljelle asetettujen vaatimusten mukaan korjuujälki luokitellaan erinomaiseksi, jos yli 10 cm:n painumaa on enintään 5 % ajourien kokonaispituudesta leimikolla. Harvennusjälki täyttää vähimmäisvaatimukset, jos painumaa on enintään 10 % (Hartikainen 1993). Vuoden 1994 inventoinnissa (Hartikainen 1994) yli 10 cm:n painumaa oli keskimäärin 2,3 % urien kokonaispituudesta. Moottorisahalla hakatuissa leimikoissa yli 10 cm painuman osuus oli 1,0 % ja konehakuuleimikoissa 2,6 %.

Ruotsissa ajourapainumia on mitattu koealoilta keskimääräisenä painuman syvyytenä. Erikssonin (1981) inventoinneissa keskimääräinen painuman syvyys vuonna 1978 oli 7,9 cm ja vuonna 1979 6,5 cm. Frödingin (1982) 101 miestyönä hakattua leimikkoa käsittäneessä tutkimuksessa keskimääräinen painuma oli 2,6 cm. Prosessorilla hakatuissa leimikoissa painuman syvyys oli menetelmittain 2,5-4,4 cm (Fröding 1983).

Suomessa Metsäntutkimuslaitos on ruotsalaisten tavoin mitannut keskimääräistä painuman syvyyttä. Yksioteprosessorileimikoissa keskimääräinen painuma oli kesällä korjatuissa leimikoissa 6,4 cm ja talvileimikoissa 0,4 cm (Sirén 1982). Koko- ja

osapuuna korjatuissa leimikoissa painuman syvyys oli keskimäärin 3,2 cm. Pienet tela-alustaiset hakkuukoneet aiheuttivat Sirénin (1990) tutkimuksessa keskimäärin 1,9 cm:n painumat. Leimikoissa, joissa myös metsäkuljetus tehtiin pienillä telakoneilla, painuman syvyys oli keskimäärin 6,7 cm.

Eri konetyyppien käyttöalueet vaihtelevat, eikä eri konetyyppien suora vertailu ole mahdollista. Konetyyppien aiheuttamia ajourapainumia on selvitetty myös vertailukelpoisissa oloissa järjestetyillä kokeilla. Tällaisia kokeita ovat tehneet mm. Hallonborg (1983), Högnäs (1985), Sondell (1986), Sirén ym. (1987) sekä Karlsson & Myhrman (1990a, 1990b). Leimaa-antavana tuloksena on koneiden viimevuosien kehitys maastoystävällisempään suuntaan.

Ajourien havutus, kesäaikaisen puunkorjuun välttäminen huonosti kantavilla mailla sekä huolellinen urasuunnittelu ovat keinoja ajourapainumien välttämiseksi. Friesin (1974) mukaan painumien syvyys pienenee havutuksella puoleen havuttamattomaan uraan verrattuna. Vastaavanlaisia tuloksia havutuksen vaikutuksista ovat saaneet Brunberg & Nilsson (1988). Kun hakkuukone teki tutkimuskuusikossa eteensä havumaton, vaurioitui 4,8 % jäävästä puustosta ja 47 % vaurioista oli juurivaurioita. Ilman havutusta jäävän puuston vaurioprosentti oli 6,8, josta 74 % oli juurivaurioita. Myös Dale & Aamodt (1994) totesivat havutuksen vähentävän maaperävaurioita. Hakkuukoneen kuljettajan tulisikin mahdollisimman usein käsitellä puu ajouran päällä, jotta ajouralle syntyisi suojaava havumatto.

## 3 KORJUJÄLJEN SEURAUSVAIKUTUKSET

Huono korjuujälki voi aiheuttaa kasvatappioita, laatutappioita ja sekundäärituhoja. Kasvatappioita aiheuttavat ajourat, ajourapainumat ja puustovauriot. Laatutappioita puolestaan aiheuttavat puustovauriot lahoutumisen tai koroutumisen seurauksena. Korjuujäljen aiheuttamilla sekundäärituhoilla taas ymmärretään hyönteis-, tuuli- ja lumituhoja. Tuhohyönteiset iskeytyvät vaurioiden heikentämiin puihin, ja juurivauriot altistavat puut myrskytuhoille. Kuusikoissa myrskytuhopuihin iskee helposti kirjanpainaja (*Ips typographus*), joka voi levitä vauriopiusta terveisiin (Metsänterveysopas 1988). Sekundäärivaikutuksiin kuuluu myös kesäaikaisen harvennuksen maannousemariski. Alttius tuuli- ja lumituhoille lisääntyy harvennusvoimakkuuden kasvaessa.

Sekundäärituhot, erityisesti hyönteistuhot, voivat aiheuttaa huomattavia menetyksiä metsänomistajalle. Tuhojen ennustaminen ja arviointi on hankalaa, koska tuhot ovat yleensä leimikkokohtaisia ja riippuvat säätilasta ja muista ulkoisista tekijöistä. Sekundäärituhot onkin jätetty käsillä olevassa tutkimuksessa syvällisemmän tarkastelun ulkopuolelle, eikä niitä näin ollen sisällytetä myöskään seurausvaikutusten laskentamalliin.

### 3.1 Ajourien aiheuttamat kasvatappiot

#### 3.1.1 Ajoura-aukon vaikutukset

Ajourien laskeminen kasvatappioiden aiheuttajaksi herättää keskustelua; ajourathan kuuluvat erottamattomasti nykyaikaiseen puunkorjuuseen. Ne on kuitenkin otettu mukaan, jotta saataisiin käsitys ajourien määrän ja laadun vaikutuksesta kokonaistappioiden suuruuteen. Aiemmin ajouraväliksi suositeltiin 30 m. Konehakuun yleistyessä Metsäkeskus Tapio on metsänhoito-suosituksissaan (Metsänhoitosuositukset 1989) suositellut käytettäväksi ajouraväliksi 20-30 m. Ajourat voivat alentaa puuston tuotosta määrällisesti tai laadullisesti seuraavista syistä (Bucht 1977, Isomäki & Niemistö 1990):

- ajouravyöhyke yliharvennetaan, jolloin puustopääoma ei pysty käyttämään kasvutekijöitä täysimääräisesti
- ajoura on liian leveä, jolloin reunapuut eivät kykene käyttämään vapautunutta kasvutilaa täysin hyväkseen
- ajouraa avattaessa optimaalisesta puuvalinnasta poiketaan.

Ajourien kokonaisvaikutus koostuu kahdesta erisuuntaisesta vaikutuksesta: kasvatappioista ja reunavaikutuksesta. Kasvatappiot johtuvat puolestaan kahdesta syystä: optimaalisesta puuvalinnasta joudutaan poikkeamaan, kun kasvatettavaksi tarkoitettuja puita poistetaan ajouralta, ja toisaalta ajoura-aukon avaamisen myötä metsämaan kasvutilaa joutuu osin puuntuotannon ulkopuolelle. Ajouran positiivisella reunavaikutuksella taas tarkoitetaan kasvunlisäystä ja runkomuodon muutoksia ajouran läheisyydessä kasvavilla puilla (Bucht 1977).

Ajouran reunapuilla on käytettävissään muuta puustoa runsaammin valoa, kasvutilaa ja hakkuutähteistä vapautuvia ravinteita. Isomäki (1994) määrittelee ajouran reunapuiksi puut, joiden avautumiskulma on vähintään 120° (kuva 4 sivu 13). Isomäen & Niemistön (1990) tutkimuksessa reunapuut kasvoivat keskimäärin 20 % enemmän kuin ajourien välisen vertailuvyöhykkeen puut. Reunapuiden lisäkasvu oli suurimmillaan viidentenä kasvukautena ajourien avaamisesta ja kasvunlisäys säilyi 10 vuoden tutkimusjakson loppuun saakka. Käytäväharvennuksissa yksittäisillä reunapuilla on havaittu jopa 40 %:n kasvunlisäyksiä. Kuusella reunavaikutuksen aiheuttama kasvunlisäys on jonkin verran suurempi kuin männyllä (Isomäki 1986).

Reunavaikutusta ilmenee myös taustavyöhykkeen puilla. Isomäen & Niemistön (1990) tutkimuksessa taustavyöhykkeen puilla tarkoitettiin puita, jotka sijaitsivat reunapuiden takana kolmen metrin vyöhykkeellä ajouran reunasta. Nämä puut saavuttivat 7 % lisäkasvun seitsemäntenä kasvukautena. Buchtin (1981) tutkimuksessa reunapuiden takana 2-4 metrin etäisyydellä ajouran reunasta sijaitsevien taustapuiden kasvunlisäys oli männyllä 15 %, ja vielä 4-6 metrin etäisyydelläkin lähes 3 %.

Useissa muissakin tutkimuksissa ajouran reunavaikutuksen ulottuvuudesta on saatu samansuuntaisia tuloksia. Fries (1976) totesi vaikutusalueeksi 4-6 m, Bucht & Elfving (1977) 3 m, Bucht (1981) 4-6 m, Eriksson (1982) 3 m, Niemistö (1989) 3 m, sekä Isomäki & Niemistö (1990) 3 m. Isomäen (1986) mukaan reunavaikutus ulottuu puihin, joilla on välitön juuristo- tai latvustoyhteys ajouratilaan. Reunavaikutuksen tarkasta kestoajasta ei lyhyiden tutkimusjaksojen takia ole tarkkaa tietoa. Isomäen & Niemistön (1990) tutkimuksessa reunavaikutuksen maksimi saavutettiin 5-7 vuodessa eikä vaikutuksen tason laskusta ollut merkkejä vielä vanhimpienkaan (11 v) ajourien kohdalla.

Reunapuiden runkomuotoon ajouralla on lievästi negatiivinen, lyhytaikainen vaikutus. Isomäen & Niemistön (1990) mukaan heti harvennuksen jälkeen kasvu rinnantasalla voimistuu selvästi ja ylittää vastaavan kasvun kuuden metrin korkeudella, mutta jo 7-9 vuoden kuluttua ero häviää. Isomäen (1986) tutkimuksessa systemaattisesti avattu linjakäytävä vaikutti reunapuiden poikkileikkauspinnan muotoon siten, että rinnankorkeudelta linjansuuntaisesti mitattu läpimitta oli suurempi kuin linjan suuntaa vastaan kohtisuora läpimitta. Kuusikoissa läpimittojen ero oli keskimäärin 3,2 % ja männikoissä 2,1 %.

Ajourien aiheuttamia kasvutappioita on tutkittu paljon. Yhteistä tuloksille on, että ajouran reunapuut kompensoivat kasvutappioita jonkin verran. Reunavaikutus ei kuitenkaan täysin pysty korvaamaan ajouran aiheuttamaa kasvun menetystä (Isomäki 1986).

### 3.1.2 Tappioiden määrä ja kesto aika

Bucht (1977) tutki ajourien vaikutusta puuntuotantoon männikön ensiharvennuksessa. Vaihtoehtoina ajouria käyttävälle harvennukselle olivat puhdas valikoiva harvennus ilman ajouria ja käytäväharvennus. Ajouraharvennuksia tehtiin hyvin kantavilla moreenimailla, joilla puusto- ja maaperävaurioita ei syntynyt. Ajouraharvennus

aiheutti keskimäärin 8,6 % vuotuisen kasvun menetyksen harvennusta seuraavan 9 vuoden aikana puhtaaseen valikoivaan harvennukseen verrattuna.

Kasvatappioiden lisäksi ajouraharvennus vaikutti puhtaaseen valikoivaan harvennukseen verrattuna siten, että (Bucht 1977):

- jäävän puuston runkoluku hehtaarilla oli 10 % pienempi
- jäävän puuston keskiläpimitta oli 2 % pienempi
- jäävän puuston pohjapinta-ala ja tilavuus oli 14 % pienempi
- harvennusvoimakkuus oli 18 % suurempi.

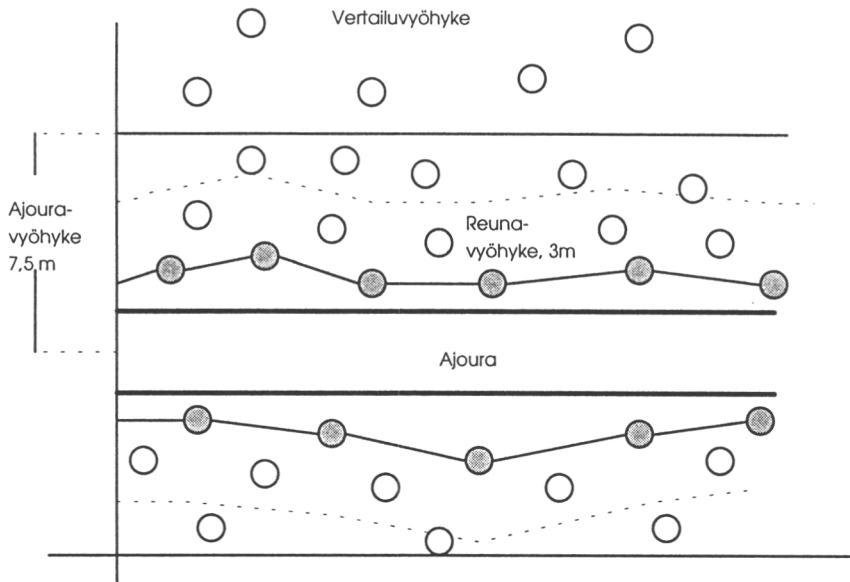
Koska ajouran reunavaikutus kompensoi kasvatappioita, reunavaikutusvyöhykkeen harvennusvoimakkuus vaikuttanee keskeisesti ajouran aiheuttamien kasvatappioiden suuruuteen. Ajouran reunapuusto olisikin jätettävä muuta puustoa tiheämmäksi (Isomäki & Niemistö 1990). Näin myös yleensä tehdään. Lillebergin (1984) tutkimuksessa runkoluku oli ajouran reunassa 20 % suurempi kuin 4 metrin etäisyydellä ajouran keskeltä mitattuna. Vastaavanlaisia tuloksia on saanut myös Fröding (1982). 101 harvennusleimikon inventoinnissa verrattiin runkolukuja harvennuksen jälkeen eri etäisyyksillä korjuukoneen jättämästä raiteesta. Yli viiden metrin etäisyydellä raiteesta suhteellinen runkoluku oli 100. Lähimpänä raidetta etäisyydellä 0-1 m suhdeluku oli 178, etäisyydellä 1-2 m 130 ja etäisyydellä 2-5 m 127. Myös myöhemmässä tutkimuksessa Fröding sai samansuuntaisia tuloksia (Fröding 1992b).

Toinen keskeinen kasvatappioiden suuruuteen vaikuttava tekijä on hyödyntämättä jäävä kasvutila, joka riippuu uravälistä ja -leveydestä. Ajouran keskivyöhykkeestä, joka jää reunapuiden hyötyalueen ulkopuolelle puuntuotannollisesti vajaakäyttöön, käytetään nimitystä ajouran sisäleveys. Isomäen & Niemistön (1990) tutkimuksessa ajourien keskimääräiseksi sisäleveydeksi mitattiin 1,6 m.

Isomäki & Niemistö (1990) esittivät käsitteet ajouran reunavyöhyke ja ajouravyöhyke. Ajouran reunavyöhykkeen puiksi luettiin kaikki puut, jotka sijaitsivat korkeintaan kolmen metrin etäisyydellä uran reunasta eli alueella, jossa ajouran reunavaikutus oli havaittavissa. Reunavyöhykepuuston osuus oli keskimäärin 34 % metsikön kokonaispuustosta. Ajouravyöhykkeeseen sisältyi reunavyöhykkeen lisäksi tapauskohtaiset täydennyskaistat, joissa ei enää ollut havaittavissa reunavaikutusta. Tutkimuksessa ajouravyöhyke ulottui 7,5 metrin etäisyydelle ajouran keskeltä mitattuna uran molemmille puolille, siis yhteensä 15 m. Ajouravyöhykkeiden välissä sijaitsi vertailuvyöhyke (kuva 5).

Seuraavat vyöhykkeiden ominaisuudet kuvaavat ajourista johtuvaa alhaista puustotiheyttä:

- puuston määrä ajouravyöhykkeillä oli keskimäärin 13 % pienempi kuin vertailuvyöhykkeillä
- ajouravyöhykkeille jätetyn puuston pohjapinta-ala oli keskimäärin 6 % vertailuvyöhykkeitä alempi.



Kuva 5. Ajouran reunavyöhyke, ajouravyöhyke sekä vertailuvyöhyke Isomäen & Niemistön (1990) mukaan. Harmaat ympyrät ovat ajouran reunapuita ja suorat viivat ajouralla korjuukoneen jäljet.

Seuraavat seikat kuvaavat sitä, kuinka ajoura-aukkojen kasvutappioita yritetään vähentää suuntaamalla ajourat kasvatettavia puita säästään:

- ajouran reunapuiden keskiläpimitta harvennuksen jälkeen oli keskimäärin 2 % suurempi muuhun puustoon verrattuna
- ajouravyöhykkeille jätetyn puuston keskiläpimitta oli keskimäärin 4,7 % suurempi kuin vertailuvyöhykkeillä.

Ajourien aiheuttaman kasvutappion laskemiseksi Isomäki & Niemistö (1990) esittävät 5 menetelmää:

1. Ajoura- ja vertailuvyöhykkeiden suora vertailu eli kokonaiskasvujen erotus. Keskimääräiseksi kasvutappioksi saatiin 1,1 %.
2. Ajoura- ja vertailuvyöhykkeiden kasvumuutoksiin perustuva vertailu. Kasvutappio oli keskimäärin 1,1 %.
3. Harvennusvalinnan ja puukohtaisen kasvun simulointeihin perustuva vertailu. Tappioksi saatiin 4,7 %.
4. Ajoura-aukon ja reunavyöhykkeen pinta-alaosuusien tarkasteluun ja eri vyöhykkeiden suhteellisten kasvujen tarkasteluun perustuva arvio. Keskimääräinen kasvutappio oli 4,7 %.
5. Ajoura-aukon ja reunavyöhykkeen puusto-osuuksien tarkasteluun ja eri vyöhykkeiden suhteellisten kasvujen tarkasteluun perustuva arvio. Keskimääräinen kasvutappio oli 5,6 %.

Kasvutappion kestoajaksi Isomäki & Niemistö (1990) arvioivat 15 vuotta, jonka kuluessa reunapuusto pystyy ottamaan ajouratilan täydellisesti käyttöönsä.

Isomäki (1986) selvitti eri levyisten linjakäytävien puuntuotannollista merkitystä. Kun kuusikkoon avattiin 20 m:n välein ajourat siten, että ne vastasivat 4 m leveitä systemaattisesti avattuja linjakäytäviä, metsikön tuotos aleni 10,3 %. Linjakäytävien vaikutuksen kestoajaksi Isomäki (1986) arvioi 20 vuotta.

Hyvin suunnitellussa leimikossa ajourat eivät ole sattumanvaraisesti avattuja käytäviä. Ruotsissa Dahlin (1980) tutki simuloimalla mahdollisuutta säästää kasvatettavaksi tarkoitettavaa puustoa ajouria mutkittelemalla. Erityisen kannattavaa tällainen ajourien suuntaaminen on puustoltaan epätasaisissa leimikoissa. Tutkimuksen mukaan mutkittelemalla voidaan säästää 30-80 % muutoin ajourilla olevista päävaltapuista ja lisätä 10 % päävaltapuiden määrää harvennuksen jälkeen.

Niemistö (1987 ja 1989) käytti simulointia ajouran vaikutusten laskemiseen. Ajourat pyritään suuntaamaan kasvatettavia puita mahdollisuuksien mukaan säästäten, jonka vuoksi eri vyöhykkeiden vertailu saattaa antaa virheellisen kuvan. Simuloinnissa ajouraharvennusta ja puhdasta valikoivaa harvennusta voidaan vertailla samoissa olosuhteissa, jolloin satunnaisvaihtelu poistuu. Lisäksi voidaan tutkia eri harvennusvaihtoehtoja sekä ajouran leveyden ja sijoituksen vaikutusta.

Niemistön (1987 ja 1989) tutkimuksissa käytettiin sekä käytännön kokeita että simulointia. Tutkimusleimikoissa ajourat oli suunnattu parhaita puita säästäten. Ajourilta poistettu puusto edusti 8,0 % koko puuston pohjapinta-alasta. Harvennusvoimakkuus ajouravyöhykkeellä oli 29,0 %, kun se kontrollivyöhykkeellä oli 20,6 %. Tutkimuksessa selvitettiin ajourien vaikutusta puuvalintaan. Osa ajourapuustosta poistettaisiin myös puhtaassa valikoivassa harvennuksessa. Ajourat aiheuttavat 1-3 m<sup>2</sup>/ha pohjapinta-alan tappion kasvatettavassa puustossa. Kun ajourien reunapuusto jätetään tiheimmäksi, pohjapinta-alan menetys on 0,5-2,5 m<sup>2</sup>/ha.

Tutkimustulostensa perusteella Niemistö (1989) esittää kaavan ajourien aiheuttaman kasvutappion laskemiseksi ajouravälin, ajouran ulkoleveyden ja runkoluvun perusteella:

$$VL = 100 * (OW - \sqrt{10000/N}) / SI \quad (1)$$

missä

VL = ajourien aiheuttama kasvutappio, %

OW = ajouran ulkoleveys, m

N = runkoluku, runkoa/ha

SI = ajouraväli, m

Kasvutappion kestoajaksi Niemistö (1989) arvioi 10 vuotta. Kasvutappio on kaavan mukainen, jos harvennusvoimakkuus vastaa suosituksia eivätkä ajouran reunapuut ole vaurioituneet. Kaavaa (1) käytetään tämän tutkimuksen laskentamallissa. Taulukossa 1 esitetään kaavalla (1) laskettu ajouran aiheuttama kasvutappio erilaisilla ajouramäärillä.

Taulukko 1. Esimerkki ajouran aiheuttamasta kasvun menetyksestä eri uramäärillä. Kasvutappio harvennusta seuraavan 10 vuoden aikana. Jäävän puuston runkoluku 1100 runkoa/ha.

