

# PUIDEN RYHMITTÄISYYDEN HUOMIOONOTTAMINEN HARVENNUSMALLEISSA

PEKKA KILKKI, TAPANI POHJOLA ja ELJAS POHTILA

*Summary*

*USE OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF TREES IN THINNING MODELS*

Saapunut toimitukselle 4. 1. 1985

Puuston keskimääräiseen tiheyteen perustuvien harvennusmallien käyttö saattaa epätasaisissa metsiköissä johtaa siihen, että metsikkö jää harventamatta, vaikka siinä olisi harvennusta edellyttäviä tiheikköjä. Puiden ryhmittäisyyttä voidaan mitata rajaamalla metsikköön joukko pieniä relaskooppikoealoja, joille sattuvien puiden lukumäärien jakaumaa käytetään tilajärjestyksen kuvaukseen. Jos käytettävissä on tavoitejakautumat harvennuksen jälkeiselle puustolle, saadaan harvennuspoistuma mitatun jakauman ja tavoitejakauman erotuksena. Sekvenssiotanta tehostaa koelamittauksia. Tutkimuksen liitteenä on taskulaskimeen sopiva BASIC-ohjelma, jota käyttäen metsikön harvennustarve ja harvennuspoistuma voidaan maastossa määrittää.

## JOHDANTO

Nykyisin käytössä olevat harvennusmallit perustuvat useimmiten boniteettiin, puulaajiin, valtapituuteen tai ikään sekä pohjapinta-alaan (esim. Vuokila ja Väliaho 1980). Harvennusmalleja sovellettaessa aiheuttaa puiden epäsäännöllinen tilajärjestys kuitenkin

ongelmia. Keskimääräinen pohjapinta-ala ei aina ilmaise riittävästi harvennustarvetta eikä mahdollista harvennuspoistumaa. Tämän ongelman poistamiseksi kuvataan seuraavassa harvennusmalli, jossa puuston mahdollinen ryhmittäisyys on otettu huomioon.

## TILAJÄRJESTYKSEN KUVAUS

Puuston tilajärjestystä on pyritty mittaamaan erityisesti taimikoissa, joissa runsas aukkoisuus merkitsee joko täydennystarvetta tai pahimmassa tapauksessa uudelleen viljelyä. Aukkoisuuden kuvaamiseen on taimikoissa käytetty esimerkiksi nollaruutuprosentteja ja nollaruutudiagrammeja (Cox 1971; Pohtila 1977).

Harvennustarvetta selvitetessä eivät enää niinkään kiinnosta aukot kuin metsikön ylitiehat osat. Tästä syystä on pyrittävä ke-

hittämään sellaisia harvennusmetsikön tilajärjestystä kuvaavia indikaattoreita, jotka ilmaisevat harvennettävien tiheiköiden osuuden metsiköstä. Yksi mahdollisuus on mitata metsiköstä joukko pieniä ympyrä- tai relaskooppikoealoja, joille sattuvien puiden lukumäärien jakaumaa käytetään kuvaamaan metsikön tilajärjestystä. Koska puiden läpimitat vaihtelevat suuresti varsinkin aikaisemmin harventamattomissa ja luontaisesti syntyneissä metsiköissä ja koska nykyiset varttu-

neiden metsiköiden harvennusmallit perustuvat pohjapinta-alaan, tarkastellaan seuraavassa relaskooppikoealojen käyttöä puuston tilajärjestyksen kuvaukseen.

Mittaamalla kyllin monta objektiivisesti sijoitettua koealaa saadaan relaskooppikertoimesta riippumatta aina likimain sama tulos metsikön puuston kokonaispohjapinta-alaksi. Käytettäessä riittävän pientä relaskooppikoealaa kuvaa koealojen pohjapinta-alaluokkajakauma metsikön tilajärjestyksestä.

