

METSÄNUUDISTAMISEN VAATIMAN AJAN MERKITYS UUDISTAMISPÄÄTÖKSISSÄ

JUHA LAPPI

Summary

EVALUATION OF THE TIME FACTOR IN REFORESTATION DECISIONS

Saapunut toimitukselle 9. 9. 1983

Metsänuudistamisen vaatima aika eli uudistumisaika on käytetyimpiä perusteita metsänuudistamistapojen vertailussa. Kirjoituksessa uudistumisaajan merkitystä arvioidaan alustavasti yhteen kehityssarjaan perustuvien yksinkertaisten periaatelaskelmien avulla. Uudistumisaajan piteneksen eli uudistumisviiveen hintana käytetään sitä kriittistä uudistamiskustannusten eroa, jolla halvempi ja hitaampi uudistamismenetelmä saadaan samanarvoiseksi kalliimman ja nopeamman menetelmän kanssa. Kielen yksinkertaistamiseksi kirjoituksessa kutsutaan hitaampaa ja halvempaa uudistamismenetelmää 'luontaiseksi uudistamiseksi' ja nopeampaa ja kalliimpaa 'viljelyksi', vaikka vertailtujen menetelmien ainoa ero olikin uudistumisaika. Uudistumisviiveen hinta laskettiin nollakorke-, nykyarvo- ja normaali-metsämenetelmän avulla 5 ja 10 vuoden viiveelle. Normaalmetsälaskelmissa simuloitiin metsälön ikärakenteen kehitystä, jotta saataisiin selville millaisilla uudistamiskustannuseroilla voidaan tulotasoa muuttamatta siirtyä uudistamistavasta toiseen. Nollakorkomenetelmä on mukana laskelmissa lähinnä varoittamassa aikatekijän huolimattoman käsittelyn vaaroista. Nykyarvo- ja normaalmetsämenetelmä antoivat varsin yhteneväiset tulokset. Tuloksista ilmenee päätehakkuiän (korkotason) ja uudistumisviiveen merkityksen selvä riippuvuus: uudistumisaajan nopeuttamisesta kannattaa maksaa huomattavasti enemmän pitkää kiertoaikaa (alhaista korkotasoa) noudatettaessa. Tietokonesimuloinnin avulla tutkittiin, paljonko tulotasoa voidaan välittömästi nostaa siirryttäessä nopeampaan uudistamistapaan, jos uudistamiskustannuksia ei oteta huomioon. Uudistumisaajan lyhenemisestä tulevaisuudessa saatavaa hyötyä ei voitu kovinkaan tehokkaasti aikaistaa metsälön hakkuita välittömästi lisäämällä. Kirjoituksessa painotetaan johdonmukaisten päätöskriteerien käyttämisen tärkeyttä päätehakkuiän ja uudistamistavan valinnassa.

1. JOHDANTO

Metsänuudistamistapoja vertailtaessa joudutaan ottamaan huomioon monia biologisia, teknisiä ja taloudellisia tekijöitä. Rationaalinen päätöksenteko pohjautuu luotettavan yksityiskohtatiedon pohjalle laadittuun tasapainoiseen synteisiin. Synteisiin pyrkivässä metsänuudistamisketjujen vertailussa on tullut selvästi ilmi uudistumisaajan keskeinen merkitys (Räsänen ym. 1979, Parviainen ja Lappi 1983). Käytännön metsätalouden harjoittajien uudistumisajalle antama suuri paino käy ilmi esim. Bützowin (1981) suorittamasta luontaisen uudistamisen ja viljelyn vertailusta, jossa viljellyllä saavutettava aika-

voitto oli tärkein metsänviljelyä suosiva peruste.

Eri viljelymenetelmiä verrattaessa aikatekijä on suhteellisen helposti eristettävissä, koska uudistamisprosessin kulku on kaikissa viljelymenetelmissä suurin piirtein samanlainen. Aikatekijän merkitys on kuitenkin keskeisin verrattaessa luontaista uudistamista ja viljelyä. Tällöin aikatekijän erottaminen omaksi erilliseksi tekijäkseen on perin ongelmallista. Syynä on ensinnäkin se, että uudistettaessa luontaisesta väljennys- ja siemenpuuhakkuiden avulla uudistaminen ja edellisen puusukupolven kasvatustapahtumat osit-

tain päällekkäin, eikä puusukupolven vaihdos ole yhtä tarkkarajainen tapahtuma kuin viljelyssä. Toiseksi luontaisessa uudistamisessa syntyvä taimikko on yleensä epähomogeenisempi kuin viljelyssä, joten on vaikea arvioida, milloin luontainen ja viljelty taimikko ovat vastaisen tuotoksen kannalta samanarvoisia. Kolmanneksi uudistamiseen väistämättä liittyvä satunnaisuus on luontaisessa uudistamisessa erilaista kuin viljelyssä: luontaisessa uudistamisessa tietoisesti hyväksytään suurempi satunnaisvaihtelu uudistumisajassa ja taimikon tasaisuudessa, kun taas viljelystä yritetään tehdä mahdollisimman deterministinen prosessi (ks. Smolander ja Kotisaari 1982).

Seuraavassa uudistumisajan taloudellista merkitystä tarkastellaan yhteen kehityssarjaan perustuvien yksinkertaisten periaatelaskelmien avulla. Koska aikatekijän merkitys

on suurin luontaisen uudistamisen ja viljelyn vertailussa, ongelma muotoillaan luontaisen uudistamisen ja viljelyn käsitteitä käyttäen. Näin voidaan myös yksinkertaistaa lauserakenteita. Laskelmat ovat sinänsä helpommin sovellettavissa eri viljelytapojen vertailuun, koska aikatekijä on tällöin helpommin erotettavissa muista tekijöistä. Sanat 'viljely' ja 'luontainen uudistaminen' tarkoittavat seuraavassa siis samaa kuin 'nopeampi ja kalliimpi uudistamismenetelmä' ja 'hitaampi ja halvempi uudistamismenetelmä'. Käytännössä viljely voi joissakin tapauksissa olla sekä hitaampi että kalliimpi kuin luontainen uudistaminen, mutta tällöinhän ei tarvita aikatekijän tarkempaa analyysia.

Tutkimus muotoutui Pekka Kilkin kanssa käymieni keskustelujen pohjalta. Viimeistelyvaiheessa olen saanut arvokkaita neuvoja myös Matti Kärkkäiseltä ja Matti Keltikankaalta.

2. METSIKÖN UUDISTAMISEN EDULLISUUSVERTAILUJEN PERIAATTEET

Metsikön käsittelytapojen vertailussa joudutaan tekemään yksinkertaistavia oletuksia siitä, minkälaisessa biologisessa, teknisessä, organisatorisessa ja taloudellisessa ympäristössä käsittely tapahtuu. Jos siemeniä, taimia, koneita, työvoimaa ja rahaa on rajatta käytettävissä kiinteään hintaan, silloin kaikki ratkaisut voidaan tehdä metsikkötasolla. Rahan hinnalla eli korolla on merkitystä rahoitettaessa eri toimenpiteitä tai kulutusta. Käytännössä rajallisia resursseja joudutaan kuitenkin jakamaan metsälön sisäisten edullisuusvertailujen perusteella.

Metsälötason tarkasteluihin tarvitaan tietoa metsikön tuotantomahdollisuuksien lisäksi toiminnan tavoitteista, metsälön muiden metsiköiden tuotantomahdollisuuksista sekä metsälön suhteista ulkopuoliseen maailmaan. Keskeisin ongelma pitkälle aikavälille sijoituvien tulojen arvottamisessa on se, miten eri ajankohtiin sijoituvia tuloja tulisi verrata. Tällöin tarvitaan ensinnäkin tieto säästämistä ja lainaamismahdollisuuksista eli siitä, miten metsälön ulkopuolella voidaan siirtää rahaa ajassa eteenpäin tai taaksepäin. Lisäksi päätöksentekijän on kyettävä päättämään, miten hän vertaa eri ajankohtiin sijoituvia kulutus-

määriä. Metsälön tuotannon kannalta kulutus tarkoittaa rahan siirtämistä metsälön ulkopuolelle.