Ajouraväli, m	Ajouran ulkoleveys, m			
	4,0	4,5	5,0	5,5
	Kasvutappio, %			
15	6,6	9,9	13,2	16,6
20	4,9	7,4	9,9	12,4
25	3,9	5,9	7,9	9,9
30	3,3	5,0	6,6	8,3

## 3.2 Ajourapainumien aiheuttamat kasvutappiot

### 3.2.1 Tappioiden taso ja kesto aika

Korjuukoneet aiheuttavat maaperän tiivistymistä ja painumia, jotka voivat vaurioittaa juuristoa. Seurauksena voi olla kasvutappioita. Wästerlundin (1989) mukaan kasvutappiot aiheutuvat pääasiassa puiden hienojuuriston vaurioitumisesta. Seuraavassa tarkastellaan ruotsalaisia maaperä- ja juuristovauriotutkimusten tuloksia. Suomessa aihetta on tutkittu varsin vähän.

Kardell & Pettersson (1973) tutkivat 37 vuotta aikaisemmin tehdyn tien vaikutusta reunapuiden kasvuun 100-vuotiaassa kuusikossa. Tietä tehtäessä reunapuiden juuristo oli vaurioitunut pahoin. Reunapuiden kasvutappioksi mitattiin 15-20 %, ja vaikutusten kesto aika oli 20 vuotta. Kardell (1978) tutki 29-vuotiaassa harvennuskuusikossa neljänlaista käsittelyä. Yhdellä ajouralla ajettiin 4 kuormaa, jolloin syntyi 1,6 cm syvät ajourapainumat. Ajettaessa toisella ajouralla 40 kuormaa aiheutui 5 cm syvät painumat. Kolmannella ajouralla kaivettiin kapeat 30 cm syvät ojat ajouran reunoille, jolloin juuristo vaurioitui voimakkaasti. Neljäs ajoura oli kontrollikoeala ilman painumia. 1,6 cm:n syvyiset ajourapainumat aiheuttivat 4,7 m<sup>3</sup> kasvutappion, 5 cm:n painumat 6,8 m<sup>3</sup> tappion ja syvät ojat 12,7 m<sup>3</sup> kasvutappion hehtaarella kontrolliajouraan verrattuna. Vastaavat kasvutappioprosentit 10 vuoden seurantajakson aikana olivat 4,1 ja 5,6 ja 11,6.

Fries (1976) vertaili puuston kasvua viidellä harvennuskoealalla, joilla metsäkuljetus tehtiin sekä traktorilla että hevosella. Koealueina oli sekä männiköitä että kuusikoita. Traktori aiheutti 5-15 cm syvät painumat, kun taas hevosella ajetuilla ajourilla ei havaittu painumia. Traktorikuljetuksen haitallinen vaikutus reunapuiden kasvuun ulottui 3-4 m:n etäisyydelle ajourista ja kasvun menetys oli 4-5 %.

Björkhem ym. (1975) totesivat 10-20 cm painumien aiheuttaneen kuusikoissa ajouran reunavyöhykkeellä 10-20 % kasvun menetyksen korjuun jälkeisen viiden vuoden ajan. Ågren (1968) mittasi tutkimuksessaan 30 % kasvun menetyksen ajouran reunavyöhykkeellä korjuuta seuranneen kolmen vuoden aikana.

Muista esitetyistä tutkimustuloksista poikkeaa Hedenin (1969) tulos. Harvennuskuusikon korjuussa syntyneet noin 10 cm syvät painumat eivät aiheuttaneet kasvun muutoksia. Toisaalta lisääntyneen kasvutilan reunavaikutustakaan ei ilmennyt.

Wästerlund (1992) arvioi yli 10 cm painumien johtavan 14 %:n kasvutappioihin, joiden kesto-aika on 5-10 vuotta. Kasvutappiot johtuvat todennäköisesti juuristovaurioiden ja maaperän tiivistymisen yhteisvaikutuksesta. Tiivistynyt maaperä estää juuriston kasvua ja vaikeuttaa puun ja mykoritsan eli sienijuuren symbioosia (Wästerlund 1989). Hienojakoisilla moreenimailla on laboratorio-olosuhteissa mitattu 100 kPa suuruisen staattisen kuormituksen vaikutuksia taimien juuriston kehitykseen. Männyn taimilla juurten pituus jäi 25 % ja kuusella 36 % lyhyemmäksi kuin kontrollitaimilla (Wästerlund 1985). Metsäkoneiden renkaiden keskimääräiset pintapaineet vaihtelevat yleensä välillä 50-100 kPa (Saarilahti 1991).

Wästerlund (1988) mittasi maaperän tiivistymisen nuorille kuusille aiheuttamia kasvutappioita mekaanisen raivauksen yhteydessä. Raivaus tehtiin Mini Bruunett-perustaisella työkoneella 7 ja 11-16 -vuotiaissa kuusitaimikoissa. Alle 0,5 m:n etäisyydellä työkoneen raiteista sijainneet kuuset kärsivät kahden vuoden ajan noin 25 %:n vuotuisesta kasvun menetyksestä. Työkoneen pintapaine vaihteli 60 ja 90 kPa:n välillä. Myöhemmässä tutkimuksessa, jossa tutkittiin useamman raivauskoneen aiheuttamia maaperävaurioita, Wästerlund (1990) havaitsi 90 kPa pintapaineen voivan johtaa noin 15 %:n vuotuisiin kasvutappioihin 3-4 vuoden aikana lähimpänä raidetta sijaitsevilla taimilla.

Myös Olssonin (1977) mukaan maaperän tiivistyminen on toinen syy kasvutappioihin juuristovaurioiden ohella. Juuristovaurioiden ja maaperän tiivistymisen yhteisvaikutuksesta voi kuusikoissa esiintyä 25-40 %:n kasvutappioita, jotka kestävät viiden vuoden ajan.

### 3.2.2 Tappioiden määrittäminen

Ajourapainumien aiheuttamien kasvutappioiden laskenta perustuu tässä tutkimuksessa Froehlichin (1976) tapaan määrittää tappiot kaksivaiheisesti. Ensiksi lasketaan keskimääräisen ajourapainumalle altistuvan puun juuristosta se osuus, joka joutuu alttiiksi painumalle. Tämän jälkeen lasketaan painumille altistuvien puiden kokonaismäärä leimikolla. Kasvutappioiden kokonaissuus voidaan selvittää, kun tunnetaan altistuvan juuristo-osuuden ja puiden määrän lisäksi ajourapainumien keskisyvyys leimikolla, pääpuulaji sekä metsätyyppi. Jotta olisi mahdollista käyttää tätä lähestymistapaa kasvutappioiden laskentaan, on puiden juuriston rakenne tunnettava. Seuraavassa esitellään juuriston rakennetta eri olosuhteissa.

Taulukko 2. Juuriston keskisyvydet (cm) eri-ikäisissä metsiköissä (Kalela 1949).

Metsikkö	Metsikön ikä, v				
	30	50	70	90	110
	Juuriston keskisyvyys, cm				
MT-kuusikko	7,2	7,3	7,4	7,5	7,7
VT-männikkö	7,3	8,5	9,3	9,4	9,5

Kalelan (1954) mukaan juuriston levinneisyys ja koko vaihtelevat suuresti, ja juuristolle on luonteenomaista tietty epäkeskisyys. Juuret kasvavat kuitenkin pääasiassa säteittäisesti puusta. Ne voivat kasvaa varsin pitkiksi, sillä Laitakari (1927) on todennut männyllä 23 m pitkiä juuria. Puiden ravinnonotosta huolehtivat pääasiassa alle 1 mm:n läpimittaiset juuret (Kalela 1949).

Pääosa juuristosta sijaitsee varsin lähellä maanpintaa. Puun ravinnonoton kannalta tärkeimmistä, läpimitaltaan alle 2 mm:n hienojuurista 50-70 % sijaitsee humuskerroksessa sekä männyllä että kuusella (Kalela 1957 ja Heikurainen 1957). Björkhem ym. (1975) totesivat tutkimuksessaan, että 75-80 % kuusen juuristosta sijaitsee desimetrin syvyydellä maan pinnasta. Samankaltaisia tuloksia sai Kalela (1949), jonka mukaan yli puolet MT-kuusikon vaakasuorista juurista sijaitsi enintään 5 cm:n syvyydessä ja noin 75 % enintään 10 cm:n syvyydessä. VT-männiköissä vastaavat prosenttiosuudet olivat 44 ja 70. Kalelan (1949) mukaan juuriston keskisyvytydet eri ikäisillä metsiköillä ovat taulukon 2 mukaiset.

Juuristo altistuu pinnallisuutensa vuoksi herkästi ajourapainumille. Wästerlundin (1983) mukaan yli 6 cm syvä painuma voidaan luokitella erittäin haitalliseksi.

Juuriston laajuus riippuu useista tekijöistä. Juuristo laajenee puun koon kasvaessa (Laitakari 1927). Kasvupaikka vaikuttaa juuriston rakenteeseen. Männyn juuristo on huomattavasti laajempi CT- kuin VT-kankaalla. Juuriston levinneisyys pystysuunnassa lisääntyy ravinnepitoisuuden kasvaessa (Laitakari 1927). Tämä johtunee siitä, että juuret etsiytyvät maaperän ravinnepitoisiin osiin, ja vähäravinteisillä mailla suurin osa ravinnosta on lähellä maan pintaa humuskerroksessa (Garin 1942). Runsaskivisillä mailla juuristo on keskimääräistä pinnallisempi (Laitakari 1935). Juuriston levinneisyys ei olennaisesti eroa eri puolajella. Kuitenkin kuusen juuristo on tutkimusten mukaan hieman suppeampi ja pinnallisempi kuin männyn (Kalela 1949).

Wästerlund (1986) on kirjallisuuden perusteella laatinut juuriston levinneisyyttä kuvaavan mallin. Puun ikä on mallissa juuriston levinneisyyttä kuvaava tekijä. Kun puun ikä tiedetään, saadaan juuriston laajuus seuraavasta kaavasta:

$$R = 0,21 * A^{0,73} \quad (2)$$

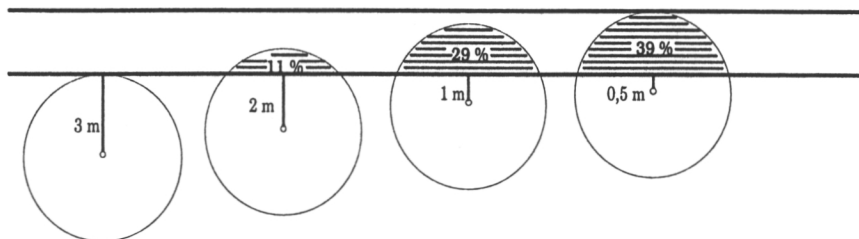
missä

R = juuriston keskimääräinen säde, m

A = puun ikä, v

Täten esimerkiksi 30-vuotiaalla puulla juuriston säde olisi keskimäärin 2,51 m, 50-vuotiaalla 3,65 m ja 70-vuotiaalla 4,67 m. Kaavaa (2) käytetään seurausvaikutusten laskentamallissa.

Kaavan (2) perusteella voidaan osoittaa ajouran reunavyöhykkeeltä puuston juuriston säteen levyinen vyöhyke, jolla sijaitsevat puut altistuvat ajourapainumille (kuva 6). Puuston keski-ikä ollessa 40 vuotta, juuriston keskimääräinen säde on 3 m. Siis kaikki puut, jotka sijaitsevat 3 metrin vyöhykkeellä ajourapainumasta lukien altistuvat ajourapainumille ja edelleen maaperä- ja juuristovaurioille.



Kuva 6. Ajourapainumalle (juuristovaurioille) altistuva osuus (%) juuristoympyrästä puun ja ajourapainuman eri etäisyyksillä. Puun oletetaan olevan 40-vuotias, jolloin juuristoympyrän säde on 3 m (Wästerlund 1983).

Altistuvien puiden osuus saadaan laskettua, kun tunnetaan juuriston säde, ajouraväli, uraleveys, puuston jakautuminen ja korjuukoneen raideleveys:

$$A = \frac{R - (W - D) / 2}{SI} * 2 * 100 \quad (3a)$$

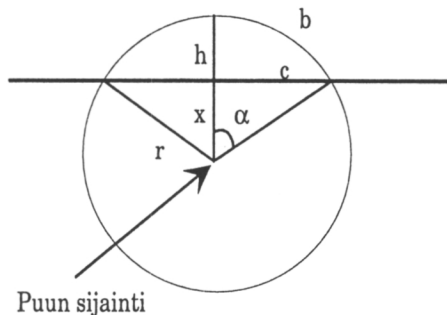
missä

- A = altistuvien puiden osuus, %
- R = keskimääräinen juuriston säde, m
- W = ajouran leveys, m (SLU-menetelmä)
- D = korjuukoneen raideleveys, m
- SI = ajouraväli, m

Kaava pitää paikkansa ainoastaan siinä tapauksessa, että puusto jakautuu tasaisesti leimikolle harvennuksen jälkeen. Näin ei kuitenkaan yleensä ole, vaan ajourien reunapuusto jätetään keskimäärin tiheämmäksi kuin kauempana oleva puusto. Näin ollen kaavaan on lisättävä reunapuuston tiheyskerroin d.

$$A = \frac{R - (W - D) / 2}{SI} * 2 * d * 100 \quad (3b)$$

Seuraavaksi on laskettava ajourapainumalle alttiina olevien puiden juuristosta osuus, joka altistuu juuristovaurioille. Tämä osuus on ajourapainuman rajaama alue juuristoympyrästä (kuva 6). Ensin lasketaan altistuvien puiden keskimääräinen etäisyys ajourapainumasta. Oletetaan puiden jakautuvan ajouran reunavyöhykkeellä tasaisesti. Tällöin altistuvien puiden keskimääräinen etäisyys painumasta saadaan altistumisvyöhykkeen ääri-laidoilla olevien puiden etäisyyksien keskiarvona:



Kuva 7. Ajourapainumalle altistuva osuus puun juuristoympyrästä. Nuoli osoittaa ympyrän keskustaa eli puun sijaintia. Ympyrää leikkaava suora kuvaa ajourapainumaa. Merkkien selitykset kaavoissa (5) ja (6).

$$S_{ka} = (S + s) / 2 = [R + (W - D) / 2] / 2 \quad (4)$$

missä

$S_{ka}$  = altistuvien puiden keskimääräinen etäisyys ajourapainumasta, m

$S$  = niiden puiden etäisyys painumasta, jotka sijaitsevat kauimpana painumasta ja joiden juuristo vielä altistuu painumalle (= juuristoympyrän säde  $R$ ), m

$s$  = lähimpänä painumaa sijaitsevien puiden (= ajouran reunapuut) etäisyys painumasta =  $(W - D) / 2$ , m

Seuraavaksi lasketaan ajourapainumalle altistuva osuus juuristoympyrästä (kuva 7). Tämä saadaan ympyrän segmentin pinta-alan kaavan avulla.

$$A = 1/2 * [ b * r - c * (r - h) ] \quad (5)$$

missä

$A$  = ympyrän segmentin pinta-ala (= painumalle altistuva osuus juuristoympyrästä)

$b$  = kaaren pituus =  $\pi * r * \alpha * 2 / 180$  (ks. kuva 7)

$c$  = leikkauksen pituus =  $\sqrt{4 * (2 * h * r - h^2)}$

$r$  = ympyrän säde, m

$h$  = segmentin korkeus, m

Kulma  $\alpha$ , jota tarvitaan kaavassa (5) kaaren pituuden  $b$  laskemiseen, saadaan kaavasta (6).

$$\alpha = \arccos(x/r) \quad (6)$$

missä

$\alpha$  = ympyrän segmentin kulman puolikas

$x$  =  $S_{ka}$  = keskimääräisen altistuvan puun etäisyys raiteesta, m

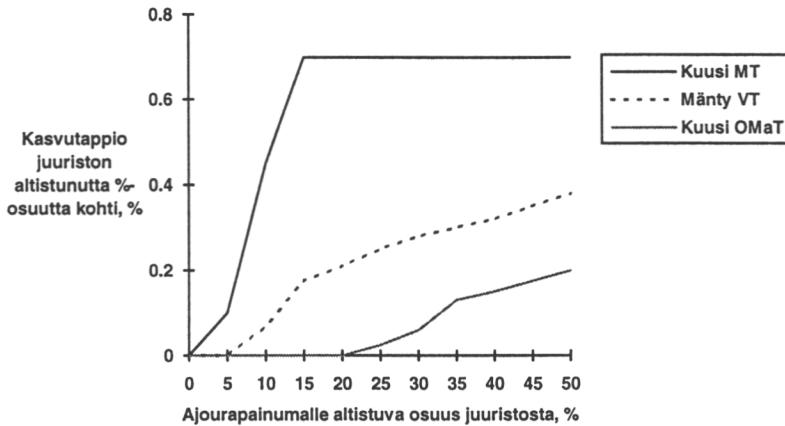
$r$  =  $R$  = keskimääräinen juuristoympyrän säde, m

Jakamalla kaavalla (5) saatava segmentin pinta-ala koko ympyrän pinta-alalla ja kertomalla tulos sadalla saadaan keskimääräinen puun juuriston prosenttiosuus, joka altistuu ajourapainumalle.

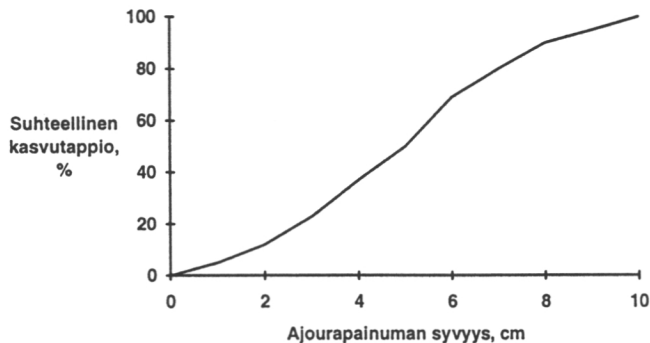
Kasvutappion suuruus altistuneilla puilla riippuu puulajista, kasvupaikan boniteetista sekä altistuvan juuriston osuudesta. Wästerlund (1983) on esittänyt kuvan 8 kasvutappion määrittämiseksi. Tappio on kuvan mukainen syvillä, yli 10 cm:n raiteilla. Huonoilla kasvupaikoilla kuusi kärsii vähäisestäkin maaperän ja juuriston vaurioitumisesta, kun taas runsasravinteisilla kasvupaikoilla seuraukset ovat lievempiä. Männyllä kasvutappiot ovat huonoillakin kasvupaikoilla pienempiä kuin kuusella.

Kasvutappion arvo luetaan kuvasta 8 siten, että nousee X-akselilta pystysuoraan ylöspäin kunnes saavutaan käyrälle. Tässä pisteessä luetaan Y-akselin arvo, jolla kerrotaan saman pisteen X-akselin arvo. Jos esimerkiksi männikössä ajourapainumille altistuu 20 % puun juuristosta, kasvutappio saadaan kertomalla  $0,2 * 20 = 4 \%$ .

Matalammille painumille Olsson (1984) esittää kuvan 9 mukaiset tappiot. Kasvutappioiden kestoajaksi arvioidaan 10 vuotta.



Kuva 8. Yli 10 cm syvien ajourapainumien aiheuttamat kasvutappiot. (Wästerlund 1983).



Kuva 9. Alle 10 cm syvien ajourapainumien aiheuttama suhteellinen kasvutappio (%) verrattuna yli 10 cm painumien aiheuttamiin tappioihin (Olsson 1984)

### 3.3 Puustovaurioiden aiheuttamat kasvutappiot

Puustovaurioiden aiheuttamat kasvutappiot johtuvat ravinteiden ja veden kulun häiriytymisestä juuriston ja latvuston välillä. Kasvutappioiden suuruus riippuu ensisijaisesti vaurioiden koosta ja syvyydestä (Andersson 1984 ja Isomäki & Kallio 1974). Seuraavassa tarkastellaan tutkimustuloksia kasvutappioiden määrästä ja kestosta. Koivua ei kasvutappioiden kannalta juurikaan ole tutkittu, joten sitä ei liitetä tähän tarkasteluun eikä seurausvaikutusten laskentamalliin.

#### 3.3.1 Kasvutappiot männyllä

Männyn osalta puustovaurioiden aiheuttamia kasvutappioita on tutkittu erittäin vähän. Tässä tutkimuksessa kasvutappioiden laskenta perustuu männyn osalta pelkästään ruotsalaiseen Anderssonin (1984) tutkimukseen, joten laskentatuloksiin sisältyy paljon epävarmuutta. Metsäntutkimuslaitoksella on valmistumassa uusia tutkimustuloksia, jotka antanevat lisävalaistusta ongelmaan.

Andersson (1984) tutki 82 männyn kasvua harvennusleimikossa. Puut olivat vaurioituneet joko runkoon tai juurenniskaan. Vaurioituminen vaikutti paksuuskasvuun, mutta pituuden kasvuun sillä ei ollut vaikutusta. Sädekasvutappiot olivat keskimäärin 12,3 % harvennusta seuranneen 9 vuoden tarkastelujakson aikana. Vaurion pinta-ala, leveys ja osuus rungon ympärysmittasta vaikuttivat kasvutappion suuruuteen. Tärkein selittävä tekijä oli vaurion osuus rungon ympärysmittasta. Juurenniskavauriot vähensivät kasvua runkovaurioita enemmän. Tämä selittyy osin juurenniskassa sijaitsevien vaurioiden keskimääräistä suuremmalla koolla. Runkovauriolla kasvutappiot olivat sitä suurempia, mitä korkeammalla rungossa vauriot sijaittivat.