Tämän jälkeen on hahmoteltava harvennuksen jälkeisen puuston pohjapinta-ala ja tilajärjestystavotteet. Jos oletetaan pohjapinta-alatavoite tunnetuksi ja pyritään harvennuksen jälkeen tiettyyn tilajärjestykseen, voidaan määrittää pohjapinta-alatavoitetta vastaava koealoille tulevien puiden lukumäärän jakauma. Jos harvennuksessa tyydytään siihen, että puut jäävät pohjapinta-alan suhteen täysin satunnaiseen järjestykseen, on koealojen vertausjakaumana Poisson-jakauma. Jos käytetty relaskooppikerroin vastaa tavoitepohjapinta-ala, on tuloksena seuraava Poisson-jakauma:

| Runkoluku | Frekvenssi |
|-----------|------------|
| 0         | 0.368      |
| 1         | 0.368      |
| 2         | 0.184      |
| 3         | 0.061      |
| 4         | 0.015      |
| 5+        | 0.004      |

Jakauma antaa koealojen keskimääräiseksi runkoluvuksi:

$$.368 \cdot 0 + .368 \cdot 1 + .184 \cdot 2 + .061 \cdot 3 + .015 \cdot 4 + .004 \cdot 5 = 1.0.$$

Jos puusto on jakautunut alueelle joko satunnaisesti tai sitä tasaisemmin ja puuston pohjapinta-ala ylittää tavoitepohjapinta-alan, päästään harvennuksella täsmälleen tavoitepohjapinta-alaan. Jos puusto on aukkoista, on mahdollista, ettei tavoitepohjapinta-ala saavuteta, vaikka puuston keskimääräinen pohjapinta-ala mahdollistaisi harvennuksen. Toisaalta on mahdollista, että metsikköä on ryhmittäisyyden takia harvennettava, vaikka sen keskimääräinen pohjapinta-ala alittaisikin tavoitepohjapinta-alan.

Puuston tilajärjestykseksi tavoitellaan usein puiden satunnaista tasaisempaa sijaintia. Jos relaskooppikertoimeksi otetaan tavoite-

tepohjapinta-ala hehtaarilla, voi tavoitejakauma olla esimerkiksi:

| Runkoluku | Frekvenssi |
|-----------|------------|
| 0         | 0.3        |
| 1         | 0.4        |
| 2         | 0.3        |

joka antaa koealan keskimääräiseksi runkoluvuksi 1.0.

Jos metsikön puuston tilajärjestys on mahdollista saada pohjapinta-alan suhteen täysin homogeeniseksi harvennushakkuulla, merkitsee se sitä, että kullekin relaskooppikoealalle jää harvennuksen jälkeen vain yksi puu. Yli menevä osa poistetaan harvennuksessa. Tällöin runkoluvun 1 frekvenssi on 1.0 ja muiden runkolukujen frekvenssit ovat nolli. Käytännön metsätaloudessa ei ole kuitenkaan koskaan mahdollista tehdä harvennushakkuita siten, että jäljelle jäävä puusto jakautuisi täysin tasaisesti alueelle. Realistisempaa on olettaa, että metsikköön jää aina tietty määrä aukkoja ja puuryhmiä.

#### Esimerkki

Esimerkkinä tarkastellaan 70-vuotiaasta MT:llä kasvavaa mänty-kuusisekametsikkökoealaa, jolta puiden koordinaatit tunnetaan. Metsikön pohjapinta-ala on 45.7 m<sup>2</sup>/ha ja runkoluku 1200 runkoa/ha. Metsikössä tehtiin koeleimaus alaharvennuseriaatteella. Jäljelle jäävän puuston pohjapinta-ala oli 26.6 m<sup>2</sup>/ha ja runkoluku 450 runkoa/ha.

Metsikköön sijoitettiin ennen harvennusta satunnaisesti 1000 relaskooppikoealaa käyttäen relaskooppikerrointa 26.6. Koealat jakautuivat runkoluvun mukaan seuraavasti:

| Runkoluku | 0   | 1    | 2    | 3    | 4   |
|-----------|-----|------|------|------|-----|
| Osuus, %  | 7.9 | 32.4 | 40.8 | 17.9 | 1.0 |

Harvennuksen jälkeen runkolukujakauma oli:

| Runkoluku | 0    | 1    | 2    | 3   | 4   |
|-----------|------|------|------|-----|-----|
| Osuus, %  | 29.7 | 41.7 | 27.8 | 0.9 | 0.0 |

