

# LANNOITUKSEN JA KASTELUN VAIKUTUS MÄNNIKÖN PINTAKASVILLISUUTEEN

EINO MÄLKÖNEN, SEPPO KELLOMÄKI ja VESA ARO-HEINILÄ

*Summary*

*EFFECT OF FERTILIZATION AND IRRIGATION ON THE GROUND VEGETATION OF A SCOTS PINE STAND*

*Saapunut toimitukselle 11. 3. 1982*

Varttunutta kanervatyypin männikköä lannoitettiin typpirikkaalla y-lannoksella siten, että varhaiskesällä annettu lannoitemäärä vastasi 150 kg typpeä hehtaaria kohti. Koejärjestelyyn kuului lannoituksen lisäksi kastelu siten, että neljän kasvukauden aikana annettiin yhteensä 1200 mm vettä. Jo pelkkä lannoitus voimisti varpujen ja heinien kasvua. Kummallakin käsittelyllä kasvillisuuden peittävyys saavutti huippunsa toisena kasvukautena, jota seurasi nopea peittävyuden aleneminen. Kastelu voimisti hieman lannoitusreaktiota, mutta pelkällä kastelulla ei ollut havaittavaa vaikutusta heinien ja varpujen peittävyuteen. Malliin perustuva tarkastelu osoitti, että lannoitus lisää varpujen, lähinnä kanervan peittävyttä pitkäaikaisesti. Lannoituksella ja kastelulla ei ollut vaikutusta jäkälien ja sammalten peittävyuteen.

## 1. JOHDANTO

Metsikössä puusto ja pintakasvillisuus ovat kiinteässä vuorovaikutuksessa toisiinsa. Puuston kasvun lisäämiseksi suoritettava lannoitus aiheuttaa aina muutoksia myös pintakasvillisuuden rakenteessa ja lajikoostumuksessa (Mälkönen 1965, Reinikainen, 1965, Mälkönen ym. 1980). Tiedetään myös, että pintakasvillisuuden taholta tuleva kilpailu ravinteista voi rajoittaa puuston kasvua (Paavilainen 1974, Sarasto ja Seppälä 1977). Tämän vuoksi pintakasvillisuuden ravinne-ekologian tuntemuksesta saattaa olla hyötyä metsänhoitomenetelmiä kehitettäessä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kenttäkokeelta kerättyyn aineistoon perustuen männikön pintakasvillisuuden reagointia typpilannoitukseen ja kasteluun. Tu-

lostien avulla pyritään päättämään, mikä merkitys ravinteiden ja veden puutteella on pintakasvillisuuden kehityksessä olosuhteissa, joissa nämä tekijät yleensä rajoittavat puuston kasvua.

Tutkimusaineisto on kerätty lannoitus- ja kastelukokeelta, joka on perustettu Eino Mälkösen toimesta. Lisäksi hän on yhdessä Seppo Kellomäen kanssa suunnitellut aineiston analyysin. Tutkimukseen liittyvän mallitustyön on suorittanut Vesa Aro-Heinilä yhdessä Seppo Kellomäen kanssa. Seppo Kellomäki laatii tulosten perusteella alustavan käsikirjoituksen, jonka tekijät ovat yhdessä viimeistelleet. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet vs. prof. Pertti Hari ja dos. Juhani Päivänen. Englanninkieliset tekstit on tarkastanut MMK John Derome, ja kuvat on piirtänyt tutkimussihteeri Hillevi Sinkko. Esitämme lämpimät kiitokset kaikille tämän työn valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille.

## 2. AINEISTO

Tutkimusaineisto kerättiin Tammelan Portaan kylässä sijainneelta kastelu- ja lannoituskokeelta (Kuva 1) (60°44'N, 24°03'E, 130 m m.p.y.). Koe sijaitti luontaisesti syntyneessä puolukkatyyppin männikössä, jonka tär-

keimmät puustotunnukset esitetään taulukossa 1. Kangashumuserroksen keskimääräinen paksuus koealoilla oli 2,9 cm. Kasvupaikka on maalajinsa puolesta soraa, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee.

Maakerros	Sr	KHk	HHk	KHt	HHt	Hs	Sa
				painoprosenttia			
0-30 cm	38,7	16,6	16,9	16,3	5,5	3,8	2,2
30-60 cm	50,6	16,6	15,8	12,9	1,9	1,2	1,0

Taulukko 1. Koemetsikön puustotunnuksia.

Table 1. General tree crop characteristics of the experimental stand.

Ikä, a	
Age	105
Runkoluku, kpl/ha	
Stem number per ha	379
Keskiläpimitta, cm	
Mean diameter	25,5
Keskipituus, m	
Mean height	21,1
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha	
Basal area	19,98
Kuutiomäärä, m <sup>3</sup> /ha	
Volume	209,28

Kivien ottama tila pintamaakerroksessa (0-30 cm) oli 27 %. Koemetsikön pintakastavuuden keskimääräinen koostumus kokeen perustamisvaiheessa käy ilmi taulukosta 2.

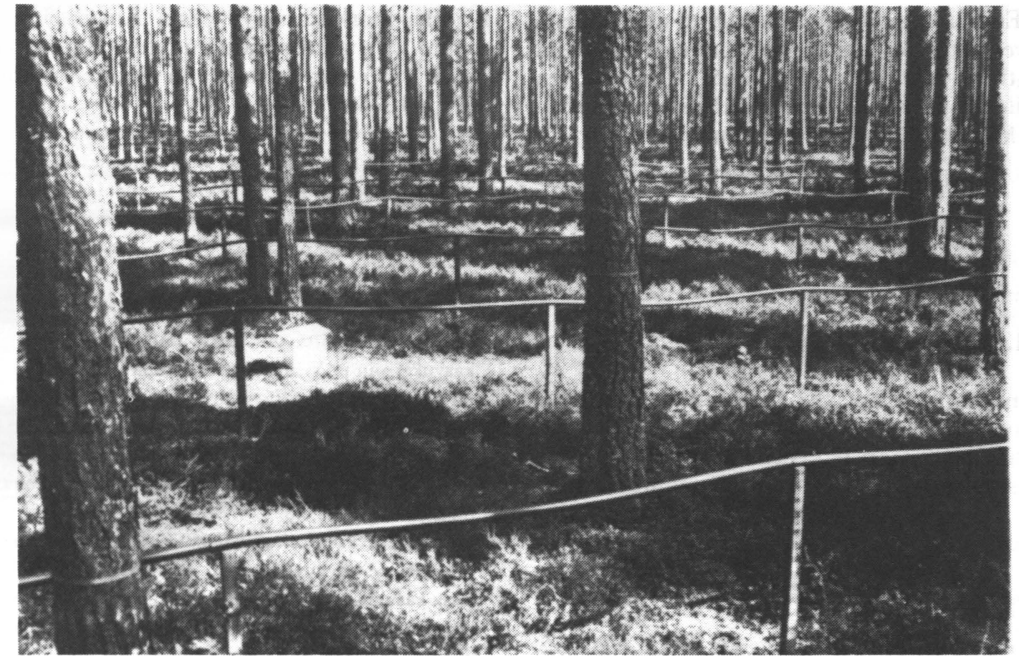
Kokeeseen, joka perustettiin toukokuun lopulla vuonna 1975, kuuluivat kahtena toistona seuraavat käsittelyt.

1. Lannoitus typpirikalla y-lannoksella (20-4,4-8,3) 150 kg N/ha.
2. Kastelu poutakausien aikana kerran viikossa kesäkuun alusta elokuun alkupuolelle (Kuva 2).
3. Lannoitus ja kastelu yhdessä kohtien 1 ja 2 mukaisesti.
4. Käsittelemätön vertailukoala.

Taulukko 2. Kasvilajien keskimääräinen peittävyys vertailukoaloilla heinäkuussa 1975.