Männyllä vauriot vähentävät läimitan kasvua seuraavasti (Andersson 1984):

*Taulukko 3. Eri tavoin ilmaistun vaurion koon vaikutus sädekasvutappioihin männyllä. (Andersson 1984).*

Vaurion pinta-ala, cm <sup>2</sup>	Runkovaurio	Juurenniskavaurio
	Kasvutappio, %	
≤ 100	5	10
> 100	15	20

Vaurion osuus rungen vaipasta	Runkovaurio	Juurenniskavaurio
	Kasvutappio, %	
< 1/8	5	15
1/8-1/4	10	20
> 1/4	25	35

Vaurion leveys, cm	Kasvutappio, %
5-8	10
9-16	15
17-32	25

Ajouran reunavaikutus näkyi vaurioituneiden puiden läpimitan suhteellisessa kasvussa. Alle 1 metrin etäisyydellä ajourasta sijaitsevilla vauriopiilla kasvun menetyks oli keskimäärin 7,7 %, kun kauempana urasta olevilla vauriopiilla kasvutappio oli keskimäärin 16,5 %. Andersson (1984) selitti tuloksen osittain johtuvan reunavaikutuksen lisäksi siitä, että ajouran vierellä olevat runkoon vaurioitumattomat vertailukoepuut olivat saattaneet kärsiä juuriston vaurioitumisesta, minkä takia kasvuerot vaurio- ja kontrollipuiden välillä kaventuivat.

Vaurioiden ikä vaikutti sädekasvuun siten, että vuotuinen kasvu oli pienimmillään 10 vuoden kuluttua vaurioitumisesta. Yhteenvetona Andersson (1984) totesi runkovaurioiden vähentävän sädekasvua männyllä 6-30 %, pahimpien juurenniskavaurioiden jopa 42 %. Vaurioiden vaikutus on samansuuntainen kuin Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa kuusella, mutta kasvutappiot jäivät männyllä alhaisemmiksi.

### 3.3.2 Kasvutappiot kuusella

Isomäki & Kallio (1974) selvittivät vaurioiden vaikutusta kuusen kasvuun. Harvennuksen aiheuttama kasvun lisäys eliminoitiin laskennallisesti, jolloin nähtiin yksinomaan vaurioitumisen seurausvaikutus. Vaurion laatua kuvattiin vaurion sijainnilla, syvyydellä ja leveydellä. Leveys ilmensi parhaiten vaurion vaikutuksia. Tämä johtunee siitä, että ravinteiden kulun häiriytyminen puussa riippuu oleellisesti vaurion leveydestä.

Vaurioituminen vähensi sekä läpimitan että pituuden kasvua. Vaurion syvyys vaikutti eniten sädekasvuun. Pintavauriot vähensivät paksuuskasvua noin 10 % ja syvävauriot keskimäärin 20 %. Vaurion leveys oli huomattava sädekasvutappion selittäjä. Leveimmät vauriot (17-32 cm) vähensivät kasvua lähes 35 %. Myös puun pituuskasvu heikkeni vaurion leveyden kasvaessa.

Runkovauriot vähensivät säde- ja pituuskasvua keskimäärin 15 %. Juurenniskavauriot vähensivät sädekasvua 35 % ja pituuskasvua 40 %. Juurivaurioilla vastaavat luvut olivat 35 % ja 25 %. Katkenneet juuret vähensivät paksuuskasvua pahimmillaan 45 %. Samansuuntaisia tuloksia Isomäen & Kallion (1974) kanssa sai Ågren (1968), jonka mukaan vaurioituminen vähensi puun kasvua noin 30 %.

Moilanen (1990) selvitti järjestetyllä kokeella kuusen reaktioita vaurioihin. Koepuihin aiheutettiin vauriota, joiden vaikutusta kasvuun tutkittiin rinnankorkeudella ja 6 metrin korkeudella. Vauriotyypit olivat juurivaurio, 100 ja 400 cm<sup>2</sup>:n kokoiset juurenniska- ja runkovauriot sekä kairanreikä. Runkovauriot sijaitsivat 1,0 metrin ja 3,0 metrin korkeudella.

Vaurion vaikutuksia mitattiin 5 ja 10 vuoden kuluttua vaurioitumishetkestä. Laajat 400 cm<sup>2</sup>:n vauriot pienensivät sädekasvua 6 metrin korkeudella noin 10 %. Sen sijaan rinnankorkeudella kasvutappioita ei havaittu. Tulos poikkeaa Isomäen & Kallion (1974) tuloksista.

Huse (1978) selvitti puustovaurioiden vaikutusta paksuuskasvuun 25 kuusella 10 vuoden mittaisen tutkimusperiodin aikana. Pinta-alaltaan alle 50 cm<sup>2</sup>:n vaurioista ei aiheutunut kasvutappioita. Ensimmäisen 5-vuotisperiodin aikana 50-100 cm<sup>2</sup>:n kokoiset vauriot aiheuttivat noin 13 %:n kasvutappiot. Vaurion pinta-alan noustessa 100-300 cm<sup>2</sup>:iin, kasvutappioiden suuruudeksi mitattiin 28 %. Toisella 5-vuotiskaudella ei enää mitattu merkittäviä kasvutappioita.

Edellä esitellyistä tutkimustuloksista käy ilmi tulosten vaihtelu ja tutkimusongelman lähestymistapojen erilaisuus. Kaikissa tutkimuksissa ei ole tarkasteltu erikseen pinta- ja syvävaurioita. Myöskään vaurioiden sijaintia ei aina ole määritelty. Tulosten vertailu ja yhteensovittaminen on varsin hankala tehtävä, eikä varmaa tietoa kasvutappion suuruudesta voida esittää. Lisäksi on muistettava, että kasvutappio saattaa puuyksilökohtaisesti vaihdella huomattavastikin riippuen kasvupaikasta, kilpailusta, puun sijainnista esimerkiksi ajouriin nähden, mahdollisista juuristovaurioista jne.

Tutkimustuloksista voidaan kuitenkin päätellä kasvutappion suuruuteen vaikuttaviksi tekijöiksi vaurion koko, laatu ja sijainti. Vaurion kokoa on mitattu kolmella tavalla: pinta-alana, leveytenä ja osuutena rungon ympärysmitasta. Erityisesti koneellisessa hakkuussa syntyvät vauriot ovat pääosin pitkiä ja kapeita. Esimerkiksi Sirénin (1995) tutkimuksessa hakkuukoneen aiheuttamien vaurioiden pituus-leveys -suhde oli keskimäärin 6,8. Lisäksi vauriot voivat olla myös kiertyneet rungon ympärille. Täten vaurion leveys tai osuus rungon vaipasta ei välttämättä parhaiten kuvaa vauriota. Vaurion pinta-ala on ehkä luotettavin vaurion koon mittari ja lisäksi suhteellisen helppo mitata.

### 3.4 Lahon aiheuttamat laatutappiot kuusella

Vaurioiden ja lahon yhteyttä selvittäneissä tutkimuksissa on havaittu männyn vähäinen ja kuusen suuri lahoherkkyys. Koivua on lahoutumisen kannalta tutkittu toistaiseksi vähän, mutta koivun lahoriski lienee vähintään kuusen luokkaa, ehkä hieman suurempikin. Tässä yhteydessä lahoutumistarkastelussa keskitytään yksinomaan kuuseen.

Puustovauriot voivat johtaa lahon alkuunpääsyyn. Lahoutumisen seurauksena puun laatu heikkenee, ja lahovian saanut puu luokitellaan kuitupuuksi tai markkinakelvottomaksi raakiksi. Lahovikaisesta kuusitukista maksetaan metsänomistajalle korkeintaan mäntykuitupuun hinta.

Lahoamisessa joukko pieneliöitä käyttää puuta ravinnokseen (Kallio 1973). Lahottajasienen itiöt vaativat elääkseen sopivan kosteuden ja lämpötilan. Lahon alkuunpääsy riippuu myös puun yksilöllisestä vastustuskyvystä. Useissa tutkimuksissa on havaittu yleisimmäksi vauriosta syntyneen lahon aiheuttajaksi verinahakka -sieni (*Stereum sanguinolentum*) (Hakkila & Laiho 1968, Nilsson & Hyppel 1968, Isomäki & Kallio 1974, Hallaksela 1984a ja 1984b, Solheim & Selås 1986, Moilanen 1990).

Vanhoissa kuusikoissa yleinen lahonaiheuttaja, tyvilahoa aiheuttava juurikäpää (*Heterobasidion annosum*) ei juuri iskeydy maanpäällisiin korjuuvaurioihin, ellei

metsikkö ole jo aiemmin juurikäävän saastuttama. Hallakselan (1984a) tutkimuksessa kuusia vaurioitettiin lekalla sekä juurenniskaan että runkoon. Verinahakka esiintyi 34 %:ssa vaurioista, kun taas juurikääpää tavattiin 15 %:ssa vaurioista. Tutkimuksessa juurikäpä saastutti huomattavasti yleisemmin juurenniskavaurion kuin runkovaurion. Tyvilaho leviää pääosin juuriston välityksellä sekä tuoreista kaatopinnoista. Näin ollen maanalaiset juurivauriot ovat tyvilahon leviämisen kannalta riskialtteimpia (Isomäki & Kallio 1974). Kesäaikaisessa kuusikoiden puunkorjuussa tyvilahoriski on paikoitellen suuri sienien kantolevinnäisyyden vuoksi.

Hallaksela (1984b) tutki lahon aiheuttaneet mikro-organismit 404 tyvilahoutuneesta ja 43 vauriolahoutuneesta kuusesta. Juurikäpä eristettiin tyvilahon aiheuttajaksi 56 %:ssa puista. Verinahakan osuus tyvilahon aiheuttajana oli 6 %. Vauriolahon aiheuttajaksi puolestaan todettiin verinahakka 35 %:ssa ja juurikäpä 2 %:ssa puista.

Tyvilaho voi aiheuttaa huomattavat taloudelliset tappiot. Stenlidin (1989) mukaan tyvilaho aiheuttaa Ruotsissa 100-150 miljoonan US\$:n tappiot vuodessa. Vuosina 1964-1976 norjalaisista kuusista 7,9 % oli lahon saastuttamia rinnankorkeudella (Huse 1983). Vuosina 1982-86 vastaava luku oli 9,3 % (Solheim & Holen 1990). Tutkittujen puiden kehitysvaihe oli ensiharvennuksesta päätehakkukseen. Eri aikajaksojen tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia johtuen koepuiden erilaisesta valintatavasta. Uusimpien tutkimustulosten mukaan Norjassa kuusikoiden päätehakuissa 26,7 %:ssa kuusista oli lahoa (Solheim 1990). Käsillä olevassa tutkimuksessa keskitytään maanpäällisistä puustovaurioista leviävään lahoon.

### 3.4.1 Lahon syntyodennäköisyys ja siihen vaikuttavat tekijät

Jotta lahon aiheuttamat menetykset voitaisiin laskea, on tunnettava lahon syntyodennäköisyys erilaisilla vaurioilla. Kuusen vaurioitumien johtaa lähes aina lahon syntyyn. Hakkila & Laiho (1967) tutkivat lahon syntymistä vuoden eri aikoina tehdyistä kirvesleimoista 130-vuotiaassa kuusikossa. Kaikissa koepuissa esiintyi jonkin asteinen laho. Ikänsä puolesta kuusikko ei vastaa harvennusoloja, mutta tulokset kuvaavat kuusen vaurioherkkyyttä. Jos verrataan kirvesleimaa korjuussa syntyvään runkovaurioon, kirvesleima vastaa suhteellisen pientä syvävauriota. Kuusen lahonherkkyyden ovat todenneet myös Ernberg (1907), Nordfors (1923), Ekbom (1928), Pawsey & Gladman (1965), Nilsson & Hyppel (1968), Kärkkäinen (1971), Kallio (1973), Isomäki & Kallio (1974) ja Laiho (1983).

Lahon syntymiseen vaikuttavista tekijöistä tärkein on vaurion laatu. Syvät, puuainekseen saakka ulottuvat vauriot aiheuttavat lahon lähes poikkeuksetta. Nilssonin & Hyppelin (1968) tutkimuksessa vaurion syvyys vaikutti selvästi lahon syntyyn. Esimerkiksi 0-50 cm:n etäisyydellä juurenniskasta sijaitsevista juurivaurioista syvät vauriot aiheuttivat lahon poikkeuksetta, kun pintavaurioiden seurauksena oli laho vain 13 %:ssa tapauksista. Myös Moilanen (1990) havaitsi vaurion syvyyden tärkeimmäksi lahoutumisen selittäjäksi.

Toinen lahon syntymiseen vaikuttava tekijä on vaurion koko. Schönhar (1975) tutki 1 ja 3 -vuotiaita runkovaurioita kuusikossa. 1-vuotiaista, pinta-alaltaan alle 100 cm<sup>2</sup>:n vaurioista 24 %:ssa tapauksista oli laho päässyt alkuun. 101-300 cm<sup>2</sup>:n vaurioilla

lahoutuneiden vauriopuiden osuus oli 25 % ja yli 300 cm<sup>2</sup>:n vaurioilla jo 64 %. Vastaavat prosenttiosuudet 3-vuotiailla runkovaurioilla olivat 57, 56 ja 82.

Meng (1978) totesi vaurion pinta-alan vaikutuksen erityisesti syvillä vaurioilla. Pinta-alaltaan 50 cm<sup>2</sup>:n kokoisista syvävaurioista seurasi laho noin 50 %:ssa tapauksista, kun 150 cm<sup>2</sup>:n vaurioilla lahopuiden osuus oli yli 90 %. Pintavaurioitumisen seurauksena lahoutuneiden puiden osuudet vastaavankokoisilla vaurioilla olivat 30 % ja 50 %. Husen (1978) mukaan vaurion pinta-ala on tärkein lahon alkuunpääsyyn vaikuttava tekijä. Tutkiessaan runko- ja juurivaurioita 25 kuudessa Huse (1978) havaitsi jonkin asteista lahoa kaikissa vauriopiissa, joissa oli pinta-alaltaan yli 50 cm<sup>2</sup>:n vaurio.

Kolmas lahon syntymisen todennäköisyyteen vaikuttava tekijä on vaurion sijainti. Moilasan (1990) tutkimuksessa tarkasteltiin vaurioitettujen kuusten lahoutumista. Runkoon tai juurenniskaan vaurioitetuista puista 89,3 % sai lahovian 11 vuoden kuluessa. Juuristoon vaurioitetuista puista 22,9 % lahoutui samassa ajassa siinä määrin, että laho oli edennyt kaatoleikkauspinnan yläpuolelle. Mengin (1978) tutkimuksessa lahoutumisriski juurenniskavaurioissa oli kolme kertaa suurempi kuin runkovaurioissa ja 50 % suurempi kuin juurivaurioissa. Kallion (1973) mukaan laho iskeytyy juurivaurioista lähes poikkeuksetta ja runkovaurioistakin 80 %:n todennäköisyydellä.

Nilssonin & Hyppelin (1968) tutkimuksessa laho sai alkunsa sekä runkovaurioista että alle 50 cm:n etäisyydellä juurenniskasta sijaitsevista juurivaurioista 50-100 %:ssa tapauksista vaurion laadusta riippuen. Kun juurivaurioiden etäisyys juurenniskasta oli 50-100 cm, niin lahoa oli enää 10-25 %:ssa vauriopiista. Yli metrin etäisyydellä juurenniskasta sijainneista pahoin vaurioituneista juurista vain 5 % aiheutti lahon. Täten 0,7-1,0 metrin etäisyys juurenniskasta lienee juurivaurioiden merkityksen kannalta kriittinen raja. Vain yli 2 cm:n läpimittaisissa juurissa sijainneet vauriot aiheuttivat runkoon saakka etenevää lahoa. Alle 2 cm juurten vauriot aiheuttivat vain värivikaa. Syyksi lahon pienempään syntyherkkyyteen kauempana rungosta sijaitsevista juurista Nilsson & Hyppel (1968) pitivät juurten suurta kosteuspitoisuutta, joka ei suosi lahoa aiheuttavia sieniä.

Nordforsin (1923) mukaan hidaskasvuinen, siis myös iältään vanha, puusto on alttiimpi laholle kuin nopeakasvuinen puusto. Samansuuntaiseen tulokseen ovat päätyneet myös Kuenzel & Sutton (1937) sekä Parker & Johnsson (1960), joiden mukaan laho pääsee alkuun herkemmin suurilla puilla. Sen sijaan Kallion (1972) tulosten mukaan puun koko ei vaikuta lahon alkamiseen.

Vaurioitumisaika vaikuttaa lahon syntymiseen. Laihon (1983) tutkimuksessa 58 % touko-lokakuun välisenä aikana vaurioitetuista puista oli saanut ruskean värivian. Marras-huhtikuun välisenä aikana väriviallisten puiden osuus oli 39 %. Vaurioitumisaikojen vaikutus ei kuitenkaan ole täysin selkeä. Moilasan (1990) tutkimuksessa maaliskuussa vaurioitetuista puista 87 % sai lahovian, toukokuussa vaurioitetuista 72 % ja elokuussa vaurioitetuista 69 %. Sään vuotuisvaihtelulla on lahon alkuunpääsyyn ilmeisen suuri vaikutus. Yleensä kuitenkin talvella ilma on sienten leviämisen ja kasvulle liian kylmä ja varhaiskevällä liian kuiva (Laiho 1983). Roll-Hansenin & Roll-Hansenin (1976) mukaan pahimman vauriolahottajan,

verinahakan (*Stereum sanguinolentum*) infektioriski on pienimmillään heinäkuussa (8 %) ja suurimmillaan syyskuussa (46 %).

### 3.4.2 Lahon etenemisnopeus ja siihen vaikuttavat tekijät

Lahon aiheuttamien menetysten arvioimiseksi on lahon synnyn lisäksi myös lahon etenemisnopeus tunnettava. Lahon etenemisnopeuteen vaikuttavat samat tekijät kuin lahon syntyyn; vaurion laatu, pinta-ala ja sijainti sekä vaurioitumisajankohta. Lisäksi on havaittu kasvupaikan, puun iän, puun läpimitan ja sädekasvun sekä vaurioitumisesta kuluneen ajan vaikuttavan lahon etenemisnopeuteen.

Vaurion pinta-ala oli Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa etenemisnopeuden paras selittäjä (taulukko 4).

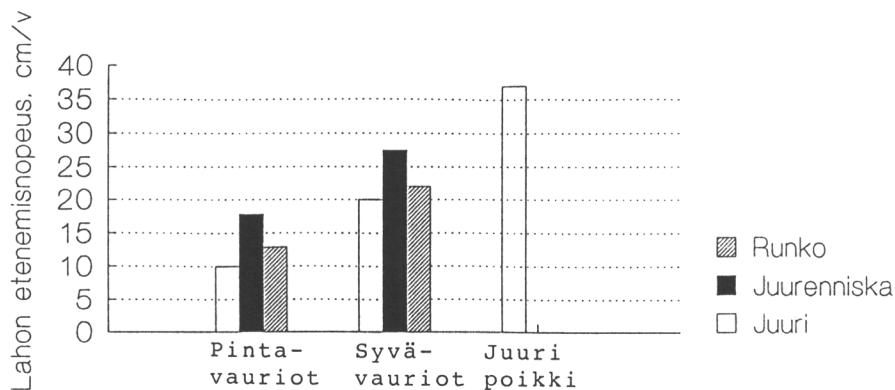
Isomäen & Kallion (1974) tutkimusaineistossa pinta-alaltaan alle 100 cm<sup>2</sup>:n vaurioista syntynyt laho eteni keskimäärin 12 cm/v. Suurista 500 cm<sup>2</sup>:n vaurioista alkuunpäässeeseen lahon etenemisnopeus oli keskimäärin 30 cm/v. Husen (1978) mittaamat etenemisnopeudet ovat hyvin samankaltaisia: Vaurion pinta-alan ollessa 10-50 cm<sup>2</sup>, laho eteni keskimäärin 8 cm:n vuosivauhdilla. Vaurion pinta-alan noustessa 100-300 cm<sup>2</sup>:iin, vaurioista alkuunpäässyt laho eteni keskimäärin 12 cm/v. Suurilla 300-600 cm<sup>2</sup>:n vaurioilla lahon etenemisnopeus oli jo noin 26 cm/v.

Schönharin (1975) tutkimuksessa vaurion pinta-alan ja lahon etenemisnopeuden yhteys oli hyvin selkeä. Pinta-alaltaan alle 100 cm<sup>2</sup>:n vaurioista alkuunpäässyt laho oli kolmessa vuodessa edennyt keskimäärin 34 cm. 101-300 cm<sup>2</sup>:n vaurioista lähteneen lahon pituus oli 43 cm ja yli 300 cm<sup>2</sup>:n vaurioista alkaneen lahon jo 93 cm. Muista tutkimustuloksista poiketen Solheim (1987) ei tutkimuksessaan havainnut yhteyttä vaurion koon ja lahon etenemisnopeuden välillä.

Koon lisäksi vaurion laatu vaikuttaa lahon etenemisnopeuteen. Nilssonin & Hyppelin (1968) tutkimuksessa todettiin selvä yhteys vaurion syvyyden ja lahon kehityksen välillä. Esimerkiksi 0-50 cm:n etäisyydellä rungosta sijaitsevista syvistä juurivaurioista 100 % oli aiheuttanut pitkälle kehittyneen lahon kun vastaavasti pinta-vaurioilla luku oli 13 %.

Taulukko 4. Lahon etenemisnopeuden ja vauriota kuvaavien tunnusten keskeiset korrelaatiokertoimet (Isomäki & Kallio 1974).

Vaurion sijainti puussa	Vaurion leveys	Vaurion pinta-ala	Vaurion syvyys
	Korrelaatiokerroin		
Juuri	0,022	-0,182	<b>0,214</b>
Juurenniska	<b>0,356</b>	0,325	0,276
Runko	0,392	<b>0,445</b>	0,275
Kaikki vauriot	0,334	<b>0,385</b>	0,324



Kuva 10. Lahon etenemisnopeuden (cm/v) riippuvuus vaurion syvyydestä Isomäen & Kallion (1974) mukaan.

