

SILVA FENNICA

Vol. 5 1971 N:o 4

Sisällys
Contents

- OLAVI LUUKKANEN, PENTTI K. RÄSÄNEN ja PAAVO
YLI-VAKKURI: Neulasten väri myöhemmän kasvun
ja lannoitusvaikutuksen ilmaisijana. 297
*Summary: The use of needle colour in predicting
growth and response to fertilization. 312*
- G. M. KOZUBOV: Elektronimikroskooppisia tutki-
muksia männyn ja kuusen kukka-aiheiden kehi-
tyksestä. 314
*Summary: Electron microscopic studies on the develop-
ment of strobile primordia of Scotch pine and Norway
spruce. 318*
- PEITSA MIKOLA: Puuntuotannon ja metsien virkis-
tyskäytön koordinointi Saksan Liittotasavallassa. 319
*Summary: Integration of timber production and forest
recreation in the German Federal Republic. 334*
- PEKKA RAUTIAINEN: Ympäristö- ja perintötekijöi-
den vaikutus männyn ilmiäsuun Pohjois-Karjalan
piirimetsälautakunnan siemenviljelyksessä Tohma-
järvellä. 336
*Summary: The effect of environmental and genetic
factors on the phenotype of pine in a seed orchard in
North Karelia. 349*
- ANTTI LAPPALAINEN: Metsät ja verot. 350
Summary: Forests and taxation in Finland. 367

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA
SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

Silva Fennica

A QUARTERLY JOURNAL FOR FOREST SCIENCE

PUBLISHER:

THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

OFFICE:

Unioninkatu 40 B, Helsinki 17

EDITOR:

PENTTI KOIVISTO

EDITORIAL BOARD:

OLLI MAKKONEN (Chairman), J. E. ARNKIL (Vice Chairman)
OLAVI HUIKARI, KULLERVO KUUSELA, KUSTAA SEPPÄLÄ and
YRJÖ VUOKILA (Secretary)

Silva Fennica is published quarterly. It is a sequel to the Series, vols. 1 (1926)—120(1966). Its annual subscription price is 20 Finnish marks. The Society of Forestry in Finland also publishes *Acta Forestalia Fennica*. This series appears at irregular intervals since the year 1913 (vol. 1).

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions and exchange inquiries can be addressed to the office.

Silva Fennica

NELJÄNNEUVUOSITTAIN ILMESTYVÄ METSÄTIETEELLINEN AIKA-
KAUSKIRJA

JULKAISIJA:

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

TOIMISTO:

Unioninkatu 40 B, Helsinki 17

TOIMITTAJA:

PENTTI KOIVISTO

TOIMITUSKUNTA:

OLLI MAKKONEN (puheenjohtaja), J. E. ARNKIL (varapuheen-
johtaja), OLAVI HUIKARI, KULLERVO KUUSELA, KUSTAA SEPPÄLÄ,
PÄIVIÖ RIIHINEN ja YRJÖ VUOKILA (sihteeri).

Silva Fennica, joka vuosina 1926—66 ilmestyi sarjajulkaisuna (nide 1—120), on vuoden 1967 alusta lähtien neljännesvuosittain ilmestyvä aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura julkaisee myös *Acta Forestalia Fennica*-sarjaa vuodesta 1913 (nide 1) lähtien.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistolle. *Silva Fennican* tilaushinta on Seuran jäseniltä 10 mk, muilta 20 mk.

SILVA FENNICA VOL. 5, 1971, N:o 4: 297—313

NEULASTEN VÄRI MYÖHEMMÄN KASVUN JA LANNOITUSVAIKUTUKSEN ILMAISIJANA

OLAVI LUUKKANEN, PENTTI K. RÄSÄNEN ja PAAVO YLI-VAKKURI

SUMMARY:

THE USE OF NEEDLE COLOUR IN PREDICTING GROWTH
AND RESPONSE TO FERTILIZATION

Jätetty toimitukselle 10. 11. 1971

Tutkimuksessa on selvitetty värin käyttökelpoisuutta lannoitusvaikutuksen ja yleensä kasvuolosuhteiden ilmaisijana. Koeaineisto käsittää yhteensä 4 000 männyn ja kuusen istutustainta. Värin määrittämisessä on käytetty Munsellin värikarttoja, joiden avulla voidaan todeta värin sävy, vaaleus ja kylläisyys eri asteissaan.

Tutkimuksessa todettiin, että kasvuolosuhteiden erot, olivatpa ne sitten luontaisia tai lannoituksella aikaansaatuja, kuvastuvat varsin herkästi neulasten värissä ja että värieroja voidaan monipuolisesti analysoida värikarttojen luoman numeerisen aineiston varassa. Neulasten värin ja taimien myöhemmän kasvun välillä havaittiin riippuvuutta. Kahdesta kasvuun selvimmän korreloituvasta värisuureesta, vaaleudesta ja kylläisyydestä, vaaleus selitti tulevasta kasvusta yksinään lähes yhtä paljon kuin vaaleus ja kylläisyys yhdessä.

1. JOHDANTO

Monissa ekologisissa, fysiologisissa ja geneettisissä tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota lehtien ja neulasten väriin. Erityisesti selvät puutos- tai toksikaatio-oireet on pantu merkille, mutta myös vähäisempiä vivahteita on pyritty määrittämään. Useimmiten on värin selvittelyssä tyydytty sanallisesti ilmaistuihin, subjektiivisiin luokituksiin. Kvantitatiiviselle ja yksiselitteiselle pohjalle tällaiset havainnot saadaan helpoimmin käyttämällä tiettyihin värijärjestelmiin nojautuvia värikarttoja (WILDE, VOIGT & IYER 1964, s. 165). Julkaisuista mallistoista on metsäbiologisissa tutkimuksissa käytetty ainakin ns. Munsell-tauluja (MUNSELL COLOR CHARTS ... 1952). Yksi värimallisto sisältyy myös suomeksi ilmestyneeseen, värinmittauksen teoriaa helpottajuisessa muodossa esittelevään KORNERUPIN ja WANSCHERIN (1961) julkaisuun. Metsäpuita käsittelevissä tutkimuksissa on näitä taikka vastaavia apuvälineitä toistaiseksi kuitenkin käytetty verrattain vähän. WILDE ja VOIGT (1952) ovat osoittaneet esimerkkejä Munsell-taulujen käyttömahdollisuuksista lannoituskokeissa

ja GERHOLD (1959) on soveltanut samaa värinmittaustapaa metsägeneettisiin tutkimuksiin.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään kasvuolosuhteiden ja etenkin lannoituksen kuvastumista kuusen ja männyn viljelytaimien neulasten väriominaisuuksissa sekä näiden ja myöhemmin tapahtuneen kasvun välistä riippuvuutta. Väriominaisuuksien määrittämisessä on käytetty edellä mainittuja Munsellin värikarttoja.

Tämä selvitys kuuluu osana Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön apurahojen turvin suoritettuihin metsänviljelytutkimuksiin. Tekijöiden kesken työ on jakaantunut seuraavasti: YLI-VAKKURI on antanut aiheen tutkimukseen, ohjannut sitä ja viimeistellyt alustavan käsikirjoituksen painokuntoon, RÄSÄNEN on tehnyt kenttäkokeet ja osallistunut tutkimuksen kokoonpanoon ja LUUKKANEN on käsitellyt valmiin aineiston ja laatinut alustavan käsikirjoituksen sekä osallistunut sen viimeistelyyn.

2. MENETELMÄ JA AINEISTO

Koemateriaalina tässä tutkimuksessa käytettiin Korkeakosken hoitoalueeseen perustetun, päälyspuuston vaikutusta selvittävän viljelykokeen osaa, johon kuului alue mustikkatyypin kuusikosta ja puolukkatyypin männiköstä. Kumpikin alue sisälsi sekä aukean että puustoisin osan; puuston luonnetta kuvaa alempana oleva asetelma. Aukea mustikkatyypin koealue oli kulotettu keväällä 1956. Puustoiset alat hakattiin myöhemmin talvella 1966—67 siten, että puusto poistettiin puolukkatyypin koealalta kokonaan ja mustikkatyypin koealoilta osittain (puolet paljaaksi ja puolet suojuspuuasentoon). Tämä seikka on otettava huomioon myöhemmän kasvun tarkastelussa.