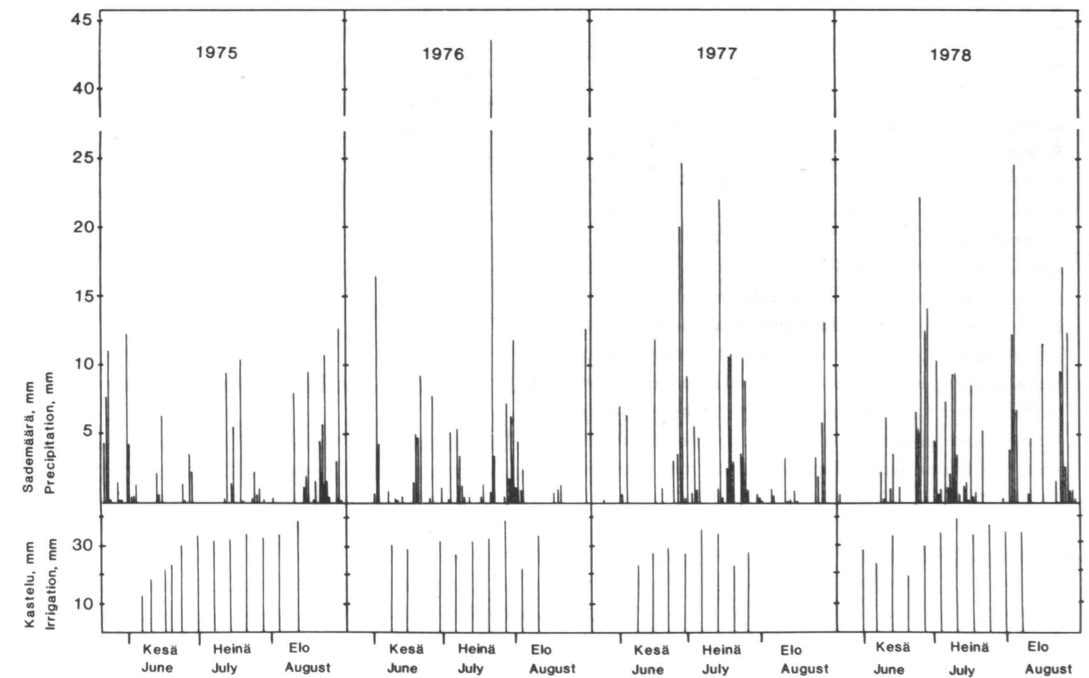
Table 2. Mean coverage and frequency of plant species on control plots in July 1975.

Kasvilaji Plant species	Peittävyys, % Coverage, %	Frekvenssi, % Frequency, %
<b>JÄKÄLÄT - LICHENS</b>		
<i>Cladonia rangiferina</i>	3,8	48
<i>Cladonia silvatica</i>	0,2	15
<i>Cladonia cornuta</i>	△	3
<b>SAMMALET - MOSSES</b>		
<i>Dicranum</i> spp.	13,5	98
<i>Hylacomium splendens</i>	0,4	20
<i>Pleurozium schreberi</i>	77,3	100
<i>Polytrichum</i> spp.	0,8	10
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	1,5	15
<i>Ptilidium ciliare</i>	0,1	3
<b>HEINÄT - GRASSES</b>		
<i>Calamagrostis arundinaceae</i>	0,6	25
<i>Calamagrostis epigeios</i>	0,2	13
<b>RUOHOT - HERBS</b>		
<i>Convallaria majalis</i>	0,8	40
<i>Luzula pilosa</i>	0,1	5
<i>Melampyrum pratense</i>	2,1	35
<i>Rubus saxatilis</i>	0,3	20
<i>Solidago virgaurea</i>	0,1	5
<i>Trientalis europaea</i>	0,2	8
<b>VARVUT - DWARF SHRUBS</b>		
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	1,5	8
<i>Calluna vulgaris</i>	10,6	63
<i>Vaccinium myrtillus</i>	1,3	30
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	11,1	100
<i>Empetrum nigrum</i>	0,7	10



Kuva 1. Yleiskuva koemetsiköstä.

Fig. 1. General picture of the experimental stand.



Kuva 2. Sademäärä ja kastelu koejakson aikana.

Fig. 2. Precipitation and irrigation during the course of the experiment.

Ennen lannoitusta ja kastelun aloittamista inventoitiin koalojen kasvipeite prosentista peittävyysasteikkoa käyttäen. Tätä varten kullekin koalalle sijoitettiin systemaattisesti 20 kpl yhden neliömetrin suuruisia näytealo-

ja, jotka merkittiin pysyvästi. Kasvipeitteen inventointi uusittiin näiltä näytealoilta heinäkuussa 1975 sekä vastaavana aikana vuosina 1977 ja 1978.

### 3. MALLIN LAADINTA

#### 3.1. Mallin perusolettamukset

Lannoituksen ja kastelun aiheuttamien pintakasvillisuuden muutosten analysoimiseksi pyrittiin laatimaan teoreettinen malli, joka kuvaisi aikasarjana tarkasteltavaa ilmiötä. Mallin laadinnassa tehtiin seuraavat oletukset:

1. Kasvien kasvukausi on kolme kuukautta, ja ravinteita kuluu vain tänä aikana.
2. Ravinnelisäys sitoutuu puustoon, pintakasvillisuuteen tai huuhtoutuu nopeudella, joka on verrannollinen jäljellä olevaan ravinnelisäyksen määrään. Maaperän ravinnepitoisuuden dynamiikkaa kuvataan seuraavilla yhtälöillä:

$$\dot{S} = \frac{1}{\tau} S$$

$$S(t_0) = \Delta S$$

missä  $S$  on jäljellä oleva ravinnelisäyksen määrä,  $\dot{S}$  kyseisen ravinteen muutosnopeus,  $\Delta S$  kokeessa annetun ravinteen määrä,  $t_0$  ravinteen lisäyksen ajankohta ja  $\tau$  ravinteen kulumisen aikavakio, jonka suuruudeksi valittiin 0,217. Tällä aikavakiolla vapaa ravinnemäärä vähenee sadanteen osaan alkuperäisestä määrästä kuukauden kuluessa kokeen aloittamisesta.

3. Kukin kasvi tai kasviryhmä sitoo ravinnelisäyksestä jatkuvasti vakio-osuuden maaperän ravinnepitoisuudesta ja kasvipeitteen rakennemuutoksista riippumatta. Sitoutunut tai varastoitunut ravinne kuluu uuden kasvimassan tuottamiseen siten, että se on verrannollinen kasvien tai kasviryhmien peittävyden muutosnopeuteen eli

$$\dot{Z} = k\left(\frac{1}{\tau} S\right) - \frac{1}{Y} \mu X$$

$$Z(t_0) = 0$$

missä  $Z$  on sitoutuneen ravinnelisäyksen määrä,  $\dot{Z}$  ravinteen sitoutumisnopeus,  $k$  tietyn kasvin tai kasviryhmän osuus kokonaissitoutumisesta,  $X$  kasvin tai

kasviryhmän peittävyys,  $\mu$  ravinnelisäykseen liittyvä kasvukerroin ja  $Y$  satokerroin. Tämä ilmaisee kasvin tai kasviryhmän peittävyden muutosnopeuden suhdetta ravinteiden kulumisnopeuteen eli ravinteiden käytön tehokkuutta. Kerrointa  $k$  ei arvioida absoluuttisesti ja sen arvoksi myöhemmissä laskelmissa oletetaan yksi.

4. Ravinnelisäyksen tultua käytetyksi kasvien tai kasviryhmien peittävyys palautuu alkuperäiseen tilaansa, jossa kasvillisuuden uudistuminen ja kuoleminen ovat tasapainossa. Kasvien ja kasviryhmien peittävyden dynamiikkaa voidaan kuvata seuraavilla yhtälöillä:

$$\dot{X} = \mu X - \beta(X - X_0)$$

$$\mu = \hat{\mu} \left( \frac{Z}{K+Z} \right)$$

$$X(t_0) = X_0$$

missä  $\beta$  on uudistumisen ja kuoleamisen suhdetta kuvaava kerroin,  $\mu$  ravinnelisäykseen liittyvä kasvukerroin,  $\hat{\mu}$  maksimaalinen kasvukerroin,  $K$  kyllästymisvakio eli ravinnevaraston määrä, jossa kasvukerroin on puolet maksimaalisesta kasvukertoimesta,  $X_0$  ennen kokeen aloittamista vallinnut kasvin tai kasviryhmän peittävyys eli tasapainopeittävyys ja  $\dot{X}$  peittävyden muutosnopeus.