Isomäki & Kallio (1974) totesivat rungon ja juurten pintavaurioista syntyneen lahon keskimääräiseksi etenemisnopeudeksi 13,5 cm/v ja syvävaurioista alkaneen lahon nopeudeksi 21 cm/v. Juurenniskan syvävaurioista etenemisnopeus oli vieläkin suurempi, 28 cm/v, ja nopeimmin eteni katkenneista juurista alkanut laho, noin 32 cm/v (kuva 10) Myös Kärkkäinen (1971) totesi vaurion laadun selittävän lahon etenemisnopeutta. Vaurion syvyyden korrelaatiokerroin oli 0,25 ja vaurion pinta-alalla hieman pienempi, 0,22. Laiho (1983) vaurioitti koepuita kasvukairalla. Mitä syvemmälle puuainekseen kairaus ulottui sitä suurempi oli lahon etenemisnopeus. Myös Solheim (1987) on todennut syvien vaurioiden vakavat seurausvaikutukset.

Vaurion sijainti vaikuttaa lahon kehitykseen. Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa laho eteni juurivaurioista keskimäärin 19,9 cm/v, juurenniskavaurioista 28,4 cm/v ja runkovaurioista 18,3 cm/v. Kärkkäinen (1971) tutki 110-vuotiasta MT-kuusikkoa, jossa oli suoritettu harvennushakkuu 12 vuotta aiemmin. Runkovaurioista alkanut laho oli edennyt 12 vuodessa ylöspäin keskimäärin 66,8 cm ja alaspäin 26,0 cm. Juurivaurioista alkaneen lahon etenemismatkat olivat 23,1 cm ylöspäin ja 15,0 cm alaspäin. Moilasan (1990) tutkimuksessa nopeimmin, 20 cm/v, eteni syvästä ja laajasta 1 m:n korkeudella sijaitsevasta vauriosta alkanut laho. Vastaavantyyppisestä juurenniskavauriosta syntynyt laho eteni 17,0 cm/v.

Isomäki & Kallio (1974) totesivat juurivaurioista syntyvän lahon etenevän hieman nopeammin kuin runkovaurioista syntyneen lahon. Tähän lienee osasyynä se, että juuri- ja juurenniskavauriot ovat useimmiten laadultaan pahempia kuin runkovauriot (Kärkkäinen 1969). Moilanen (1990) havaitsi runkovauriosta syntyneen lahon etenevän hieman nopeammin kuin vastaavanlaisesta juurenniskavauriosta syntyneen lahon. Osasyynä ristiriitaisiin tuloksiin voivat olla myös juuri- ja juurenniskakäsitteiden erot eri tutkimuksissa.

Laho etenee puussa nopeimmin pystysuunnassa. Nordforsin (1923) mukaan laho etenee säteen, tangentin ja pystysuuntaan suhteessa 1:3:70. Myöhemmät tutkimustulokset vahvistavat tulosta. Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa laho eteni ylöspäin keskimäärin kolme kertaa nopeammin kuin alaspäin. Laho ei levinnyt puuainekseen, joka oli syntynyt vaurioitumisen jälkeen. Kärkkäisen (1971)

tutkimuksessa lahon etenemisnopeus ylöspäin oli yli kaksinkertainen verrattuna leviämisenopeuteen alaspäin.

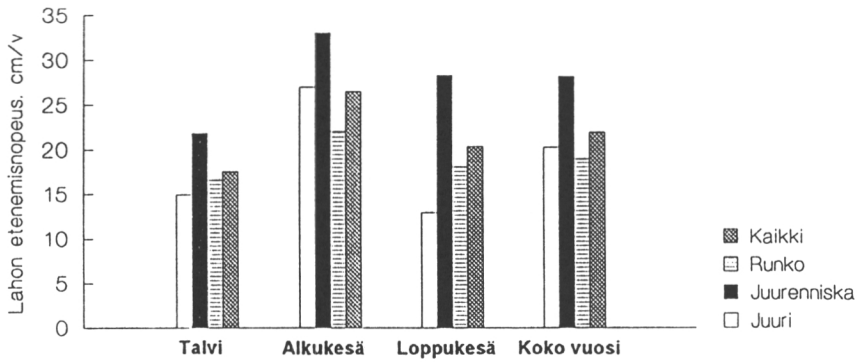
Tutkimuksissa on havaittu kesäaikaisista vaurioista lähteneen lahon suurempi etenemisnopeus talvivaurioihin verrattuna. Hakkilan & Laihon (1968) tutkimuksessa kesä-elokuussa leimatuissa kuusissa laho oli kehittynyt huomattavasti nopeammin kuin toukokuun alussa ja syyskuussa leimatuissa puissa. Lahon puuaineen osuus tutkituissa tyvitukeissa oli keskimäärin 14 %. Nila-aikana 1.6-15.8 leimatuissa kuusissa lahon osuus tyvitukeissa oli 14-23 %, ennen toukokuun puoliväliä leimatuissa 4 % ja syyskuussa leimatuissa 9 %.

Vaurioitumisajan vaikutuksen selittävät puun puolustusreaktiot. Jos puu ehtii haavautumisen jälkeen puolustautua ennen lahottajien iskeytymistä, lahon synty ja kehitys vaikeutuu. Laihon (1983) kairaamalla voitetuissa puissa nopeiten oli edennyt värivika, joka oli saanut alkunsa heinä-elokuussa kairatuista rei'istä. Etenemisnopeudeksi ylöspäin mitattiin 21 cm/v. Touko-kesäkuussa syntynyt värivika eteni 19 cm/v ja syys-lokakuussa syntynyt 15 cm/v. Marraskuun ja huhtikuun välisenä aikana kairatuista rei'istä alkuunpäässyt värivika eteni ylöspäin keskimäärin 9,4 cm/v.

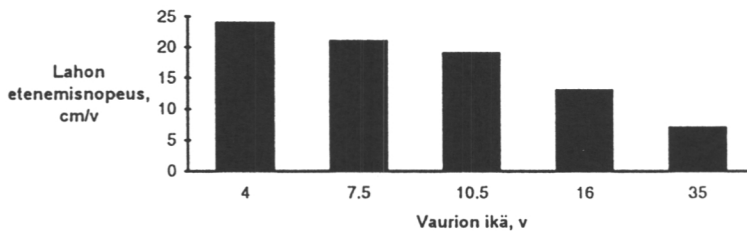
Solheim (1987) tutki värivian ja lahon syntymistä nuorissa harvennuskuusikoissa. Vaurioitumisajankohtina tutkimuksessa olivat kesäkuu, elokuu ja lokakuu. Värivika eteni nopeimmin elokuussa vaurioituneissa puissa. Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa vauriot jaettiin talvella, alkukesällä ennen 15.7 ja loppukesällä 15.7 jälkeen syntyneisiin vaurioihin. Alkukesällä syntyneet vauriot aiheuttivat nopeiten kehittyvän lahon (kuva 11). Isomäen & Kallion (1974) mukaan on kuitenkin epäselvää, vaikuttaako vaurioitumisaika suoraan lahon etenemisnopeuteen.

Vaurion ikä vaikuttaa lahon leviämisenopeuteen. Lahon kehittyminen jatkuu puussa pitkään, mutta leviämisenopeus pienenee ajan kuluessa. Nilssonin & Hyppelin (1968) tutkimuksessa laho oli levinnyt laajemmalle 33 vuoden ikäisissä kuin 10 vuoden ikäisissä vaurioissa. Nuoremmissa vaurioissa leviämisenopeus oli 20-30 cm/v, vanhemmissa vaurioissa 15 cm/v. Myös Ekbomin (1928) mukaan laho etenee nopeimmin heti vaurioitumista seuraavina vuosina. Parkerin & Johnsonin (1960) mukaan lahon leviämisenopeus pienenee 10-15 vuoden kuluttua vaurioitumisesta. Wrightin & Isaacin (1956) mukaan lahon leviämisenopeus alkaa alentua jo kolmen vuoden kuluttua vaurioitumisesta. Isomäen & Kallion (1974) tutkimusaineistossa laho eteni keskimäärin 20 cm/v vaurioitumista seuraavana 10 vuotena, jonka jälkeen etenemisnopeus alkoi alentua. 35-vuotiaalla vauriolla lahon etenemisnopeus oli noin 7 cm/v. Lahon etenemisnopeuden riippuvuus vaurion iästä on esitetty kuvassa 12.

Kasvupaikka vaikuttaa lahon leviämisenopeuteen. Isomäen & Kallion (1974) mukaan paremmilla kasvupaikoilla laho etenee nopeammin. Lannoitus parantaa puun kasvulosuhteita ja lisää myös lahon etenemisnopeutta. Etenemisnopeus OMT-kuusikossa oli kaksinkertainen VT-kuusikkoon verrattuna. Kasvupaikan ja lannoituksen vaikutus lahon etenemisnopeuteen oli taulukon 5 mukainen (Isomäki & Kallio 1974).



Kuva 11. Lahon etenemisnopeuden (cm/v) riippuvuus vaurioitumisen ajankohdasta Isomäen & Kallion (1974) mukaan.



Kuva 12. Lahon etenemisnopeuden (cm/v) riippuvuus vaurion iästä Isomäen & Kallion (1974) mukaan.

Nordforsin (1923) mukaan hidaskasvuinen puu saa helpommin lahon, mutta lahon eteneminen on hitaampaa hidaskasvuissa puissa. Isomäen & Kallion (1974) mukaan lahon etenemisnopeus kasvaa puun sädekasvun lisääntyessä. Leviäminen on myös nopeampaa suurissa kuin pienissä rungoissa. Laihon (1983) tulokset ovat samankaltaiset. Alle 50-vuotiailla kuusilla etenemisnopeus oli keskimäärin 20 cm vuodessa, 51-70 -vuotiailla 18 cm ja yli 70 vuotta vanhoilla kuusilla keskimäärin 11 cm vuodessa. Alle 12 cm:n läpimittaisilla kuusilla värivian etenemisnopeus oli keskimäärin 7 cm, 12-16 cm:n läpimittaisilla 17 cm ja yli 16 cm:n läpimittaisilla keskimäärin 24 cm vuodessa (taulukko 6). Eniten värivika eteni nopeakasvuissa kookkaissa puissa ja vähiten vanhoissa pienikokoisissa puissa.

Koska lahon etenemisnopeuteen vaikuttavat sekä kaikki edellä mainitut tekijät että myös puun yksilöllinen vastustuskyky, mitatut etenemisnopeudet ovat vaihdelleet paljon. Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa laho eteni rungossa ylöspäin keskimäärin 21 cm/v, mutta suurin mitattu etenemisnopeus oli 135 cm/v. Solheimin (1987) tutkimuksessa lahon eteneminen nuorissa kuusissa oli samaa luokkaa kuin Isomäen & Kallion (1974) tutkimuksessa: keskimääräinen leviämisenopeus ylöspäin oli 19 cm/v ja suurin havaittu etenemisnopeus 140 cm/v.

Taulukko 5. Kasvupaikan ja lannoituksen vaikutus lahon etenemisnopeuteen (cm/v) Isomäen & Kallion (1974) mukaan.

Metsätyyppi	Lannoittamaton	Lannoitettu	Kaikki
	Lahon etenemisnopeus, cm/v		
OMT	22,5	31,7	26,3
MT	16,9	25,8	20,0
VT	13,1	-	13,1

Taulukko 6. Ruskean värivian etenemisnopeus (cm/v) erikokoisissa ja -ikäisissä kuusirungoissa. (Laiho 1983).

Läpimitta, cm	Puun ikä, v			Keskimäärin
	< 50	51-70	> 70	
Etenemisnopeus, cm/v				
< 12	8	11	3	7
12-16	19	19	13	17
> 16	31	25	16	24
Keskimäärin	20	18	11	

Meng (1978) sai keskimääräiseksi lahon etenemisnopeudeksi 17,5 cm/v vaihteluvälin ollessa 1,8-58,8 cm/v. Lahon kokonaispituus vaihteli välillä 10-335 cm. Moilasen (1990) tutkimuksessa keskimääräinen lahon etenemisnopeus oli 9,6 cm/v ja lahon pituus 11 vuoden kuluttua vaurioittamisesta keskimäärin 113,7 cm. Pisin mitattu laho oli 11 vuoden aikana edennyt 510 cm.

Solheim (1990) tutki lahon etenemistä 3-5 vuotta vanhoista vaurioista. Laho oli edennyt ylöspäin keskimäärin 27 cm vuodessa. Pahimmillaan laho oli edennyt 84 cm vuodessa. Schönharin (1975) tutkimuksessa lahon keskimääräinen pituus vuosi vaurioitumisen jälkeen oli 8 cm vaihteluvälin ollessa 0-70 cm. Kun vaurioitumisesta oli kulunut 3 vuotta, lahon keskimääräinen pituus oli 54 cm pisimmän lahon ollessa 235 cm. Hakkilan & Laihon (1968) tutkimuksessa laho oli edennyt rinnankorkeudelta ylöspäin enimmillään 6 metriä 13 vuoden aikana. Kun 1 metrin korkeudella lahoa oli 100 %:ssa tapauksista, niin 2 metrin korkeudella lahoa oli 78 %:ssa, 4 metrin korkeudella 40 %:ssa ja 6 metrin korkeudella enää 3 %:ssa tapauksista.

### 3.5 Laatutappiot männyllä ja koivulla

Männyllä ja koivulla lahoutumista on tutkittu huomattavasti vähemmän kuin kuusella. Laiho (1983) tutki lahon alkuunpääsyä ja etenemistä männyllä, koivulla ja kuusella, joita vaurioitettiin kasvukairalla ja kirveellä. Männyyn vaurioittaminen johti ympäröivän puuaineksen voimakkaaseen pihkoittumiseen ja sinistymiseen. Varsinaista lahoamiseen viittaavaa ruskeaa värivikaa esiintyi harvoin ja silloinkin se oli 4 vuoden aikana edennyt keskimäärin vain yhden senttimetrin. Koivulla ruskea värivika eteni erittäin nopeasti. Puolivuotiensa se saattoi olla edennyt jo yli 30 cm.

Neljän vuoden aikana pisin etenemismatka oli 280 cm kairauksesta ylöspäin keskimääräinen leviämismatkan ollessa 29 cm/v. Värivika lähti koivulla liikkeelle kaikista vaurioista. Kuusella keskimääräinen lahon etenemismatka oli 15 cm/v. Nopeimmillaan laho eteni samaa vauhtia kuin koivulla, mutta oli myös tapauksia, joissa värivikaa ei syntynyt lainkaan.

Vuokila (1976) tutki pystykarsinnan vaikutusta männyn ja koivun terveystilaan. 20 vuotta aiemmin karsittuihin mäntyihin oli karsimisen yhteydessä syntynyt laajoja kuorivaurioita. Mänty pystyi kuitenkin pihkanerityksellään eristämään vaurion, eikä lahovikoja syntynyt. Mänty kykenee kyljestämään suurenkin vaurion. Kyljestymät ja korot ovatkin lahoa yleisempiä laatutappioiden aiheuttajia männyllä. Koivulla yli 3 cm paksujen elävien oksien karsiminen aiheuttaa yleensä vaurion, joka johtaa lähes aina lahovikaisuuteen. Koivu on kuusen tapaan erittäin lahonarka puulaji. Lahon syntymisen todennäköisyys ja lahon etenemisnopeus ovat jopa kuusta suurempia.

Vuokila (1976) tutki myös kairauksen vaikutuksia männyllä ja koivulla. Männyllä kairaus ei aiheuta merkittävää lahovikaa. Jos kairauksen yhteydessä irtoaa kuorta, saattaa seurauksena olla pienehkö koro. Jokaisella koivulla 40 puun tutkimusaineistossa kairauksesta seurasi nopeasti etenevä laho.

Metsänomistajan kannalta männyn vaurioilla ei ole kuusen vaurioiden kaltaista merkitystä. Suurista syvävaurioista syntyvät korot voivat kuitenkin aiheuttaa menetyksiä metsänomistajalle. Koroista johtuvien tappioiden kärsijöinä ovat puuta jalostavat sahat (Blomqvist 1984). Koroutuminen on ilmiönä monimutkainen, eikä siitä ole tällä hetkellä saatavissa riittävästi tutkimustietoa. Männyn koroutumista ei riittämättömän tutkimustiedon takia sisällytetä esitettävään laskentamalliin. Samasta syystä koivu jätetään puulajina lahotappioiden laskennan ulkopuolelle.

## 4 KORJUJÄLJEN SEURAUSVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

### 4.1 Vaikutusten arvioinnin perusteet

Harvennuspuun korjuujäljen aiheuttamia menetyksiä arvioitaessa lopputulos riippuu tarkastelunäkökulmasta. Tässä tutkimuksessa menetyksiä katsotaan metsänomistajan kannalta, jolloin perusteena on puun kantoraha-arvo. Asiaa voitaisiin tarkastella myös raaka-ainetta ostavan puunjalostajan kannalta, jolloin perusteena käytettäisiin esimerkiksi puusta saatavan sahatavaran jalostusarvoa. Tarkastelunäkökulmaa voidaan laajentaa aina kansantalouteen saakka, jolloin tutkitaan puutavarasta maailmanmarkkinoilla saatavaa vientihintaa.

Tappioiden realisoitumisajankohta ja korkokanta vaikuttavat ratkaisevasti laskennan lopputulokseen. Tappiothan realisoituvat siinä vaiheessa, kun vaurioituneet puut hakataan. Laskentamallissa tilannetta lähestytään tarkastelemalla kahta harvennusta ja päätehakkuuta. Ensimmäisessä harvennuksessa syntyneistä tappioista osa realisoituu toisessa harvennuksessa ja osa vasta päätehakkuussa. Lisäksi toisessa harvennuksessa syntyy uusia vaurioita, joiden aiheuttamat tappiot realisoituvat päätehakkuussa.

Vauriopuita pyritään yleensä poistamaan ennen päätehakkuuta muuta puustoa enemmän. Tämä täytyy ottaa huomioon tappioiden realisoitumisessa. Laskentamallissa oletetaan, että toisessa harvennuksessa realisoituva osa vastaa runkoluvun mukaista harvennuspoistumaa kerrottuna ajouran reunapuuston suhteellisella tiheydellä, joka on yleensä 1,0-1,4. Koska reunapuusto on tiheämpää kuin ajourien välissä oleva puusto, voidaan vauriopuita poistaa vastaavassa suhteessa terveitä puita enemmän.

Menetyksiä laskettaessa on tehtävä monia oletuksia, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Erityisen ongelmallista on ennustaa puutavaralajien hintasuhteiden kehitys pitkälle tappioiden realisoitumisajankohtaan saakka. Laskentamallissa ennustajan tehtävä annetaan mallin käyttäjälle, jolta syöttötiedoissa kysytään eri puutavaralajien oletetut hinnat realisoitumisajankohdissa eli toisessa harvennuksessa ja päätehakkuussa. Järkevintä lienee soveltaa tämän hetken hintoja myös realisoitumishetkeen. Hintoja muuttamalla saadaan kuva hintasuhteiden vaikutuksista markkamääräisiin menetyksiin.

Lopputulokseen vaikuttaa myös kustannusten siirtäminen realisoitumisajankohdasta nykyhetkeen eli diskonttaus. Riippuen käytetystä korkoprosentista ja aikavälistä tappioiden syntymisestä niiden realisoitumiseen, pienenee menetysten arvo nykyhetkeen siirrettynä kaavan (7) mukaisesti:

$$pv = x * [ 1/((100+p)/100)^n ] \quad (7)$$

missä

pv = tappioiden arvo nykyhetkeen siirrettynä

x = tappio realisoitumishetkellä

p = käytetty korkoprosentti

n = aikaväli, v

Esimerkiksi 20 vuoden kuluttua realisoituvan 5000 mk menetyksen nykyarvo lasketaan 3 %:n korkokantaa käytettäessä seuraavasti:

$$pv = 5000 * (1 / 1,03^{20}) = 2768 \text{ mk}$$

Oletuksista ja erilaisista epävarmuustekijöistä johtuen laskentamallin tuloksia on pidettävä suuntaa-antavina. Ajourien aiheuttamat kasvatappiot lasketaan Niemistön (1989) esittämällä kaavalla (1), jonka epävarmuus sisältyy reunapuuston vauriotto- muusvaatimukseen sekä oletukseen suositusten mukaisesta harvennusvoimak- kuudesta. Nämä ehdot eivät puunkorjuussa suinkaan aina toteudu, mutta kaava on yksinkertainen ja toistaiseksi paras esitetty ajourien kasvatappioiden laskentamenetelmä. Myös ajourapainumien aiheuttamia kasvatappioita laskettaessa tehdään lukuisia oletuksia alkaen juuriston keskimääräisestä levinneisyydestä päätyen altistuvan juuristo-osuuden kautta painumille altistuvien puiden määrään.

Puustovaurioiden aiheuttamien menetysten laskenta sekä kasvu- että laatutappioiden osalta sisältää sekin epävarmuustekijöitä. Kasvu- ja tuotostappiota kuvaavat tulokset ovat vaihtelevia, usein ristiriitaisiakin. Tulosten yhdistäminen ja laskentaan valittujen lähtötietojen perustelu tilastotieteellisillä testeillä on mahdotonta. Tutkimuksista ei suoraan löydy vastausta esimerkiksi kysymykseen, kuinka suuren kasvatappion pinta- alaltaan 100 cm<sup>2</sup>:n kokoinen syvävaurio juurenniskassa aiheuttaa. Tulokset voivat kyllä antaa vastauksen juurenniskavaurioiden kasvatappioiden keskimääräiseen suuruuteen ja toisaalta erikseen pinta- ja syvävaurioista seuraaviin tappioihin, mutta tarvittavaa yhdistettyä tietoa ei löydy.

Seurausvaikutuksia määritettäessä on oleellista vaurioiden yhteisvaikutuksen löytäminen. Sitä ei kuitenkaan suoraan ole tutkimuksista saatavissa. Laskentamallin lähtötiedot perustuvatkin tutkimuksista saatuun käsitykseen vaurioiden seurausvaikutusten tasosta.