Puustoinen osa koealueesta kesällä 1965

	VT-kangas	MT-kangas
Ikä, v.	100	100
Runkoluku, kpl/ha	288	320—332
Valtapituus, m	20	22—23
Pohjapinta-ala, m ² /ha	12.8	17.6—20.3
Kuutiomäärä kuorineen, m ³ /ha	99	152—213
Kasvu kuoretta, m ³ /ha/v	3.2	2.6— 3.6
Latvuston peittävyys, %	33	38—45

Mustikkatyypin koealueelle istutettiin keväällä 1965 taimikohtaisesti vuorotellen kuusta ja mäntyä, puolukkatyypin aloille pelkästään mäntyä. Vuoden kuluttua viljelystä, 25—27. 5. 1966 (MT-alat) ja 14—15. 6. 1966 (VT-alat), lannoitettiin joka toinen koetaimi siten, että renkaanmuotoiselle alalle n. 10—15 cm:n etäisyydelle taimesta levitettiin 30 g metsän Y-lannosta (12—8—4). Lannoitteen sisältämä typpimäärä tainta kohti oli siten 3.6 g.

Syyskesällä 10.—23. 8. 1966 eli lannoitusvuonna tutkittiin taimien uusimman neulaskerran väriominaisuudet Munsellin malliston avulla. Tämä järjes-

telmä mahdollistaa tarkan värivivahteen numeerisen, yksiselitteisen määrittämyksen ja on lisäksi varsin nopea: mittaaajan totuttua työhön tuloksena oli noin 100 kolmiosaista määrittystä tunnissa.

Munsellin luokitus jaottelee värit kolmiulotteisen, lieriön muotoiseksi ajatellun koordinaatiston avulla. Kirjovärit on sijoitettu ympyrään, joka on jaettu (täydellisessä systeemissä) sataan silmälle yhtä suureen osaan alkaen punaisesta ja päättyen siniseen ja violettiin. Tätä värin sävyä (hue) arvoa, joka määrittämisessä aina ilmaistaan ensimmäisenä, merkitään tavallisesti värien (englannin kielisistä) nimityksistä johdetuin kirjainlyhennyksin, jotka vastaavat väriympyrän kymmenesosan muodostavia sektoreita, sekä lyhennykseen liitetyillä luvuilla (2.5, 5, 7.5 tai 10), jotka vastaavat nyt käytettyjen taulujen pienintä sävyn jakoväliä (2.5 tai 5 Munsell-astetta) eli värikartaston tiettyä sivua.

Sävy-ympyrän keskipisteessä sijaitsevat neutraalit värit, jotka vaihtelevat vain yhden ulottuvuuden mukaan eli harmaan asteina mustasta valkoiseen. Tämä sarja muodostaa Munsellin värijärjestelmän koordinaatiston, »värilieriön», pystyakselin, joka on jaettu silmälle yhtäsuuriin, kokonaisluvuilla 0—10 merkittyihin osiin siten, että valkoinen väri merkitään suurimmalla ja musta pienimmällä luvulla. Kaikki kirjovärit on tämän saman asteikon, value (value), mukaan jaettu osiin, jotka vastaavat harmaan asteisiin verrattuina yhtä suuria tummuus- ja vaaleuseroja. Nyt käytetty mallisto sisälsi eri värisävyistä vaaleusasteita yleensä väliltä 3—8. Vaaleutta osoittava luku merkitään Munsellin järjestelmässä toisena arvona sävyn määrittämyksen jälkeen.

Värin etäisyyttä neutraali-asteikosta eli värin puhtautta, ts. läheisyyttä kirjoväreihin, nimitetään kysessä olevassa järjestelmässä kylläisyys (chroma). Se on jaettu »tarpeen mukaan» asteisiin, joista mallistossa esiintyvät (parillisin kokonaisluvun merkityt) asteet yleensä väliltä 2—10; tällöin on harmaan värin kylläisyydeksi oletettu 0. Värikylläisyyden arvo merkitään kolmantena edellä esitettyjen tunnusten jälkeen. Täydellinen värin määrittäminen saa täten esimerkiksi muodon 7.5 GY 6/6 (tässä tutkimuksessa todettu lannoittamattomien kuusentaimien mediaaniyksilön neulasten väri).

Värin määrittäystä helpottavat Munsellin mallistoon kuuluvat pahvikehykset, joista käytetään mustaa, harmaata tai valkoista (tutkittavan värin vaaleuden mukaan) ja jotka poistavat taustan häiritsevän vaikutuksen sekä jättävät aina samansuuruisen alan näytteestä näkyviin. Myös valaistusoloilla ja katselukulmalla on vaikutusta värinmäärittäykseen. Tässä tutkimuksessa käytettiin koko ajan harmaita kehyksiä, minkä lisäksi yhdenmukaistettiin valaistusolot siten, että määrittämiä ei suoritettu päivisin auringonnousua ja -laskua lähimpien kahden tunnin aikana eikä sateisina päivinä.

Tässä yhteydessä on syytä todeta, että Munsell-järjestelmän käyttö kvantitatiivista muutujaa edellyttävissä tilastollisissa menetelmissä on varauksellista, joskin sitä vähemmän mitä suppeamman asteikon ja mitä harvempien värisuureiden avulla mittauksia suoritetaan. Nyt käytetty Munsell-asteikko ei kolmiulotteisena ole lineaarinen, mistä johtuen esimerkiksi kyläisyydelle (kolmantena määritetylle värisuureelle) laskettu keskiarvo on jossain määrin tul-

Taulukko 1a. Koealoittaiset kolmen väritunnuksen luokkafrekvenssit, keskiarvot ja käsitelyittävien frekvenssijakautumien eron todennäköisyydet. Poikkiviivat jakautumien keskellä osoittavat testeissä käytettyjä luokkarajoja. Koealat 1, 2 ja 3.

Table 1a. Class frequencies, means, and probabilities of distribution differences between treatments for three colour dimensions on each plot. Class divisions used in tests are indicated by horizontal lines across distributions. Plots No. 1, 2, and 3.

Koealan n:o Plot No.			1		2		3		
Koealan selitys Plot explanation			VT, mänty aukea Vaccinium type, pine, clear-cut		VT, mänty, puustoinen Vaccinium type, pine, sheltered		MT, mänty, aukea Myrtillus type, pine, clear-cut		
Käsittely — Treatment			0	Lann. Fertil.	0	Lann. Fertil.	0	Lann. Fertil.	
Taimimäärä, kpl. Total of seedlings			290	291	535	537	123	126	
Sävy — Hue	Frekvenssi Frequency	Munsell- luokka Munsell class	2.5 GY 5 GY	4	1	73	1	9	5
		7.5 GY 12.5 GY ¹⁾	286	290	461	534	114	121	
	Keskiarvo — Mean		7.466	7.491	7.150	7.514	7.317	7.401	
	χ^2 -testi — χ^2 test		— ²⁾		—		X ² = 0.76		
Binomiaalitesti ³⁾ Binomial test ³⁾			P = 0.285		P < 0.001		P = 0.283		
Valeus — Value	Frekvenssi Frequency	Munsell- luokka Munsell class	3 4	1 44	208	9	1 456	8	32
		5	239	80	380	76	97	87	
		6	5	3	116	4	15	7	
		7	1		30		3		
Keskiarvo — Mean		4.866	4.296	5.312	4.155	5.106	4.807		
χ^2 -testi — χ^2 test		X ² = 251.9***		X ² = 755.5***		X ² = 14.05***			
Kylläisyys — Chroma	Frekvenssi Frequency	Munsell- luokka Munsell class	2 4	72	63	7	2 29	15	24
		6	216	227	452	506	97	98	
		8	2	1	70		11	4	
		10			6				
Keskiarvo — Mean		5.517	5.574	6.280	5.877	5.935	5.683		
χ^2 -testi — χ^2 test		—		—		—			
Binomiaalitesti Binomial test			P = 0.553		P < 0.001		P = 0.117		

¹⁾ 12.5 GY = 2.5 G.