Ennen harvennusta olleesta tilanteesta päästään harvennuksen jälkeiseen tilanteeseen esimerkiksi siten, että aloitetaan puuryhmien harvennaminen tiheiköistä. Täten kaikilta 4 puuta käsittäviltä

koealoilta poistetaan 1 puu, jolloin harvennuspoistumaksi saadaan

$$.01 \cdot 26.6 = 0.266 \text{ m}^2/\text{ha}.$$

Tämän jälkeen on vähintään 3 puuta käsittäviä koealoja yhteensä 18.9 %, kun tavoite on vain 0.9 %. Harvennuspoistuma on näin ollen

$$.18 \cdot 26.6 = 4.788 \text{ m}^2/\text{ha}.$$

Kahden puun koealoja on tämän jälkeen 59.7 % tavoitteen ollessa 27.8 + .9 = 28.7 %, joten harvennuspoistumaa tulee

$$.310 \cdot 26.6 = 8.246 \text{ m}^2/\text{ha}.$$

Yhden puun koealoilla 92.1 % tavoitteen ollessa 41.7 + 28.7 = 70.4 %, joten harvennuspoistumaksi tulee

$$.217 \cdot 26.6 = 5.772 \text{ m}^2/\text{ha}.$$

Yhteensä harvennuspoistumaksi saadaan 19.1 m<sup>2</sup>/ha.

## SEKVENSSIOTANTA

Edellä annettu esimerkki osoittaa, että jos annamme harvennuksen jälkeisen tavoitepohjapinta-alan ja sitä vastaavalla relaskooppikerroimella rajattujen relaskooppikoealojen tavoitejakauman, voimme riittävällä määrällä näitä koealoja selvittää harvennushakkuussa poistettavaksi tulevan puuston määrän. Koealat ovat pieniä ja helposti rajattavia ja ne voidaan paikallistaa askelmitalla samaan tapaan kuin taimikoiden tarkastuskoealat. Jotta harvennuspäätös voitaisiin tehdä mahdollisimman vähillä koealamittauksilla, kannattaa käyttää sekvenssiotantaa. Sekvenssiotannan periaatteena on testata jokaisen koealan mittauksen jälkeen, kuuluuko metsikkö tietyllä todennäköisyydellä harvennettaviin vai ei.

Sekvenssiotantaa varten on tunnettava, mitä jakaumaa relaskooppikoealojen jakauma runkolukuluokkiin noudattaa. Jos jakauma on täysin satunnainen, voidaan sekvenssiotannan rajat laskea Poisson-jakauman mukaisesti.

Esimerkkitapauksessa nollakoealojen määrä oli harventamattomassa metsikössä pienempi kuin tavoitepuustossa, joten tavoitepohjapinta-ala saavutettiin täsmälleen. Jos nollakoealojen määrä olisi harventamattomassa metsikössä suurempi kuin tavoitemetsikössä, jouduttaisiin hehtaariohtaisesta tavoitepuustosta tinkimään. Jos nollakoealoja olisi harventamattomassa metsikössä esimerkiksi 50 %, olisi edellä annettu harvennetun metsikön puuston jakauma

| Runkoluku | 0    | 1    | 2    | 3   | 4   |
|-----------|------|------|------|-----|-----|
| Osuus, %  | 50.0 | 29.6 | 19.8 | 0.6 | 0.0 |

Uusi tavoitejakauma on saatu kertomalla alkuperäisen tavoitejakauman puustoisten koealojen osuudet harvennettavan metsikön puustoisten koealojen ja tavoitepuuston puustoisten koealojen kokonaisosuuksien suhteella:

$$0.5/0.704 = 0.710$$

#### Esimerkki

Edellä kuvatussa metsikössä asetetaan harvennuksen jälkeiseksi tavoitepohjapinta-alaksi 26.6 m<sup>2</sup>/ha. Lisäksi asetetaan tavoitteeksi jakauma:

| Runkoluku | Frekvenssi |
|-----------|------------|
| 0         | 0.3        |
| 1         | 0.4        |
| 2         | 0.3        |

Harvennettavan puuston pohjapinta-alajakau- ma ei esimerkkitapauksessa poikkea tilastollisesti merkittävästi Poisson-jakaumasta, joten harven- nus- ja lepoonjättämiserajat määrätään tämän jakauman perusteella (ks. esim. Loetsch ja Haller: Forest Inventory I, s. 283). Rajat eivät ole Poisson- jakaumaa käytettäessä täysin symmetriset.

Oletetaan, että edellä kuvattu metsikkö harven- netaan, jos harvennuspoistuma on yli 4.93 m<sup>2</sup>/ha. Harvennusta ei sallita, jos harvennuspoistuma on alle 4.93 m<sup>2</sup>/ha. Lisäksi otetaan 5 prosentin riski

sille, että metsikkö jää harventamatta, vaikka harvennuspoistuma on yli 6 m<sup>2</sup>/ha ja sille, että metsikkö ehdotetaan harvennettavaksi, vaikka harvennuspoistuma on alle 4 m<sup>2</sup>/ha.