#### 3.2. Lannoitusvaikutuksen mallitus

Lannoituksen vaikutus pintakasvillisuuteen voidaan mallittaa edellä esitettyjen yhtälöiden avulla seuraavasti:

$$\dot{N} = \frac{1}{\tau} N$$

$$\dot{Z} = \frac{1}{\tau} N - \frac{1}{Y} \mu X$$

$$\dot{X} = \hat{\mu} \left( \frac{Z}{K+Z} \right) X - \beta(X - X_0)$$

$$N(t_0) = \Delta N$$

$$Z(t_0) = 0$$

$$X(t_0) = X_0$$

missä  $N$  merkitsee typpilisäyksen määrää,  $Z$  varastoituneen typen määrää ja  $X$  kasvin tai kasviryhmän peittävyttä. Parametrit  $\hat{\mu}$ ,  $K$ ,  $\beta$  ja  $Y$  estimoidaan aineistosta, kun  $X_0$  tunnetaan sekä asetetaan  $\tau = 0,217$  ja  $\Delta N = 1$ .

#### 3.3. Kasteluvaikutuksen mallitus

Kastelua käsitellään samalla tavalla kasvutekijänä kuin lannoitusta. Koska sadetus on vakioista, oletetaan, että kasvillisuuden vesitilanne saavuttaa stationaarisen tilan välittömästi sadetuksen aloittamisen jälkeen. Tämän vuoksi kasteluun liittyvä kasvukerroin on vakio. Kastelun vaikutus voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\dot{W} = 0$$

$$\dot{Z} = 0$$

$$\dot{X} = \hat{\mu} \left( \frac{Z}{K+Z} \right) X - \beta(X - X_0)$$

$$W(t_0) + \Delta W$$

$$Z(t_0) + Z_1$$

$$X(t_0) + X_0$$

Yhtälöissä  $W$  kuvaa vesimäärän lisäystä maassa,  $Z$  kasveihin varastoitunutta vettä ja  $X$  kasvien tai kasviryhmien peittävyttä. Estimoitavia parametrejä ovat  $\hat{\mu}$ ,  $K$  ja  $\beta$ , kun  $X_0$  tunnetaan. Malliston mukaan kasvien peittävyys asettuu kastelun vaikutuksesta uudelle tasolle, joka voidaan kirjoittaa seuraavasti:

### 4. MALLIN PARAMETRIEN ESTIMOINTI

#### 4.1. Havaintoaineiston analysointi

Aineistoon sisältyi runsaasti lajimuuttujia, sillä koaloilta inventoitiin kaikkiaan 38 kasvivalajia. Näistä muodostettiin viisi lajiryhmää: jäkälät ja sammat (pohjakerros) sekä heinät, ruohot ja varvut (kenttäkerros). Lisäksi em. ryhmiin kuulumattomista lajeista muo-

$$X_1 = \frac{\beta X_0}{\beta - \mu_1}$$

$$\text{missä } \mu_1 \text{ on } \hat{\mu} \left( \frac{Z_1}{K+Z_1} \right).$$

#### 3.4. Lannoituksen ja kastelun yhteisvaikutuksen mallitus

Lannoituksen ja kastelun yhteisvaikutuksen oletetaan muodostuvan kumpaankin kasvutekijään liittyvän kasvukertoimen tulosta. Yhtälöt voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\dot{N} = \frac{1}{\tau} N, \quad N(t_0) = \Delta N$$

$$\dot{Z} = \frac{1}{\tau} N - \frac{1}{Y} \mu X, \quad Z_N(t_0) = 0$$

$$\dot{W} = 0, \quad W(t_0) = \Delta W$$

$$\dot{Z}_W = 0, \quad Z_W(t_0) = Z_1$$

$$\dot{X} = \mu X - \beta(X - X_0)$$

$$\mu = \hat{\mu}_N \left( \frac{Z_N}{K_N + Z_N} \right) \cdot \hat{\mu}_W \left( \frac{Z_W}{K_W + Z_W} \right)$$

Kasvukerroin voidaan vakiokastelun vuoksi kirjoittaa muotoon

$$\mu = \hat{\mu} \left( \frac{Z_N}{K_N + Z_N} \right)$$

Estimoitavia parametreja ovat  $\hat{\mu}$ ,  $\beta$ ,  $K_N$  ja  $Y$ , kun tunnetaan  $X_0$  ja asetetaan  $\tau = 0,217$ ,  $\Delta N = 1$ . Alaindeksi  $N$  viittaa lannoitukseen ja  $W$  kasteluun. Lannoituksen vaikutuksen loppuessa pintakasvillisuuden peittävyys palautuu alkuperäiselle tasolle tulomuotoisen kasvukertoimen vuoksi.

dostettiin vielä oma ryhmänsä. Kullekin koalalle laskettiin näiden lajiryhmien keskimääräiset kehityssarjat. Laskennassa erotettiin varvuista edelleen kaksi ryhmää käsittelemällä edeltäneen peittävyden perusteella: pienen peittävyden ryhmä (peittävyys < 30 %) ja suuren peittävyden ryhmä (peittävyys > 30 %). Muissa kasviryhmissä ei tällaista jakoa

tehty.

Tämän jälkeen laskettiin vertailukoealoilla tapahtuneet kasvipeitteen suhteelliset muutokset koko havaintojakson aikana. Vastavaan muutoksen on oletettu pätevän myös vertailukoealaa vastaaviin käsittelykoealoihin, vaikka käsittelykoealan lähtötaso olisi poikennutkin vertailukoealan lähtötasosta. Vertailukoealoilla tapahtuneen muutoksen perusteella laskettiin tämän jälkeen luonnontekijöistä puhdistetut havaintoarvot, joita käytettiin laskennassa hyväksi. Aineiston käsittelyssä koejärjestelyn toistoja pidettiin erillisinä alueina.

## 4.2. Parametrien estimointi

Kehitetty malli sisältää seuraavat neljä parametria

- $\hat{\mu}$  maksimaalinen kasvukerroin,
- $K_N$  kyllästymisvakio eli se tyypimäärä, jossa kasvukerroin =  $\hat{\mu}/2$ ,
- $\beta$  palautumiskerroin eli kasvuston jäsenen palautumis-

ta alkuperäiseen tasapainotilaan kuvaava parametri, jonka voidaan tulkita myös kuvaavan muiden kasvuston jäsentien taholta tulevaa kilpailua,  
 - Y satokerroin eli kasvun ja ravinvaraston kulutuksen välinen hyötysuhde.

Mallin parametrien estimointi tapahtui iteratiivisesti siten, että parametreille annettiin tietyt lähtöarvot, jonka jälkeen yhtä parametria varioitiin kerrallaan parhaimman ratkaisun löytämiseksi. Valinnan kriteerinä oli havaintoarvojen ja laskettujen arvojen välisen jäännöksen pienimmän neliösumman minimointi. Tarkoitukseen käytettiin myös suhteellisten virheiden pienimmän neliösumman kriteeriä. Edellisessä tapauksessa käyrän sovitusta pystyi seuraamaan hyvin suurilla peittävyysarvoilla, mutta pienillä peittävyysarvoilla suhteellinen virhe luonnollisesti kasvoi. Jälkimmäisessä tapauksessa käyrän sovitusta onnistui hyvin peittävyysarvojen huippuarvoja lukuunottamatta. Vaikka huippuarvoissa tulos absoluuttisesti ei aivan yltänyt ensimmäisen estimointimenetelmän tasoon, tulos on tässäkin tapauksessa suhteellisesti ottaen hyvä.