Nykyarvon käyttö tulosarjojen vertailussa perustuu yksinkertaistavaan oletukseen, että vallitsee rajattomat ja kitkattomat rahamarkkinat: voidaan säästää ja lainata rajatta ja lainakorko on yhtäsuuri kuin säästökorko. Jos nykyarvomenetelmän oletukset pitävät paikkansa, koko suunnittelutilanne yksinkertaistuu ratkaisevasti. Ensinnäkin kaikki päätöksentekijät voivat maksimoida nykyarvoa olivatpa heidän kulutuksen aikapreferenssinsä mitkä tahansa, sillä kulutus voidaan vapaasti ajoittaa rahamarkkinoiden kautta haluttuun ajankohtaan. Kulutuksen ajoittumisen suhteen nykyarvomenetelmä on perusmuodossaan täysin neutraali, eikä kulutusta siten tarvita nykyarvon laskemisessa. Lähiajan tulojen suurempi painokerroin perustuu vain oletukselle, että esim. metsästä saatavat lähiajan tulot voidaan haluttaessa säästää ja saada myöhemmin kulutukseen suurempina.

Toinen suuri helpotus nykyarvomenetelmää käytettäessä on se, että kutakin metsikköä voidaan käsitellä itsenäisesti muista metsälön metsiköistä riippumatta. Jos yhdestä

metsiköstä saadaan tuloja ja toiseen metsikköön kuluu rahaa, on samantekevää, siirretäänkö rahat suoraan metsiköltä toiselle vai säästetäänkö tulot ja lainataan rahaa kuluihin.

Metsätaloudessa on perinteisesti arvosteltu metsän kasvatuksen perustamista rajattomiin ja kitkattomiin rahamarkkinoihin, etenkin kun sellaisia ei missään ole olemassa. Koronkorkolaskennan vastapainoksi onkin esitetty kestävän metsätalouden periaate. Tässä yhteydessä tämän periaatteen voidaan tulkita vaativan, että eri kausina saatavat tulot ovat yhtäsuuret. Perustana on tällöin oletamus, ettei käytettävissä ole minkäänlaisia rahamarkkinoita, ja halutaan tasainen kulutus. Koronkorkolaskenta ja kestävän metsätalouden periaate painottavat eri tavalla puuntuotannon tasaisuuden merkitystä, tilanteesta riippuen periaatteet ovat enemmän tai vähemmän ristiriidassa keskenään.

Eri ajankohtiin sijoituvista tuloista saataavaa hyötyä voidaan yrittää mitata myös nykyarvoa ja tasaista tulotasoa joustavammilla ja realistisemmilla mittareilla. Kilkki ym. (1982) ehdottivat tulomuotoista hyötyfunktioita, jonka erikoistapauksia ovat nykyarvo ja

tasainen tulotaso. Samojen tutkijoiden valmisteilla olevassa tutkimuksessa halutun muotoista esim. tasaista kulutusta maksimoidaan, kun oletetaan, että rahaa voidaan säästää ja lainata rajatta, mutta säästökorko voi olla erisuuri kuin lainakorko. Tasainen tulotaso ja nykyarvo ovat myös tämän hyötymallin erikoistapauksia.

Puunkasvatusvaihtoehtojen vertailussa joudutaan tasapainoilemaan laskelmien konkreettisuuden ja yksityiskohtaisuuden ja toisaalta yksinkertaisuuden ja yleistettävyyden välillä. Annettua konkreettista päätöslannetta ei voida tyhjentävästi analysoida yleisen mekaanisesti optimoitavan hyötymallin avulla. Tällöin aikatekijän osalta tulee keskeiseksi Keltinkankaan (1971) tarkastelema kysymys, kuinka tuotantomahdollisuudet tulisi kuvata päätöksentekijälle, jotta hän voisi välittömästi verrata niitä tavoitteisiinsa.

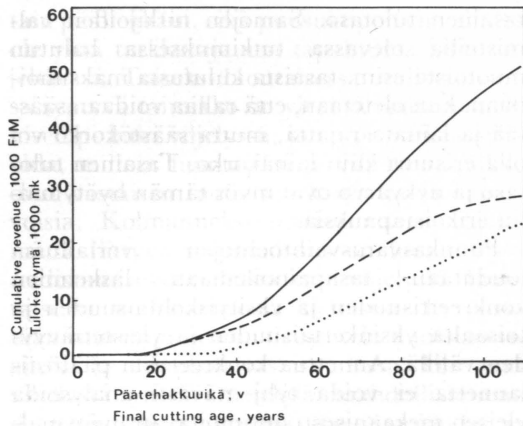
Jos uudistamista haluttaisiin tarkastella realistisesti metsälötasolla, pitäisi lähteä liikkeelle reaalisesta metsälöstä ja käytettävissä pitäisi olla uudistamiskykyisiin viritetty simulointisysteemi. Kun se ei ole tässä mahdollista, joudutaan tyytymään yksinkertaisiin normaalmetsätarkasteluihin.

3. LASKELMIEN LÄHTÖOLETUKSET

Kirjoituksessa oletetaan, että metsänkasvatuksen tavoitteet ovat puhtaasti tulotavoitteita ja tuotantomahdollisuudet on kuvattu eri ajankohtiin sijoituvina tuloina ja menoina. Esimerkilaskelmissa käytetään kuvassa 1 esitettyä toistuvasti harvennetun VT-männikön kehityssarjaa (Kilkki 1979, s. 68), joka perustuu Nyysösen (1958) kiertoaikatutkimukseen ja vuoden 1978 hintatasoon.

Kehityssarja lähtee liikkeelle täysin taimetuneesta tilasta ja päättyy avohakkuuseen. Sarjan oletetaan sellaisenaan kuvaavan viljelymetsikön kehitystä. Harvennusten oletetaan tapahtuvan vuosikymmenien puolivälissä ja päätehakkuun vuosikymmenen alussa. Normaalmetsän kehityksen simulointilaskelmissa kymmenen vuoden aika-askel päätehakkuissa ja harvennuksissa johtaisi vääristyneisiin tuloksiin. Siksi harvennukset tasoitettiin vuotuisiksi ja päätehakkuu oletettiin mahdolliseksi aina vuoden välein. Vuosita-

solla tapahtuvaa laskentaa varten päätehakkuun hakkuarvot tasoitettiin kuutiosplinejä käyttäen (splineien käytöstä ks. esim. Lahtinen ja Laasasenaho 1979). Harvennuspoistumien tasoittamiseksi oletettiin, että vuosikymmenen puolivälissä tehtävä harvennus kuvaa koko vuosikymmenen aikana tehtävien harvennusten kokonaismäärää. Näin saadaan lasketuksi kumulatiivisen harvennuspoistuman arvo kunkin vuosikymmenen lopussa. Kumulatiiviset harvennuspoistumat tasoitettiin kuutiosplinein avulla ja vuosittaiset harvennuspoistumat laskettiin tasoituskäyrän avulla. Tasoitusten avulla päästään tasaisesti muuttuvaan tuotoskäyrään, vaikka vuosittain tehtävät harvennukset eivät sinänsä olekaan mahdollisia. Esitettävien laskelmien kannalta olennaista on, että päätehakkuikä voidaan määrittää vuoden tarkkuudella ja kumulatiivinen harvennuspoistuma on eri ikäluokissa suurinpiirtein oikea.



Kuva 1. Käytetyn VT-männikön kehityssarjan mukainen harvenustulokertymä (pisteviiva), päähakkuutulot (katkoviiva) ja kokonaistulokertymä (yhtenäinen viiva) päähakkuuian suhteen.

Figure 1. Development of a Scots pine stand treated by successive thinnings (Kilkki 1979). The cumulative thinning revenue (dotted line), the final cutting revenue (broken line), and the total revenue are determined as functions of the final cutting age.

Jotta aikakysymys saataisiin pelkistetyksi esiin, oletetaan kehityssarja luontaisesti uudistettaessa muuten täysin samanlaiseksi, mutta alussa on viiden tai kymmenen vuoden uudistusviive. Käytännössä tämä edellyttäisi luontaista uudistamista avohakkuun ja reunametsän siemennyksen kautta. Kunnollista viljelyn ja luontaisen uudistamisen vertailua ei tietenkään voi tehdä tarkastelematta väljennys- ja suojuspuuhakkuuta. Uudistusviive ei ole mukana puuston ikää laskettaessa. Viljelymetsikössä kiertoaika eli kahden päähakkuun välinen aika on siis yhtä kuin puuston ikä päähakkuuvaiheessa eli päähakkuuikä. Luontaisesti uudistettavassa metsikössä kiertoaika on päähakkuuikä ynnä 5 tai 10 vuoden uudistusviive.