²⁾ Merkki osoittaa, että χ^2 -testiä ei ole voitu käyttää jonkin luokan pienuuden vuoksi.

³⁾ The sign is used when small frequencies have rendered the χ^2 test impossible.

³⁾ Binomijakautuman yhtälöstä — From the equation of binomial distribution.

Taulukko 1b. Koealoittaiset kolmen väritunnuksen luokkafrekvenssit, keskiarvot ja käsitelyittävien frekvenssijakautumien eron todennäköisyydet. Poikkiviivat jakautumien keskellä osoittavat testeissä käytettyjä luokkarajoja. Koealat 4, 5 ja 6.

Table 1b. Class frequencies, means, and probabilities of distribution differences between treatments for three colour dimensions on each plot. Class divisions used in tests are indicated by horizontal lines across distributions. Plots No. 4, 5, and 6.

Koealan n:o Plot No.			4		5		6		
Koealan selitys Plot explanation			MT, mänty, puustoinen Myrtillus type, pine, sheltered		MT, kuusi, aukea Myrtillus type, spruce, clear-cut		MT, kuusi, puustoinen Myrtillus type, spruce, sheltered		
Käsittely — Treatment			0	Lann. Fertil.	0	Lann. Fertil.	0	Lann. Fertil.	
Taimimäärä, kpl. Total of seedlings			468	442	130	131	482	473	
Sävy — Hue	Frekvenssi Frequency	Munsell- luokka Munsell class	2.5 GY 5 GY	4		34	1	1	11
		7.5 GY 12.5 GY ¹⁾	464	442	69	113	366	442	
	Keskiarvo — Mean		7.479	7.500	5.789	7.252	6.893	7.653	
	χ^2 -testi — χ^2 test		— ²⁾		X ² = 33.46***		X ² = 95.99***		
Binomiaalitesti ³⁾ Binomial test ³⁾			P = 0.142		P < 0.001		P < 0.001		
Valeus — Value	Frekvenssi Frequency	Munsell- luokka Munsell class	3 4	1 124	379	5	3	14	134
		5	327	59	27	70	152	288	
		6	15	3	36	40	227	46	
		7	2		47	18	89	5	
Keskiarvo — Mean		4.776	4.145	6.308	5.557	5.811	4.835		
χ^2 -testi — χ^2 test		X ² = 323.0***		X ² = 24.98***		X ² = 300.4***			
Kylläisyys — Chroma	Frekvenssi Frequency	Munsell- luokka Munsell class	2 4	8	7	3 33	2 74	83	12
		6	448	435	48	33	209	151	
		8	9		43	20	170	15	
		10	3		3	2	20	3	
Keskiarvo — Mean		6.030	5.968	6.154	5.176	6.527	4.753		
χ^2 -testi — χ^2 test		—		X ² = 23.27***		X ² = 217.3***			
Binomiaalitesti Binomial test			P = 0.003		P < 0.001		P < 0.001		

¹⁾ 12.5 GY = 2.5 G.

²⁾ Merkki osoittaa, että χ^2 -testiä ei ole voitu käyttää jonkin luokan pienuuden vuoksi.

³⁾ The sign is used when small frequencies have rendered the χ^2 test impossible.

³⁾ Binomijakautuman yhtälöstä — From the equation of binomial distribution.

kinnallinen. Värihavainnon ja vastaavan matemaattisen tulkinan yhdenmukaistamisen vaikeuksia on W. D. WRIGHT (1964) laajalti käsitellyt ja todennut samalla (s. 184), että Munsell-järjestelmässä esim. vaaleuden yksikkö vastaa keskimäärin kahta kylläisyyden ja kolmea sävyn yksikköä.

Psykofyysisessä mielessä täysin tasavälistä kolmiulotteista mallistoa ei ole vielä onnistuttu kehittämään, mutta kaikille Munsell-näytteille on laadittu kansainvälisen standardin, ns. CIE-järjestelmän numeeriset vastinarvot (WYSZECKI ja STILES 1967, s. 478). Tarkemmassa värianalyysissä voidaan Munsell-arvot esimerkiksi tietokoneohjelman avulla muuntaa CIE-arvoiksi ja edelleen tiettyjen muuntokaavojen avulla lineaarisesti jakaantuviksi arvoiksi (W. D. WRIGHT 1964, s. 189).

Laskennallisesti eräissä tapauksissa epävarman silmävaraisen määrityksen sijasta on toisinaan turvauduttu laitteisiin, jotka suoraan mittaavat kasvinäytteistä heijastuvan tietyn aaltopituuden valon määrän (BENEDICT ja SWIDLER 1961). Menetelmän käytäntöön soveltamista ei liene kokeiltu havupuilla. Ilmeisesti fotometriset mittaukset neulasista ovat kuitenkin helpoimmin tehtävissä neulasuutteista, jolloin tietenkin on jo kysymyksessä huomattavasti hitaampi menetelmä kuin värimalliston käyttö. Neulasuutteiden mittaus on toisaalta metsäpuidenkin tutkimuksessa jo vakiintunut ja hyvin tunnettu menetelmä (vrt. esim. VIRO 1959, 1965; LUUKKANEN 1969).

Ensimmäiseksi tulokseksi tämän tutkimuksen väri-inventoinnit antoivat sävyn, vaaleuden ja kylläisyyden frekvenssijakautumat koealoittain ja käsitelyittäin. Näistä voitiin suoraan laskea χ^2 -testin (SENEDECOR 1967) avulla lannoituksen aiheuttaman värieron merkitsevyys; taulukosta 1 ilmenevällä tavalla yhdistettiin kunkin lannoittamattomien taimien jakautuman arvot kahdeksi luokaksi, joita verrattiin vastaaviin lannoitettujen taimien luokkiin. Pieniä (alle viisi havaintoa käsittäviä) yhdistettyjä luokkia pyrittiin välttämään. Milloin vertailu kuitenkin oli suoritettava pienten frekvenssien kesken, käytettiin apuna binomijakautumaan (SENEDECOR 1967) perustuvaa todennäköisyyden laskukaavaa. Värieroja voitiin tämän jälkeen verrata kahden seuraavan vuoden pituuskasvuhavaintoihin, joista lannoituksen vaikutus oli erikseen tutkittu t-testillä. Tarkemmassa värin ja myöhemmän kasvun välisen riippuvuuden selvittelyssä käytettiin regressioanalyysiä. Testien luotettavuusraajat on ilmaistu seuraavasti:

- * P < 0.05 Ero merkitsevä
 ** P < 0.01 } Ero erittäin merkitsevä
 *** P < 0.001 }

3. TULOKSET

31. NEULASTEN VÄRI JA TAIMIEN KASVU

Koetaimien neulasten värisuureiden keskiarvot ilmenevät taulukosta 2, johon on lisäksi koottu havainnot kahtena värinmittausta seuraavana vuonna todetusta taimien pituuskasvusta ja kuolleisuudesta. Väriominaisuuksien ja kasvun välisen riippuvuussuhteen selvittämiseksi kultakin koealalta arvottiin 20 lannoittamatonta ja yhtä monta lannoitettua tainta; näistä mitattujen keski-

Taulukko 2. Taimien neulasten värin keskiarvot Munsell-yksiköissä syksyllä 1966 sekä vuotuinen pituuskasvu ja kuolleisuus kahden seuraavan vuoden aikana koealoittain ja käsitelyittäin. Lannoitus suoritettiin keväällä 1966.

Table 2. Means of needle colour of seedlings (in Munsell units) in autumn 1966, with annual height increment and mortality during two subsequent years for each plot and treatment, respectively (MT = Myrtillus site type, VT = Vaccinium site type). Fertilizer application in spring 1966.