## 5. TULOKSET

### 5.1. Sammalet ja jäkälät

Kuvissa 3A–3D esitetään sammalten ja jäkälien peittävyyskeskiarvojen havaintoarvojen perusteella inventoitikerroittain erikseen eri koejäsenillä ja alueilla. Niissä tapauksissa, jolloin mallitus onnistui, esitetään myös havaintojoukkoon sovitettuja käyriä. Mallin vastaavat parametrit annetaan taulukossa 3.

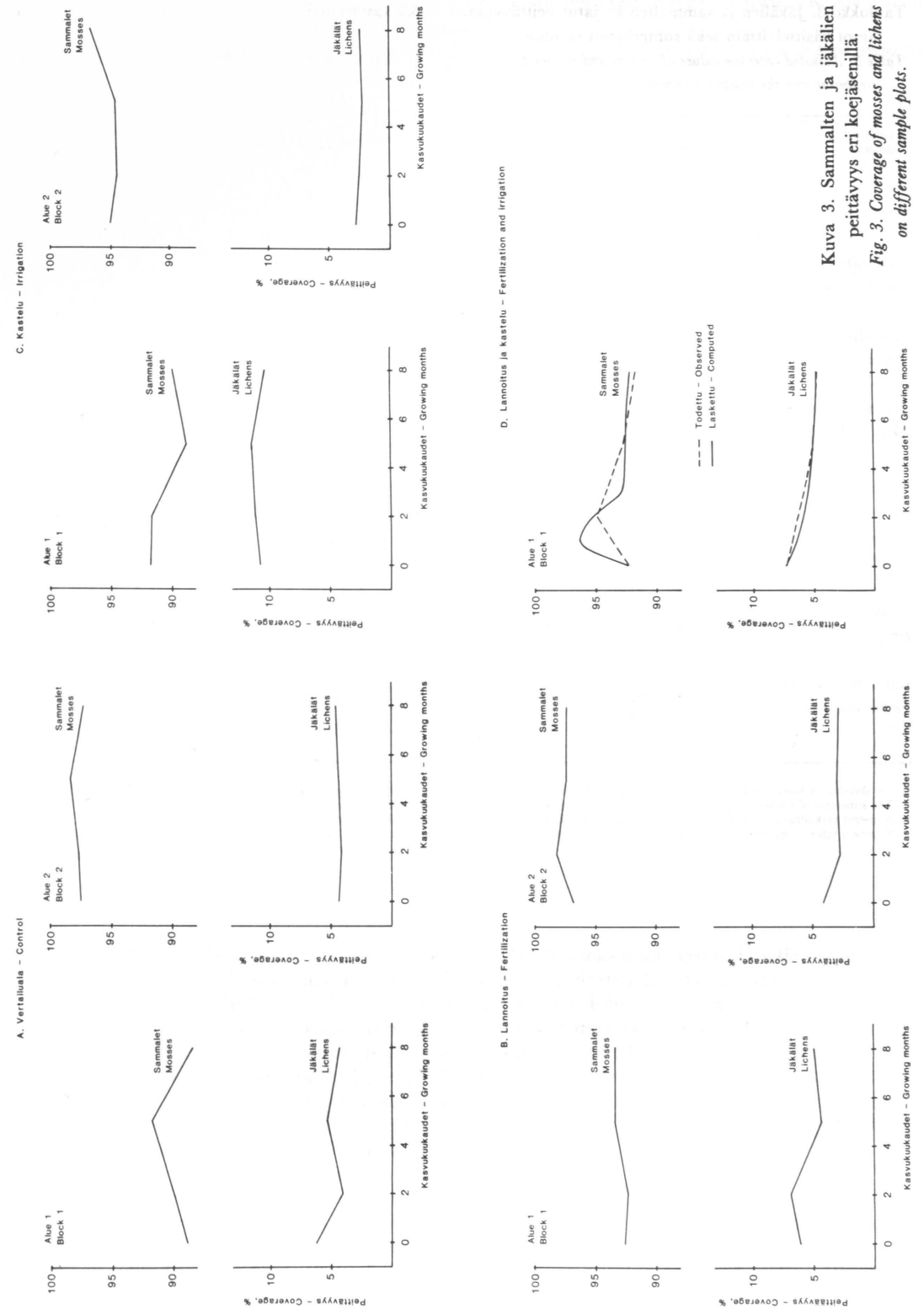
Sammalten ja jäkälien reagointi lannoituksen ja kasteluun oli epämääräistä osoittaen enemmänkin satunnaista vaihtelua kuin selvää reagoimistaipumusta. Ainoastaan alueella 1 oli havaittavissa lievää reagointia, joka vastasi mallin laadinnassa tehtyjä oletuksia. Sinänsä malli sopii näissä tapauksissa hyvin havaintopisteisiin, kuten suhteellinen jäännös  $[(\hat{x}_i - x_i)/x_i]$  taulukossa 3 osoittaa. Sammalten ja jäkälien peittävyysmuutokset jäivät kuitenkin niin vähäisiksi, ettei varsinaisia päätelmiä niiden reagoinnista lannoitukseen ja kasteluun voida tehdä.

### 5.2. Heinät ja ruohot

Lannoitus sekä lannoitus ja kastelu yhdessä lisäsivät voimakkaasti heinien ja ruohojen peittävyttä (Kuvat 4A–4D). Vaikutus oli molemmissa tapauksissa kuitenkin lyhytaikainen, sillä inventointijakson loppupuolella sekä heinien että ruohojen peittävyysarvot olivat jo huomattavasti laskeneet. Mallin oletukset vastaavat varsin hyvin todellista reaktiota, kuten suhteellisen jäännöksen arvot taulukossa 4 osoittavat.

Pelkkä kastelu ei vaikuttanut sanottavasti heinien ja ruohojen peittävyteen. Kastelu ja lannoitus kohottivat sen sijaan heinien peittävyttä enemmän kuin pelkän lannoituksen perusteella oli odotettavissa. Ruohojen suhteen tilanne on päinvastainen, joskaan ero lannoituksen sekä kastelun ja lannoituksen välillä ei ole suuri.

Pitkällä aikavälillä sekä heinien että ruohojen peittävyys näyttää kuitenkin jäävän suu-



Kuva 3. Sammalten ja jäkälien peittävyys eri koejäsenillä.  
 Fig. 3. Coverage of mosses and lichens on different sample plots.



Taulukko 3. Jäkäläen ja sammalten korjatut peittävyysarvot sekä kasviryhmiä vastaavat parametrien  $\hat{\mu}$ , K,  $\beta$  ja Y arvot käsittelyittäin sekä suhteellinen jäännös.

Table 3. Adjusted coverage values of lichens and mosses and the values of parameters  $\hat{\mu}$ , K,  $\beta$  and Y for the groups of plant species per treatment and the relative residual.