Metsikkö harvennetaan, jos relaskooppikertomella 26.6 rajatuilta relaskooppikoealoilta laskettu kumulatiivinen harvennuksessa poistettava pohjapinta-ala ylittää kaavasta (1) saatavan arvon.

$$y = 7.26/n \cdot q + 4.93 \quad (1)$$

jossa

y = harvennusraja, m<sup>2</sup>/ha

n = relaskooppikoealoja, kpl

q = relaskooppikerroin

Metsikkö jätetään lepoon, jos harvennuspoistuman pohjapinta-ala alittaa kaavasta (2) saatavan arvon.

$$a = -7.26/n \cdot q + 4.93 \quad (2)$$

jossa

a = lepoon jättämisen raja, m<sup>2</sup>/ha

## BASIC-OHJELMA

Sekvenssiotanta voidaan käytännössä toteuttaa käyttämällä ohjelmoitavaa taskulaskinta. Liitteessä on sekvenssiotannassa tarvittava BASIC-ohjelma. Ohjelmalle annetaan parametreinä relaskooppikerroin, joka on samalla tavoitepohjapinta-ala, riskiraja sekä tätä vastaavat harventamatta jättämisen raja ja lepoonjättämisen raja. (Ohjelmassa oletetaan, että sekä virheellisen harvennuspäätöksen et-

Esimerkkimetsikössä antoi 9 satunnaisesti sijoitettua, kertoimella 26.6 rajattua relaskooppikoealaa tuloksen, jonka mukaan metsikkö on harvennettava. Harvennuksessa poistettava pohjapinta-ala oli tuolloin 29.6 m<sup>2</sup>/ha. Päätös osoittautui oikeaksi koealojen mitausta jatkettaessa. Mitattaessa äärettömän monta relaskooppikoealaa saadaan harvennuksen ja levon rajaksi 4.93 m<sup>2</sup>/ha. Tuhat koealaa antoi harvennettavan puuston pohjapinta-alaksi 19.1 m<sup>2</sup>/ha, jolloin puuston pohjapinta-ala oli täsmälleen tavoitteen, 26.6 m<sup>2</sup>/ha, suuruisen. Täsmälleen tavoitteen mukaisen pohjapinta-alan saavuttaminen oli mahdollista, koska harventamattomassa puustossa oli vähemmän nollaruutuja kuin tavoitepuustossa.

Jos metsikön pohjapinta-ala on jakautunut tasaisemmin kuin täyttä satunnaista edustava Poisson-jakauma edellyttää, rajoitinyhtälöiden (1) ja (2) antamat arvot lähestyvät toisiaan. Toisaalta satunnaisuutta suurempi ryhmittäisyys loitontaa rajoitinyhtälöiden arvoja ja tuloksena on koealatarpeen kasvu sekvenssiotannassa, jos muut ehdot pysyvät ennallaan.

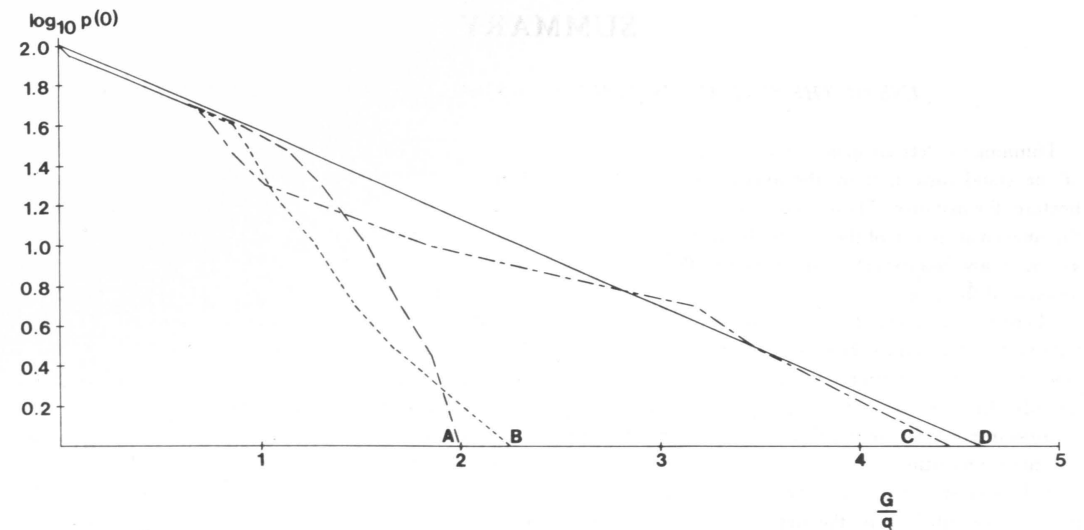
tä virheellisen lepopäätöksen riskirajat ovat samansuuruisia.) Harvennusraja on sitä lähempänä näiden kahden rajan keskiarvoa, mitä lähempänä rajat ovat toisiaan. Ohjelman sisäisesti on määritelty tavoitepuuston tilajärjestys sellaiseksi, että 0-koealoja saa olla 30 % ja että puustoisista koealoista 40 %:lla on yksi puu ja 30 %:lla 2 puuta.