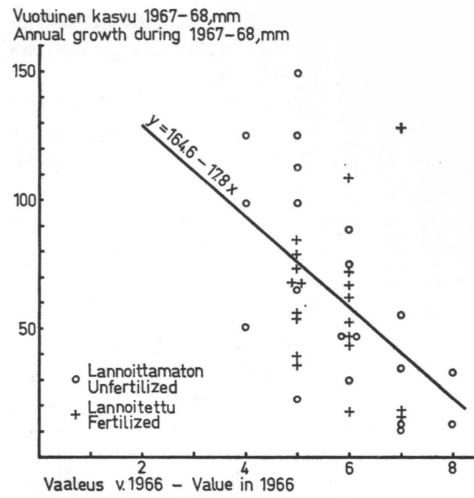
Alan n:o Plot No.	Metsä- tyyppi Site type	Päälly- puusto Mature stand	Koe- taimet Seed- lings	Käsit- tely Treat- ment	Neulasten väri v. 1966 ¹⁾ Needle colour in 1966 ¹⁾			Pituuskasvu, mm Increment, mm		Kuollei- suus, % Mortal- ity, %
					GY-sävy GY hue	Vaaleus Value	Kylläi- syy- syys Chroma	1967	1968	
1	VT	Aukea Clear-cut	Mänty Pine	0 Lann. Fert.	7.47 7.49	4.87 4.30	5.52 5.57	197.4 236.3	203.6 205.5	5.6 2.8
2	VT	Puustoinen Sheltered	Mänty Pine	0 Lann. Fert.	7.15 7.51	5.31 4.16	6.28 5.88	49.4 80.1***	73.2 97.1*	21.7 18.5
3	MT	Aukea Clear-cut	Mänty Pine	0 Lann. Fert.	7.32 7.40	5.11 4.80	5.94 5.68	136.3 155.3*	155.1 162.7	0.0 1.6
4	MT	Puustoinen Sheltered	Mänty Pine	0 Lann. Fert.	7.48 7.50	4.78 4.15	6.03 5.97	59.4 66.2**	68.3 77.9**	24.6 24.8
5	MT	Aukea Clear-cut	Kuusi Spruce	0 Lann. Fert.	5.79 7.25	6.31 5.56	6.15 5.18	49.5 82.4***	54.0 61.3	0.0 0.8
6	MT	Puustoinen Sheltered	Kuusi Spruce	0 Lann. Fert.	6.89 7.65	5.81 4.84	6.53 4.75	31.2 51.0***	43.0 46.1	10.6 11.2

¹⁾ Lannoitusvaikutuksen merkitsevyys ilmenee taulukosta 1.

¹⁾ Significance of fertilization effect is shown in Table 1.

määristen vuotuisten kasvuhavaintojen avulla tarkasteltiin graafisesti erikseen kunkin värisuureen ja kasvun välistä korrelaatiota.

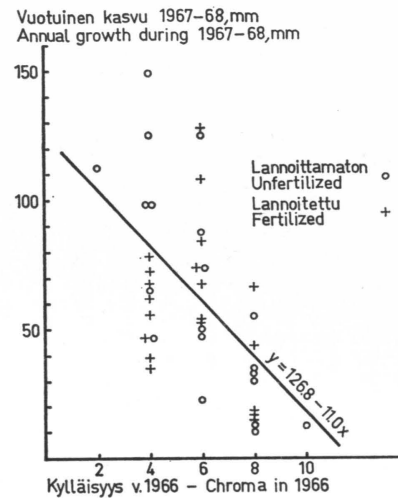
Värin sävyn ja taimien pituuskasvun välinen riippuvuus osoittautui etenkin männyn taimilla heikommaksi kuin vaaleuden taikka kylläisyyden ja toisaalta kasvun välinen korrelaatio. Varsinaisesta regressioanalyysistä jätettiin tämän vuoksi pois värisävy, jolloin riippumattomien muuttujien lukumäärä jäi korkeintaan kahdeksi. Graafisen tarkastelun perusteella katsottiin oikeutetuksi saman koealan lannoittamattomien ja lannoitettujen taimien yhdistäminen, minkä jälkeen laskettiin koealoittain lineaariset kasvun regressiot värin suhteen;



Kuva 1 — Fig. 1

Kuva 1. Vuotuisen pituuskasvun (v. 1967–68) regressio syksyllä 1966 Munsell-yksikössä mitatun neulasten vaaleuden suhteen koealalla n:o 5 (kuusi, avoala, MT).

Fig. 1. Regression of annual height increment during 1967–68 on Munsell value of needle colour in autumn 1966. Plot No. 5 (spruce, clear-cut, Myrtillus site type).



Kuva 2 — Fig. 2

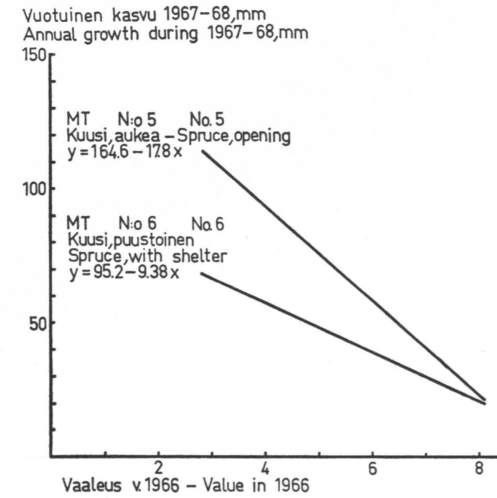
Kuva 2. Vuotuisen pituuskasvun (v. 1967–68) regressio syksyllä 1966 Munsell-yksikössä mitatun neulasten värikylläisyyden suhteen koealalla n:o 5 (kuusi, avoala, MT).

Fig. 2. Regression of annual height increment during 1967–68 on Munsell chroma of needle colour in autumn 1966. Plot No. 5 (spruce, clear-cut, Myrtillus site type).

selittävinä muuttujina kokeiltiin vaaleutta ja kylläisyyttä sekä erikseen että yhdessä. Kuvista 1 ja 2 ilmenevät yhden koealan (n:o 5, aukealle istutettu kuusi) regressioanalyysiin käytetyt havainnot. Kuvista käy ilmi, että lannoittamattomien ja lannoitettujen taimien kasvun regressiot värin suhteen ovat samankaltaisia, mutta että jokin muu kuin nyt käytetty lineaarinen regressio ehkä voisi selittää vaihtelun paremmin.

Regressioanalyysin tulokset kaikilta koealoilta on koottu taulukkoon 3. Regressioyhtälöiden lisäksi taulukosta ilmenevät värin vaaleuden ja kylläisyyden ja kasvun välisen riippuvuuden korrelaatiokerroimet sekä mainittujen värisuureiden ja kasvun välisen riippuvuuden yhteiskorrelaatiokerroin (esim. SNEDECOR 1967, s. 402). Yhden selittävän muuttujan sisältävien regressioyhtälöiden ja molemmat värisuuret sisältävän regressiotason yhtälön selityskaste eli regression poikkeavuus nolasta on testattu ja osoitettu taulukossa korrelaatiokertoimiin liitetyillä merkitsevyytunnusilla. Yhteiskorrelaatiokerroin on testattu F-testillä varianssianalyysissä. Kummankin värisuureen totaalisen eli yksin aikaansaaman regression merkitsevyys on testattu suoraan korrelaatiokertoimien avulla t-testillä (SNEDECOR 1967, s. 184).