Käsittely Treatment	Alue Block	Korjatut mittausarvot <sup>1)</sup> Adjusted				Parametrit Parameters				Suhteellinen jäännös <sup>2)</sup> Relative residual ( $\hat{x}_i - x_i$ )/ $x_i$		
		$x_0$	$x_2$	$x_5$	$x_8$	$\hat{\mu}$	K	$\beta$	Y	Inventointi 2	Inventori 5	8
Jäkälät - Lichens												
Lannoitus Fertilization	1	6,1	6,8	4,4	5,0							
- " -	2	4,2	2,8	3,2	3,0							
Kastelu Irrigation	1	10,8	11,2	11,5	10,4							
- " -	2	2,8	2,5	2,2	2,4							
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig. <sup>1)</sup>	1	7,3	6,4	5,0	4,7	-.13	.05	.2	60	-.07	.01	.01
- " -	2	2,2	3,0	1,0	2,2							
Sammalet - Mosses												
Lannoitus Fertilization <sup>1)</sup>	1	92,6	92,2	93,4	93,3							
- " -	2	97,8	98,2	97,4	97,4							
Kastelu Irrigation	1	91,8	91,6	88,9	90,0							
- " -	2	95,1	94,5	94,6	96,6							
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig. <sup>1)</sup>	1	92,3	94,9	92,8	91,8	.1	.04	.2	15	.00	-.01	.01
- " -	2	94,2	95,9	97,4	93,7	.15	.95	.2	15	-.01	-.03	.01

<sup>1)</sup> x:n alaviitat tarkoittavat kasvujakson pituutta kasvukuukausina kokeen perustamisvaiheessa tapahtuneesta inventoinnista. The subscript of x refers to the length of time in growing months since the initial inventory carried out before treatment.  
<sup>2)</sup> Numerot tarkoittavat inventoinnin ajankohtaa kasvukuukausina kokeen perustamisvaiheen inventoinnista. Numbers refer to the time in growing months elapsed between subsequent inventories and the initial inventory carried out before treatment.

remmaksi pelkän lannoituksen saaneilla aloilla kuin lannoitus- ja kastelukäsittelyn saaneilla. Tämä ilmenee kuvan 5 tuloksista, jotka perustuvat taulukossa 4 esitettyjen parametrien perusteella tehtyihin laskelmiin. Tällöin on oletettu, että parametrien arvot ovat muuttumattomina sovellettavissa myös pitkällä aikavälillä.

### 5.3. Varvut

Varvuilla pelkän kastelun antama reaktio jäi vähäiseksi, joskin niiden peittävyys kasvoi lie-

västi alueella 1 (Kuvat 6A-6D). Tällä toistolla varpujen reagointi oli sopusoinnussa laaditun mallin kanssa, kuten suhteellisen jäännöksen pienuus taulukossa 5 osoittaa. Varpujen alkuperäisten peittävyysarvojen suuruudella ei ollut vaikutusta tulokseen. Sen sijaan alueella 2 käsittelyjen vaikutukset eivät vastanneet laaditun mallin oletuksia.

Pitkähköllä aikavälillä lannoitus sekä lannoitus ja kastelu antavat varsin erilaisen tuloksen, kuten kuvasta 7 havaitaan. Kuvassa esitetyt tulokset on saatu samalla tavalla kuin vastaavat heiniä ja ruohoja koskevat tulokset. Pelkän lannoituksen seurauksena varpujen peittävyys lisääntyi kohtuullisesti verrattuna

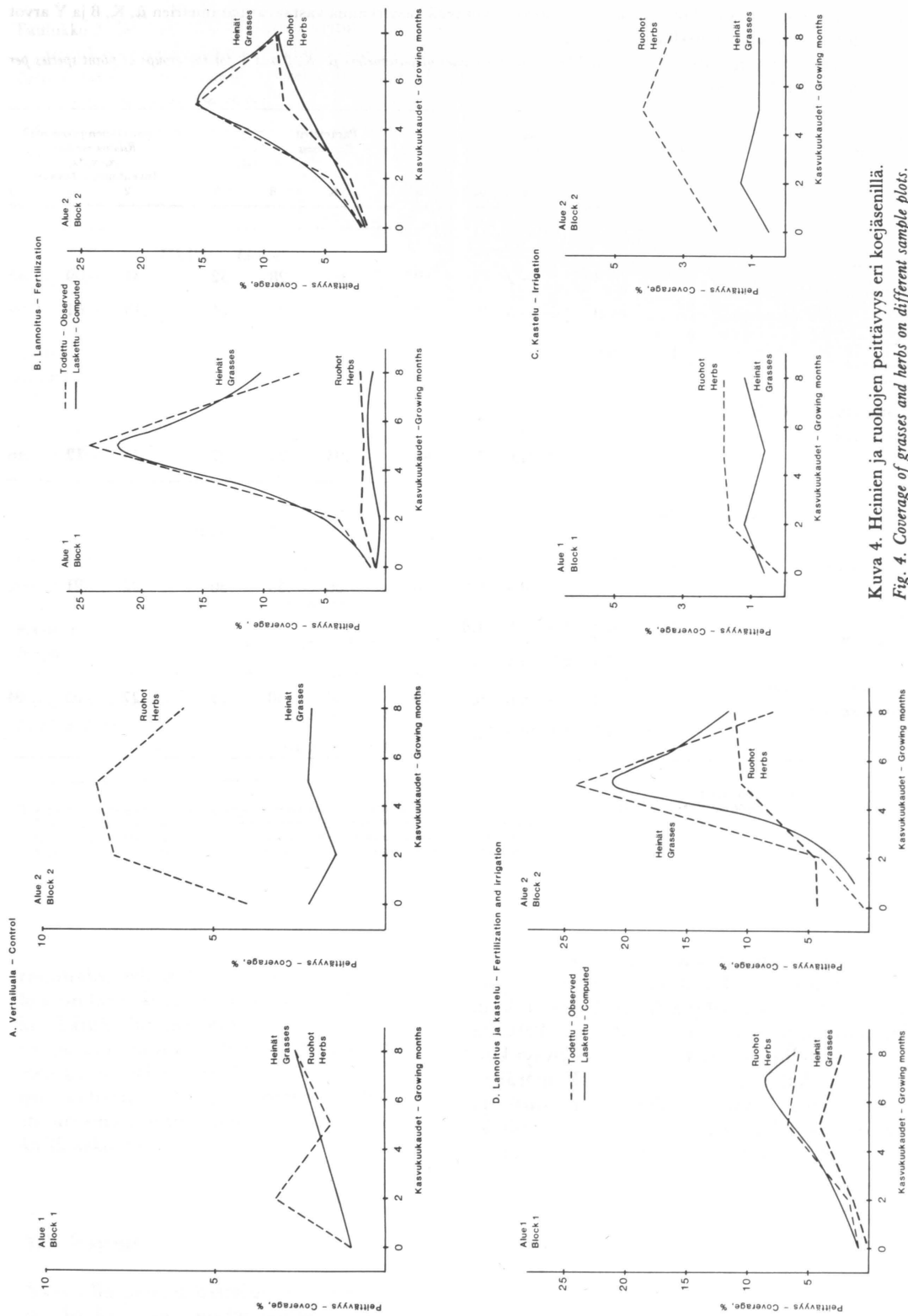
Taulukko 4. Heiniä ja ruohojen korjatut peittävyysarvot sekä kasviryhmiä vastaavat parametrien  $\hat{\mu}$ , K,  $\beta$  ja Y arvot käsittelyittäin sekä suhteellinen jäännös.

Table 4. Adjusted coverage values of grasses and herbs and the values of parameters  $\hat{\mu}$ , K,  $\beta$  and Y for the groups of plant species per treatment and the relative residual.

