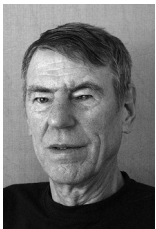
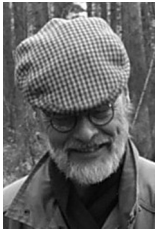




Janne Levula



Teuvo Levula



Carl Johan Westman

Janne Levula, Teuvo Levula ja Carl Johan Westman

Männynntaimikon kehityksen suhde maan ominaisuuksiin käsittelemättömällä ja kulotetulla metsämaalla

Levula, J., Levula, T. & Westman, C.J. 2004. Männynntaimikon kehityksen suhde maan ominaisuuksiin käsittelemättömällä ja kulotetulla metsämaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2004: 145–155.

Tutkimuksessa selvitettiin runkoluvun sekä keskiläpimitan, keskipituuden ja runkotilavuuden kasvujen suhdetta maatunnuksiin kahdessa 18–19 vuoden ikäisessä istutetussa männynntaimikossa. Puolet tutkimuksen koealoista (yhteensä 40 kpl) oli käsitelty kulottamalla ja alkuperäinen metsätyyppi vaihteli välillä VT–MT. Koealojen keskipisteessä sijaitsevista näytteenottopisteistä kuvattiin maannosprofiili 0,7 m:n syyyteen, mitattiin maan vesipitoisuus ja määritettiin lajitekoostumus. Taimikon tila mitattiin 50 m²:n koealalta kunkin näytteenottopisteen ympäriltä. Taimikon kehityksen ja yksittäisten maatunnusten välistä suhdetta tutkittiin ja lisäksi taimikon kehitystä selitettiin maatunnuksia yhdistävillä lineaarisilla malleilla.

Taimikon läpimitan, pituuden ja tilavuuden kasvu oli nopeampaa maannoksen ollessa rautapodsoli kuin maannoksen ollessa humuspodsolli. Huuhtoutumiskerroksen vaaleus (Munsell-VALUE) ja rikastumiskerroksen värikylläisyys (Munsell-CHROMA) korreloivat positiivisesti ja mittaushetken maan vesipitoisuus negatiivisesti taimikon kasvutunnusten kanssa. Huuhtoutumis- ja rikastumiskerrosten vaaleus selittivät yhdessä 56 % männikön keskiläpimitan kasvun vaihtelusta. Viljelytaimikon mittaushetken tiheyttä ei kyetty selittämään maatunnuksilla. Kulutus edesauttoi taimikon elossaoloa, mutta ei vaikuttanut kasvuun.

Tutkimuksen perusteella kohtuullisen helposti havainnoitavat ja puuston kehitysvaiheesta riippumattomat maannosluokka ja kivennäismaan väri ovat lupaavia tarkenteita cajanderilaiselle metsätyypille männynntaimikon tuotoksen arvioimisessa. Sen sijaan nykyisissä uudistamis-maannuokkausohjeistoissa esiintyvä maalaji vaikuttaa varsin hyödyttömältä tunnukselta ilman tietoa topografiasta.

Asiasanat: uudistaminen, maannos, maan väri, maan vesipitoisuus, maalaji, kasvupaikkaluokitus
Yhteystiedot: *Levula, J.*: Helsingin yliopisto, Hyttiälän metsäasema, Hyttiäläntie 124, 35500 Korkeakoski; *Westman*: Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Sähköposti janne.levula@helsinki.fi
Hyväksytty 25.5.2004