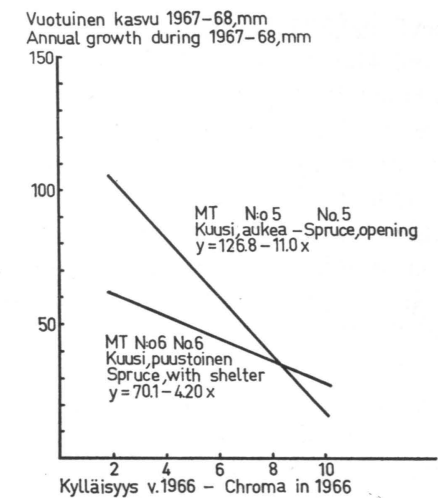
Neulasten väri vaihtelun todettiin selittävän enintään kolmasosan kahden seuraavan vuoden kasvun vaihtelusta. Regressio oli alle 5 %:n riskillä merkit-



Kuva 3 — Fig. 3

Kuva 3. Vuotuisen pituuskasvun (v. 1967–68) regressio syksyllä 1966 Munsell-yksiköissä mitatun neulasten vaaleuden suhteen molemmilla kuusikoealoilla (alat n:o 5 ja 6).

Fig. 3. Regression of annual height increment during 1967–68 on Munsell value of needle colour in autumn 1966 on both sample plots for spruce (No. 5 and 6).



Kuva 4 — Fig. 4

Kuva 4. Vuotuisen pituuskasvun (v. 1967–68) regressio syksyllä 1966 Munsell-yksiköissä mitatun neulasten värikylläisyyden suhteen molemmilla kuusikoealoilla (alat n:o 5 ja 6).

Fig. 4. Regression of annual height increment during 1967–68 on Munsell chroma of needle colour in autumn 1966 on both sample plots for spruce (No. 5 and 6).

Taulukko 3. Yhdistelmä syksyllä 1966 Munsell-yksiköissä mitatun neulasten värin ja v. 1967–68 mitatun keskimääräisen vuotuisen pituuskasvun (y; mm) välisen riippuvuuden tunnuksista.
Table 3. Summarized data of relationship between needle colour in autumn 1966 and mean annual height increment (y; in mm.) during 1967–68.

Alan n:o Plot No.	Selittävät muuttujat — Independent variables					
	Värin vaaleus Colour value		Värin kylläisyys Colour chroma		Värin vaaleus (x ₁) ja kylläisyys (x ₂) Colour value (x ₁) and chroma (x ₂)	
	Regr.-yhtälö Reg. equation	r	Regr.-yhtälö Reg. equation	r	Regressioyhtälö Regression equation	R
1	y = 355.3 - 30.4x	-0.21	y = 322.9 - 20.5x	-0.26	y = 665.0 - 57.3x ₁ - 34.3x ₂	0.45*
2	y = 186.5 - 23.0x	-0.46**	y = 55.9 + 3.45x	0.01	y = 151.3 - 31.8x ₁ + 13.0x ₂	0.58***
3	y = 234.5 - 16.5x	-0.19	y = 117.1 + 6.41x	0.11	y = 198.2 - 16.1x ₁ + 5.87x ₂	0.22
4	y = 92.4 - 6.00x	-0.11	y = 46.4 + 3.25x	0.06	y = 67.9 - 7.27x ₁ + 5.07x ₂	0.14
5	y = 164.6 - 17.8x	-0.50**	y = 126.8 - 11.0x	-0.57***	y = 151.8 - 7.22x ₁ - 8.23x ₂	0.58***
6	y = 95.2 - 9.38x	-0.44**	y = 70.1 - 4.20x	-0.38*	y = 92.8 - 7.41x ₁ - 1.40x ₂	0.45*

sevä neljällä koealalla: sekä aukealla että puustoisella kuusialalla ja lisäksi puolukkatyyppin mäntykoealoilla. Kuten taulukosta 3 ilmenee, kahden selittävän muuttujan (värin vaaleuden ja kylläisyyden) yhteisvaikutuksen avulla ei kasvun vaihtelusta pystytty selittämään, koealaa n:o 1 lukuun ottamatta, oleellisesti enempää kuin yksinään neulasten värin vaaleuden perusteella. Kuusen taimilla myös värin kylläisyys aikaansai jokseenkin yhtä merkitsevän regression kuin vaaleus taikka molemmat selittävät muuttajat yhdessä. Toisen riippumattoman muuttujan tuoman selityslisän vähäisyys saattoi johtua ilmeisestä värin vaaleuden ja kylläisyyden välisestä lievistä positiivisesta korrelaatiosta (vrt. W. D. WRIGHT 1964, s. 184).

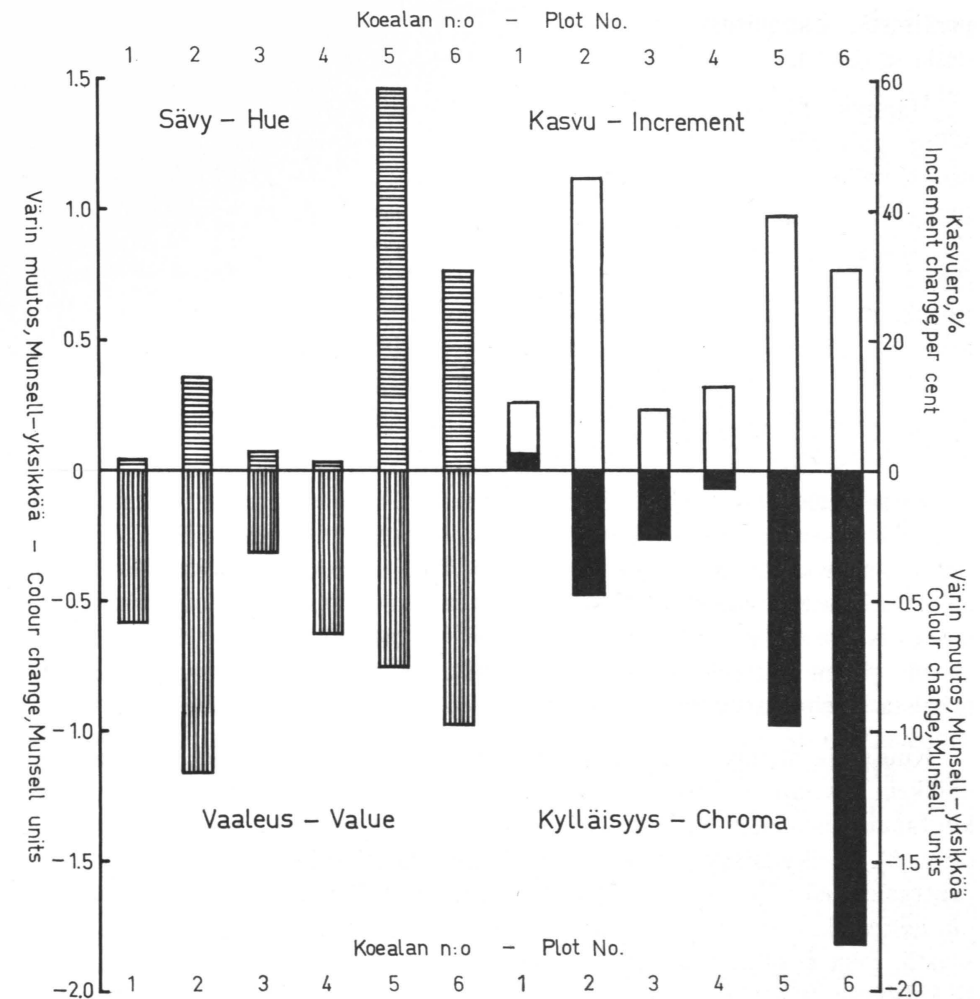
Kuvissa 3 ja 4 on esitetty kuusella merkitseviksi todettujen, yhden selittävän muuttujan sisältävien regressioiden graafiset kuvaajat (vuotuisen kasvun regressiot värin kylläisyyden ja vaaleuden suhteen). Kuusen osalta vertailtiin aukealta ja puustoiselta koealalla saatujen lukusarjojen regressiokertoimia keskenään; värin kylläisyyden suhteen lasketuissa regressioissa voitiin todeta kertoimien merkitsevästi (riski $P < 0.05$) poikkeavan toisistaan, kun taas vaaleuden suhteen lasketuissa regressioissa tällaista eroa ei voitu osoittaa.