## TARKASTELUA

Edellä on relaskooppikertomina käytetty harvennuksen jälkeistä pohjapinta-alaa. Teknisesti voidaan relaskooppikertoimeksi valita mikä tahansa luku. Tavoitteeksi asetettava koealojen pohjapinta-alajakauma tietenkin muuttuu relaskooppikerrointa muutettaessa. Otantateknisesti tehokkaimman relaskooppikoealan koon löytäminen edellyttäisi laajoja

kokeita. Tähänastiset suppeat kokeilut viittaavat siihen, että tavoitepohjapinta-alan käyttö relaskooppikertomina on verraten tehokasta.

Metsikön tilajärjestyksen kuvaukseen on mahdollista käyttää myös sellaista nollaruutudiagrammia, jossa y-akselilla on nollaruutuprosentti ja x-akselilla relaskooppikoealan



Kuva 1. Relaskooppiperiaatteella laadittuja nollaruutudiagrammeja. A = harventamaton, B = lievästi harvennettu, C = voimakkaasti harvennettu, D = Poisson jakautunut pohjapinta-ala.

Figure 1. Examples of the zero-plot diagrams based on the relascope principle. A = unthinned, B = light thinning, C = heavy thinning, D = Poisson distributed basal area. (G = basal area, m<sup>2</sup>/ha, q = basal area factor).

koko ilmaistuna relaskooppikertoimen käännteislukuna. Diagrammissa tarvittavat tiedot saadaan relaskooppilla, jossa varren pituus on säädettävissä. Mittauspisteessä haetaan varren pituutta säätämällä suurin mahdollinen relaskooppikoeala, jolle ei satu yhtään puuta. Kuvassa 1 on esimerkkejä näin laadituista nollaruutudiagrammeista sekä harventamattomalle että lievästi ja voimakkaasti harvennetulle metsikölle. Vertailusuora osoittaa Poisson-jakauman mukaisen pohjapinta-alajakauman tuottaman diagrammin (Cox 1971). Vaikka nollaruutudiagrammit ovat teoreettisesti mielenkiintoisia ja kuvaavat hyvin puuston tilajärjestyksestä, edellyttää niiden hyödyntäminen käytännön harvennuspäätösten teossa kuitenkin vielä lisätutkimuksia.

Tässä kirjoituksessa kuvattua menetelmää taitavasti soveltaen harvennusleimikon suunnittelija vapautuu nykyisten, usein liian kaavamaisiksi koettujen harvennusmallien kahleista. Menetelmän tieteellisen perustan takaamiseksi olisi kuitenkin selvitettävä, miten tilajärjestys vaikuttaa metsikön tuotukseen ja tuottoon. Vasta tämän jälkeen voidaan ratkaista relaskooppikoealan optimaalinen koko. Samoin olisi selvitettävä, mitkä ovat homogeenisten metsiköiden tavoitepohjapinta-alat tiettyjen metsätaloudellisten tavoitteiden valitessa. Näiden kysymysten ratkaisu onkin jo paljon ongelmallisempaa kuin operationaalisten, helpokäyttöisten harvennusmallien laatiminen.

## KIRJALLISUUS

Cox, F. 1971. Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst- und Holzwirtsch., Reinbeck b. Hamburg 87: 1-184.

Loetsch, F. & Haller, K. E. 1973. Forest Inventory I. München. BLV. 436 s.

Pohtila, E. 1977. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Summary: Accuracy of regeneration surveys. Commun. Inst. Forest. Fenn. 92.2: 1-43.

Vuokila, Y. & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Commun. Inst. Forest. Fenn. 99.2: 1-271.