## 4.2 Seurausvaikutusten laskentamalli

Korjuujäljen seurausvaikutusten laskemiseksi kehitettiin Excel-pohjainen taulukkolaskentamalli **Kovalama.xlw** (**Korjuuvaurioiden laskentamalli**). Laskentamallia ei ole laadittu huonon korjuujäljen korvauskysymysten ratkomiseksi. On selvää, että korjuuseen liittyy jonkin verran myös negatiivisia seurausvaikutuksia, jotka tosin ovat yleensä vähäisiä verrattuna harvennuksen positiivisiin vaikutuksiin. Metsäkeskus Tapion valtakunnallisen korjuujälkiseurannan yhteydessä on esitetty mi- nimivaatimukset hyväksyttävälle korjuujäljelle. Mahdollisissa riitatapauksissa lieneekin oikeudenmukaisinta tarkastella huonosti onnistuneessa korjuussa toteutuneen korjuujäljen ja Metsäkeskus Tapion asettaman hyväksyttävän tason eroa.

Malli sisältää kolme eri laskentasivua, jotka on linkitetty toisiinsa. Ensimmäisellä sivulla käyttäjä antaa syöttötietoina annettujen ohjeiden mukaisesti mallin tarvitsemat metsikkö- ja korjuujälkitiedot. Toisella sivulla esitetään kasvatappioiden laskenta ja

kolmannella sivulla laatutappioiden eli kuusen lahoutumisen laskenta. Kun Kovalama.xlw käynnistetään, näyttöön ilmestyy automaattisesti mallin aloitussivu.

#### 4.2.1 Mallin vaatimat syöttötiedot

Laskentamalliin syötetään seuraavat tiedot:

##### Metsikkötiedot

A. Metsätyyppi; Annetaan kirjoittamalla OMT, MT tai VT.

B. Puulajisuhteet; Annetaan männyn ja kuusen suhteellinen osuus runkoluvusta siten, että summaksi tulee yksi. Kuusen lukuihin voidaan sisällyttää koivu, jos sitä on korkeintaan 20 %. Liiallinen koivun osuus vääristää erityisesti kuusen kasvutappiotuloksia.

C. Kasvu,  $m^3/ha/v$ ; Annetaan metsikön puuston keskimääräinen vuotuinen kasvu 1. harvennuksen ja 2. harvennuksen jälkeen. Keskimääräinen kasvu hakkuiden välillä voidaan laskea esimerkiksi puuston kokonaistilavuuksien erotuksena. Esimerkiksi 1. harvennuksen jälkeinen keskimääräinen kasvu saadaan vähentämällä puuston kokonaistilavuudesta juuri ennen 2. harvennusta ( $V_2$ ) puuston tilavuus 1. harvennuksen jälkeen ( $V_1$ ) ja jakamalla erotus harvennusten välisellä ajalla ( $t$ ), eli kaavana  $(V_2 - V_1)/t$ . Vuokilan & Väliahon (1980) laatimat viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit antavat mahdollisuuden metsiköiden kehityksen seuraamiseen sekä tilavuuksien ja kasvujen arvioimiseen.

##### Leimikkotiedot

A. Hakuu-poistuma,  $kpl/ha$ ; Runkoluvulla mitattu poistuma 2. harvennuksessa. 1. harvennuksen poistumaa ei tarvita, koska ensimmäiset vauriot syntyvät tuolloin jäävään puustoon. Päätehakuun poistumaa ei myöskään tarvita, koska päätehakuussa oletetaan poistettavan kaikki puut.

B. Jäävä puusto,  $kpl/ha$ ; Jäävän puuston lukumäärä 1. harvennuksen jälkeen ja 2. harvennuksen jälkeen. Tieto poistumasta ja jäävästä puustosta tarvitaan harvennusvoimakkuuden määrittämiseen. Harvennusvoimakkuuden perusteella lasketaan 1. harvennuksen seurauskustannuksista 2. harvennuksessa realisoituva osa.

C. Hakuuikä,  $v$ ; Puuston keski-ikä hakkuiden aikana. Tietoa tarvitaan mm. lahon kokonaispituutta määritettäessä. Rungon lahoutunut osuus on sitä suurempi, mitä pitempi ajanjakso on vaurion syntymisestä vauriopuun poistamiseen. Aikaa tarvitaan myös kustannusten siirtämisessä nykyhetkeen eli diskonttauksessa.

D. Ajouran reunapuuston suhteellinen tiheys; Ajouran reunavyöhykkeen puuston tiheys verrattuna ajourien keskellä olevan puuston tiheyteen (yleensä 1,0-1,4). Tietoa tarvitaan määritettäessä ajourapainumien aiheuttamia kasvutappioita. Painumille altistuvia puita on sitä enemmän, mitä tiheämpi on ajouran reunavyöhyke. Reunavyöhykkeellä tarkoitetaan tässä kummallakin puolella ajouraa olevaa ajouran reunasta mitattua 3 metrin levyistä vyöhykettä. Lisäksi suhteellista tiheyttä käytetään laskettaessa 2. harvennuksessa poistettavien 1. harvennuksen vaurioiden lukumäärää.

E. Kuusten keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta,  $cm$ ; Jäävän puuston keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta kuusella. Tietoa käytetään lahotappioiden laskennassa.

F. Rungon tukkiosuuden keskimääräinen päättymiskorkeus kuusella, m; Kohtien E ja F avulla selvitetään kuusirunkojen tukkiosan keskimääräinen kapeneminen.

G. Rungon käyttöosan keskimääräinen tukkiosuus, %; Tarvitaan laskettaessa kasvutappioiden aiheuttamien kustannusten rahallista arvoa. Kun tiedetään kasvutappio kuutiometreinä, lasketaan sen arvo kertomalla tappio eri puutavaralajien hinnoilla puulajisuhteiden ja rungon tukkiosuuden mukaisesti.

H. Mäntytukin kantohinta, mk/m<sup>3</sup>

I. Mäntykuitupuun kantohinta, mk/m<sup>3</sup>

J. Kuusitukin kantohinta, mk/m<sup>3</sup>

K. Kuusikuitupuun kantohinta, mk/m<sup>3</sup>

Suurin osa em. syöttötiedoista tarkoittaa tietoja sillä hetkellä, jolloin tappiot realisoituvat eli kasvu- ja laatu-tappioista kärsineet puut hakataan. Osa tiedoista, kuten puuston kasvu tai rungon tukkiosuus, voidaan selvittää taulukoista. Osa tarvittavista tiedoista puolestaan joudutaan pelkästään arvioimaan. Näin menetellään esimerkiksi puutavaralajien hintojen kohdalla.

### Ajouratiedot

A. Ajouraväli, m; Vierekkäisten ajourien kohtisuoraan mitattujen etäisyyksien keskiarvo.

B. Ajouran ulkoleveys, m; Ajouran korjuutekninen ulkoleveys eli ajouran reunapuiden rajoittama avoin tila. Se saadaan kertomalla SLU-mittaustavalla mitattu ajouraleveys 1,2:lla tai Kniggle-menetelmällä mitattu leveys 1,49:llä (Isomäki & Niemistö 1990). Ulkoleveyttä tarvitaan ajourien aiheuttamien kasvutappioiden laskennassa.

C. Korjuukoneen raideleveys, m; Ajourapainumia aiheuttaneen korjuukoneen ulkoraidaleveys eli raiteiden ulkoreunojen välinen etäisyys. Tietoa käytetään ajourapainumien aiheuttamia kasvutappioita laskettaessa.

D. Ajourapainuman syvyys keskimäärin, cm; Keskimääräinen ajourapainuman syvyys.

E. Käytetäänkö 2. harvennuksessa 1. harvennuksen ajouraverkostoa? Kyllä = 1, Ei = 2. Mikäli käytetään samoja ajouria, niiden aiheuttamat kasvutappiot lasketaan vain ensimmäisellä kerralla.

### Puustovauriotiedot

Laskentamallissa puustovauriot jaetaan laadun perusteella pinta- tai syvävaurioihin ja sijainnin perusteella runko- tai juurenniskavaurioihin. Jako pelkästään runko- ja juurenniskavaurioihin on tehty käsitteiden päällekkäisyyksien välttämiseksi. Juurenniskavaurioilla tarkoitetaan tässä yhteydessä vaurioita, jotka sijaitsevat juurenniskassa tai maanpäällisissä, vähintään 2 cm paksuissa juurissa enintään 100 cm:n etäisyydellä juurenniskasta. Kauempana juurissa sijaitsevat vauriot otetaan huomioon ajourapainumista aiheutuvia kasvutappioita laskettaessa. Painumien aiheuttamia vaurioita nimitetään tässä tutkimuksessa juuri- tai juuristovaurioiksi taikka maaperävaurioiksi, jolloin puhutaan lisäksi mm. maaperän tiivistymisestä.

Taulukko 7. Puustovaurioiden syöttötaulukko.

## VAURIOPUIDEN LUKUMÄÄRÄ / HA

Vaurion pinta-ala cm <sup>2</sup>	Kuusi		Mänty	
	Pinta- vaurio	Syvä- vaurio	Pinta- vaurio	Syvä- vaurio
< 30				
30-60				
61-100				
101-150				
151-200				
201-300				
301-400				
401-				
YHT.				

Puustovaurioista annetaan aluksi kuusen runkovaurioiden keskimääräinen sijaintikorkeus, jota tarvitaan lahotappioita laskettaessa. Varsinaiset puustovauriotiedot täytetään taulukon 7 mukaisiin taulukoihin, joita on yhteensä 4; 1. harvennuksen runko- ja juurenniskavaurioille omansa ja vastaavat 2. harvennuksen vaurioille.

#### 4.2.2 Laskennan perusteena olevat lähtötiedot ja laskennan kulku

##### 4.2.2.1 Kasvutappioiden laskenta

**Ajourien** aiheuttamat kasvutappiot lasketaan käyttämällä Niemistön (1989) esittämää kaavaa (1) (ks. sivu 26). Kasvutappioiden kestoajaksi oletetaan kymmenen vuotta. Epävarmuutta lopputuloksiin aiheuttaa se, että kasvutappio on kaavan mukainen ainoastaan mikäli korjuu on vauriotonta ja harvennusvoimakkuus suositusten mukainen. Kasvutappiot muunnetaan markkamääräisiksi seuraavasti:

Kasvutappioiden rahallinen arvo =

$$\text{kasvutappio (m}^3\text{)} * \text{männyn osuus} * [\text{mäntytukin hinta} * \text{tukkiosuus} + \text{mäntykuitupuun hinta} * (100\text{-tukkiosuus})] +$$

$$\text{kasvutappio (m}^3\text{)} * \text{kuusen osuus} * [\text{kuusitukin hinta} * \text{tukkiosuus} + \text{kuusikuitupuun hinta} * (100\text{-tukkiosuus})].$$

**Ajourapainumien** aiheuttamien kasvutappioiden ja seurauskustannusten laskenta tapahtuu luvussa 3.2.2 kuvatun mukaisesti laskemalla ajourapainumille altistuvien puiden kokonaismäärä hehtaarilla sekä yksittäisen puun juuristosta painumalle altistuva osuus. Kasvutappio yksittäisellä altistuvalla puulla riippuu puulajista, kasvupaikasta, ajourapainumien keskisyvyydestä ja altistuvan juuriston osuudesta (taulukko 8).

Taulukko 8. Ajourapainuman aiheuttama runkokohtainen kasvutappio (%) MT-kuusikossa. (Wästerlund 1983 ja Olsson 1984).

Altistunut osuus juuristosta, %	Painumien keskisyvyys, cm					
	< 2	3	5	7	9	> 10
	Kasvutappio altistunutta juuristo-osuutta kohti, %					
5	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05
10	0,05	0,09	0,20	0,32	0,38	0,40
15	0,08	0,15	0,33	0,52	0,62	0,65
<b>20</b>	0,08	0,16	<b>0,35</b>	0,56	0,67	0,70
25	0,08	0,16	0,35	0,56	0,67	0,70
30	0,08	0,16	0,35	0,56	0,67	0,70
35	0,08	0,16	0,35	0,56	0,67	0,70
40	0,08	0,16	0,35	0,56	0,67	0,70
45	0,08	0,16	0,35	0,56	0,67	0,70
50	0,08	0,16	0,35	0,56	0,67	0,70

Laskentamalli sisältää vastaavat taulukot myös OMT- ja VT -kuusikoille sekä männikölle. Yllä olevasta taulukosta saadaan arvot OMT-kuusikolle kertomalla luvut 0,8:lla ja VT-kuusikolle 1,2:lla. Ratkaisu perustuu Wästerlundin (1983) mainintaan kasvupaikan vaikutuksesta kasvutappioihin, sekä siihen, että juuristo on huonommalla kasvupaikalla pinnallisempi kuin hyvällä kasvupaikalla (Laitakari 1927).

Kasvutappio yksittäiselle puulle saadaan kertomalla taulukon luku altistuneen juuriston prosenttiosuudella. Jos esimerkiksi keskimääräinen painuman syvyys on 5 cm ja altistuvaksi juuriston osuudeksi on laskettu 20 %, niin yksittäisen puun kasvutappio saadaan tulona (ks. taulukon 8 lihavoidut luvut)  $0,35 * 20 = 7$  %.

Ajourapainumien aiheuttamat kokonaiskasvutappiot hehtaaria kohti lasketaan kaavalla (8). Kasvutappiot muutetaan markkamääräisiksi samalla tavalla kuin ajouran kustannuksia laskettaessa. Kasvutappioiden kestoajaksi arvioidaan samoin 10 vuotta.

$$GL = gl/100 * A/100 * I * 10 \quad (8)$$

missä

GL = ajourapainumien aiheuttamat kasvutappiot, m<sup>3</sup>/ha

gl = yksittäisen altistuvan puun kasvutappio, %

A = altistuvien puiden osuus, %

I = puuston keskimääräinen kasvu, m<sup>3</sup>/ha/v

10 = kasvutappioiden kestoajaksi (= 10 v)

**Puustovaurioiden** aiheuttamia kasvutappioita laskettaessa otetaan huomioon vaurion koko, laatu ja sijainti. Taulukossa 9 esitetään kirjallisuustutkimuksen avulla päätellyt erilaisten puustovaurioiden aiheuttamat kasvutappiot. Luvut ilmaisevat vuotuista kasvutappiota, joka säilyy tällä keskimääräisellä tasolla 10 vuotta.

Taulukko 9. Puustovaurioiden aiheuttama runkokohtainen kasvutappio (%).

Vaurion pinta-ala cm <sup>2</sup>	MÄNTY				KUUSI			
	Runkovaurio		Juurenniskavaurio		Runkovaurio		Juurenniskavaurio	
	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä
	Kasvutappio, %							
<30	1	2	2	3	2	3	3	4
30-60	2	4	4	6	4	6	6	8
61-100	4	6	6	8	6	8	8	10
101-150	6	8	8	10	8	10	10	12
151-200	8	10	10	12	10	12	12	14
201-300	12	14	14	16	14	16	16	18
301-400	16	18	18	20	18	20	20	22
>400	20	24	22	26	22	26	24	28

Taulukko 10. Puustovaurioiden aiheuttamien kasvutappioiden kehitys ajan kuluessa eri metsätyypeillä. Kasvutappion suuruus = 1,0, kun vaurioitumisesta on kulunut 0-10 vuotta (Olsson 1984).

Aika vaurioitumisesta	Metsätyyppi		
	OMT	MT	VT
	Kasvutappio alkuperäisestä		
10-20 vuotta	0,2	0,5	0,75
20-30 vuotta	0	0,1	0,3

Kasvutappion kesto riippuu kasvupaikasta. 10 vuoden jälkeen kasvutappio vähenee huomattavasti kasvupaikoilla hitaammin ja paremmilla nopeammin. Kasvutappion kehitys ajan kuluessa saadaan kertomalla taulukon 9 taso taulukossa 10 esitettävillä kertoimilla (Olsson 1984).

Muutettaessa tappioita markkamääräisiksi oletetaan, että osa ensimmäisessä harvennuksessa vaurioituneista puista poistetaan toisessa harvennuksessa ja loput päätehakkuussa. Toisessa harvennuksessa poistettava osuus saadaan kertomalla runkoluvun perusteella laskettu harvennusvoimakkuus ajouran reunapuiden suhteellisella tiheydellä (1,0-1,4). Vauriopuita oletetaan poistettavan siis reunapuiden tiheyttä vastaavassa suhteessa. Kustannukset lasketaan erikseen männyille ja kuuselle.

#### 4.2.2.2 Laatatappioiden laskenta

Laatatappioihin sisällytetään laskentamallissa pelkästään kuusen lahoutumisesta aiheutuvat tappiot. Lahotappioiden muuntaminen markkamääräisiksi kustannuksiksi sisältää monia oletuksia ja keskimääräisten arvojen käyttämistä. Esimerkiksi oletetaan, että lahoutunut osa rungosta saadaan tarkasti erotettua rungon terveestä osasta. Tämä ei aina käytännössä ole mahdollista, sillä laho saattaa sijaita keskellä runkoa hakkuukoneen kuljettajan näkymättömissä. Malli saattaa näin ollen jonkin verran aliarvioida lahon aiheuttamia menetyksiä.

Taulukko 11. Lahon syntymisen todennäköisyys erilaisilla vaurioilla.

Vaurion pinta-ala cm <sup>2</sup>	Runkovaurio		Juurenniskavaurio	
	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä
	Lahon todennäköisyys, %			
< 30	10	35	15	45
30-60	15	60	20	70
61-100	20	70	25	80
101-150	25	80	30	90
151-200	30	99	40	99
201-300	40	99	50	99
301-400	50	99	60	99
> 400	60	99	70	99

Laskentamallissa lahotappiot lasketaan vaiheittain. Ensin lasketaan lahovian saavien puiden lukumäärä käyttäen todennäköisyyksiä lahon syntymiselle riippuen vaurion koosta, laadusta ja sijainnista. Käytettävät todennäköisyydet ovat taulukon 11 mukaiset.

Tämän jälkeen selvitetään lahon keskimääräinen eteneminen kullakin vauriotyyppillä riippuen vaurion koosta, laadusta ja sijainnista. Näin saadaan rungon lahoutuneen osan keskimääräinen pituus eri ikäisillä vaurioilla.

Taulukossa 12 esitetään lahon vuotuiset etenemisnopeudet vauriokohdasta ylöspäin. OMT-kasvupaikalla etenemisnopeus on laskettu kertomalla MT-kankaan nopeudet 1,3:lla ja VT-kasvupaikalla puolestaan kertomalla MT-kankaan nopeudet 0,7:llä. Kertoimet perustuvat tutkimustuloksiin, joiden mukaan laho etenee paremmalla kasvupaikalla nopeammin kuin huonommalla (Isomäki & Kallio 1974).

Taulukko 12. Lahon etenemisnopeus erilaisista vauriosta ylöspäin eri kasvupaikoilla, cm/v.

Vaurion pinta-ala cm <sup>2</sup>	OMT				MT				VT			
	Runko- vaurio		Juurenniska- vaurio		Runko- vaurio		Juurenniska- vaurio		Runko- vaurio		Juurenniska- vaurio	
	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä	Pinta	Syvä
	Lahon etenemisnopeus ylöspäin, cm/v											
< 30	7	10	10	13	5	8	8	10	4	6	6	7
30-60	10	16	13	20	8	12	10	15	6	8	7	11
61-100	13	20	17	26	10	15	13	20	7	11	9	14
101-150	16	26	21	33	12	20	16	25	8	14	11	18
151-200	20	33	26	39	15	25	20	30	11	18	14	21
201-300	26	39	33	46	20	30	25	35	14	21	18	25
301-400	33	46	39	52	25	35	30	40	18	25	21	28
> 400	46	59	52	65	35	45	40	50	25	32	28	35

Lahon eteneminen säilyy esitetyllä tasolla 5 vuotta, jonka jälkeen se hidastuu seuraavasti (Isomäki & Kallio 1974):

Aika vaurioitumisesta, v	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40
Suhteellinen etenemisnopeus, %	100	88	65	48	42	31

Lahoutuneen osan kokonaispituus saadaan, kun taulukoista laskettavaan pituuteen lisätään vauriosta alaspäin leviävän lahon pituus. Lahon oletetaan leviävän ylöspäin noin kolme kertaa nopeammin kuin alaspäin (Isomäki & Kallio 1974).

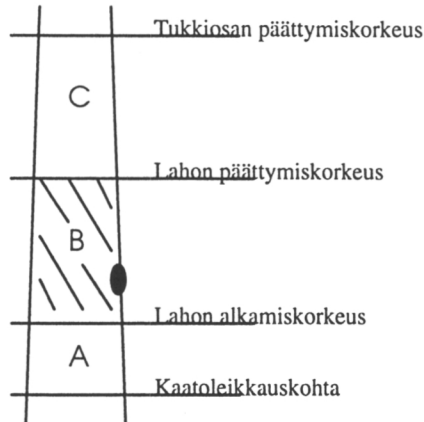
Seuraavaksi lasketaan mitä hakkuiden yhteydessä menetetään lahon vuoksi, eli siirtymät puutavaralajista toiseen. Malli olettaa lahoutuneen puutavaran aina mäntykuitupuuksi. Siirtymät puutavaralajista toiseen lasketaan erikseen kolmelle vauriopuutyypille, jotka ovat pintarunkovauriopuu, syvärunkovauriopuu ja juurenniskavauriopuu.

Runkovauriopuut jaotellaan pinta- ja syvävauriopuihin, koska pinta- ja syvävaurioiden oletetaan sijaitsevan rungolla eri korkeuksilla. Tätä runkovaurioiden keskimääräistä sijaintikorkeutta kysytään laskentamallin käyttäjältä syöttötietojen antovaiheessa. Oletus pinta- ja syvävaurioiden erilaiseen sijaintiin puun rungolla perustuu tutkimustietoihin, joiden mukaan hakkuukone voi aiheuttaa vaurioita hyvinkin korkealle puun runkoon. Tällöin kysymyksessä ovat pääosin nimenomaan pintavauriot (Sirén 1995).