4. UUDISTUMISVIIVEEN HINTA

4.1. Viiven hinta nollakorkomenetelmän mukaan

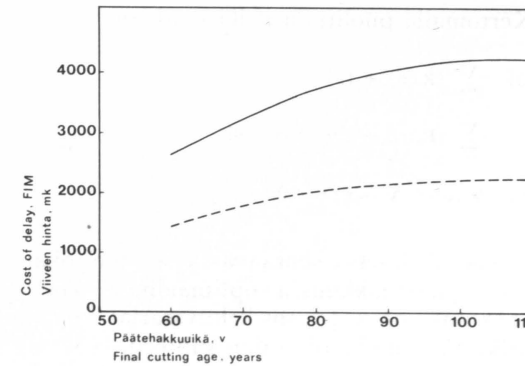
Helpoin pikamenetelmä ajankohtaisten kustannusten ja tulevien hyötyjen vertaamiseen, on verrata niitä suoraan. Tätä menetel-

Seuraavassa tarkastellaan eri tavoin sitä uudistamiskustannuseroa, jolla viljely ja yksinkertaistettu, erikoistapaukseksi tulkittava luontainen uudistaminen ovat samanarvoisia. Tätä kriittistä viljelystä aiheutuvaa lisäkustannusta voidaan pitää aikavoitosta saatavana hyötynä tai uudistusviiveen hintana. Seuraavassa viljelykustannusten ja luontaisen uudistamisen kustannusten eroa kutsutaan viljelykustannukseksi. Laskelmat on tehty pitämällä luontaisen uudistamisen kustannusta nollana. Jos käytetään realistisia luontaisen uudistamisen kustannuksia, kriittinen uudistamiskustannusero pienenee, mutta melko vähän.

Ennen laskelmiin siirtymistä lienee syytä painottaa eräitä kirjoituksen lähtökohtia. Laskelmissa ei käytetä viittä vuotta lyhyempää uudistusviivettä, koska parin vuoden uudistusviive on melko merkityksettömiä. Jos uudistusviive on käytetyn kehityssarjan soveltuvuusalueella Etelä-Suomessa yli kymmenen vuotta, uudistusajan lisäksi menetelmien välillä on niin paljon muita eroavuuksia, että menetelmien välisen eron pelkistäminen pelkästään uudistusviiveen koskevaksi ei liene järkevää. Käytettyjen viivevuosien lähialueet voidaan arvioida kohtuullisen tarkasti lineaarisen interpoloinnin avulla. Kirjoituksessa ei yritetä tehdä päätelmiä eri menetelmien todellisuudessa vaatimasta uudistusajasta siinä pelkistetyssä merkityksessä, missä käsitettä tässä käytetään.

Tarkoituksena on tarkastella rationaalisen päätöksentekijän näkökulmasta, kuinka paljon uudistusajan lyhenemisestä kannattaa maksaa. Esitettävät tulokset eivät siten ole sovellettavissa esim. viivytetyn ja heitteillejätetyn viljelyn ja leväperäisen luontaisen uudistamisen vertailuun.

mää voidaan kutsua nollakorkomenetelmäksi. Jos luontaisesti uudistamalla 100 vuoden kiertoajan hakkuutulot ovat yhteensä 40000 mk eli 400 mk/v ja viljely nopeuttaa taimistovaihetta 10 vuotta, nollakorkomenetelmällä aikavoiton hinnaksi saadaan $10 \times 400 \text{ mk} =$



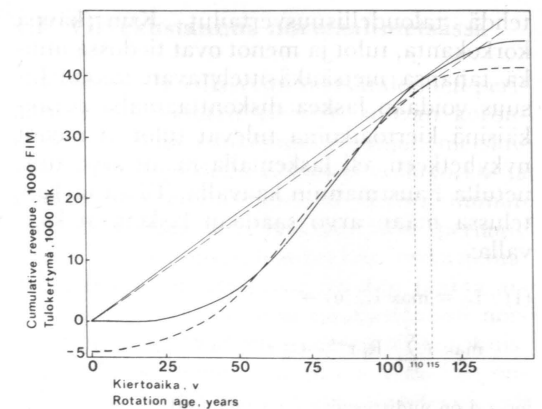
Kuva 2. Nollakorkomenetelmällä laskettu uudistusviiveen hinta, kun viive on 5 vuotta (katkoviiva) tai 10 vuotta (yhtenäinen viiva).

Figure 2. Cost of delay according to the zero-interest method when the delay is 5 years (broken line) or 10 years (solid line).

4000 mk. Samaan tulokseen päädytään laskettaessa paljonko viljely saa maksaa, jotta vuotta kohti lasketut keskimääräiset tulot ovat yhtä suuret. Bützov (1981) soveltaa nollakorkomenetelmää keskimääräisen vuosikasvun avulla. Hänen laskelmissaan luontainen uudistaminen pidentää kiertoaikaa 10 vuotta, mikä merkitsee 3 m^3 :n vuosikasvulla 30 m^3 :n eli 3390 mk:n tappiota viljelyyn verrattuna.

Kuvassa 2 on esitetty käytetyille esimerkkimetsikölle nollakorkomenetelmän mukaiset 5:n ja 10:n vuoden uudistusviiveen hinnat päähakkuuian suhteen. Menetelmä perustuu oletukseen nollan prosentin käyvästä korkokannasta. Jos nollakorko hyväksytään käyväksi korkokannaksi metsänkäsittelyssä, niin johdonmukaisuuden nimessä myös muissa ratkaisussa pitäisi käyttää nollakorkoa. Esim. tällöin pitäisi käyttää erittäin pitkiä nk. suurimman metsänkoron kiertoaikoja (Nyysönen 1958). Esimerkissä käytetty 110 vuoden kehityssarja ei ole tarpeeksi pitkä suurimman metsänkoron kiertoajan määrittämiseksi.

Nollakorolla voidaan havainnollistaa sitä helposti unohtuvaa seikkaa, että taloudellisesti toimittaessa 10 vuoden viive taimettumisessa ei suinkaan välttämättä merkitse 10 vuoden pidennystä kiertoaikaan. Taloudellisesti optimaalinen päähakkuuikä riippuu sekä taimettumisajasta että uudistamiskustannuksista. Nollakorolla toimittaessa siis maksimoidaan keskimääräisiä nettotuloja.



Kuva 3. Suurimman metsänkoron kiertoajan graafinen määrittäminen 10 vuoden uudistusajan vaativassa luontaisessa uudistamisessa (110 v, yhtenäinen viiva), sekä viljelystä (115 v, katkoviiva), kun viljelykustannukset ovat 5000 mk/ha.

Figure 3. If the interest rate is zero one can demonstrate simply how a costless regeneration method with 10 years regeneration time (solid line) can have a shorter optimal rotation (110 years) than a rapid method which costs 5000 FIM/ha (115 years, broken line).

Optimikiertoaika saadaan graafisesti ratkaisuksi piirtämällä origosta tangentti tulokertymää kuvaavalle käyrälle. Kuvan 3 mukaisessa tapauksessa saataisiin 5000 mk:n viljelykustannuksilla optimikiertoajaksi 115 vuotta ja luontaisella uudistamisella ja 10 vuoden uudistusviiveellä 110 vuotta. Kuvan 3 tulokertymäkäyrän muoto saatiin käytettyä kehityssarjaa lievästi väärentämällä, realistisella kehityssarjalla tätä periaatteellista huomautusta ei olisi saatu selkeästi esiin. Sinänsä nollakorollakin pätee se kohta osoitettava nykyarvomenetelmän ominaisuus, että hitaan ja nopean menetelmän ollessa samanarvoisia niissä noudatetaan myös samaa päähakkuuikää. Kuvasta 3 tämä nähdään siten, että siirrettäessä tulokertymäkäyrää käyrän ja tangentin sivuamispiste pysyy samana, jos keskimääräinen tulotaso, eli tangentti pysyy samana.