I Johdanto

I.1 Tausta

Metsän uudistamisen suunnittelussa kasvupaikka on kivennäismailla perinteisesti kuvattu cajanderilaisella metsätyypillä. Maan raekoostumukseen ja topografiaan tai näiden yhdessä ilmaston kanssa määräämään maan kosteuteen ei juuri ole kiinnitetty huomiota, vaikka arvio maalajista onkin suunnittelutietoihin useasti sisällytetty. Tähän ovat osaltaan johtaneet metsätyyppien perinteinen vahva asema metsätaloudessamme sekä niiden riittävän hyväksi koettu toimivuus. Näin siitä huolimatta, että Cajander (1930, s. 306) itse on todennut: ”Metsätyypeillä tarkoitetaan aikaansaada sellainen raaka alkuluokitus, jota eri keinoin koetetaan edelleen täsmällistyttävä ja tehdä metsätaloudellisesti käyttökelpoiseksi”. Maan ominaisuuksien määrittäminen on myös koettu liian työlääksi eikä suunnittelijoiden ammattitaito ole kaikissa tapauksissa siihen riittänyt. Yksittäisen uudistusalan uudistamisketjun valinnassa ratkaisevia tekijöitä ovat usein myös koneiden, viljelymateriaalin ja työvoiman saatavuus sekä käytännön rationalisointinäkökohdat (Hämäläinen ja Kaila 1987) sekä etenkin yksityismetsänomistajien keskuudessa jopa välinpitämättömyys ja tietämättömyyteen pohjautuvat asenteet (Saksa ym. 1999). On kuitenkin todennäköistä, että monissa tapauksissa jo suunnitteluvaiheessa on päädytty kasvupaikalle sopimattomaan ratkaisuun, mikä myös heijastuu metsänviljelyn tuloksissa. Männenviljelyssä on useiden tutkimusten mukaan epäonnistuttu noin 25 prosentissa tapauksista (Kinnunen ja Nerg (1983) 25 %, Räsänen ym. (1985) 25 %, Kaila (1993) 10–30 %, Saksa (1998) 20 %).

Nykyistä tarkemmalle kasvupaikkojen luokittelulle metsänuudistamista suunniteltaessa on siis tarvetta. Toisaalta tarvitaan myös tietoa siitä minäkalaisia tuloksia tietynlaisilla kasvupaikoilla eri uudistamisketjuja käytettäessä on odotettavissa. Tähän kysymykseen menneiden vuosien metsänuudistamista koskeva tutkimus ei anna kattavaa vastausta. Tutkimuskohteina ovat perinteisesti olleet eri taimilajien menestyminen ja erilaisten maanmuokausmenetelmien vaikutukset uudistamistulokseen. Istutustaimien usein huonon menestymisen tai luontaisten taimien syntymättömyyden suoranaiset

syyn ovat sen sijaan yhä riittämättömästi tutkittuja aihealueita (Kaila 1995).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää taimikon kehityksen suhdetta maan ominaisuuksiin ja kulotukseen kahdessa 18 ja 19 vuoden ikäisessä istutetussa männyn taimikossa. Taimikon kehitystä kuvataan runkoluvulla ja keskiläpimitan, keskipituuden ja tilavuuden vuotuisilla keskipituuksilla. Tutkittavia maatumuksia ovat: maalaji, kivennäismaan pintakerrosten värit, maannosluokka ja kannettavalla mitarilla maastossa mitattu pintamaan kosteus.

2 Aineisto ja menetelmät

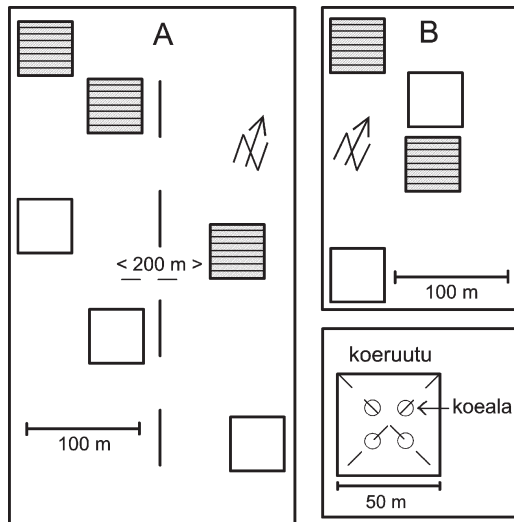
2.1 Tutkitut taimikot

Mittaukset ja näytteenotto suoritettiin kahdella Pohjois-Pirkanmaalla sijaitsevalla kulotus-muokkauskokeella. Koe A sijaitsee Kurun Iso Mustajärvellä 62°8' P, 23°27' I (188 m mpy.), ja koe B Parkanon Lylyjärvellä 62°4' P, 23°12' I (168 m mpy.). Metsätyyppi vaihtelee molemmilla kokeilla pienipiirteisesti välillä VT–MT. Koe A oli istutettu männylle toukokuussa 1983 ja koe B toukokuussa 1984. Molemmilla kokeilla käytettiin taimilajina 1M + 1A paljasjuurisia taimia, joita istutettiin 3000 kpl hehtaarille.

Koealat sijoitettiin muokkaamattomille koeruduille, joita kokeella A oli 6 kpl ja kokeella B 4 kpl. Näistä ruuduista puolet oli kulotettuja molemmilla kokeilla (Kuva 1). Jotta kasvupaikan maan ominaisuuksien pienvaihtelun vaikutusta puuston kehitykseen voitaisiin tutkia sijoitettiin jokaiselle 2500 m²:n ruudulle neljä ympyrän muotoista 50 m²:n koelaa (yhteensä 40 kpl) siten, että niiden keskipisteet sijaitsivat ruudun lävistäjillä 10,6 m ruudun keskipisteestä (kuva 1).