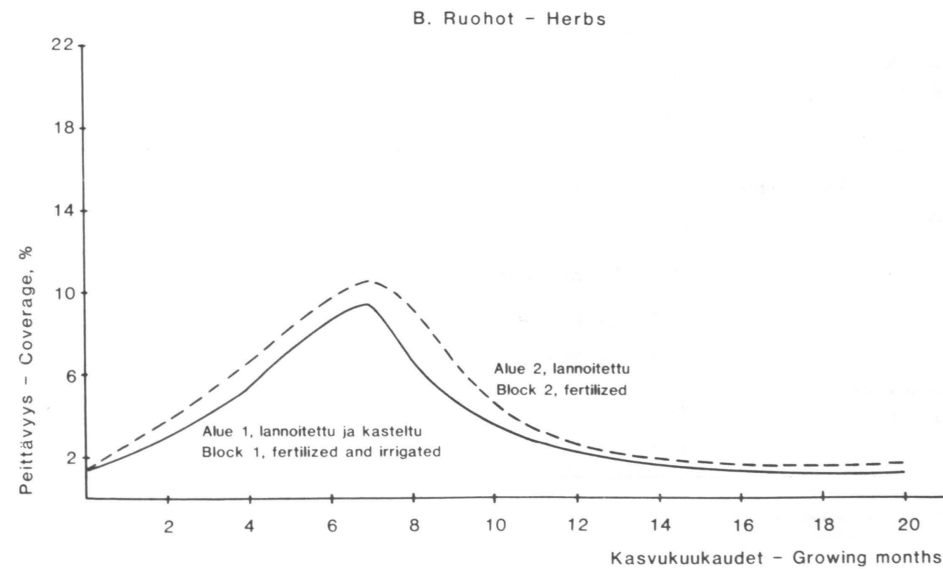
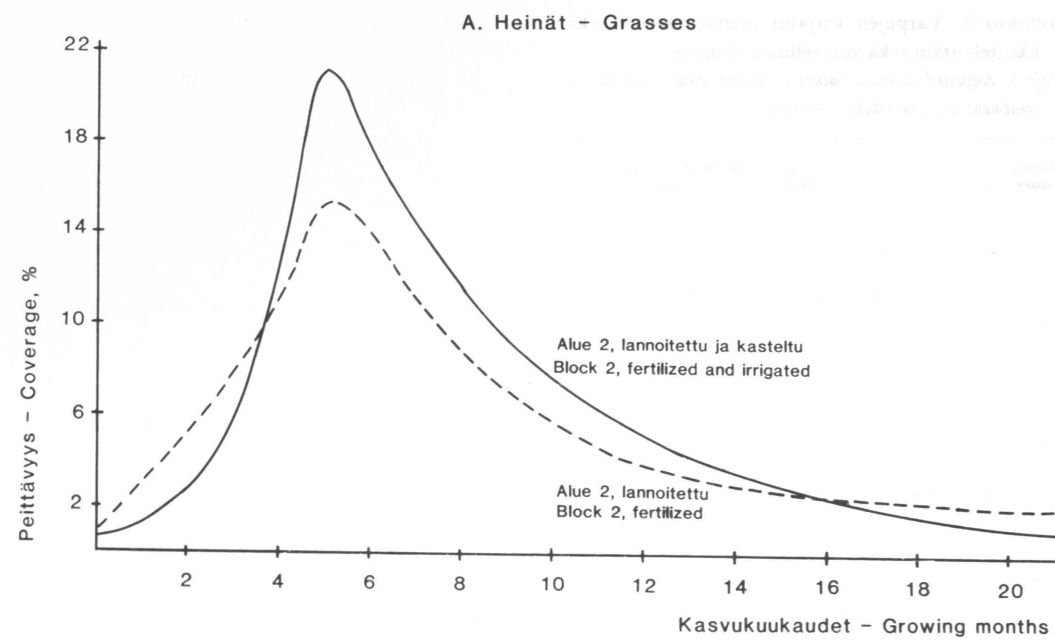
Käsittely Treatment	Alue Block	Korjatut mittausarvot <sup>1)</sup> Adjusted				Parametrit Parameters				Suhteellinen jäännös <sup>2)</sup> Relative residual ( $\hat{x}_i - x_i$ )/ $x_i$		
		$x_0$	$x_2$	$x_5$	$x_8$	$\hat{\mu}$	K	$\beta$	Y	Inventointi 2	Inventori 5	8
Heinät - Grasses												
Lannoitus Fertilization	1	1,3	4,0	24,2	7,1	.89	.05	.28	32	.31	-.09	.45
- " -	2	1,9	4,6	15,5	8,6	.66	.05	.29	24	.13	-.01	-.02
Kastelu Irrigation	1	0,6	1,2	0,6	1,2							
- " -	2	0,6	1,3	0,8	0,7							
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig.	1	0,0	1,3	4,0	2,3							
- " -	2	0,5	4,0	24,0	7,9	.99	.03	.21	27	-.33	-.12	.46
Ruohot - Herbs												
Lannoitus Fertilization	1	0,8	0,4	1,6	1,1							
- " -	2	1,6	2,9	8,4	9,0	.70	.06	.55	30	.22	-.21	-.02
Kastelu Irrigation	1	0,2	1,5	1,8	1,8							
- " -	2	2,0	2,9	4,1	3,4							
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig.	1	0,8	1,8	6,6	6,6	.79	.06	.50	21	.27	-.05	.04
- " -	2	4,3	4,4	10,5	11,1							

<sup>1)</sup> ja <sup>2)</sup> alaviitat kuten taulukossa 3.  
<sup>1)</sup> and <sup>2)</sup> the subscripts as in table 3.

vastaavaan lannoituksen ja kastelun antamaan tulokseen. Lannoitusreaktion huippu saavutettiin huomattavasti myöhemmin kuin lannoitusta ja kastelua käytettäessä. Pelkällä lannoituksella varpujen peittävyys pysyi kuitenkin pitkähkön ajan selvästi alkuperäistä peittävyyttä korkeammalla. Lannoitus- ja kastelukäsittelyä seurannut nopea ja voimakas rehevöityminen taantui myös nopeasti.



Kuva 4. Heinien ja ruohojen peittävyys eri koejäsenillä.  
 Fig. 4. Coverage of grasses and herbs on different sample plots.



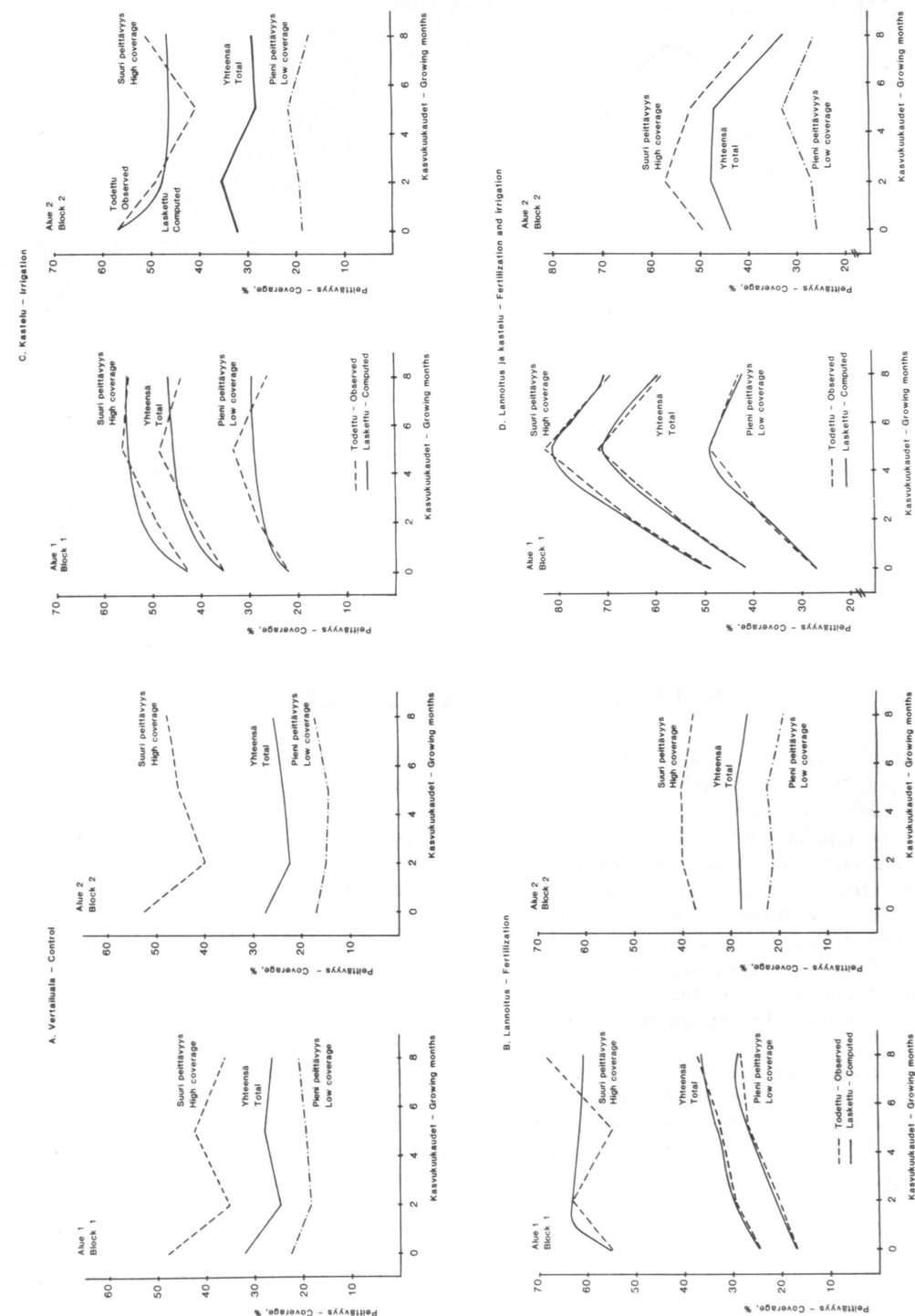
Kuva 5. Heinien ja ruohojen peittävyden laskettu kehitys lannoitetuilla sekä lannoitetuilla ja kastelluilla koejäsenillä.  
 Fig. 5. Predicted development of grass and herb coverage on fertilized and fertilized/irrigated sample plots.