4.2. Viiveen hinta koronkorkolaskennan mukaan

Jos nykyarvolaskennan perusoletukset rajattomista ja kitkattomista rahamarkkinoista pitävät paikkansa, nykyarvo on oikea tapa

tehdä taloudellisuusvertailut. Kun käypä korkokanta, tulot ja menot ovat tiedossa min-kä tahansa metsänkäsittelytavan taloudellisuus voidaan laskea diskonttaamalla peräkkäisinä kiertoaikoina tulevat tulot ja menot nykyhetkeen, eli laskemalla maan arvo tunnetulla Faustmannin kaavalla. Tässä tarkastelussa maan arvo saadaan lasketuksi kaavalla:

$$(1) L_d = \max_u L_d(u) = \max_u \left(\sum_{t=1}^u R_t r^{u-t} - C_d r^{u+d} \right) / (r^{u+d} - 1),$$

jossa d on uudistusviive (viljelyllä $d=0$), L_d on maan arvo, kun käytetään d :n vuoden uudistusviiveen aiheuttavaa menetelmää, C_d on vastaava uudistamiskustannus, R_t on hakkuutulot t :n ikäisessä metsikössä ja $r = 1 + i$ missä i on korko sadasosina ja $u =$ päätehakkuiikä.

Koronkorkolaskennalla voidaan uudistusviiveen hinta laskea siten, että se on suoraan verrattavissa viljelykustannuksiin. Viiveen hinta on se viljelyn ja luontaisen uudistamisen kustannusero, joka tekee viljelymetsikön maan arvon luontaisesti uudistetun metsikön maan arvon suuruisiksi. Viiveen hinnan laskemiseksi osoitetaan ensin, että maan arvojen ollessa yhtäsuuret viljelyllä ja luontaisesti uudistamisella on sama päätehakkuiän optimi. Olkoon L viljelylle ja luontaiselle uudistamiselle yhteinen maan arvo. Olkoon $V_d(n)$ sellaisen käsittelyvaihtoehdon nykyarvo, jossa ensimmäinen uudistaminen vaatii d vuoden uudistumisajan, ensimmäinen päätehakkuu suoritetaan n vuoden iässä ja sen jälkeen noudatetaan optimaalista maan arvon L tuottavaa vaihtoehtoa:

$$(2) V_d(n) = -C_d + \sum_{t=1}^n (R_t/r^{t+d}) + L/r^{n+d}$$

Olkoon u optimipäätehakkuiikä luontaisessa uudistamisessa. Tällöin siis $V_d(u) = L$, joten:

$$(3) V_d(u) - V_d(u+x) \geq 0 \text{ kaikille } x = \pm 1, \pm 2, \dots \text{ Eli:}$$

$$(4) \sum_{t=1}^u (R_t/r^{t+d}) + L/r^{u+d} - \sum_{t=1}^{u+x} (R_t/r^{t+d}) - L/r^{u+d+x} \geq 0.$$

Kertomalla puolittain r^d :llä saadaan:

$$(5) \sum_{t=1}^u (R_t/r^t) + L/r^u - \sum_{t=1}^{u+x} (R_t/r^t) - L/r^{u+x} \geq 0 \text{ eli}$$

$$(6) V_0(u) - V_0(u+x) \geq 0.$$

Siis viljellessä seuraavassa ja siten jokaisessa päätehakkuiässä optimaalinen päätehakkuiikä on u . Jos siis kehityssarjat eroavat pelkästään uudistumisajan suhteen, ja viljellessä maan arvo on yhtäsuuri kuin luontaisesti uudistettaessa, niin optimaaliset (maan arvon tuottavat) päätehakkuiät ovat yhtäsuuret.

Viiveen hinta saadaan ratkaistuksi laske-malla ensin maan arvo L ja optimaalinen päätehakkuiikä u luontaiselle uudistamiselle. Optimaalinen päätehakkuiikä on ratkaistava kokeilemalla. Ratkaistaan sitten viiveen hinta $C_0 - C_d$ yhtälöstä

$$(7) L_0 = L_d, \text{ eli}$$

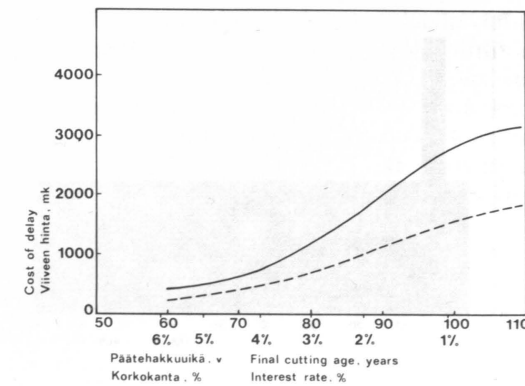
$$(8) \left(\sum_{t=1}^u R_t r^{u-t} - C_0 r^u \right) / (r^u - 1) = \left(\sum_{t=1}^u R_t r^{u-t} - C_d r^{u+d} \right) / (r^{u+d} - 1).$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$(9) C_0 - C_d = (r^d - 1) \left(\sum_{t=1}^u R_t r^{u-t} - C_d \right) / (r^{u+d} - 1)$$

Viiveen hinta on siten yhtä suuri kuin pääoman $L + C_d$ d :ssä vuodessa tuottama korko korkoineen; $L + C_d$ on maan arvo luontaisen uudistamisen investointien jälkeen.

Nykyarvomenetelmää käytettäessä korkokannan ja optimikiertoajan välillä vallitsee yksikäsitteinen vastaavuus. Kuvaan 4 viivekustannus on piirretty optimaalisen päätehakkuiän suhteen, kun luontaisen uudistamisen kustannus on nolla. Viiden vuoden uudistusviivettä vastaavat korkokannat on myös merkitty näkyviin. Kymmenen vuoden viiveellä optimaaliset päätehakkuiät ovat hiukan korkeammat kuin viiden vuoden viiveellä. Esim. 1 % korkokannalla ja 5 vuoden viiveellä optimaalinen päätehakkuiikä on 99 vuotta ja 10 vuoden viiveellä 101–102 vuotta. Koron ollessa suurempi kuin 2 % tämä ero ei tule käytetyllä yhden vuoden aika-askeleella enää näkyviin.



Kuva 4. Nykyarvomenetelmällä laskettu 5 vuoden (katkoviiva) ja 10 vuoden (yhtenäinen viiva) uudistusviiveen hinta korkokannan ja sitä vastaavan optimaalisen päätehakkuiän suhteen.

Figure 4. Cost of delay according to the net present value principle if the slow method is costless and the regeneration delay is 5 years (broken line) or 10 years (solid line) as a function of the interest rate and the corresponding optimal age for final cutting.

Esimerkiksi 3 % korkokantaa sovellettaessa viljely saa maksaa 1166 mk/ha, jotta viljely ja 10 vuoden uudistumisajan vaativa luontainen uudistaminen olisivat yhtä kannattavia, jos luontainen uudistaminen ei maksa mitään. Optimipäätehakkuiikä on tällöin 80 vuotta. Luontaisen uudistamisen kustannusten kasvaessa optimaalinen päätehakkuiikä kasvaa ja viiveen hinta pienenee. Jos luontainen uudistaminen maksaa 3000 mk/ha, saa viljely 3 % korkokantaa käytettäessä maksaa 1094 mk enemmän kuin luontainen uudistaminen eli 4094 mk/ha ja optimipäätehakkuiikä on 85 vuotta. Lausekkeen (9) mukaan viiveen hinta on kuitenkin positiivinen myös silloin, kun luontaisen uudistamisen kustannus on niin suuri, että paljaan maan arvo on negatiivinen.

Korkokannan lähestyessä nollaa lausekkeen (9) arvo lähestyy arvoa

$$(10) \frac{d}{d+u} \left(\sum_{t=1}^u R_t - C_d \right).$$

Täten myös nykyarvomenetelmän kautta päädytään aiemmin esitettyyn nollakorkoratkaisuun.