Taulukosta 2 ilmenee myöskin taimien kuolleisuus nyt tutkittuna ajanjaksona eli syksystä 1966 syksyyn 1968. Mitään riippuvuutta kolmen eri värisuureen ja taimien kuolleisuuden välillä ei voitu todeta. Tähän vaikutti luonnollisesti se, että koko koealaa koskevalle keskimääräiselle kuolleisuudsluvulle ei saatu toistohavaintoja.

32. NEULASTEN VÄRINVAIHTELUN SYYT

321. Lannoituksen vaikutus neulasten väriin

Kuten menetelmää koskevassa luvussa on edellä todettu, lannoituksen vaikutus neulasten väriin testattiin taulukosta 1 ilmenevällä tavalla vertailemalla värisuureiden jakautumia. Havainnollisemman, joskaan tilastollisesti ei yhtä luotettavan kuvan lannoituksen vaikutuksesta antavat sävyn, vaaleuden ja kylläisyyden keskiarvot, jotka on koottu yhdessä kasvuhavaintojen kanssa taulukkoon 2. Kuvassa 5 on graafisesti ilmaistu lannoituksen aiheuttama värin muutos Munsell-yksikköinä kunkin värisuureen osalta samoin kuin kasvun prosentuaalinen lisäys kussakin tapauksessa. Sävyn asteikko tässä kuvassa ilmaisee »kellanvihreyttä», jolla Munsellin järjestelmässä tarkoitetaan samalla vihreän sävyn voimistumista ja keltaisen heikkenemistä lukuarvon suuretessa, mikä tulos kaikissa tapauksissa olikin lannoituksen vaikutuksena todettavissa. Värin vaaleusarvo puolestaan väheni lannoituksen vaikutuksesta, ts. neulasten väri tummeni, mikä sinänsä oli odotettavissa. Värin kylläisyys väheni yhtä lukuunottamatta kaikilla koealoilla.



Kuva 5. Lannoituksen vaikutus neulasten värin sävyyn, vaaleuteen ja kylläisyyteen (Munsell-yksikköinä) lannoitusvuoden syksyllä sekä keskimääräiseen vuotuisen pituuskasvuun (%) toisen ja kolmannen lannoitusta seuranneen vuoden aikana kullakin koealalla.

Fig. 5. Effect of fertilization on hue, value, and chroma of needle colour (in Munsell units) in autumn of application year and on mean annual height increment (per cent) during second and third year after application.

Selvimmän muuttui neulasten värisävy lannoituksen vaikutuksesta kuusen taimilla etenkin aukealla koealalla, missä sävy vaihtui vihreämmäksi keskimäärin lähes puolentoista Munsell-yksikön verran. Aukean alan kuusten neulasten vihreys ei kuitenkaan saavuttanut puustoiselle alalle istutetuista taimista mitattuja arvoja, joskin värisävyn ero näillä kahdella alalla pieneni lannoituksen vaikutuksesta Munsell-yksikköinä ilmaistuna vähempään kuin puoleen alku-

peräisestä. Lannoitusvaikutus oli kuusella tilastollisesti erittäin merkitsevä (riski < 0.001).

Männyn taimilla lannoituksen vaikutus värisävyyteen oli todettavissa vain VT:n puustoisella koelalalla. Lannoitettujen mäntyjen neulasten värisävy osoitti kaiken kaikkiaan sangen pientä vaihtelua: noin 1 400 lannoitetusta männyntaimesta vain 9 merkittiin värisävyltään muuhun kuin mediaaniluokkaan (7.5 GY) kuuluvaksi. Munsellin värimalliston sävyluokituksen suuri luokkaväli (kahden viimeisen luokan välillä 5 Munsell-astetta) lienee tässä vaikuttanut jossain määrin tasoittavasti tulokseen. Sävyjä oli kaikkiaan neljä, nimittäin arvot 2.5 GY, 5 GY, 7.5 GY ja 2.5 G (tässä tutkimuksessa 2.5 G = 12.5 GY), ja kukin taimi pyrittiin sijoittamaan johonkin näistä interpoloimatta väliin jääviä arvoja. Männyn ja kuusen neulasten sävyn frekvenssijakautumat kuitenkin aivan ilmeisesti poikkesivat toisistaan (vrt. taulukkoon 1).

Värin vaaleuden voitiin kaikissa tapauksissa todeta muuttuneen lannoituksen vaikutuksesta (riski < 0.001). Kuten aikaisemmin jo on mainittu, tapahtui muutos aina kohti tummempaa arvoa. Heikointa reaktiota osoittivat tässäkin aukealle istutetut männyn taimet, joista kuitenkin puolukkatyyppin kankaalla olevat reagoivat voimakkaimmin. Jyrkin keskimääräinen vaaleuden muutos oli yli yhden Munsell-yksikön suuruinen (puuston alle istutetuissa männyn taimissa puolukkatyyppin kankaalla).

Kuusen ja männyn neulasten värinmuutosten erilainen luonne ilmenee ehkä kaikkein selvimmin viimeisen väritunnuksen, kylläisyyden, tarkastelussa; tässäkin tapauksessa siten, että lannoituksesta johtuvat erot kuusella ovat selvempiä (kuva 5). Värikylläisyys on yleensä muuttunut lannoituksen vaikutuksesta kohti neutraaleja eli vähemmän kromaattisia värejä. Poikkeuksena on puolukkatyyppin aukea ala, jossa ilmeni aivan vähäistä männyntaimien kromaattisuuden lisäystä, joka ei ollut kuitenkaan tilastollisesti vahvistettavissa. Aukealla mustikkatyyppin mäntykoelalalla ei kylläisyysjakautumien välillä voitu osoittaa lannoituksesta johtuvaa eroa, vaikka lannoitus oli aiheuttanut keskimäärin yli 0.25 Munsell-yksikön suuruisen kromaattisuuden vähenemisen. Osasyynä kromaattisuuden muutosten vaikeaan tulkittavuuteen lienee ollut käytetyn malliston värikylläisyysasteikko, jossa ilmeinen vaaleuden ja kylläisyyden interaktio oli seurauksena siitä, että tauluihin sisältyy pienistä vaaleusarvoista vähemmän kylläisyyden asteita kuin suuremmista.

Useimmilla koelaloilla osoitti värikylläisyyden mittaus lannoituksen erittäin merkitsevästi ($P < 0.01$) vaikuttaneen neulasten värin kromaattisuuteen; ainoan poikkeuksen muodostivat aukealle istutetut männyt. Keskiarvojen tarkastelussa erosi selvimmin muista puustoinen kuusikoelala, jolla kylläisyyden väheneminen oli suurin, noin 1.8 Munsell-yksikköä. Aukealla alalla oli väheneminen kuusella noin yhden yksikön suuruinen, kun taas kaikilla mäntykoelaloilla, kuten edellä todettiin, lannoituksesta johtuvat erot olivat paljon pienempiä.

322. Muiden tekijöiden vaikutus neulasten väriin

Seuraavassa puuston vaikutukseksi ja metsätyyppin vaikutukseksi nimetyt tekijät sisältävät koejärjestelystä (näiden tekijöiden toiston vähäisyydestä), johtuen kaiken toisaalta puustoltaan ja toisaalta metsätyyppiltään erilaisten koelaparien lannoittamattomien taimien välisen vaihtelun.

Aineistoon sisältyvissä tapauksissa voitiin todeta, puolukkakankaalla olevia mäntyjä lukuun ottamatta, aukealla kasvavien taimien värisävy keltaisemmaksi kuin vastaavien puuston alle istutettujen taimien (taulukot 1 ja 2). Selvin tämä ero oli kuusella, mutta myöskin männyllä voitiin osittain havaita sama ilmiö. Puuston vaikutus oli siten yleensä saman suuntainen kuin edellisessä luvussa todettu lannoituksen vaikutus.