Total of 4 references

## SUMMARY

### USE OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF TREES IN THINNING MODELS

Thinning models are generally based upon the density of the stand measured by the average basal area per hectare, for instance. These models are handicapped by the uneven structure of the stands. In uneven stands the averages are inadequate indicators for the need and amount of thinning.

There is a long tradition to measure the spatial distribution of the stands. However, most of the work has been in connection with the regeneration surveys; consequently, the measurement of the empty space has been of greatest interest. In the stands to be thinned the thickets are more interesting.

If the tree sizes vary then the fixed size sample plots may not be efficient in the description of the spatial variation. Therefore, small relascope plots were tested in the measurement of the spatial distribution of trees and in the determination of the need and amount of thinning. The basal area after thinning was applied as a provisional relascope factor. The thinning quantity was determined as the difference between the actual distribution of

the relascope plots into basal area classes and the ideal distribution after thinning. If the zero-plot percentage in the actual stand exceeds the zero-plot percentage of the ideal stand after thinning the average basal area per hectare falls below the desired level.

In order to improve the efficiency of the sampling procedure we used sequential sampling. Poisson distribution was applied in the derivation of the decision equations. The appendix gives the respective BASIC-program for a programmable pocket calculator.

Technically, the use of small relascope sample plots in the determination of the spatial distribution of the trees is quite feasible. On the other hand, extensive yield studies and economic analyses are necessary to determine the optimal after thinning spatial distributions. Then, the optimal size of the relascope plots in different types of stands should be examined together with the analysis of the zero-plot diagrams (see Cox 1971) derived from the relascope measurements (Fig. 1).

### Liite - Appendix

```

100 DIM F(10)
110 DIM D(10)
120 X1=0
130 N=0
140 FOR I=1 TO 10
150 D(I)=0
160 F(I)=0
170 NEXT I
180 F(1)=0.3 !DESIRED FREQUENCY FOR 0-TREE SAMPLE PLOTS AFTER THINNING
190 F(2)=0.4 !DESIRED FREQUENCY FOR 1-TREE SAMPLE PLOTS AFTER THINNING
200 F(3)=0.3 !DESIRED FREQUENCY FOR 2-TREE SAMPLE PLOTS AFTER THINNING
210 PRINT "RELASCOPE FACTOR"
220 INPUT Q
230 PRINT "UPPER LIMIT"
240 INPUT H !RISK LIMIT FOR NOTHINNING, M2/HA, E.G. 6
250 PRINT "LOWER LIMIT"
260 INPUT L !RISK LIMIT FOR THINNING, M2/HA, E.G. 4
270 PRINT "RISK"
280 INPUT R !E.G. 0.05
290 C=LOG((1-R)/R)/LOG(H/L)
300 B=(H-L)/LOG(H/L)
310 PRINT "C:";C
320 PRINT "B:";B
330 PRINT "BASAL AREA"
340 INPUT X
350 X1=X1+X
360 I=X+1
370 D(I)=D(I)+1
380 S=0
390 S1=0
400 S2=0
410 N=N+1
420 K1=((N-D(1))/N)/((1-F(1))) !DECREASE IN THE DESIRED BASAL AREA
430 IF K1 < 1 THEN 450 !(COEFFICIENT K1)
440 K1=1 !DUE TO THE 0-PLOTS,
450 FOR I=2 TO 10
460 J=12-I
470 S1=S1+F(J)*N*K1 !INVERSE TOTAL FREQUENCY OF THE DESIRED BASAL AREA
480 S2=S2+D(J) !INVERSE TOTAL FREQUENCY OF THE PRESENT BASAL AREA
490 IF S2<S1 THEN 510
500 S=S+(S2-S1) !THIN THE EXTRA TREES
510 NEXT I
520 P=S*Q/N
530 Y=C/N*Q+B
540 A=-C/N*Q+B
550 X2=X1*Q/N
560 PRINT "N";N !NUMBER SAMPLE PLOTS
570 PRINT "BA";X2 !BASAL AREA, M2/HA
580 PRINT "LL";A !LOWER LIMIT, M2/HA
590 PRINT "R";P !REMOVAL, M2/HA
600 PRINT "UL";Y !UPPER LIMIT, M2/HA
610 IF P>Y THEN 640
620 IF P<A THEN 670
630 GO TO 340
640 PRINT "BA";X2 !BASAL AREA, M2/HA
650 PRINT "REMOVAL";P !THINNING REMOVAL, M2/HA
660 GO TO 690
670 PRINT "BA";X2 !BASAL AREA, M2/HA
680 PRINT "NO THINNING"
690 END

```