4.3. Viivekustannus normaalimetsässä

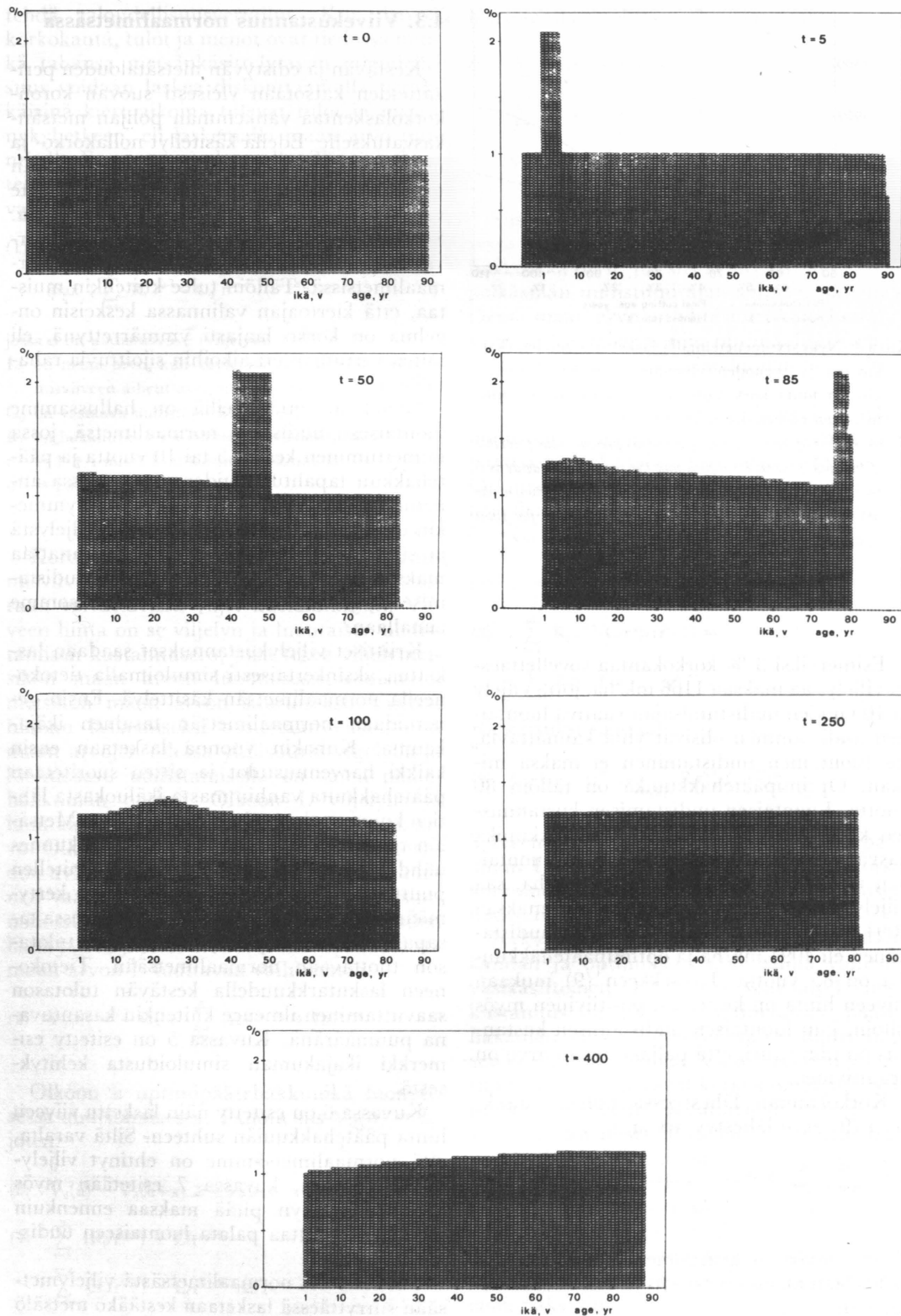
Kestävän ja edistyvän metsätalouden periaatteiden katsotaan yleisesti suovan koronkorkolaskentaa vanhemman pohjan metsänkasvatukselle. Edellä käsitellyt nollakorko- ja nykyarvomenetelmä antavat viiveen hinnan metsikkökohtaisesti. Kestävyuden periaate vaatii yleensä metsälökohtaista tarkastelua. Seuraavissa tarkasteluissa viiveen hintaa arvioidaan eri kiertoaikoja noudattavissa normaalimetsissä. Tällöin tulee kuitenkin muistaa, että kiertoaajan valinnassa keskeisin ongelma on korko laajasti ymmärrettynä, eli miten verrataan eri aikoihin sijoitettavia rahamääriä

Oletetaan, että meillä on hallussamme luontaisesti uudistuva normaalimetsä, jossa taimettuminen kestää 5 tai 10 vuotta ja päätehakkuu tapahtuu puiden saavuttaessa annetun päätehakkuiän. Yhtäkkiä ryhdymmekin uudistamaan viljellen. Paljonko viljelystä ja sillä saavutetusta aikavoitosta kannattaa maksaa enemmän kuin luontaisesta uudistamisesta, jos haluamme pitää tulostasomme ennallaan?

Kriittiset viljelykustannukset saadaan laskettua yksinkertaisesti simuloimalla tietokoneella normaalimetsän käsittelyä. Ensin generoidaan normaalimetsän tasainen ikäjakuma. Kunakin vuonna lasketaan ensin kaikki harvennustulot ja sitten suoritetaan päätehakkuuta vanhimmasta ikäluokasta lähtien kunnes tulotavoite on saavutettu. Metsälön rakenteen kehitystä simuloidaan, kunnes nähdään hakataanko metsälö vähitellen puuttomaksi vai rupeaako metsään kertymään suureneva puumäärä. Periaatteessa tasapainotilanteessa päädytään kyseisen tulotason tuottavaan normaalimetsään. Tietokoneen laskutarkkuudella kestävän tulotason saavuttaminen ilmenee kuitenkin kasautuvana puumääränä. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki ikäjakuman simuloidusta kehityksestä.

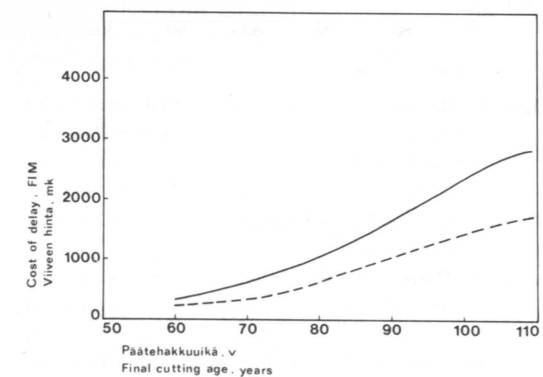
Kuvassa 6 on esitetty näin laskettu viiveen hinta päätehakkuiän suhteen. Siltä varalta, että normaalimetsämme on ehtinyt viljelymetsätalouteen, kuvassa 7 esitetään myös paljonko viljelyn pitää maksaa ennenkuin meidän kannattaa palata luontaiseen uudistamiseen.

Luontaisesta normaalimetsästä viljelymetsään siirryttäessä lasketaan kestääkö metsälö



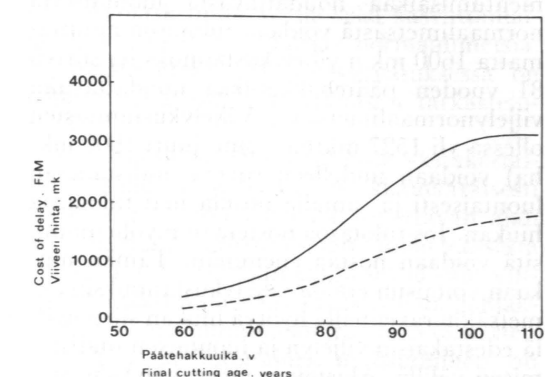
viljelykustannusten aiheuttamat lisähakkuut siihen asti kun viljelyn antama aikavoitto on hyödynnettävissä. Viljelynormaalimetsästä luontaiseen uudistamiseen siirryttäessä katsotaan voidaanko säästyneet viljelykustannukset investoida tarpeeksi tuottavasti puupääomaa kasvattamalla, jotta viljelymetsiköi-

den loputtua selvittää ikäjakaumassa olevan aukon yli. Viiveen hinnat saman päätehakkuiin kohdalla eivät ole suoraan vertailukelpoisia, sillä viljelynormaalimetsässä on puupääomaan investoitu enemmän kuin samaa päätehakkuiin noudattavassa luontaisessa normaalimetsässä.



Kuva 6. Uudistumisviiveen hinta alkuperäisen päätehakkuiin suhteen siirryttäessä luontaisesta normaalimetsästä viljelyyn tulotasa muuttamatta.

Figure 6. Cost of delay computed as the maximal cost of the rapid method, which makes it possible to change to that method and keep the income at the level it was in the fully regulated forest regenerated by the slow method with 5 years delay (broken line) or 10 years delay (solid line). The x-axis is the final cutting age of the initial forest.