Taulukko 5. Varpujen korjatut peittävyysarvot sekä kasviryhmiä vastaavat parametrien  $\mu$ , K,  $\beta$  ja Y arvot käsittelyittäin sekä suhteellinen jäännös.

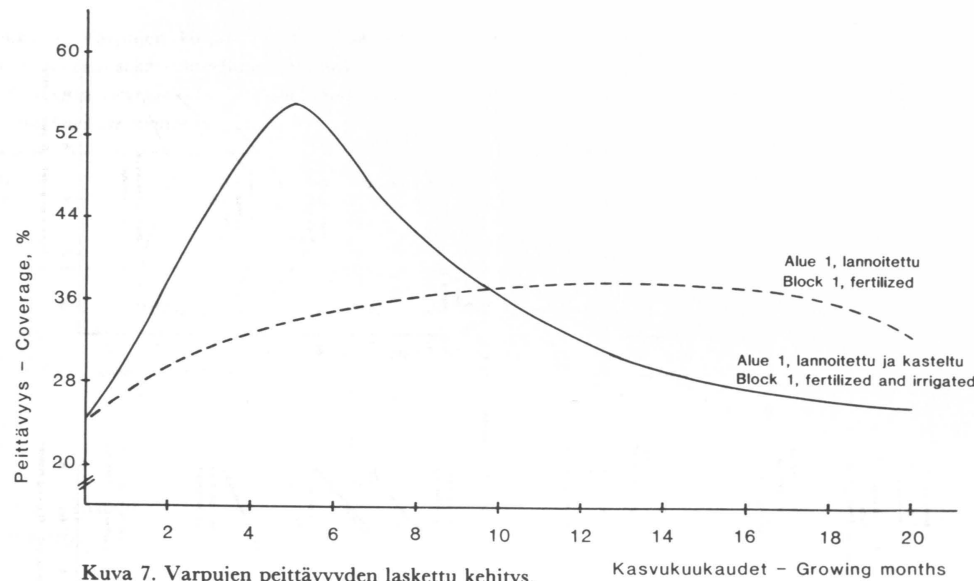
Table 5. Adjusted coverage values of dwarf shrubs and the values of parameters  $\mu$ , K,  $\beta$  and Y for the groups of plant species per treatment and the relative residual.

Käsittely Treatment	Alue Block	Korjatut mittausarvot <sup>1)</sup> Adjusted				Parametrit Parameters			Suhteellinen jäännös <sup>2)</sup> Relative residual ( $\bar{x}_i - x_i$ )/ $x_i$			
		$x_0$	$x_2$	$x_5$	$x_8$	$\mu$	K	$\beta$	Y	Inventointi 2	Inventory 5	8
<b>Varvut, pienet – Dwarf shrubs, low coverage</b>												
Lannoitus Fertilization	1	17	20,5	26,8	28,5	.12	.03	.12	1	.02	-.01	.02
– ” –	2	22,5	21,3	22,5	19							
Kastelu Irrigation	1	22	28,3	33,3	26,5	.19	–	.75	–	.045	0.129	.109
– ” –	2	19	19,5	21,5	17							
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig.	1	27	37,5	48,5	42,5	.19	.05	.12	29	–0.012	–0.000	–0.010
– ” –	2	26	27	32,5	26							
<b>Varvut, isot – Dwarf shrubs, high coverage</b>												
Lannoitus Fertilization	1	55	63	55	68,5							
– ” –	2	27,5	40	40	37,5	.28	.03	.06	9	.00	.12	–.11
Kastelu Irrigation	1	43	49,3	56,3	55,5	.21	–	.95	–	.06	–.02	–.01
– ” –	2	57	49	41	51	–.2	–	.88	–	–.03	.13	–.09
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig.	1	49	65	82,3	69	.17	.05	.13	44	–.002		.021
– ” –	2	49,5	57	52	39							
<b>Varvut yhteensä – Dwarf shrubs, total</b>												
Lannoitus Fertilization	1	24,6	29,5	32,5	37,3	.12	.04	.3	70	–.007	.039	.029
– ” –	2	28	28,3	28,9	26,6							
Kastelu Irrigation	1	35,7	41,5	48,6	44,1	.17	–	.75	–	.03	–.06	–.05
– ” –	2	32,2	35,6	28,3	28,9							
Lannoitus ja kastelu Fertil. and irrig.	1	41,5	55	71,4	58,7	.18	.05	.19	47	.001	–.009	.013
– ” –	2	43,5	47,5	47	32,5							

<sup>1)</sup> ja <sup>2)</sup> alaviitat kuten taulukossa 3.  
<sup>1)</sup> and <sup>2)</sup> the subscripts as in table 3.



Kuva 6. Varpujen peittävyys eri koekärsimillä.  
Fig. 6. Coverage of dwarf shrubs on different sample plots.



Kuva 7. Varpujen peittävyys laskettu kehitys.

Fig. 7. Predicted development of dwarf shrub coverage on different sample plots.

## 6. TULOSTEN TARKASTELUA

Tutkimuksessa on suppean empiirisen aineiston perusteella tarkasteltu puolukkatyyppin männikön pintakasvillisuuden reagoitua lannoitukseen ja kasteluun sekä niiden yhteisvaikutusta. Aineiston suppeuden sekä kasvipeitteen suuren luontaisen vaihtelun vuoksi kasvillisuuden muutoksia pyrittiin kuvaamaan tarkoitukseen laaditun teoreettisen mallin avulla. Analysissä molempia toistoja käsiteltiin erikseen, jolloin mallin pätevyyttä voitiin arvostella erillisten aineistojen perusteella.

Mallin laadinnassa käytettiin ns. Monodin mallia, jota on eri tavoin sovellettu eliöyhteisöjen dynamiikan kuvaamiseen (Gyllenberg ym. 1975, McDonald 1978). Mallin sovelluksessa oletettiin kasvilajien peittävyys lisääntyvän tasaantuvasti käsiteltä seuraavina kasvukausina annettujen ravinteiden sitoutuessa kasvillisuuteen ja maahan tai joutuessa kasvien tavoittamattomiin. Vastavasti oletettiin kasvipeitteen palautuvan alkuperäiseen tasapainoon, kun lannoituksen vaikutus heikkenee. Kastelun vaikutus oletettiin taso-

muutokseksi, kun kasvin vesitilanne saavuttaa stationaarisen tilan kastelun käynnistyttyä. Lannoituksen ja kastelun yhteisvaikutus oletettiin puolestaan erillisvaikutusten kerennaiseksi.