Kuusella puustoisien alan lannoittamattomien taimien neulaset olivat keskimäärin 0.50 yksikköä tummempia kuin vastaavan aukean alan taimien neulaset. Männyllä tämän suuntainen ero oli mustikkatyyppin koelaloilla keskimäärin 0.33 yksikköä, mutta puolukkatyyppin aloilla neulaset olivat puuston alla 0.44 yksikköä vaaleampia kuin avoalalla. Värisuure kylläisyys muuttui puuston vaikutuksesta eniten männyllä, jolla puolukkatyyppin kankaalla kylläisyyden keskiarvo suureni 0.76 yksikköä. Kuusella kylläisyys suureni 0.38 yksikköä. Puuston aiheuttama ero oli siten kuusella aina saman suuntainen kuin lannoitusvaikutus värin vaaleuden ollessa kysymyksessä, mutta värikylläisyydessä sen sijaan päällyspuusto ja lannoitus aikaansaivat erisuuntaiset vaikutukset. Vaaleuden ja kylläisyyden osalta aukealle ja puustoiselle alalle istutettujen lannoittamattomien taimien värisuureiden frekvenssijakautumat (taulukko 1) poikkesivat merkitsevästi toisistaan kaikissa tapauksissa.

Puolukkatyyppin ja mustikkatyyppin kankaalle istutettujen taimien välisiä värieroja voitiin tarkastella ainoastaan männyn osalta — kuusta ei nimittäin ollut istutettu puolukkatyyppin koelaloille. Kasvupaikasta johtuva värisävyn vaihtelu oli eri suuntaista aukeilla ja puustoisilla aloilla. Keskimäärin vihreämmät taimet todettiin avoaloilla puolukkatyyppin kankaalla, kun taas puuston alla mustikkatyyppin koelalan männyt olivat sävyiltään vihreämpiä, erot olivat 0.15 ja 0.33 Munsell-yksikköä.

Neulasten värin vaaleus puolestaan väheni selvästi viljavammalle kasvupaikalle siirryttäessä milloin puuston alle istutetut taimet olivat kysymyksessä; tämä oli sopusoinnussa samansuuntaisen lannoitusvaikutuksen kanssa. Aukealla alalla olivat mustikkatyyppin kankaalle istutetut lannoittamattomat männyn taimet sen sijaan keskimäärin 0.24 yksikköä vaaleampia kuin vastaavat puolukkatyyppin kankaalle istutetut taimet. Vastaavien väriluokkajakautumien väliset erot olivat kummassakin tapauksessa tilastollisesti merkitseviä.

Samoin kuin värin sävyn ja vaaleuden, myös värikylläisyyden arvo muuttui metsätyyppin vaikutuksesta eri suuntaan aukealla ja puustoisella alalla. Ainoastaan puuston alle istutetuista taimista mitattu kylläisyys väheni viljavuuden lisääntyessä (0.25 yksikköä); avoalalla kylläisyys kasvoi vastaavasti 0.42 yksik-

köä. Kummassakin tapauksessa voitiin todeta värikylläisyyden luokkiin jakautumisen välillä (taulukko 1) merkitsevä ero ($P < 0.001$). Kylläisyyden osalta metsätyyppin mukainen vaihtelu noudatti lannoituksen aikaansaamaa väri vaihtelun yleistä suuntaa sekä aukealla että puustoisella alalla.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Tutkimus osoitti, että kasvuolosuhteiden erot kuvastuvat varsin herkästi neulasten värissä ja että näitä värieroja voidaan monipuolisesti analysoida värikarttoja käyttäen. Verrattaessa keskenään kuusen ja männyn neulasten väri vaihtelua voitiin havaita, että esim. lannoituksen aikaansaamat erot kuusella olivat selvempiä kuin männyllä (kuva 5). Kuusen neulasten herkempi reaktio kasvuolosuhteiden vaihteluihin puolestaan sai aikaan sen, että pituuskasvun regressio neulasista mitatun yhden värisuureen suhteen oli yleensä tilastollisesti merkitsevämpi (neulasten värin ja kasvun välinen korrelaatio selvempi) kuusen taimilla kuin männyn taimilla. Kahta selittävää muuttujaa (vaaleutta ja kylläisyyttä) käytettäessä myös puolukkatyyppin kankaalle istutetuissa männynissä todettiin yhtä selvä värin ja myöhemmän kasvun välinen riippuvuus suhde. Mainitun regression jyrkkyydestä voitiin vastaavasti päätellä, että männyllä ilmeisesti Munsell-yksikköinä ilmaistua yhtä suurta värin ominaisuuden muutosta vastasi suurempi kasvun lisäys kuin kuusella, jolloin siis regressio männyllä oli jyrkempi. Kun regressioanalyysissä laskettiin regressiokertoimet kasvun sekä värisuureista nimenomaan kylläisyyden väliselle riippuvuudelle, regressiokerrointen ero osoittautui merkitseväksi aukean ja puustoisien alan kuusen taimien välillä. Lannoituksen vaikutus värin ja kasvun väliseen regressioon todettiin graafisessa tarkastelussa niin vähäiseksi, että riippuvuutta tutkittaessa voitiin saman koealan lannoittamattomat ja lannoitetut taimet perustellusti yhdistää samaan ryhmään. Huomion arvoista on, että lannoituksen aiheuttama kasvun lisäys (taulukko 2) kaikilla koealoilla oli varsin selvä, joskaan tätä tulosta ei tässä tutkimuksessa sen tarkemmin käsitelty. Mahdollisten eri kasvuolosuhteisiin sopivien tarkempien ja kenties yleisemmin käytettäväksi sopivien kasvun ennustearvojen laskeminen neulasten värin perusteella jää joka tapauksessa tulevien tutkimusten varaan.

Kasvun ja värin välisen riippuvuuden korrelaatiokerroin oli tilastollisesti merkitsevä molemmissa nyt tutkituissa kuusentaimistoissa sekä lisäksi puolukkakankaan männyntaimilla (taulukko 3). Koska lannoittamattomilla ja lannoitetuilla taimilla ei havaittu periaatteellista eroa värin ja kasvun välisessä riippuvuudessa, voidaan todeta nyt saatujen tulosten vahvistavan aikaisempia, lähinnä lannoituskokeista (VIRO 1965 ym.) tehtyjä päätelmiä neulasten rakenteen ja fysiologisen tilan sekä kasvun läheisestä yhteenkuuluvuudesta. Varsinkin tyypilannoituksen jälkeen on ensimmäisenä reaktiona todettavissa neulasten klorofyllipitoisuuden lisääntyminen (VIRO 1965, LUUKKANEN 1969), jota sel-

vimmin vasta vuoden kuluttua seuraa neulasmäärän kasvu ja puuaineen tuotoksen lisääntyminen. Nyt saadut tulokset vahvistavat tämän havainnon yleistämisen mahdollisuutta: kaikkien kasvuun vaikuttavien ekologisten tekijöiden voidaan ajatella yhdessä kuvastuvan puiden neulasissa, joissa uuden kasvun rakennusaineet yhteytystoiminnan tuloksena syntyvät. Neulasten rakennetta ja fysiologista tilaa tutkimalla voidaan saada käsitys — jo ennakoita — puiden kasvusta. Siitä että väriominaisuuksien määrittäminen esim. pituuden mittausta tarkemmin ja nopeammin antaa kuvan puussa tapahtuvista muutoksista ja niiden suunnasta on osoituksena se, että lannoituskäsittely aikaansai kaikilla tämän tutkimuksen koealoilla tilastollisesti merkitsevän eron värissä, vaikka merkitsevää värin ja kasvun välistä korrelaatiota ei selvästi aina voitukaan osoittaa.