Kuva 7. Uudistumisviiveen hinta siirryttäessä viljelynormaalimetsästä luontaiseen uudistamiseen, kun luontaisen uudistamisen uudistamisviive on 5 vuotta (katkoviiva) tai 10 vuotta (yhtenäinen viiva).

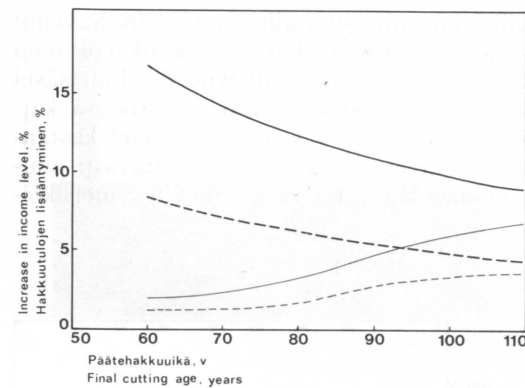
Figure 7. Cost of delay computed as in Figure 5, but in the first place the rapid method is used in a fully regenerated forest and is then changed to the slow method with 5 years delay (broken line) or 10 years delay (solid line).

Kuva 5. (Viereinen sivu) Esimerkki ikäjakauman simuloidusta kehityksestä. Lähtötilanteena ($t=0$) on 90 vuoden päätehakkuiin noudattava normaalimetsä, jossa uudistuminen kestää 10 vuotta (iät $-9 \dots 0$). Tulotasona pidetään alunalkaen saavutettava 398,68 mk/ha/v. Vuodesta $t=1$ lähtien uudistetaan pelkästään viljellen; viljelykustannus on 1600,4 mk/ha. Kuvassa ikäjakauma vuosina $t=0$, $t=5$, $t=50$, $t=85$, $t=100$, $t=250$ ja $t=400$. Vuoden $t=400$ jakaumasta nähdään, että puuston määrä on alkanut selvästi lisääntyä: kyseisillä viljelykustannuksilla voidaan viljelyyn siirtyä tulotason kärsimättä. Jos viljelykustannus on 1600,5 mk/ha ikäjakauman kehitys on vuosiin 200...250 saakka lähes sama kuin kuvassa, mutta sitten puuston määrä alkaa kiihtyvästi vähetä ja vuonna $t=396$ metsä on hakattu puuttomaksi. Viivekustannus on siten normaalimetsämenetelmän mukaan 1600,4 mk/ha.

Figure 5. (Facing page) An example of the simulated development of the age distribution. At first we have a fully regulated forest, where the final cutting age is 90 years and the regeneration is free of cost but takes 10 years (ages $-9 \dots 0$). The income level is first, and thereafter, 398.68 FIM/ha/year. In the year $t=1$ and thereafter we use the rapid regeneration method (regeneration time zero), which costs 1600,4 FIM/ha. In Figure is the age distribution in years $t=0$, $t=5$, $t=50$, $t=85$, $t=100$, $t=250$, and $t=400$. The age distribution at $t=400$ shows that the total amount of timbers is increasing all the time: it is possible to switch to the rapid regeneration method with the given cost. If the cost of the rapid regeneration is 1600.5 FIM/ha, development of the age distribution is almost the same as in the Figure up to years 200...250, but thereafter the amount of timbers decreases exponentially, and in the year $t=396$ no trees are left. The cost of ten years' regeneration delay is thus 1600.4 FIM/ha.

Tuntuu luonteelta olettaa, että metsälön rakenteen muuttamisessa esiintyisi aina kitkaa eli rakennetta ei voitaisi muuttaa edestakaisin tuottotappioita kärsimättä. Viiden vuoden aika-askelta käytettäessä tämä muutostikka tuli selvästi näkyviin. Kun laskenta tehtiin tässä esitetyllä tavalla vuoden aika-askelta käyttäen, tätä kitkaa ei tasapainolanteessa yllättäen havaittukaan. Esim. 90 vuoden päätehakkuiikää ja 10 vuoden taimentumisaikaa noudattavasta luontaisesta normaalimetsästä voidaan tulotasoa muuttamatta 1600 mk:n viljelykustannuksilla siirtyä 81 vuoden päätehakkuiikää noudattavaan viljelynormaalimetsään. Viljelykustannusten ollessa yli 1527 mk/ha (esim. juuri 1600 mk/ha) voidaan uudelleen ruveta uudistamaan luontaisesti ja samalla nostaa heti tulotasoa hiukan. Jos tulotasoa nostetaan myöhemmin, sitä voidaan nostaa enemmän. Tämän mukaan voitaisiin eräillä viljelykustannuksilla ja metsälön rakenteilla hyötyä hiukan siirtymällä edestakaisin viljelyn ja luontaisen uudistamisen välillä. Alustavan virheanalyysin mukaan tällaisessa laskennassa väistämättä esiintyvät kumuloidut pyörästysvirheet eivät selitä tulosta. Kenties tässä edestakaisen rakennemuutoksen epäsymmetrisyydessä on kyse siitä, että investoiminen puupääomaan tuo korkoa korolle jo investoimisaikana toisin kuin investoiminen uudistumisajan nopeuttamiseen. Vuositasolle interpoloidut harvennukset johtavat osaltaan rakennemuutoksen helppouden yliarvioimiseen. Rakennemuutostikkien luotettavampi analyysi edellyttäisi tarkempaa teoreettista formulointia ja pyörästysvirheiden analyysiä. Tässä esitettyjen tulosten karkeustasolla kysymyksellä ei sinänsä ole merkitystä.

Vetoamalla kansantaloudellisiin näkökohtiin tai hakkuutulojen läheisyyteen on pyritty vähättelemään uudistamiskustannusten merkitystä. Unohdetaan siis kustannukset, eli oletetaan ettei viljelystä aiheudu lisäkustannuksia. Viljelyllä saatavan aikavoiton vaikutusta tulokehitykseen tutkittiin edellä kuvattulla simulointimenetelmällä. Kuvassa 8 on esitetty, monellako prosentilla luontaisesta normaalimetsästä saatavia tuloja voidaan heti nostaa, kun aletaan viljelyllä nopeuttaa



Kuva 8. Hakkuutulojen lisäysmahdollisuus siirryttäessä luontaisessa normaalimetsässä viljelyyn nollakorkomenetelmän mukaan (paksut viivat) ja normaalimetsämenetelmän mukaan (ohuet viivat) 5 vuoden uudistumisviiveellä (katkoviivat) tai 10 vuoden viiveellä (yhtenäinen viiva).

Figure 8. Maximal immediate increase in income level after beginning to use the rapid and cost-free regeneration method in a fully regulated forest with 5 years regeneration delay (broken line) or 10 years delay (solid line). Thin lines represent the real possibility and thick lines represent the increase if the future shortening of rotation is 'discounted' by zero percent interest rate to the present.

puun kiertoa. Vertailukohtana esitetään hakkuutulojen lisäysprosentti nollakorkomenetelmän mukaan eli olettaen että kiertoajan lyheneminen voidaan semmoisenaan heti realisoida. Nollakorkomenetelmä yliarvioi karkeasti hakkuutulojen nostamismahdollisuuksia. Esim. jos 70 vuoden päätehakkuiian ja 10 vuoden taimettumisajan mukaisesta luontaisesta normaalimetsästä voitaisiin noin vain siirtyä 70 vuoden päätehakkuiian viljelynormaalimetsään, tulotasoa voitaisiin nostaa 46 mk/ha/vuosi eli 14 %, kun metsälön hakkuutuloja voidaan heti lisätä kestävästi vain 7,6 mk/ha/vuosi eli 2 %. Lisäksi nollakorkomenetelmän mukaan uudistumisajan lyhenemisestä saatava välitön hyöty pienenee päätehakkuiian kasvaessa, kun se kestävyuden vaatimukset huomioonottavan laskennan mukaan kasvaa. Suurempi puupääoma mahdollistaa täten reaalioloissa tulevien hyötyjen aikaistamisen paremmin kuin pieni puusto.

5. TARKASTELUA

Nykyaikaiset tietokonepohjaiset suunnittelujärjestelmät tarjoavat tehokkaita menetelmiä metsälöiden ja suurten metsäalueiden pitkänajan suunnitteluun. Päätöksentekijäin tavoitteista ja reaalimetsästä lähtien voidaan tutkia toimintastrategioita ilman staattisia apukäsitteitä, kuten tavoitemetsä, optimikiertoaika ja normaalimetsä, jotka harvoin kuvaavat todellisia päätöstilanteita.