2.2 Mittaukset ja näytteenotto

Mittaukset ja näytteenotto suoritettiin syyskuussa 1999 yhden sateettoman viikon aikana. Kunkin koelalan keskipisteeseen kaivettiin 70 cm syvä kuoppa, josta suoritettiin maannoskuvaus (Tamminen ja Mälkönen 1999). Maannoskuvauksen yhteydessä



Kuva 1. Yleiskuva kokeista ja koealojen sijainti, varjostetut koeruudut ovat kulotettuja. Koe A jakautuu kahteen noin 200 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevaan osaan, jotka on kuvassa erotettu katkoviivalla. Oikeassa alakulmassa kaaviokuva koealojen sijoittumisesta koeruuduille.

huuhtoutumiskerrokselle (E) ja rikastumiskerroksen (B) yläosalle (7,5 cm) määritettiin väri (Munsell soil color charts, 1992). Rikastumiskerroksen yläosasta (7,5 cm) otettiin maanäyte ja mitattiin samalla maan vesipitoisuus elektronisella mittarilla (ThetaProbe soil moisture sensor, type ML1, Delta-T Devices Ltd, Englanti). Maannoskuopan ympäriltä 50 m²:n koealalta mitattiin kaikkien elossa olevien männynntaimien rinnankorkeusläpimitta ja pituus.

Maanäytteet kuivattiin 105 °C:ssa, jonka jälkeen ne seulottiin kuivana 2 mm ja 0,6 mm seulojen läpi, silmännähtävät kokkareet hajotettiin seuloessa. Alle 0,6 mm ositteesta otettiin n. 25 ml osanäyte, josta mitattiin lajitekoostumus laserdiffraktiometrillä (COULTER LS-230, Coulter Corporation, USA). Mittausta varten näytteestä valmistettiin pasta kostuttamalla näyte 0,05 M natriumpyrofosfaatilla (Na₄P₂O₇). Tämä pasta syötettiin suoraan laserdiffraktiometrin näytetmoduuliin. Alle 2 mm maalajiteosituksen partikkelikoostumuksen selvittämiseksi laserdiffraktiometrillä saadut tulokset yhdistettiin seulatuloksiin. Yleisen tavan mukaan yli 2 mm osite jätettiin huomiotta maalajitteiden osuuden laskennassa.

2.3 Laskenta ja tilastollinen analyysi

Koealoille laskettiin männynntaimikon hehtaarikohmainen runkoluku ja tilavuus sekä taimien aritmeettinen keskiläpimitta ja keskipituus. Tilavuus laskettiin yksinpuin piteuteen ja rinnankorkeusläpimittaan perustuvaa yhtälöä käyttäen (Laasasenaho 1983). Koska kokeen A männyt olivat vuoden kokeen B mäntyjä vanhempia, läpimitat, pituudet ja tilavuudet jaettiin mäntyjen iällä ja saatuja vuotuisia keskikasvuja käytettiin tilastollisessa analyysissä taimikon kehitystä kuvaavina tunnuksina.

Munsell väriluokituksen vaaleus (VALUE) ja värikyllisyys (CHROMA) ovat suhdeasteikollisia tunnuksia, punaisuus–keltaisuus (HUE) sen sijaan on intervalliasteikollinen nollakohdaton tunnus (Melville ja Atkinson 1985). Tilastollista analyysiä varten punaisuus–keltaisuus koodattiin Tammissen ja Mälkösen (1999, s.24) esittämällä tavalla: 2.5YR = 2, 5YR = 3, 7.5YR = 4 ja 10YR = 5 ja 2.5Y = 6. Näin koodattuna arvot kasvavat punaisuuden vähentyessä ja keltaisuuden lisääntyessä. Punaisuutta–keltaisuutta kuvattiin lisäksi “redness rating”-indeksillä (1), joka saa sitä suurempia arvoja mitä punaisempaa maa on (Torrent ym. 1980).

$$RR = \frac{(10 - H) \times \text{värikyllisyys}}{\text{vaaleus}} \quad (1)$$

jossa,

H = 2,5; 5,0; 7,5 ja 10,0, vastaten samassa järjestyksessä punaisuus–keltaisuus-arvoja 2,5YR, 5YR, 7,5YR ja 10YR.