Kun lahon pituudet ja sijainnit rungossa tiedetään, voidaan laskea puutavaralajien siirtymisistä aiheutuvat tappiot. Tässä yhteydessä lasketaan menetykset rungon tukkiosasta. Jaetaan tukkiosa osiin sen mukaan missä kohdalla rungossa laho sijaitsee, ja lasketaan näiden osien pituudet ja tilavuudet. Tukkiosan osista käytetään laskentamallissa seuraavia nimityksiä (kuva 13):

- Tyvitukki, joka on lahoutuneen osan alapuolinen osa rungosta
- Laho, joka on rungon lahoutunut osa ja joka siirtyy mäntykuitupuuksi
- Latvatukki, joka on lahoutuneen osan yläpuolinen osa tukkiosan päättymiskorkeuteen saakka. Tukkiosan päättymiskorkeus on se korkeus, missä saavutetaan kuusitukin minimilatvaläpimitta 16 cm.

Koska lahon pituus ja sijainti tiedetään, saadaan tyvitukin pituus suoraan lahon alkamiskorkeutena. Latvatukin pituuden laskenta perustuu mallin käyttäjältä syöttötietona kysytyyn rungon tukkiosan päättymiskorkeuteen. Latvatukin pituus saadaan vähentämällä tukkiosan päättymiskorkeudesta lahon päättymiskorkeus.



Kuva 13. Rungon tukkiosan nimitykset. A= Tyvitukki, B= Laho, C=Latvatukki. Musta täplä kuvaa vauriota, josta laho saa alkunsa.

Osien A, B ja C tilavuudet lasketaan lieriön kaavalla (9).

$$V = \pi(d/2)^2 * l \quad (9)$$

missä

V = osan tilavuus, cm<sup>3</sup>

d = läpimitta osan keskeltä mitattuna, cm

l = osan pituus, cm

Kunkin osan keskiläpimitta lasketaan rungon tukkiosan kapenemisen perusteella käyttäen laskennan lähtöarvona joko tukkiosan latvaläpimittaa (= 16 cm) tai rinnankorkeusläpimittaa. Kapenemisen oletetaan olevan tasaista koko rungon tukkiosalla, ja se lasketaan seuraavasti:

$$K = \frac{d_{1,3} - 16}{h_t - 1,3} \quad (10)$$

missä

K = kapeneminen, cm/m

d<sub>1,3</sub> = läpimitta rinnankorkeudella, cm

h<sub>t</sub> = tukkiosan päättymiskorkeus, m

16 = läpimitta tukkiosan päättymiskorkeudella

1,3 = rinnankorkeus

Osien tilavuuksien lisäksi on selvitettävä myös kustakin osasta saatava puutavaralaji, jotta markkamääräiset menetykset voidaan laskea. Osista voidaan saada lahon pituudesta ja sijainnista riippuen seuraavia puutavaralajeja:

**RUNKOVAURIOPUILLA:****Tyvitukista**

- kuusitukkia, jos laho sijaitsee niin korkealla rungossa, että rungon tyvestä saadaan tukki, eli laho alkaa vähintään 4,0 metristä
- kuusikuitupuuta, jos laho ei ole riittävän korkealla, jotta tyvestä saataisiin tukkia
- mäntykuitupuuta, jos lahotonta tyveä on vähemmän kuin 2 m, jolloin tyvi yhdistetään lahoon, joka menee aina mäntykuitupuuksi.

**Lahosta**

- mäntykuitupuuta aina. Voidaan menettää joko kuusitukista, jos laho sijaitsee rungon tukkiosassa tai kuusikuitupuusta, jos laho sijaitsee poikkeuksellisen ylhäällä rungon kuitupuuosassa.

**Latvatukista**

- kuusitukkia, jos laho sijaitsee niin alhaalla rungossa, että lahoton latvatukkiosa on riittävän pitkä tukiksi
- kuusikuitupuuta, jos laho sijaitsee niin ylhäällä, että lahoton latvatukkiosa on liian lyhyt tukiksi.

**JUURENNISKAVAURIOPUILLA:****Tyvitukista ja lahosta**

- mäntykuitupuuta aina, koska laho sijaitsee tyvellä, jolloin rungon koko tyviosa siirtyy mäntykuitupuuksi. Osan pituus ja tilavuus lasketaan vain kaatoleikkauksesta ylöspäin, sillä kanton jäävää lahoppuuta ei tietenkään lasketa tappioksi. Näin ollen lahon kokonaispituudesta on vähennettävä etäisyys juurenniskan vauriokohdasta kaatoleikkaukseen. Tämä etäisyys oletetaan keskimäärin 40 cm:n mittaiseksi.

**Latvatukista**

- kuusitukkia, jos laho ei ole edennyt niin ylös, että lahoton latvatukkiosa olisi liian lyhyt tukiksi
- kuusikuitupuuta, jos laho on edennyt niin ylös, että lahoton latvatukkiosa on liian lyhyt tukiksi. Tässä tapauksessa rungon tukkiosasta ei saada lahoutumisen vuoksi lainkaan kuusitukkia, vaan ainoastaan mänty- ja kuusikuitupuuta.

Kun kustakin osasta saatava puutavaralaji on tiedossa, voidaan markkamääräiset menetykset laskea vertaamalla kyseisestä osasta terveenä saatavaa hintaa lahonneesta osasta saatavaan mäntykuitupuun hintaan. Lahotappiot realisoituvat samalla tavoin puustovaurioiden kasvutappioiden kanssa, eli osittain toisessa harvennuksessa ja osittain päätehakuussa.

### 4.2.3 Esimerkkilaskelma korjuujäljen seurausvaikutuksista

Seuraavassa esitetään esimerkkilaskelma korjuujäljen kustannuksista. Laskelma on samassa muodossa kuin laskentamallissa. Syöttötiedot annetaan taulukon harmaapohjaisiin ruutuihin.

<b>1. METSIKKÖTIEDOT</b>			
Metsätyyppi (OMT, MT tai VT)	MT		
Puulajiosuudet (Summa=1)			
mänty	0,2		
kuusi	0,8		
Puuston keskimääräinen kasvu hakkuiden välillä, m <sup>3</sup> /ha/v	1. harv. jälkeen	2. harv. jälkeen	
	9	7	
<b>2. HAKKUUTIEDOT</b>			
	1. harv.	2. harv.	päätteh.
Hakkuupoistuma, r/ha	///	500	600
Jäävä puusto, r/ha	1100	600	0
Hakkuuikä, v	35	65	90
Ajouran reunapuuston suht. tiheys	1,3	1,1	///
Kuusten keskim. rinnankorkeuslöpimitta, cm		23	29
Tukkiosan keskim. päättymiskork. kuusilla, m		10	14
Rungon käyttöosan keskim. tukkiosuus, %		80	92
Mäntytukin kantohinta, mk/m <sup>3</sup>		214	214
Mäntykuitupuun kantohinta, mk/m <sup>3</sup>		72	72
Kuusitukin kantohinta, mk/m <sup>3</sup>		175	175
Kuusikuitupuun kantohinta, mk/m <sup>3</sup>		91	91
<b>3. AJOURATIEDOT</b>			
	1. harv.	2. harv.	
Ajouraväli, m	20	20	
Ajouran ulkoleveys, m	4,8	5,4	
Korjuukoneen raideleveys, m	2,7	2,7	
Painuman keskim. syvyys, cm	4,5	5	
Käytetäänkö 2. harvennuksessa 1. harvennuksen ajouraverkkoa?			
1= käytetään, 2= ei käytetä	1		

## Laskentamalli antaa tulokset taulukkomuodossa seuraavasti:

1. Harvennuksen kasvu- ja laatutappiot, jotka realisoituvat 2. harvennuksessa				Nykyarvo	
KASVUTAPPIOT		m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	%	mk/ha
Ajourat		3,65	597,58	62,00	246,20
Ajourapainumat		0,64	104,57	10,85	43,08
Puustovauriot	mänty	0,04	7,75	0,80	3,19
	kuusi	0,30	47,73	4,95	19,66
LAATUTAPPIOT					
Kuusen lahoutuminen		2,00	206,15	21,39	84,93
	YHT.	6,63	963,78	100	397,06
1. Harvennuksen kasvu- ja laatutappiot, jotka realisoituvat päätehakkuussa					
KASVUTAPPIOT		m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	%	Nykyarvo
Ajourat		4,38	767,36	65,09	150,99
Ajourapainumat		0,77	134,28	11,39	26,42
Puustovauriot	mänty	0,03	5,86	0,50	1,15
	kuusi	0,21	35,15	2,98	6,92
LAATUTAPPIOT					
Kuusen lahoutuminen		2,29	236,35	20,05	46,51
	YHT.	7,68	1178,99	100	231,99
1. Harvennuksen kasvu- ja laatutappiot yhteensä					
KASVUTAPPIOT		m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	%	Nykyarvo
Ajourat		8,03	1364,94	63,70	397,19
Ajourapainumat		1,41	238,86	11,15	69,51
Puustovauriot	mänty	0,07	13,61	0,64	4,35
	kuusi	0,51	82,87	3,87	26,58
LAATUTAPPIOT					
Kuusen lahoutuminen		4,30	442,49	20,65	131,43
	YHT.	14,31	2142,77	100	629,05
2. Harvennuksen kasvu- ja laatutappiot, jotka realisoituvat päätehakkuussa					
KASVUTAPPIOT		m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	%	Nykyarvo
Ajourat		0,00	0,00	0,00	0,00
Ajourapainumat		1,63	286,19	47,35	136,68
Puustovauriot	mänty	0,06	12,86	2,13	6,14
	kuusi	0,33	56,23	9,30	26,85
LAATUTAPPIOT					
Kuusen lahoutuminen		2,42	249,07	41,21	118,96
	YHT.	4,45	604,35	100	288,64

Puustovauriotiedot olivat jääneet pois julkaisun taittovaiheessa. Irtolehti kuuluu sivujen 55 ja 56 väliin.

#### 4. PUUSTOVAURIOTIEDOT

##### 1. HARVENNUS

Kuinka korkealla kaatoleikkaukskohdasta 1. harvennuksessa syntyneet KUUSEN RUNKOVAURIOT keskimäärin sijaitsevat ?

Pinta- vauriot	Syvä- vauriot
2 metriä	1,1 metriä

##### 4.1 RUNKOVAURIOT, 1. harvennuksen vauriopuiden lukumäärä hehtaarilla, kpl/ha

Vaurion koko,cm <sup>2</sup>	Kuusi		Vaurion koko,cm <sup>2</sup>	Mänty	
	Pinta- vaurio	Syvä- vaurio		Pinta- vaurio	Syvä- vaurio
< 30	6	2	< 30	0	0
30-60	4	6	30-60	2	1
61-100	5	3	61-100	1	1
101-150	3	1	101-150	0	0
151-200	0	1	151-200	0	0
201-300	0	0	201-300	0	0
301-400	0	0	301-400	0	0
> 400	0	0	> 400	0	0
YHT.	18	13	YHT.	3	2
		31			5

##### 4.2 JUURENNISKAVAURIOT, 1. harvennuksen vauriopuiden lukumäärä hehtaarilla, kpl/ha

Vaurion koko,cm <sup>2</sup>	Kuusi		Vaurion koko,cm <sup>2</sup>	Mänty	
	Pinta- vaurio	Syvä- vaurio		Pinta- vaurio	Syvä- vaurio
< 30	0	0	< 30	0	0
30-60	5	3	30-60	3	0
61-100	6	2	61-100	1	1
101-150	2	5	101-150	0	1
151-200	0	0	151-200	0	0
201-300	0	1	201-300	0	0
301-400	0	0	301-400	0	0
> 400	0	0	> 400	0	0
YHT.	13	11	YHT.	4	2
		24			6

## 2. HARVENNUS

Kuinka korkealla kaatoleikkauksesta 2. harvennuksessa syntyneet KUUSEN RUNKOVAURIOT keskimäärin sijaitsevat ?

Pinta- vauriot	Syvä- vauriot
2.2 metriä	1.2 metriä

### 4.3 RUNKOVAURIOT, 2. harvennuksen vaurioiden lukumäärä hehtaarilla, kpl/ha

Vaurion koko, cm <sup>2</sup>	Kuusi		Vaurion koko, cm <sup>2</sup>	Mänty	
	Pinta- vaurio	Syvä- vaurio		Pinta- vaurio	Syvä- vaurio
< 30	1	0	< 30	0	0
30-60	3	1	30-60	1	0
61-100	2	2	61-100	1	1
101-150	1	1	101-150	0	0
151-200	0	0	151-200	0	0
201-300	0	0	201-300	0	0
301-400	0	0	301-400	0	0
> 400	0	0	> 400	0	0
YHT.	7	4	YHT.	2	1
	11			3	

### 4.4 JUURENNISKAVAUROT, 2. harvennuksen vaurioiden lukumäärä hehtaarilla, kpl/ha

Vaurion koko, cm <sup>2</sup>	Kuusi		Vaurion koko, cm <sup>2</sup>	Mänty	
	Pinta- vaurio	Syvä- vaurio		Pinta- vaurio	Syvä- vaurio
< 30	1	0	< 30	3	0
30-60	2	1	30-60	1	2
61-100	3	3	61-100	0	0
101-150	1	1	101-150	0	0
151-200	0	1	151-200	0	0
201-300	0	0	201-300	0	0
301-400	0	0	301-400	0	0
> 400	0	0	> 400	0	0
YHT.	7	6	YHT.	4	2
	13			6	

Viimeisessä eli 2. harvennuksen tappioiden taulukossa ajourien aiheuttamaksi kasvutappioksi on saatu 0, koska syöttötiedoissa ilmoitettiin 2. harvennuksessa käytettävän samoja ajouria kuin 1. harvennuksessakin. Tällöin kasvutappiot lasketaan vain 1. harvennuksen yhteydessä. Tappioiden nykyarvot on laskettu käyttäen 3 %:n korkoa.

#### 4.2.4 Laskelmien herkkyys lähtötietojen muutoksiin

Seurausvaikutusten laskenta perustuu eri tutkimusten perusteella valittuihin lähtöarvoihin. Seuraavassa tarkastellaan joidenkin lähtöarvojen muutosten vaikutusta tuloksiin. Tarkasteltavana on kolme tapausta: muutokset lahoutumisessa, tappioiden realisoitumisajankohdassa sekä puutavaralaji- ja hintasuhteissa.

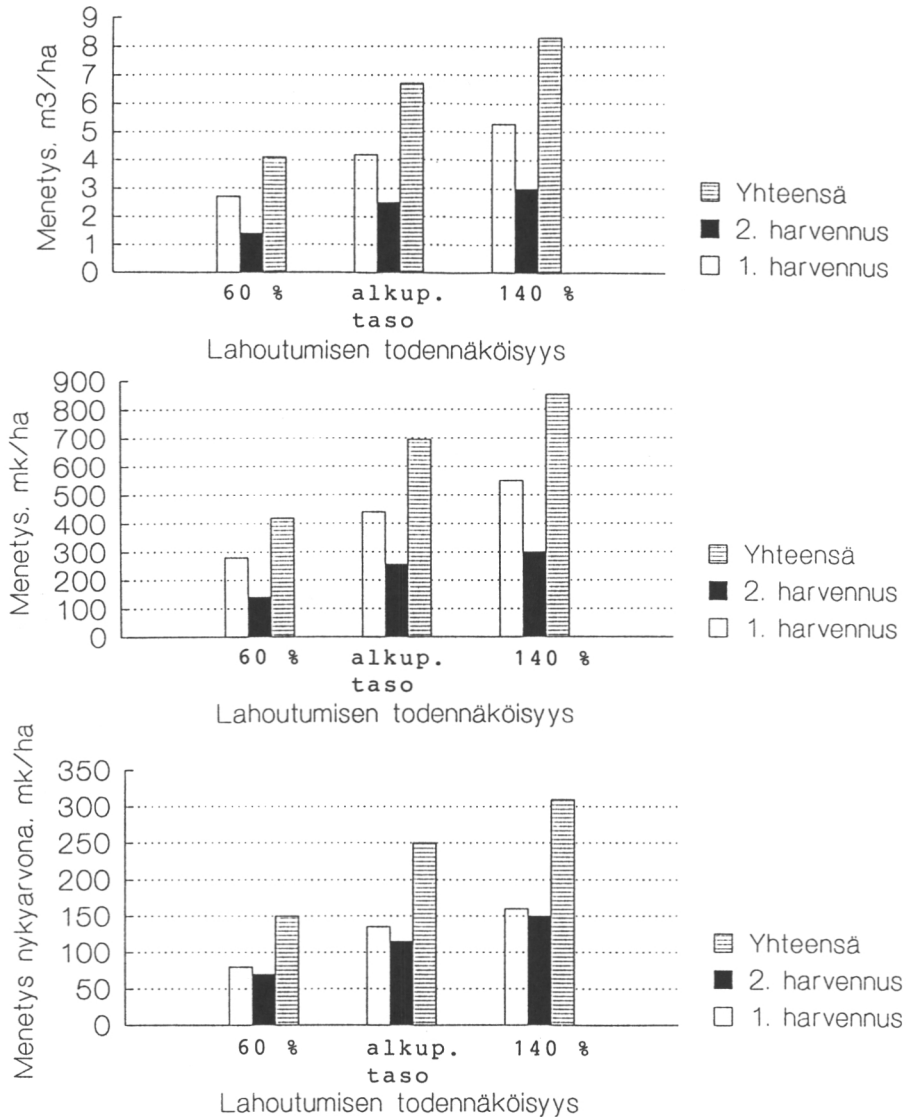
##### 4.2.4.1 Muutokset lahoutumisessa

Jotta lahoutumisherkkyuden vaikutus saataisiin selville, tarkastellaan lahon syntymistodennäköisyyden ja etenemisnopeuden muutoksia lopputuloksiin. Lasketaan lahoutumisesta aiheutuvat menetykset, kun lahon syntymisen todennäköisyys pienennetään 60 %:iin laskentamallin tasosta ja toisaalta kasvatetaan 140 %:iin. Kaikki mallin käyttäjän antamat syöttötiedot jätetään samoiksi kuin alkuperäisessä esimerkkilaskelmassa. Laskentamallissa käytettävät alkuperäiset arvot lahon syntymistodennäköisyyksille nähdään taulukosta 11 sivulta 51. Kuvassa 14 on esitetty lahoutumisesta aiheutuvat menetykset m<sup>3</sup>/ha, mk/ha sekä nykyarvo mk/ha.

Kuvassa 15 esitetään lahon etenemisnopeuden muutoksen vaikutus menetysten suuruuteen vastaavalla tavalla.

Lahoutumisen aiheuttamia tappioita laskettaessa oletetaan, että lahoutuneesta rungon osasta saadaan mäntykuitupuuta. Mikäli puun vastustuskyky on heikko ja lahottajasienelle on olemassa suotuisat kasvuolot, voidaan olettaa puun lahoutuvan niin pahoin, ettei se enää kelpaa edes mäntykuitupuuksi. Myös kuitupuun laatuvaatimukset voivat tarkasteluajana kiristyä siten, että verinahakan lahottama puu ei kelpaa mäntykuitupuun joukkoon. Tarkastellaan siis tilannetta, jossa lahoutuneesta rungon osasta ei saada kuitupuun hintaa, eli annetaan syöttötiedoissa mäntykuitupuun hinnaksi 0 mk. Tappiot ovat tällöin seuraavat:

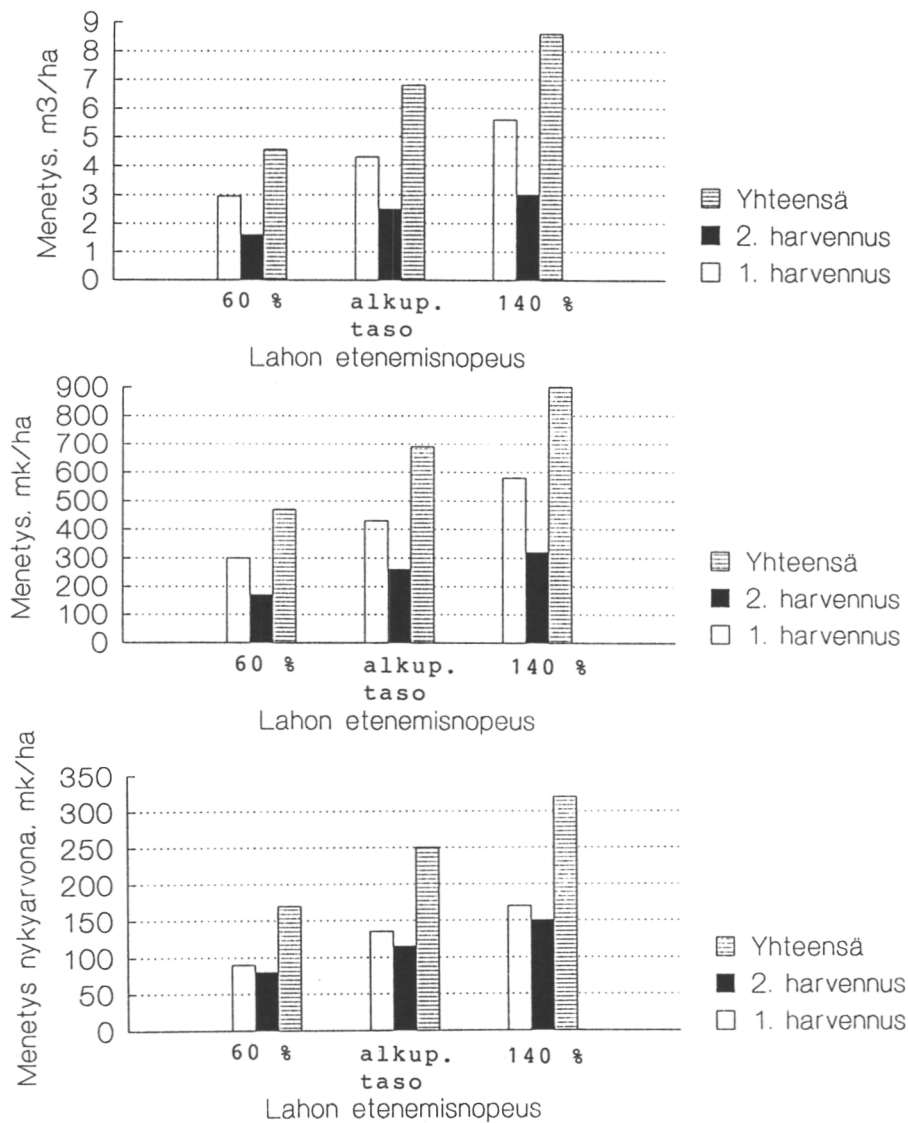
Vaurion synty	m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	Nykyarvo, mk/ha
1. harvennus	4,3	751,8	223,3
2. harvennus	2,4	423,2	202,1
Yhteensä	6,7	1175,0	425,4



Kuva 14. Lahoutumisesta aiheutuvan tappion riippuvuus lahon syntymisen todennäköisyydestä.