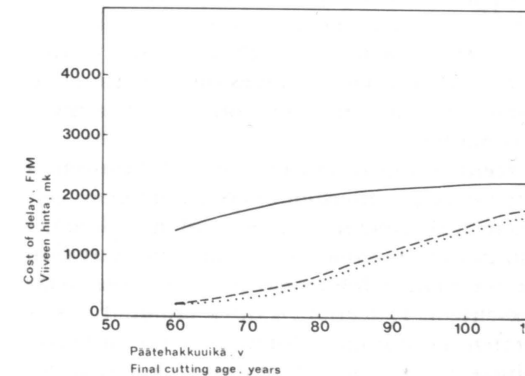
Kehittyneitä suunnittelujärjestelmää käytettäessä keskeiset uudistamiskysymykset tulevat luontevasti käsitellyiksi metsälön käsittelyn osana. Selvimmin metsälötason tarkastelu tuo valaistusta sellaisiin kysymyksiin kuin puulajin valinta ja uudistumisajan lyhentäminen viljelyllä. Myös vajaatuottoisten metsien uudistamista, soiden metsitystä ja jalostettujen taimien käytöstä saatavaa jalostushyötyä voidaan selkeimmin arvioida katsomalla, miten ne vaikuttavat esim. seuraavan sadan vuoden hakkuiisiin, tuloihin ja menoihin. Sattuman keskeinen merkitys uudistamisvaiheessa on kenties metsänuudistamisen suunnitelmallisen järjestämisen suurin este. Jokaisen laskentajärjestelmän tuloksia tarkasteltaessa on tietenkin muistettava, että laskentajärjestelmät voivat ainoastaan yhdistel-

lä ja järjestellä niihin syötettyä tietoa eikä hiukkaakaan parantaa tai lisätä sitä.

Kun edellä esitettyyn, kehittyneempään tarkastelutapaan ei ollut tässä vielä tilaisuutta, uudistumisajan merkitystä tarkasteltiin esimerkinomaisesti yhden VT-männikön kehityssarjan avulla. Aikavoitosta saatavaa hyötyä arvioitiin nollakorkomenetelmällä, nykyarvolaskennan avulla sekä kasvattamalla tietokoneessa erilaisia normaalimetsiä. Normaalimetsän tietokonekasvatuksessa on pelkistettynä esillä metsälötason tarkastelukulma.

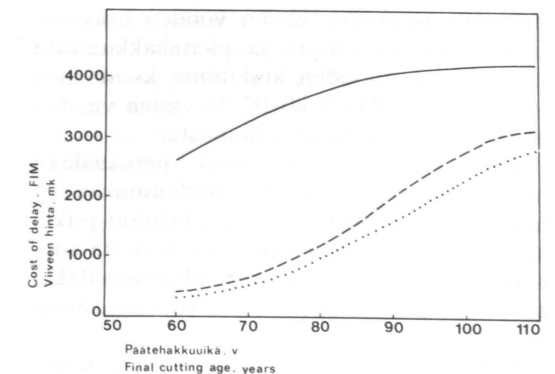
Vaikka esitetyt laskelmat eivät yksinkertaisuudessaan tarjoakaan markkamääräisesti luotettavaa tietoa viljelyllä voitettavan ajan tai yleensä uudistumisajan taloudellisesta merkityksestä, voidaan eräitä selviä suhteellisia johtopäätöksiä esittää keskustelun pohjaksi. Kuten on aiemmin todettu, tässä tarkasteltu 'viljely' ja 'luontainen uudistaminen' on eroteltu pelkästään uudistumisajan avulla ja ovat siten reaali maailman viljelyn ja luontaisen uudistamisen karkeita yksinkertaistuksia.

Aiemmin esitettyjen tuloksien yhdistämiseksi kuvissa 9 ja 10 on esitetty 5 ja 10 vuoden viiveen hinta nollakorko- ja nykyarvomenetelmän mukaan sekä siirryttäessä luontaisesta normaalimetsästä viljelyyn. Tulevat hyödyt taianomaisesti nykyhetkeen siirtävä nollakorkomenetelmä liioittelee ilmeisen harhaanjohtavasti aikavoiton merkitystä. Nor-



Kuva 9. Viiden vuoden uudistumisviiveen hinta nollakorkomenetelmän mukaan (yhtenäinen viiva), nykyarvomenetelmän mukaan (katkoviiva) ja normaalimetsämenetelmän mukaan (pisteviiva), yhdistetty kuvista 2, 4 ja 6.

Figure 9. Cost of 5 years regeneration delay according to the zero-interest method (solid line), net present value (broken line) and the fully regulated forest-method (dotted line), combined from Figures 2, 4 and 6.



Kuva 10. Sama kuin kuva 9, mutta 10 vuoden viive. Figure 10. Costs for 10 years regeneration delay. Otherwise the same as Figure 9.

maalimetsätarkastelut osoittavat selvästi, että uudistumisajan lyhentämisellä saavutettu pitkän ajan päästä tuloksia tuottava hakkuumahdollisuuksien lisäys voidaan vain rajoitusti hyödyntää välittömästi muiden metsiköiden hakkuuta nopeuttamalla. Ilmeisesti tämä pätee muihinkin investointeihin, jotka tuottavat tulosta vasta tulevien puusukupolvien avulla. Näin ollen Valtanen (1975) varmaankin yliarvioi Metsänjalostustoimikunnan mietinnössä jalostuksella saatavan hakkuupoistuman lisäyksen välitöntä hyödyntämismahdollisuutta olettaessaan, että välitön tasainen lisäys hakkuusuunnitteessa on kiertojen kuluessa saatujen poistumalisäysten keskiarvo.

Nykyarvomenetelmä ja normaalimetsämenetelmä antavat varsin yhtäpitävät tulokset. Nykyarvomenetelmän oletusten mukaisesti toimittaessa voidaan uudistamisinvestoinnit rahoittaa joustavammin rahamarkkinoiden avulla kuin on mahdollista hakkuuta lisäämällä. Siten nykyarvomenetelmän mukaan viljelyyn siirtyminen kannattaa korkeammilla viljelykustannuksilla kuin normaalimetsämenetelmässä. Jos rahamarkkinoita ja metsälöä käytetään yhdessä normaalimetsämme uudistamisinvestointien rahoittamiseen, uudistumisviiveen hinta sijoittuu niiden kahden menetelmän antamien tulosten väliin.

Nollakorkomenetelmää lukuunottamatta eri menetelmillä laskettu uudistumisviiveen hinta on konkaavi eli ylöspäin kupera viiveen pituuden suhteen. Jos siis viive kasvaa x -kertaiseksi viiveestä aiheutuva kustannus kasvaa vähemmän kuin x -kertaiseksi. Mitä pitempi uudistumisviive on, sitä kannattamattomampaa koko metsänkasvatus on ja sitä vähemmän siis merkitsee yhden vuoden lisäviive. Laskentamenetelmästä ja päättehakkuiästä riippuen viivevuoden keskihinta kymmenen vuoden viiveellä oli 80–97 % viiden vuoden viiveellä lasketusta keskihinnasta.

Jos nollakorkomenetelmää perustellaan nollakoron kelpoisuudella, johdonmukaisesti toimittaessa pitäisi noudattaa erittäin pitkiä kiertoaikoja ja muutenkin olla valmiita suorittamaan metsässä ja sen ulkopuolellakin tuottavuudeltaan erittäin heikkoja investointeja.

Kaikki tässä käytetyt tarkastelutavat osoittavat johdonmukaisesti luontaisen uudistamisen soveltuvan luontevimmin lyhyitä kiertoaikoja ja korkeita tuottovaatimuksia eli kor-

keaa korkokantaa käyttävään metsätalouteen. Viljely puolestaan soveltuu parhaiten pitkien kiertoaikojen eli alhaisen korkovaatimuksen metsätalouteen. Luontaisen uudistamisen ja lyhyiden kiertoaikojen metsätaloudessa käytetään rahapääomaa ja puustoa vähän mutta tehokkaasti ja maata tehottomasti. Pitkillä kiertajoilla ja viljelyllä saadaan maa tehokkaaseen käyttöön, mutta pääoman ja puuston käyttö on tehotonta. Tällöin metsätalouteen on sidottu runsaasti pääomia, ja tuotannon taso on sinänsä korkea, vaikka tuotanto käytettyyn pääomaan nähden onkin pieni.