Värinmittauksia käytäntöön mahdollisesti sovellettaessa voidaan tulla toimeen huomattavasti yksinkertaisemmalla mittausmenettelyllä kuin mitä tässä tutkimuksessa käytettiin, koska yhden värisuureen (tässä tapauksessa vaaleuden) todettiin antavan jotakuinkin yhtä luotettavan ennusteen kasvusta kuin esimerkiksi vaaleuden ja kylläisyyden yhdessä. Sävyyn tarkka mittaus puolestaan on tavallisimpien värimallistojen (MUNSELL ... 1952; KORNERUP ja WANSCHER 1961) rakenteen vuoksi muiden suureiden mittausta hankalampaa, eikä värisävy frekvenssijakautumia käytettäessä (taulukko 1) sitä paitsi ainakaan männyllä antanut yhtä selvää kuvaa esimerkiksi lannoituksen vaikutuksesta kuin vaaleus tai kylläisyys. Tilastollisesti luotettavien erojen mittaamiseksi χ^2 -testillä riittää vain kahteen vaaleusluokkaan jaottelu, jos voidaan olla varmoja siitä, että riittävä määrä havaintoja (esimerkiksi 10) saadaan kumpaankin luokkaan kaikista toisiinsa verrattavista käsittelyistä. Vaikka vaaleusluokittelu teoriassa voidaan suorittaa mustavalkoisen vertailumalliston avulla, lienee mittaus tarkempaa, jos se tehdään suunnilleen samaan sävyyn (kirjoväriin) kuuluvien värimallien perusteella. Värin kylläisyys puolestaan on tapana määrittää vasta sävyyn ja valoisuuden vertailun jälkeen (kts. esim. MUNSELL ... 1952). Näin ollen lienee ainakin 3—4 sävyjä ja 2—4 valoisuus- ja kylläisyysluokkaa käsittävä mallisto vähimmäisvaatimuksenakin paikallaan.

Tässä tutkimuksessa ei käsitelty neulasten värinmuutosten ja niiden taustalla olevien morfologisten taikka fysiologisten muutosten välisiä suhteita. Vaikka on ilmeistä, että värinmuutosten välittömänä syynä ovat havupuillakin ennen kaikkea lehtivihreäpitoisuudessa tapahtuvat muutokset (VIRO 1959, 1965), ei ole voitu ristiriidattomasti osoittaa, että klorofyllipitoisuus sinänsä olisi myöhemmän kasvunlisäyksen aiheuttaja (vrt. HEATH 1969, s. 210). Voidaan näin ollen esittää olettaen, että klorofyllipitoisuuden kasvu on vain seurausilmiö, joka on riippuvuussuhteessa todellisiin nettofotosynteesiä lisääviin tekijöihin. Lehtivihreän fysiologinen merkitys puolestaan on kiinteästi kytkeytynyt klorofyllin ja muiden pigmenttien määrää ja pitoisuutta sääteleviin geneettisiin tekijöihin; tässä tutkimuksessa ei lainkaan puututtu esimerkiksi männyllä populaatiospesifiseksi todettuun neulasten värin luontaiseen vuodenaikavaihteluun (vrt. GERHOLD 1959, J. W. WRIGHT & al. 1966). Ilmeistä on, että silmävarainen

värinmittaus tutkimusmenetelmänä voisi saada yhä laajempia sovellutuksia, jos mainittuihin biologisiin ilmiöihin perehdyttäisiin silmällä pitäen niiden kuvastumista neulasten värissä. Jatkotutkimukselle avautuu useampaakin linjaa noudattaen antoisia mahdollisuuksia.

KIRJALLISUUS

- BENEDICT, H. M. & SWIDLER, R. 1961. Nondestructive method for estimating chlorophyll content of leaves. *Science* 133: 2015–2016.
- GERHOLD, H. D. 1959. Seasonal variation of chloroplast pigments and nutrient elements in the needles of geographic races of Scotch pine. *Silvae Genetica* 8: 113–123.
- HEATH, O. V. S. 1969. *The physiological aspects of photosynthesis*. Stanford University Press, Stanford, California.
- KÖRNERUP, A. & WANSCHER, J. H. 1961. *Värien kirja*. WSOY, Porvoo.
- LUUKKANEN, O. 1969. Typpilannoituksen vaikutus luontaisten kuusen taimien neulasten klorofyllipitoisuuteen. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos, konekirjoite.
- MUNSELL COLOR CHARTS FOR PLANT TISSUES. 1952. Munsell Color Co., Inc., Baltimore, Maryland.
- SNEDECOR, G. W. 1967. *Statistical methods*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 6th ed.
- WILDE, S. A. & VOIGT, G. K. 1952. Determination of color of nursery stock foliage by means of Munsell Color Charts. *Journal of Forestry* 50: 622–623.
- WILDE, S. A., VOIGT, G. K. & IYER, J. G. 1964. *Soil and plant analysis for tree culture*. Oxford Publishing House, Calcutta, 3rd ed.
- VIRO, P. J. 1959. Estimation of the effect of fertilization from needle color. *Oikos* 10, 2. — 1965. Estimation of the effect of forest fertilization. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 59, 3.
- WRIGHT, J. W., PAULEY, S. S., POLK, R. B., JOKELA, J. J. & READ, R. A. 1966. Performance of Scotch pine varieties in the North Central Region. *Silvae Genetica* 15: 101–110.
- WRIGHT, W. D. 1964. *The measurement of colour*. D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey, 3rd ed.
- WYSZECKI, G. & STILES, W. S. 1967. *Color science*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

SUMMARY:

THE USE OF NEEDLE COLOUR IN PREDICTING GROWTH AND RESPONSE TO FERTILIZATION

The material for this investigation consisted of 4,000 seedlings of Scotch pine and Norway spruce cultures, established at Korkeakoski Forest District (61°40' N. Lat.) in Central Finland in spring 1965. Pine was planted both on a dry (Vaccinium type) and a mesic (Myrtillus type) site, spruce on the latter site only. For each species and site, a clear-cut and a sheltered plot was included. During the second winter mature trees were removed from the dry site plot and from half of both mesic plots. The mature trees remaining were thinned.

The following spring after planting, every second seedling was given 30 gms of a commercial 12–8–4 mixed fertilizer. In August of the same year the needle

colour of each seedling was measured from shoots of the current season using Munsell Color Charts which allow a quantitative determination of colour hue, value and chroma. Height growth of all seedlings was recorded in the year of colour measurement and in two subsequent years.

Using the data obtained from the whole material, a frequency distribution was compiled for each plot and colour dimension, from which the significance of colour differences due to fertilization was calculated by a chi-square test (Table 1). The regression of mean annual height growth, during the two years after colour measurement, on colour value, chroma, and their joint effect respectively, was calculated for each plot from a random sample of 20 fertilized and 20 unfertilized seedlings per plot (both treatments combined). Hue was omitted in regression analysis, since it showed much less variation than the remaining two colour dimensions, especially in pine seedlings. However, hue differences due to fertilization were highly significant on both spruce plots and in pine seedlings planted under shelter on the dry site. Colour value changed very significantly towards darker notations in all cases studied (cf. Fig. 5). Also fertilization caused (except in pine on open sites) highly significant differences in the frequency distribution of chroma.

During the second growing season after fertilization (the year after colour measurements), the increase in height growth of seedlings with added mineral nutrients was significant on most plots (Table 2). However, the growth response was weakest in pine seedlings on the two open plots. On the other hand, pine seedlings on both sites on previously sheltered plots responded significantly to fertilization also during the third year after treatment (the second year after colour measurements).

The regression analysis, summarized in Table 3, shows that in all cases except when pine was planted on an open dry site colour value alone contributed to the variance of subsequent growth nearly as much as did value and chroma together. As for spruce, the same was true for chroma vs. the combined effect of value and chroma. A maximum of one third of the total variance in growth could be explained by needle colour; correlation coefficients up to 0.58 were demonstrated. The correlation between needle colour and growth was significant on both spruce plots, i.e. on the mesic site with and without shelter. The same correlation was significant in pine on the dry site only.

Regression coefficients on the two Norway spruce plots were significantly different when calculated from regressions of growth upon colour chroma. The results gave some evidence that shading and site had an effect similar to fertilization on needle colour. Also needle colour seemed to reflect environmental changes more sensitively in spruce than in Scotch pine.