Menetysten nykyarvojen poikkeama 1. ja 2. harvennuksen välillä on vähäinen, vaikka 1. harvennuksessa syntyneet lahovauriot aiheuttavatkin huomattavasti suuremmat kuutiometreissä mitatut tappiot. Tämä johtuu siitä, että 1. harvennuksen ja päätehakkuun välinen aika on pitkä, jolloin markkamääräiset menetykset kutistuvat diskonttauksessa.

Vertaamalla alkuperäisiä lahoutumisen aiheuttamia tappioita (s. 56) edellä esitettyyn, huomataan selkeä ero markkamääräisissä menetyksissä. Jos lahopuusta saadaan mäntykuitupuun hinta, ovat 1. ja 2. harvennuksen yhteenlasketut menetykset 692 markkaa. Mikäli mäntykuitupuun hintaa ei saada, nousevat menetykset yhteensä 1175 markkaan.



Kuva 15. Lahoutumisesta aiheutuvan tappion riippuvuus lahon etenemisnopeudesta.

#### 4.2.4.2 Kustannusten realisoitumisajankohtan vaikutus

Tappioiden realisoitumisajankohdan vaikutusta selvitetään tarkastelemalla tilannetta, jossa kaikki 1. harvennuksen vauriopuut poistetaan 2. harvennuksessa. Vaihtoehtona on laskentaesimerkin alkuperäinen tilanne, jossa osa vauriopuista poistetaan vasta päätehakkuussa (taulukot 13 ja 14).

Taulukko 13. 1. Harvennuksen kasvu- ja laatutappiot yhteensä, kun tappiot realisoituvat osin 2. harvennuksessa ja osin päätehakkuussa..

KASVUTAPPIOT				Nykyarvo
	m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	%	mk/ha
Ajourat	8,03	1364,94	63,70	397,19
Ajourapainumat	1,41	238,86	11,15	69,51
Puustovauriot	mänty	0,07	13,61	4,35
	kuusi	0,51	82,87	26,58
LAATUTAPPIOT				
Kuusen lahoutuminen	4,30	442,49	20,65	131,43
	YHT.	14,31	2142,77	629,05

Taulukko 14. 1. Harvennuksen kasvu- ja laatutappiot yhteensä, kun tappiot realisoituvat 2. harvennuksessa.

KASVUTAPPIOT				Nykyarvo
	m <sup>3</sup> /ha	mk/ha	%	mk/ha
Ajourat	8,03	1314,68	66,49	541,63
Ajourapainumat	1,41	230,06	11,64	94,78
Puustovauriot	mänty	0,07	13,12	5,41
	kuusi	0,51	80,77	33,28
LAATUTAPPIOT				
Kuusen lahoutuminen	3,29	338,53	17,12	139,47
	YHT.	13,31	1977,15	814,56

Taulukoista 13 ja 14 huomataan, että tappiot pysyvät muutoin lähes samana paitsi seurauskustannusten nykyarvojen osalta (629 ja 815 mk) ja lahoutumisen osalta (4,3 m<sup>3</sup>/ha ja 3,3 m<sup>3</sup>/ha). Laskentamallissa korjuujäljen seurausvaikutusten kestoajat on oletettu 10-40 vuoden mittaisiksi; lyhimät kestoajat ajourien ja ajourapainumien aiheuttamille kasvutappioille ja pisimmät lahoutumiselle. Koska esimerkkilaskelmassa 1. ja 2. harvennuksen välinen aika on 30 vuotta, malli laskee 1. harvennuksessa alkunsa saaneen lahon edenneen 2. harvennukseseen mennessä vähemmän kuin se etenisi päätehakkuuseen mennessä. Kasvutappioiden osalta lukujen vähäiset vaihtelut johtuvat mallin laskutekniikasta, lähinnä lukujen pyöristyksistä.

#### 4.2.4.3 Puutavaralajien hintasuhteet sekä korkotasot

Muutettaessa kasvu- ja laatutappioita markkamääräisiksi, on arvioitava eri puutavaralajien hinnat kustannusten realisoituessa 2. harvennuksessa ja päätehakkuussa. Laskentamallissa puutavaralajien hintojen arviointi on jätetty mallin käyttäjän tehtäväksi. Kuusitukkipuun ja mäntykuitupuun hintaeron kasvaessa myös seurauskustannukset kasvavat. Kehityssuunta johtuu lahotappioiden laskentaperiaatteesta, jonka mukaan lahokusesta saadaan mäntykuitupuun hinta.

Hintasuhteiden ohella laskennan lopputulokseen oleellisesti vaikuttava tekijä on käytettävä korkokanta. Laskettaessa seurauskustannusten nykyarvoja kustannukset laskevat käytettävän koron kasvaessa. Esimerkkilaskelmassa on käytetty 3 %:n metsänkorkoa, jolla kustannusten nykyarvoksi saatiin 918 mk. Vastaavasti 1 %:n ja 5 %:n koroilla kustannusten nykyarvot olisivat 1868 mk ja 482 mk. Hämäläisen (1973) metsänkorkoperiaatteen mukaan korkoprosenttina voisi olla jopa nolla. Periaatteen mukaan voidaan ajatella, että Suomen, jonkin yrityksen tai metsäalueen metsiä harvennetaan tästä eteenpäin jatkuvana prosessina, jolloin nyt tehtävä harvennus ja korjuujäljen seuraukset realisoituvat samalla hetkellä suuren metsäalueen toisessa osassa.

*Taulukko 15. Ajoura-aukosta VT-männikössä aiheutuva tulonmenetyks (= mk/ha). Kasvuksi on ensiharvennuksen jälkeen arvioitu 7,0 m<sup>3</sup>/ha/v ja kuitu- ja tukkipuun keskimääräiseksi kantohinnaksi 130 mk/m<sup>3</sup>. Menetyks kärsitään toisessa harvennuksessa, jolloin kertymästä on puolet tukkia. (Niemistö 1988). Oletuksena on, ettei korjuuvaurioita ole syntynyt.*

Teoreettinen ajouraväli, m	30	25	20	16,7	15
Ajouramäärä, m/ha	333	400	500	600	667
Korjuutekninen ajouraleveys, m	Tulonmenetyks mk/ha				
3,0	109	136	164	200	218
3,5	291	346	437	519	528
4,0	464	564	701	846	937
4,5	646	773	947	1165	1292

*Taulukko 16. Juuret katkoviens painumien aiheuttamat tulonmenetykset eri levyisillä korjuukoneilla. Ensimmäinen harvennus 60-vuotiaassa puolukkaturvekankaan männikössä, kertymä 40 m<sup>3</sup>/ha, kiertoaika 110 v, kasvu 5,0 m<sup>3</sup>/ha/v ja kantohinta pätehakkuussa 150 mk/m<sup>3</sup>. (Niemistö 1988).*

	Raideväli, m			
	1,5	2,0	2,5	3,0
Painuman laatu	Tulonmenetyks mk/ha			
100 m/ha palautuvaa raideväliä	78	105	131	157
100 m/ha palautumatonta raideväliä	546	750	924	1102

## 5 TULOSTEN TARKASTELO

### 5.1 Vertailu muihin tutkimuksiin

Harvennuspuun korjuujäljen seurauskustannuksia on tutkittu varsin vähän. Suomessa aiheeseen on perehtynyt Niemistö (1988), joka tutki ensisijaisesti ajourista ja ajourapainumista aiheutuvia kasvatappioita. Ajourista aiheutuvat kasvatappiot laskettiin samalla kaavalla kuin käsillä olevassa tutkimuksessakin. Niemistö (1988) laski ajoura-aukon aiheuttavan taulukon 15 mukaiset tulonmenetykset.

Ajourapainumien Niemistö (1988) olettaa alentavan ajouran reunapuuston kasvua 15-20 %, jos valtaosa painumien kohdalla olevista juurista on katkennut. Juurten katkeaminen alentaa puiden kasvua 3 metrin etäisyydellä painumista ja juuristo toipuu ennalleen 10 vuodessa. Kuitenkin jos painumat ovat erittäin syvät, niiden pohja on liian kova tai painumissa seisoo vesi, juuret eivät kykene valtaamaan painumien välistä aluetta takaisin. Eri levyisten korjuukoneiden aiheuttamien raiteiden tappiot ensiharvennuskäytössä on esitetty taulukossa 16 (Niemistö 1988).

Vainikka (1982) tutki yksioteprosessorin aiheuttamia korjuuvaurioita, ja niistä aiheutuvia taloudellisia tappioita. Tutkimuksessa tarkasteltiin yksioteprosessorin ja metsätraktorin korjuujälkeä Kotkan puutalousopiston havaintometsässä. Hakkuun ja metsäkuljetuksen jälkeen kaikista korjuuvaurioista kirjattiin vauriokohta, vaurion koko, vauriopuun sijainti ja vaurion aiheuttaja.

Esimerkkilaskelma tehtiin hakkuupalstalle, jolla vaurioprocentti oli 14,9. Puustovaurioita oli yhteensä 70 kappaletta. Alle 100 cm<sup>2</sup>:n kokoisia syvävaurioita oli 1 ja pintavaurioita 42, yli 100 cm<sup>2</sup>:n syvävaurioita oli 7 ja pintavaurioita 20. Jäävän puuston määrä palstalla oli 470 runkoa/ha, joista mäntyjä 64 %, kuusia 14 % ja koivuja 22 %. Metsätyyppi oli MT.

Vainikka (1982) laski kasvatappioiksi 2,2 m<sup>3</sup>/ha, kun vaurioiden oletettiin vähentävän vaurioiden kasvua 30 %. Kasvatappioiden markkamääräksi Vainikka (1982) laski 309 mk/ha. Laatutappioiksi saatiin 600 mk/ha, josta kuusen lahoutumisen osuus oli 180 mk/ha.

Laskelman suora vertaaminen Kovalama-laskentamallilla saataviin tuloksiin ei ole mahdollista, koska vaurioiden koosta ja sijainnista ei ole riittävän tarkkaa tietoa. Kun mallille annetaan vastaavat puustovauriotiedot ja puutavaralajien hinnat ja koivu sisällytetään kuusen tietoihin, saadaan 70 vauriopuun kasvatappioiksi 140 mk/ha ja 10 kuusen laatutappioiksi 150 mk/ha. Suuri ero arvioiduissa kasvatappioissa selittyy Vainikan (1982) käyttämällä korkealla kasvatappioprosentilla, kasvunhan oletettiin vähenevän jokaisella 70 vauriopuulla peräti 30 %.

Myös Fröding (1986) on esittänyt laskelmia korjuujäljen seurauskustannuksista. Esimerkkilaskelmissa kuusivaltaisten 60-vuotiaitten harvennusleimikoiden vaurioprocentit olivat 8,0 ja 13,4. Päätehakuussa 90-vuoden iässä puustovaurioiden aiheuttamiksi tappioiksi arvioitiin 605 kr/ha ja 934 kr/ha. Tappioiden nykyarvoksi 3

%:n korolla laskettiin 249 kr/ha ja 385 kr/ha. Suurimmat tappiot aiheutuivat kuusten lahoutumisesta.

Nordberg (1987) on laskenut puustovaurioiden sahoille aiheuttamia tappioita ja esittää menetyskset seuraaville neljälle vauriopuutyypille:

- runkovaurioitunut mänty
- runkovaurioitunut ei-lahoutunut kuusi
- runkovaurioitunut lahoutunut kuusi
- juurivaurioitunut lahoutunut kuusi.

Nordbergin (1987) mukaan vaurioituneen puun arvo sahauskassa on noin 10-20 kruunua pienempi kuin vaurioitumattoman puun, ja arvonmenetyks on kutakuinkin sama kuusella ja männyllä. Männyllä arvonmenetyks määräytyy ensisijaisesti päätehakuussa saatavan u/s -sahatavaran määrän mukaan, kuusella lahon syntytodennäköisyyden mukaan.

Varsin kattavan selvityksen korjuujäljen seurausvaikutuksista ja niistä aiheutuvista kustannuksista on koontunut ruotsalainen Olsson (1984). Selvitykseen on koottu aihetta käsittelevien tutkimusten tuloksia, joista on yhdistetty laskennan perusteet. Kasvutappioiden osalta Olssonin (1984) laskelmat ovat muuten lähes samanlaisia kuin käsillä olevan tutkimuksenkin paitsi ajouran aiheuttamien kasvutappioiden laskenta, mikä perustuu Buchtin (1981) esittämään laskutapaan. Siinä tilavuuskasvutappio saadaan vertaamalla ajouraharvennusta ja puhdasta valikoivaa harvennusta.

Kasvutappioiden laskennassa on huomioitu myös mahdolliset ravinteiden hävikistä aiheutuvat tappiot. Ravinteiden hävikkiä syntyy harvennusmenetelmissä, joissa ainespuun ohella korjataan talteen myös latvusmassa, kuten kokopuu- ja osapuukorjuussa. Näiden menetelmien merkitys Suomessa on kuitenkin vähäinen.

Laatutappioiden laskennan perusteet eroavat jonkin verran käsillä olevasta tutkimuksesta. Kuusen lahoutumisen todennäköisyys Olssonin (1984) laskelmissa perustuu Nilssonin & Hyppelin (1968), Mengin (1978) ja Schönharin (1975) tutkimuksiin. Lahon syntytodennäköisyydet runkovaurioilla ovat Olssonin (1984) laskelmissa alhaisemmat ja juurenniskavaurioilla hieman suuremmat kuin Kovalama -laskentamallissa. Lahon etenemisnopeuksissa Olsson (1984) käyttää suurempia arvoja Kovalama-laskentamalliin verrattuna. Toisaalta etenemislaskelmissa ei oteta huomioon vaurion sijaintia.

Sekundäärituhoista ei Olssonin mukaan ole riittävästi tutkimustietoa, jotta voitaisiin luoda malli niiden syntytodennäköisyydestä ja mahdollisten tappioiden suuruudesta. Vertailtaessa kasvutappioiden osalta Olssonin (1984) laskentamallin antamia tuloksia käsillä olevan tutkimuksen laskentamallin tuloksiin huomataan selkeä yhdenmukaisuus. Ajourat aiheuttavat molempien laskentamallien mukaan suurimmat tappiot. Täydellistä vertailua ei kuitenkaan voida tehdä, koska Olssonin (1984) laskentamallia ei ole täydellisenä julkaistu. Käytettävissä on vain alustavia laskelmia sisältävä moniste.

## 5.2 Korjuujäljen seurauskustannusten kokonaismerkitys

Korjuujäljen seurauskustannusten merkitystä voidaan tarkastella teoreettisesti vertaamalla harvennuksista saatavan myyntitulon ja seurauskustannusten suhdetta. Esimerkkilaskelmansa (ks. luku 423) 2. harvennuksessa poistetaan hehtaarilta 500 runkoa 1100:sta. Rungon käyttöosan tukkiosuus on 80 % ja kuusen osuus puustosta 80 %. Puustoa poistetaan tasaisesti siten, että männyn ja kuusen osuudet säilyvät samana. Kuusella rungon tukkiosuuden keskitilavuudeksi saadaan 0,317 m<sup>3</sup> ja kuitupuuosan tilavuudeksi 0,079 m<sup>3</sup>. Oletetaan mäntyjen olevan samankokoisia. Eri puutavaralajien osuudet harvennuskertymästä ovat seuraavat:

Kuusitukki:  $500 * 0,8 * 0,317 = 126,8 \text{ m}^3/\text{ha}$   
 Kuusikuitupuu:  $500 * 0,8 * 0,079 = 31,6 \text{ m}^3/\text{ha}$   
 Mäntytukki:  $500 * 0,2 * 0,317 = 31,7 \text{ m}^3/\text{ha}$   
 Mäntykuitupuu:  $500 * 0,2 * 0,079 = 7,9 \text{ m}^3/\text{ha}$

Kertomalla eri puutavaralajien määrät kantohinnoilla saadaan 2. harvennuksen teoreettinen myyntitulo, joka on  $22190 + 2876 + 6784 + 569 = 32\,419 \text{ mk}/\text{ha}$ . Kun 2. harvennuksessa realisoituvien seurauskustannusten arvo oli 964 mk/ha, saadaan seurauskustannusten suuruudeksi  $(964 / 32419) * 100 \% = 3,0 \% \text{ myyntitulosta}$ .

Vastaava laskenta voidaan tehdä päätehakuun osalta, kun rungon tukkiosuuden keskitilavuus on 0,601 m<sup>3</sup>, tukkipuun osuus rungon käyttöosasta 92 % ja poistettavien puiden määrä 600. Puutavaralajien määräksi saadaan:

Kuusitukki:  $600 * 0,8 * 0,601 = 288,5 \text{ m}^3/\text{ha}$   
 Kuusikuitupuu:  $600 * 0,8 * 0,052 = 25,0 \text{ m}^3/\text{ha}$   
 Mäntytukki:  $600 * 0,2 * 0,601 = 72,1 \text{ m}^3/\text{ha}$   
 Mäntykuitupuu:  $600 * 0,2 * 0,052 = 6,2 \text{ m}^3/\text{ha}$

Kertomalla puumäärät kantohinnoilla saadaan päätehakuun myyntituloksi 68 638 mk/ha. Kun päätehakuussa realisoituvien kustannusten rahallinen arvo oli 1783 mk/ha, saadaan seurauskustannusten suuruudeksi  $(1783 / 68638) * 100 \% = 2,6 \% \text{ myyntitulosta}$ .

Seurauskustannusten laskentamallissa oletetaan, että kaikki puustovauriot realisoituvat eli vauriopuut poistetaan viimeistään päätehakuussa. Metsänkasvatusvaihtoehdot tarjoavat paljaaksihakkuun sijaan myös toisenlaisia mahdollisuuksia. Ekologisessa metsänkasvatuksessa pyritään seuraamaan luonnontilaisen metsän kehityskulkua. Luonnonmetsissä on aina jonkin verran lahoavaa puustoa, yleensä 25-35 % kokonaispuustosta. Ekologisesti ajatellen myös talousmetsiin tulisi jättää muutaman prosentin verran kuollutta puuta, osa maapuuna ja osa pystyynkuolleena. Tämä tarkoittaisi käytännössä 2-4 m<sup>3</sup> lahoppuuta hehtaarilla, mikä merkitsi 5-10 rungon jättämistä uudistusosalalle (Parviainen & Seppänen 1994). Osa puunkorjuussa vaurioituneista puista jäisi näin lahoppuiksi metsään, eikä näitä jätettäviä puita laskettaisi lahotappioiksi, vaan niiden katsottaisiin lisäävän metsän monimuotoisuutta.

Laskentamallin antamiin seurauskustannuksiin on suhtauduttava varoen, erityisesti lahoutumista tarkasteltaessa. Tutkimustulosten erilaisuudesta johtuen on vaikeaa ennustaa lahoutumisesta aiheutuvat menetykset vauriotietojen perusteella. Lisäksi on muistettava, että lahovikoja syntyy korjuuvaurioiden lisäksi myös muista syistä: Juurikäpää voi paikoitellen aiheuttaa varsin huomattavaa tuhoa kuusikoissa. Laho voi saada alkunsa myös lumen aiheuttamista puustovaurioista.

Tässä tutkimuksessa ei tarkastella korjuujäljen osalta harvennusvoimakkuutta. Harvennusvoimakkuus on kuitenkin keskeinen kriteeri korjuujälkeä arvioitaessa. Viimeisimmän harvennushakkuuden korjuujälkitarkastuksen mukaan 34 % tarkastetuista harvennusleimikoista oli hakattu suosituksia harvemmaksi (Hartikainen 1994). Yliharventamisen seurauskustannukset saattavat paikoitellen nousta suuremmiksi kuin ajourien, urapainumien ja puustovaurioiden seurauskustannukset yhteensä.

Korjuujäljen aiheuttamia menetyksiä on tässä yhteydessä tarkasteltu metsänomistajan näkökulmasta. Huonosta korjuujäljestä kärsivät pidemmällä tähtäimellä myös puunjalostajat. Tappioita syntyy raaka-ainehävikin muodossa. Kuinka suuret ovat lahoutuneista kuusista koituvat taloudelliset menetykset sahalaitoksella? Mitä menetetään mäntyjen koroutumisen vuoksi? Näihin kysymyksiin vastaaminen edellyttää lisätutkimuksia.

Kaikkien nykyisten korjuujäljen mittaamenetelmien tulokset eivät ole riittävän tarkkoja esitetyn laskentamallin syöttötiedoiksi. Jos korjuujäljen seurausvaikutuksia halutaan ennustaa, on metsässä myös tehtävä riittävän tarkat mittaukset laskelmien taustaksi. Inventointimenetelmien kehittäminen on tärkeää senkin vuoksi, että maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön hyväksymässä Metsätalouden ympäristömietinnössä (1994) kehoitetaan luomaan korvausmenettely, jolla metsänomistajalle korvataan huonosta korjuujäljestä aiheutuvat menetykset.