Tulokset osoittavat, että jäkälän ja sammalten reaktio käsittelyyn jäi vähäiseksi (vrt. Aronsson ym. 1977). Heinien ja ruohojen reaktiot lannoitukseen sekä lannoitukseen ja kasteluun olivat voimakkaita ja selväpiirteisiä. Sen sijaan varpujen reagoinnissa oli vaihtelua toistojen kesken (vrt. Berg 1962). Maan vesivarojen lisääntymisestä johtuva heinien ja ruohojen yleistymisen lisää pintakasvillisuuden ravinteiden käyttöä (Koposov 1974). Pelkkä kastelu ei kuitenkaan lisännyt selväpiirteisesti minkään kasviryhmän peittävyttä.

Malliin perustuvat laskelmat osoittavat, ettei pelkkä lannoitus anna yhtä voimakasta reaktiota kuin lannoitus ja kastelu yhdessä. Pelkän lannoituksen vaikutus sen sijaan näyttää kestävämpään kuin lannoituksen ja kastelun, mikä ilmenee erityisesti varpujen

peittävyyskehityksestä. Liiallisesta kastelusta johtuva huuhtoutumisen voimistuminen voi heikentää nopeasti kasvuolosuhteita. Koemetsikön kaltaisella karulla kasvupaikalla lannoituksen tai lannoituksen ja kastelun vaikutuksesta tapahtuu vain tilapäinen lajisuhteiden muutos heinien ja ruohojen hyväksi. Pitkällä aikavälillä varpujen osuus sen sijaan voimistuu ja alue säilyttää alkuperäisen leimansa.

Heinien ja toisalta varpujen reaktiot lannoitukseen sekä lannoitukseen ja kasteluun näyttävät ilmentävän erilaista valmiutta käyttää hyväksi lannoituksessa annettavia ravinteita. Heinillä tämä valmius on suuri, kuten nopea ja voimakas kasvu osoittaa (Bormann ja Likens 1979). Varpujen kasvu sen sijaan ajoittuu pitkähkölle ajanjaksolle samalla kun ravinteiden käyttösuhde on korkeampi. Toisin sanoen heinät kuluttavat nopeasti ravinnelisyksen loppuun, jonka jälkeen kasvusto taantuu. Varvuilla sama ravinnelisyys riittää pitkäaikaiseen kasvuun (Mälkönen ym. 1980).

Vaikkei kanerva olekaan vaateliäs maan ravinteisuuteen nähden, lannoituksen jälkeen se ottaa ravinteita intensiivisesti maasta. Ronkosen ja Kulikovan (1977) mukaan ka-

nervakasvuston maanpäälliseen osaan oli NPK-lannoituksen jälkeen (120 kg N/ha) viiden vuoden kuluessa sitoutunut 16 kg/ha enemmän tyyppiä kuin lannoittamattomalla vertailualueella. Saman ajan kuluessa kanervan peittävyys oli kasvanut 2–3,5-kertaiseksi ja sen maanpäällisten osien massa noin nelinkertaiseksi.

Nyt saadut tulokset osoittavat, että tutkimuksessa koemetsikössä tyyppi rajoitti selvästi pintakasvillisuuden kasvua. Sammalet ja jäkälät eivät kuitenkaan reagoineet mitenkään selväpiirteisesti tehtyihin käsittelyihin. Esimerkiksi Mälkönen ym. (1980) ovat havainneet typpilannoitusten voivan vahingoittaa sammalia, kuten myös eräitä putkilokasvilajeja (Ingestad 1973). Vaikka jäkälän ja sammalten vedensaanti on tunnetusti täysin riippuvainen sadannasta ja kasteen muodostuksesta (Tamm 1953), kastelu ei lisännyt näiden lajien kasvua. Tulokset viittaavat siihen, että kasvipeitteen dominanttilajit – seinäsammalet ja kanervat – ovat hyvin mukautuneet kasvupaikan kosteusolosuhteisiin, ja ainoastaan poikkeuksellisen kuivina kasvukausina veden puute rajoittaa näiden lajien kasvua.

## KIRJALLISUUS

- ARONSSON, A., ELOWSON, S. & INGESTAD, T. 1977. Elimination of water and mineral nutrition as limiting factors in a young Scots pine stand. Swed. Con. For. Proj. Techn. Rep. 10: 1–3.
- BRANTSEG, A. 1962. Irrigation and twig-covering experiments in Scots pine forests. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (7): 1–14.
- BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Disturbance, development and the steady state based on the Hubbard Brook ecosystem study. Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. 253 p.
- GYLLENBERG, A., HÄMÄLÄINEN, R. P. & HALME, A. 1975. Modeling of microbiological systems for process optimization and control. Helsingin tekn. korkeakoulu, systeemitekn. laboratorio, Rep. B 26, 39 p.
- INGESTAD, T. 1973. Mineral nutrient requirements of *Vaccinium vitis-idaea* and *V. myrtillus*. Physiol. Plant. 29: 239–246.
- KOPOSOV, G. F. 1974. Mineralnyj obmen v sisteme počva – napočvennyj pokrov v sosnjakah Leningradskoj oblasti. Summary: Mineral exchange in the system: soil – living soil cover on the pine forests of Leningrad district. Lesovedenie 5: 25–32.
- McDONALD, N. 1978. Time lags in biological model. Berlin, New York. 1978. VI (Lecture notes in biomathematics 27). 112 s.
- MÄLKÖNEN, E. 1965. Lannoituksen vaikutuksesta puolukkatyyppin kankaiden pintakasvillisuuteen. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 94 p.
- , KELLOMÄKI, S. & HOLM, J. 1980. Typpi-, fosfori- ja kalilannoituksen vaikutus kuusikon pintakasvillisuuteen. Summary: Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on ground vegetation in Norway spruce stands. Commun. Inst. For. Fenn. 98 (3): 1–35.
- PAAVILAINEN, E. 1974. Studies on the uptake of fertilizer nitrogen by Scots pine using <sup>15</sup>N labelled urea influence of peat thickness and application time. Seloste: Tutkimuksia turpeen paksuuden ja levitysajankohdan vaikutuksesta männyn lannoitetyypin ottoon. Commun. Inst. For. Fenn. 79(2): 1–47.
- REINIKAINEN, A. 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinland. Commun. Inst. For. Fenn. 59(5): 1–62.
- RONKONEN, N. I. & KULIKOVA, V. K. 1977. Vlijanie udobrenij na razvitie napočvennogo pokrova.



Povyšenie effektivnosti lesovosstanovitelnyh me-  
roprijatij na severe. S. 42-52. Karelskij filial AN  
SSSR. Institut lesa. Petrozavodsk.  
SARASTO, J. & SEPPÄLÄ, K. 1977. The effect of  
dwarf-shrub vegetation suppression on pine  
swamp tree stands. Seloste: Isojen varpujen hä-  
vittämisen vaikutus rämemännikön kehitykseen.

Silva Fenn. 11(1): 30-41.  
TAMM, C. O. 1953. Growth, yield and nutrition in  
carpets of a forest moss (*Hylocomium splendens*).  
Sammanfattning: Tillväxt, produktion och nä-  
ringsekologi i mattor av en skogsmossa. Medd.  
Stat. SkogsforsknInst. 43(1): 1-140.

## SUMMARY

### EFFECT OF FERTILIZATION AND IRRIGATION ON THE GROUND VEGETATION OF A SCOTS PINE STAND

A mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand growing on a site of the *Vaccinium* type was fertilized with nitrogen-rich NPK fertilizer at a level of 150 kg nitrogen per hectare. Some of the sample plots were also irrigated during four growing seasons. The total amount of irrigation during the four growing seasons was 1200 mm. Fertilization alone increased the coverage of grasses and dwarf shrubs. The culmination of the increase occurred during the second growing season after the start of the

treatment. The rapid increase was, however, followed by a rapid decrease in coverage, respectively. The effect of irrigation on the coverage of ground vegetation was not so strong as that of fertilization. It was concluded on the basis of the developed growth model, that the coverage of dwarf shrubs, especially *Calluna vulgaris*, was, however, increased with fertilization alone for a prolonged period. Fertilization and irrigation had no visible effect on the coverage of lichens and mosses.