Sellainen intensiivinen metätalous, jossa sekä suoritetaan kalliita investointeja että noudatetaan lyhyitä kiertoaikoja, johtaa sekä maan että rahapääoman tehottomaan käyttöön. Puustoa sinänsä käytetään tällöin tehokkaasti, mutta puustoon sidottuun pääomaan ja rahapääomaan suhtaudutaan ristiriitaisesti. Korkokannan vaikutus kiertoaikaan ja metsänhoitotöiden voimaperäisyyteen on tietenkin entuudestaan tunnettua (ks. esim. Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö 1971).

Tarkasteltaessa kiertoaikaa ja investointeja kansantalouden kannalta laskelmissa on syytä käyttää arvioituja kansantaloudellisia hintoja. Korkea metsätaloustuotannon taso (matala korkovaatimus) saattaa olla kansantaloudellisesti kannattavaa. Passiivinen investointi puupääomaan ansainnee kuitenkin kansantaloudellisissa tarkasteluissa täyden huomion aktiivisten investointien rinnalla, varsinkin kun raakapuuta on saatavissa myös ulkomailta.

Kenties suurin etu metsänuudistamisen ja ylipäänsä perinteisten metsänhoidon ongelmien tarkastelemisessa metsälön kokonais-suunnittelun osana on se, että näin pystytään käyttämään johdonmukaisesti samoja päätöksenteon kriteereitä kautta linjan. Eri kriteerien käyttäminen toiminnan eri vaiheissa johtaa väistämättä tuotannon tekijöiden tehotomaan käyttöön. Esimerkiksi nykyarvomenetelmää käytettäessä kiertojen määrityksen ja eri uudistamistapojen vertailun tulee perustua samaan korkokantaan. Jos nykyarvon käytölle ei katsota olevan riittäviä edellytyksiä, suunnittelun tulisi perustua selkeästi esitettyihin taloudellisiin oletuksiin ja arvostuksiin. Tällöin vältetään Ervastin ym. (1970) ja Valtanen (1975) käyttämä kaksois-

arvostus: ensin hakkuumahdollisuuksia esioptimoidaan vahvan arvosidonnaisuuden omaavan hakkuusuunnite-käsitteen avulla ja sitten tuotanto-ohjelmien edullisuutta vertail-

laan sisäisen koron avulla. Tätä ovat analysoineet myös Kilkki ja Siitonen (1976), ja Kilkki (1979 b).

VIITTEET

- BÜTZOW, N. 1981. Kannattaako uudistaa luontaisesti? *Tehdaspuu* n:o 3: 6–8.
- ERVASTI, S., HEIKINHEIMO, L., KUUSELA, K. & MÄKINEN, O. 1970. Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970–2015. *Folia For.* 88: 1–65.
- KELTIKANGAS, M. 1971. Time Factor and Investment Calculations in Timber Growing. Theoretical fundamentals. *Acta For. Fenn.* 120: 1–68.
- KILKKI, P. 1979. Timber management planning. University of Helsinki. Department of Forest Mensuration and Management. Research reports 12: 1–105.
- 1979 b. Lisää metsäinvestointien ekonomiaa. *Metsä ja Puu* 1: 4–6.
- , LAPPI, J. & SIITONEN, M. 1982. Long-term timber production planning via utility maximization. *Käsikirjoitus*. 1982. 29 s.
- & SIITONEN, M. 1976. Investointilaskelmien edullisuus. *Metsä ja Puu* 6–7: 26.
- LAHTINEN, A. & LAASASENAHO, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. *Commun. Inst. For. Fenn.* 95(8): 1–63.
- Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö. 1971. *Folia For.* 109: 1–160.
- NYSSÖNEN, A. 1958. Kiertoaika ja sen määrittäminen. *Commun. Inst. For. Fenn.* 49.6: 1–87.
- PARVIAINEN, J. ja LAPPI, J. 1983. Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi. *Folia For.* 54.9: 1–24.
- RÄSÄNEN, P. K., KAILA, S., LAPPI, J., PARVIAINEN, J. & PÄIVÄNEN, J. 1979. Metsänuudistamisen vaihtoehdot. Esitutkimusraportti. Metsäntutkimuslaitos-Metsäteho. Helsinki-Suonenjoki. 60 s.
- SMOLANDER, H. & KOTISAARI, A. 1982. Luontainen vaiko viljely – uudistamisen strategiat metsänhoidon ongelmana. Esitelmä Suomenjoen tutkimuskeskuksen tutkimuspäivänä 23. 11. 1982. 23 s.
- VALTANEN, H. 1975. Selvitys metsänjalostusprojektin kansantaloudellisten vaikutusten ja edullisuuden arvioinnista. Metsänjalostustoimikunnan mietintö, liite 2, 23 s. Komiteamietintö 1975: 25.

SUMMARY

EVALUATION OF THE TIME FACTOR IN REFORESTATION DECISIONS

Length of the regeneration period is a criterion common used for comparing different reforestation methods. The time factor should be evaluated using a realistic system of long-term planning. In this paper, however, the preliminary evaluation is made by simplified calculations based on the development series presented in Figure 1. The production curve in Figure 1 is assumed to correspond to development of the stand if a rapid regeneration method is used. The slow regeneration method is assumed to be otherwise equal to the rapid one but it has a 5 or 10 years time delay at the beginning. The rotation is thus the final cutting age plus 5 or 10 years delay. Cost of the time delay is taken to be the difference in reforestation costs that makes the rapid and the slow methods equivalent. Calculations are made using zero cost for the slow method; but if the cost of the slow method increases, the critical cost difference decreases very slowly.

The final cutting age and the regeneration method

must be decided simultaneously; therefore the cost of the time delay is presented as a function of final cutting age. In Figure 2 is presented the cost of time delay measured by average annual revenue, i.e., using zero percent interest rate or essentially neglecting the time problem. In an artificial example presented in Figure 3 we see that by maximizing the average annual revenue, rotation can even increase if a more rapid but more expensive regeneration method is used.

The cost of delay can be evaluated using net present value by calculating which difference in reforestation costs makes the land values given by the Faustmann formula equal (formula (1)). It was first proved (formula (2)–(6)) that if the land values are equal, then optimal final cutting ages are also equal. The optimal final cutting age u for the slow method is first searched iteratively. Then by making land values equal and solving for cost difference, we get the cost of delay as follows:

$$C_0 - C_d = (r^d - 1) \left(\sum_{t=1}^u R_t r^{u-t} - C_d \right) / (r^{u+d} - 1), \text{ where}$$

d is the time delay in years (for the rapid method $d=0$),
 C_d is the regeneration cost when the time delay is d years,

R_t is the cutting revenue at age t ,

$r = 1+i$, where i is the interest rate, and

u is the optimal age for final cutting.

Figure 3 presents the cost of delay using the criterion of net present value.

If the capital market is not perfect, management decisions can no longer be made on the basis of a single stand. Motivated by the old concept of the fully regulated forest, the cost of delay was also calculated by assuming that the decision maker requires an even flow of income and there is no capital market. First, the uniform age distribution of a fully regulated and slowly regenerated forest is generated in the computer. Then by simulating the development of the age distribution it was searched iteratively for the highest regeneration cost of the rapid method, that would make it possible to change to the

rapid method and maintain the previous constant level of income. An example of the simulated development of the age distribution is presented in Figure 5 with the results given in Figure 6. Figure 7 shows the case in which the rapid method is changed to the slow one. The numbers given in these figures are not directly comparable because different amounts of capital are invested in the growing stock.

Neglecting the regeneration costs, I also computed how much the income level can be increased immediately by the time of changing to the rapid method. Figure 8 presents the results and for comparison also gives the increase in income level if the shortened rotation could be utilized completely and immediately. Figures 9 and 10 combine the results of Figures 2, 4 and 6. Net present value and the more complicated calculations based on a fully regulated forest give almost the same value for cost of delay. Neglecting the time factor by using a zero per cent interest rate can be highly misleading. In conclusion, the same criteria should be used for decisions at every stage of forest management, e.g., for regeneration and for determining the final cutting. To allow logical and efficient planning and management, the economic and value assumptions should be stated clearly.