Vaiikkeivat keskimääräisen korjuujäljen aiheuttamat menetykset olekaan kohtuuttomia, hyvän korjuujäljen merkitystä ei saa unohtaa. Käsillä oleva julkaisu onkin laadittu valottamaan tietoa korjuujäljen merkityksestä ja eri tekijöiden painoarvosta. Tietoisuus korjuujäljen merkityksestä yhdessä tehokkaan korjuujäljen valvonnan ja koulutuksen kanssa on tärkeää aikana, jolloin kokonaisvastuu korjuusta on siirtymässä urakoitsijoille, jotka jo muutenkin työskentelevät monien paineiden alla. Hyvä korjuujälki olisi huomioitava myös korjuutaksoissa. Hyvään tuottokuntoon harvennettu metsä on urakoitsijan ja puunostajan käyntikortti, jolla taataan puukaupan sujuminen, hyvän raaka-aineen saanti ja metsiemme elinvoimaisuus myös tulevaisuudessa.

## KIRJALLISUUS

- Andersson, L. 1984. Inverkan av stamskador på tillväxten hos tall. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 84(5): 53-62.
- Arvidson, A. & Knutell, H. 1977. Mekaniserad fällning i gallring under vinterförhållanden. Skogshögsskolan, institutionen för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser 120. 62s.
- Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för praktisk gallringsuppföljning. A new routine for checking the biological quality of thinning in practice. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 48. 14 s.
- Björkhem, U., Lundeborg, G. & Scholander, J. 1975. Rotförekomst och tryckhållfasthet i skogsmark. Skogshögsskolan, avdelning för skogsekologi och skoglig marklära. Rapporter och Uppsatser 22. 60 s.
- Blomqvist, H. 1984. Hur tallens virkeskvalitet och värde påverkas av stamskador vid gallring. Examenarbete i virkeslära. Institutionen för virkeslära, Skogshögsskolan i Umeå. 69 s.
- Brunberg, T & Nilsson, N. 1988. FMG 0470 Lillebror, beståndsgående engreppsskördare för klena gallringar. Skogsarbeten. Resultat 13. 4 s.
- Bucht, S. 1977. Vad kostar stickvägarna i tillväxt? Summary: The influence of strip roads on increment at the first thinning in Scots pine forests. Skogen 6: 218-222.
- 1978. Effekten av schematiska gallringar på beståndsutvecklingen i tallskog. Skogshögsskolan, institutionen för skogsskötsel. Moniste.
- 1981. Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Summary: The influence of some different thinning patterns on the development of Scots pine stands. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapport 4. 276s.
- Bucht, S & Elfving, B. 1977. Gallringsreaktion och tillväxt i ett korridor-gallrat bestånd. Summary: Thinning response and increment in a strip-thinned stand. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 323-345.
- Carlestål, B. & Dehlén, R. 1977. Gallringsmetoder för självverksamma skogsägare. Skogshögsskolan, institutionen för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser 105. 137 s.
- Dahlin, B. 1980. Slingrande stickvägar i förstagallringar. Rapport 136. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. 28 s.
- Dale, O & Aamodt, H. 1994. Tiltak for å hindre terrengskader, barlegging av kjoreveier. Summary: The effect of depositing limbs in strip roads to reduce damages on the forest ground. Norsk Institutt for Skogforskning, Rapport 16. 12 s.
- Diggle, P. & Knutell, H. 1979. "Kniggle" - en ny metod för skattning av stickvägsbredd. Summary: "Kniggle" - a new method for estimating strip road width. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Rapport 4. 59 s.
- Ekbom, O. 1928. Bidrag till kännedom om bleckningskador på gran. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 26:659-684.
- Eriksson, L. 1981. Stickvägar och körskador i gallringsbestånd. Resultat från Riksskogstaxeringens inventering åren 1978-79. Summary: Strip roads and damages caused by the machines when thinning stands. Results from the Swedish National Forestry Survey for 1978 and 1979. Sveriges lantbruksuniversitetet. Institutionen för skogsteknik. Rapport 137. 44 s.
- Eriksson, H. 1982. Stigvägsbreddens inverkan på tillväxten i unga granbestånd - några nya resultat från ett sameuropeisk forskningsprojekt. Summary: The effect of the width of the increment of young Norway spruce stands - some new results from a common European research project. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 6: 47-56.
- Ernberg, V. 1907. Skadan af bleckning å stånskog. Skogsvårdsföreningens Tidskrift 5:172-179.
- Fries, J. 1974. Thinning - why and how? Thinning in the forestry of the future. Reprint of the papers from the international conference at Elmia 1973. Inst för skogsteknik, Rapporter och Uppsatser 69:1-19.
- 1976. Körskador och produktionsförluster. Skogshögsskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 40. 64 s.
- Froehlich, H.A. 1976. The influence of different thinning systems on damage to soil and trees. IUFRO XVI, IV, Norway. s. 333-344.
- Fröding, A. 1982. Hur ser våra nygallrade bestånd ut? Summary: The condition of newly thinned stands. A study of 101 randomly selected thinnings. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Rapport 144. 48 s.

- 1983. Skador och stickvägar vid delmekaniserad gallring. Summary: Status of remaining stand after partly mechanized thinning. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport 152. 34 s.
- 1986. Skador - Effekter i beståndet. Tänk till i gallringsfrågan! Nya tankar kring stickvägar, skador och teknik i gallring. Uppsatser och resultat 52. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. S. 42-55.
- 1992a. Beståndsskador i gallring. Summary: Thinning damage to coniferous stands in Sweden. Moniste. 49 s.
- 1992b. Gallringsskador - En studie av 403 bestånd i Sverige 1988. Summary: Thinning damage - A study of 403 stands in Sweden in 1988. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport 193. 45 s.
- Garin, G.J., 1942. Distribution of roots of certain tree species in two Connecticut soils. Connecticut Agric. Exp. Stn. Bull., No. 454: 97-167.
- Hakkila, P & Laiho, O. 1967. Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. Summary: On the decay caused by axe marks in Norway spruce. Communications Instituti Forestalis Fenniae Vol. 64(3). 34 s.
- Hallonborg, U. 1983. Bärighetsprov vid Hornborgasjön. Skogsarbeten. Resultat 4. 4 s.
- Hallaksela, A-M. 1984a. Bacteria and their effect on the microflora in wounds of living Norway Spruce (*Picea abies*). Seloste: Bakterit ja niiden vaikutus elävien kuusien vaurioiden mikrobilajistoon. Comm. Inst. For. Fenn. 121. 25 s.
- 1984b. Causal agents of butt-rot in Norway Spruce in Southern Finland. Seloste: Kuusen tyvilahon aiheuttajat Etelä-Suomessa. Silva Fenn. 18(3): 237-243.
- Hartikainen, S. 1991. Harvennushakkuiden korjuutyön laatu ja hakkuukoneen kuljettajille tehty kysely. Metsäkeskus Tapio. Moniste.
- 1992. Korjuuvaurioselvitys 1992. Metsäkeskus Tapio. Moniste.
- 1993. Harvennushakkuiden korjuujälki. Metsäkeskus Tapio. Moniste.
- 1994. Harvennushakkuiden korjuujäljen inventointi 1994. Metsäkeskus Tapio. Moniste.
- Harvennushakkuiden korjuujäljelle asetettavat vaatimukset sekä korjuujäljen arviointi ja mittaaminen. 1990. Metsätehon opas. Helsinki. 25 s.
- Harvennushakkuiden korjuutyön laatuselvitys 1990. Metsäkeskus Tapio. Moniste. Helsinki.
- Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot. 1992. Maa- ja Metsätalousministeriön työryhmäraportti. Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho ja Jaakko Pöyry Oy. Helsinki. 121 s.
- Hedén, S. 1969. Preliminary report on an investigation concerning the influence on yield of tractor logging in thinnings. Thinning and mechanization. IUFRO meeting. Royal College of Forestry, Stockholm. September 1969. S.131-135.
- Heikurainen, L. 1957. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. Acta Forestalia Fennica 65(5). 82 s.
- Huse, K.J. 1978. Misfargning of mikroflora i sår efter tynningsdrift i granskog. Summary: Discoloration and microflora in wounds due to thinning operation in stands of *Picea abies* (L.) Karst. Rapp. Norsk Inst. Skogforsk. Avd. for skogvern, forstpatologi. 33 s.
- 1983. Forekomst av råte i norsk skogsbruk. Summary: Frequency of butt rot in stands of *Picea abies* (L.) Karst. in Norway. Norsk institutt for skogforskning. Rapport 3. 39 s.
- Hämäläinen, J. 1973. Contribution profit analysis for fully regulated forest and its empirical application. Seloste: Normaalmetsän katetuottoanalyysi ja sen empiirinen sovellutus. Comm. Inst. For. Fen. 80(1). 47 s.
- Högnäs, T. 1982. Korjuujälki eräissä vuosina 1980-1982 toteutetuissa kasvatushakuuleimikoissa. Tutkimuslaskelma 135. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Hirvas. 63 s.
- 1985. Kuorman koon vaikutus metsätraktorin raidesyvyyyteen. Koeselostus n:o 217. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Hirvas. 19 s.
- Imponen, V. & Sirén, M. 1983. Kaatotavan vaikutus kuormainprossessorin tuottavuuteen. Summary: The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor. Folia Forestalia 548. 14 s.
- Isomäki, A. 1972. Puun korjuun aiheuttamat vauriot harvennusemetsissä. Työtehoseuran metsätiedotus 194: 1-2.
- 1986. Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. Summary: Effects of line corridors on the development of edge trees. Folia Forestalia 678. 30 s.
- 1994. Ajouran leveyden määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 501. 66 s.

- & Kallio, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst). Seloste: Puunkorjuukoneiden aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun. Acta Forestalia Fennica. Vol. 136. 25 s.
- & Niemistö Pentti. 1990. Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. Folia forestalia 756.
- Kalela, E K. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista 1. Summary: on the horizontal roots in Pine and Spruce Stand I. Acta Forestalia Fennica 57(2):1-61.
- 1954. Mäntysiemenpuiden ja -puustojen juurisuhteista. Referat: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefern Samenbäume und -baumbestände. Acta Forestalia Fennica 61(28). 17 s.
- 1957. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Vegetationsperiode. Selostus: Männikön juurisuhteiden kasvukautisesta vaihtelusta Acta Forestalia Fennica 65 (1): 1-41.
- Kallio, T. 1973. *Peniophora gigantea* (Fr.) Masee and wounded spruce (*Picea abies* L.) Karst. Acta Forestalia Fennica 133.
- Kardell, L. 1978. Traktorskador och tillväxtförluster hos gran - analys av ett 10-årigt försök. Summary: Increment losses of Norway spruce caused by tractor logging. Sveriges Skogsvårdsförbund. Tidskrift 3:306-322.
- & Pettersson, W. 1973. Exempel på rotskadors inverkan på granens tillväxt. Summary: Examples of root damage and increment of Norway spruce stands. Sveriges Skogsvårdsförbund. Tidskrift 71:423-447.
- Karlsson, L. & Myhrman, D. 1990a. Spårdjupsprov, engreppsskördare. Skogsarbeten. Resultat 22. 4 s.
- 1990 b. Spårdjupsprov, skotare. Skogsarbeten. Resultat 23. 4 s.
- Koelamittaaksiin perustuva menetelmä harvennushakkuiden korjuujäljen mittaamiseksi. 1994. Metsäkeskus Tapio. Moniste.
- Kuenzel, J.G. & Sutton, C. E. 1937. A study of logging damage in upland hardwoods of southern Illinois. J. For. 35:1150-1155.
- Kuitto, P-J. & Mäkelä, M. 1988. Kuormainharvesteri ensimmäisessä ja toisessa harvennuksessa. Summary: Boom-mounted harvester in first and second thinnings. Metsätehon katsaus 7. 4 s.
- Kärkkäinen, M. 1969. Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa. Summary: The amount of injuries caused by timber transportation in the summer. Acta Forestalia Fennica 100. 35 s.
- 1971. Lahon leviäminen puunkorjuun aiheuttamista kuusen runko- ja juurivaurioista. Summary: Decay following logging injury in stems and roots of Norway spruce. Silva Fennica 5(3):226-233.
- Laiho, O. 1983. Lahon alkuunpääsy pystypuuston vaurioista ja sen estäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 94:42-56.
- Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus. Acta Forestalia Fennica 33 (1). 380 s.
- 1935. Koivun juuristo. Acta Forestalia Fennica 41(2). 216 s.
- Lilleberg, R. 1984. Kasvatushakkuiden korjuujälki. Summary: The state of harvested thinning stands. Metsätehon tiedotus 388. 16 s
- 1986. Harvennushakkuuleimikoiden korjuujälki kehittyneempiä menetelmiä käytettäessä. Summary: Advanced harvesting methods and damage to residual growing stock. Metsätehon katsaus 12/1986. 4 s.
- & Raitanen, A. 1989. Etelä-Suomen harvennusmetsien määrä ja korjuuolosuhteet vuosina 1988-2000. Summary: The amount of thinning forests in southern Finland - harvesting conditions 1988-2000. Metsätehon tiedotus 401. Metsäteho report 401.19 s.
- Matilainen, J. 1995. Tulevaisuuden puunkorjuukoneen suunnitteluvaatimukset. Oulun yliopisto. Prosessitekniikan osasto. Työtieteen jaos. Hanke 93314. Loppuraportti työsuojelurahastolle. 102 s.
- Meng, W. 1978. Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte Ausmass und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Wurtemberg Band 53. 159 s.
- Metsänhoitosuosituksset. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 55 s.
- Metsänterveysopas. 1988. Metsätuhot ja niiden torjunta. Vaasa. 168 s.
- Moilanen, J. 1990. Korjuuvaurion vaikutus kuusen kasvuun, lahoutumiseen ja käyttöarvoon. Pro-gradu työ. Helsingin Yliopisto. Metsänarvioimistieteen laitos. 52 s.
- Mäkelä, M. 1987. Kuormainharvesterin käyttö viimeisissä harvennushakkuissa. Summary: A boom-mounted harvester in final thinnings. Metsätehon katsaus 5. 4 s.

- 1989a. Koneellinen puunkorjuu männikön ensimmäisessä harvennuksessa. Summary: Mechanical harvesting in first thinnings of pine stands. Metsätehon katsaus 2. 6 s.
  - 1989b. Koneellinen puunkorjuu kuusikon ensimmäisessä harvennuksessa. Summary: Mechanical harvesting in first thinning of spruce stands. Metsätehon katsaus 10. 6 s.
  - 1990a. Turvemaiden koneellinen puunkorjuu kesäaikaisissa ensiharvennuksissa. Summary: Mechanized first thinning of unfrozen peatland. Metsätehon katsaus 4. 6 s.
  - 1990b. Pienet kuormainharvesterit - Farmi Trac 5000 ja Nokka-Joker - ensiharvennusten hakkuukoneina. Summary: The use of small one-grip harvesters - Farmi Trac 5000 and Nokka-Joker - for first thinning. Metsätehon katsaus 12. 4 s.
- Niemistö, P. 1987. A method for evaluating the effect of strip roads on the growth and yield of coniferous stands. Swedish university of agricultural sciences. Faculty of forestry. Department of operational efficiency. Research Notes 98.
- Niemistö, P. 1988. Puunkorjuun piilokustannukset. Metsä ja Puu 6:18-21.
- 1989. A simulation method for estimating growth losses caused by strip roads. Scand. J. For. Res. 4: 203-214.
- Nilsson, P. O. 1967. Rötangrepp efter skador på rotsystemet i granbestånd. Skogsarbeten. Redogörelse 1, del I. 4 s.
- & Hyppel, A. 1968. Studier över rötangrepp i särskadorna hos gran. Sveriges Skogsförbundets tidskrift 66:675-713.
- Nordberg, M. 1987. Teoretisk modell för bedömning av trädkadors ekonomiska konsekvenser. Skogsarbeten. Stencil, 13 s.
- Nordfors, G. 1923. Om efter stämpling uppkommen rötskada å gran. Skogsvårdsföreningens Tidskrift 21. S.149-184.
- Orke, J. & Scherman, S. 1986. Olika arbetsmetoder med Valmet 901/935 i gallring. Skogsarbeten. Resultat 2. 4 s.
- Olsson, M T. 1977. Kōrskador i skogsbruket - ett markvårdsproblem. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift. Häfte 2-3:233-247.
- Olsson, P. 1984. Beräkning av tillväxt- och kvalitetsnedsättning orsakad av skador i gallring. Skogsarbeten. Stencil. 16 s.
- 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. For. Chron. 36(1): 30-45.
- Parviainen, J & Seppänen, P. 1994. Metsien ekologinen kestävyys ja metsänkasvatusvaihtoehdot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 511. 110 s.
- Pawsey, R.G. & Gladman, R.J. 1965. Decay in standing conifers developing from extraction damage. Forestry Commission: Forest record 54:1-25.
- Poikela, A. 1992. Selvitys harvennushakkuun korjuujälki-inventoinnin tarkkuudesta. Metsäkeskus Tapio. Raportti 9.9.1992. 12 s.
- Roll-Hansen, F. & Roll-Hansen, H. 1976. En undersøkelse over sopparter som infiserar norsk gran gjennom stammesår, og den soppflora de møter i friske traer. En foreløpig oversikt. Stencil. "Rotrötamötet" i Finland 21.-23.9.1976.
- Saarilahti, M. 1991. Maastoliikkuvuuden perusteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 390. 99 s.
- Schönhar, S. 1975. Untersuchungen über den Befall rücke geschädigter Fichten durch Wundfäulepilze. Allgemeine Forst und Jagdzeitung. 150(4):76-78.
- Sirén, M. 1981. Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa. Summary: Stand damage in thinning operations. Folia Forestalia 474. 23 s.
- 1982. Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormain-prosessorilla. Summary: Stand damage in thinning operations with a grapple loader processor. Folia Forestalia 528. 16 s.
  - 1986a. Puuston vaurioituminen karsimattomien puiden ja puunosien korjuussa. Summary: Stand damage in logging of undelimited trees and tree parts. Folia Forestalia 645. 17 s.
  - 1986b. Resultater om skadeinventering med två olika metoder. Esitelmämoniste. 2 s.
  - 1989. Pienet hakkuukoneet varhaisissa harvennushakkuissa. NSR-tutkimus. Summary: Small multi-function machines in early thinning operations. A joint Nordic NSR-study. Folia Forestalia 743. 29 s.
  - 1995. Work analysis of one-grip harvester. A method to estimate the productivity and silvicultural result of cutting machine work. IUFRO XX World Congress. P3.06 Economics and harvesting of thinnings. Esitelmä 10 s.

- & Ala-Ilomäki, J. & Högnäs, T. 1987. Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus. Summary: Mobility of forwarding vehicles used in thinnings. *Folia Forestalia* 692. 60 s.
- Solheim, H. 1987. Misfarging og råte etter sårning av gran. *Norsk Skogbruk* 1: 44-45.
- 1990. Misfarging og råte etter sårning av gran i tynningsbestand. *Norsk Skogbruk* 1: 32-33.
- Solheim, H. & Selås, P. 1986. Misfarging og microflora i ved etter sårning av gran. 1. Utbredelser etter 2 år. Summary: Discoloration and microflora in wood of *Picea Abies* (L) Karst. after wounding. 1. Spread after 2 years. Norsk institutt for skogforskning. Rapport 7. 16 s.
- & Holen, C. O. 1990. Rotråte - et sunnhetsproblem i norsk granskog. *Norsk Skogbruk* 36(5): 26-27.
- Sondell, J. 1974. Mätning an stickvägsareal. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stencil. 1974-12-23.
- 1986. Spårdjupsprov med medelstora skotare. Skogsarbeten. Resultat 11. 4 s.
- Stenlid, J. 1989. Rotrötans spridningsvägar. SLU Skogsfakta nr 61.
- Tørå, G. D. 1978. Skadefrekvensen efter tynning i granskog. Föredrag vid konferensen: Gallringens biologi och teknik. Garpenberg maj 1978. Moniste.
- Vainikka, A P. 1982. Kouraproessorin aiheuttamat korjuuvauriot ja niistä johtuvat taloudelliset tappiot Kotkan puutalousopiston havaintometsässä Havusillan leimikossa. Moniste. 20 s.
- Vuokila, Y. 1976a. Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveystilaan. *Folia Forestalia* 281. 13 s.
- 1976b. Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana. *Folia Forestalia* 282. 11 s.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s.
- Wright, E. & Isaac, L. A. 1956. Decay following logging injury to westwern hemlock, Sitka spruce, and true firs. *Techn. Bull. No. 1148. Ss. 1-34. USDA, Washington, D.C.*
- Wästerlund, I. 1983. Kanträdens tillväxtförluster vid gallring p.g.a. jordpackning och rotskador i stickväg. - En sammanställning och bearbetning av litteraturuppgifter. Summary: Growth reduction of trees near strip roads resulting from soil compaction and damaged roots. *Sveriges Skogsvårdförb. Tidskr. 2:97-109.*
- 1985. Compaction of till soils and growth tests with Norway spruce and Scots pine. *For. Ecol. Manage. 11:171-189.*
- 1986. Skador på mark och rötter. Tänk till i gallringsfrågan! Nya tankar kring stickvägar, skador och teknik i gallring. Uppsatser och resultat nr. 52. *Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik: 56-63.*
- 1988. Damages and growth effects after selective mechanical cleaning. *Scand. J. For. Res. 3: 259-272.*
- 1989. Are present forestry machines smooth terrain-machines? *SFM meddelande 38:21-34.*
- 1990. Mark- och beståndsskador efter mekaniserad röjning. Uppsatser och resultat nr 193. *Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. 46 s.*
- 1992. Extend and causes of site damage due to forestry traffic. *Scand. J. For. Res. 7: 135-142.*
- Ågren, A. 1968. Produktionsförluster till följd av virkestransport i gallringsskog - Ska vi gallra? *Sveriges Skogsvårdsförbund: 30-34.*

*Total of 124 references*







**METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 592, 1996**

ISBN 951-40-1501-0 ISSN 0358-4283