RR saa arvon 0 jo, kun maa on keltaisuudeltaan 10YR, niinpä vielä keltaisemman 2,5Y:n tapauksessa RR-arvoksi määritettiin suoraan 0.

Maankosteusmittarin antama jännitearvo (V) muunnettiin maan vesipitoisuudeksi laitevalmistajan suosittamalla tavalla (Delta-T Devises LTD 1995) ja maan lajitekoostumusta kuvattiin laskemalla hienoaineksen (<0,06 mm) ja karkean aineksen (0,2–2 mm) osuudet sekä maan keskiraekoko.

Tilastollisessa analyysissä suoritettiin ensin kulotettujen ja kulottamattomien koealojen kokonaisvertailu t-testillä. Maannoksen, rikastumiskerroksen hienoaineksen osuuden, keskiraekoon ja karkean aineksen osuuden sekä maan vesipitoisuuden, maan vaaleuden, maan värikyllyyden ja maan punaisuuden

den–keltaisuuden suhdetta taimikon pituuden ja läpimitan kasvuihin, eli tunnuksiin joihin kulotuksella ei ollut vaikutusta, testattiin tämän jälkeen t-testillä (maannosluokka) ja laskemalla Pearson korrelaatiokertoimet. Punaisuuden–keltaisuuden tapauksessa korrelaatiotarkastelussa käytettiin Pearson korrelaatiokertoimen sijasta Spearmanin järjestyskorrelaatiokerronta. Runkoluvun ja tilavuuden kasvun, joihin kulotus vaikutti, ja maannosluokan välistä suhdetta testattiin varianssianalyysillä jossa kulotus oli lisämuuttujana.

Yksittäisten muuttujien korrelaatiotarkastelun lisäksi taimikkotunnuksia selittämään pyrittiin muodostamaan usean maatunnuksen yleiset lineaariset mallit. Kulotuksen käyttö lisämuuttujana runkoluvun ja tilavuuskasvun tapauksissa mahdollisti myös niiden ja jatkuvien maatunnusten välisten suhteiden tarkastelun. Väritunnuksista punaisuus–keltaisuus jätettiin järjestysasteikollisena pois mallinnuksesta ja maan punaisuutta–keltaisuutta kuvattiin vain RR-arvolla. Maannos oli mukana mallinnuksessa luokkamuuttujina. Selitysmallit pyrittiin muodostamaan seuraavilla kriteereillä: 1) Malliin sallittiin enintään kolme maatunnusta, 2) Malliin hyväksytyjen tunnuksen regressiokerrointen tuli olla merkitseviä 5 %:n riskitasolla, 3) Mallin tunnuksot eivät saaneet olla keskenään merkitsevästi korreloituneita (5 % riskitaso). Mallinnus suoritettiin SYSTAT-tilasto-ohjelmiston GLM-proseduurilla.

3 Tulokset

3.1 Yleiskuva taimikoista ja kulotuksen vaikutus taimikon kehitykseen

Koealojen puuston keskipituus vaihteli välillä 3,47–6,03 m ja keskiläpimitta vastaavasti välillä 3,26–8,76 cm (taulukko 1). Puuston hehtaarikohtainen tilavuus vaihteli suhteellisesti huomattavasti keskipituutta ja keskiläpimittaa enemmän (3,24–66,1 m³/ha) johtuen runkoluvun suuresta vaihtelusta (400–4800 kpl/ha) (taulukko 1). Maan keskiraekoko vaihteli välillä 0,13–0,46 mm eli välillä karkea hieta – hieno hiekka ja hienoaineksen määrä välillä 7–40 % (taulukko 2). Koealat olivat joko rautapodssoleja tai humuspodssoleja joiden osuus kokeella A (11/16) oli suurempi kuin kokeella B (8/24). Osalla koealoista maa oli mittaushetkellä lähes veden kyllästämä maan vesipitoisuuden vaihdella välillä 21–50 % (taulukko 2).

Taulukko 1. Puustotunnuksen jakaumat tutkimuksen koealoilla.

	Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi	STD
Runkoluku, kpl/ha	2225	2000	400	4800	942
Pituus, m	4,83	4,87	3,47	6,03	0,786
Läpimitta, cm	6,19	6,22	3,26	8,76	1,51
Tilavuus, m ³ /ha	25,7	24,1	3,24	66,1	15,6

Taulukko 2. Maatunnuksen jakaumat tutkimuksen koealoilla, E = huhtoutumiskerros, B = rikastumiskerros.

	Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi	STD
punaisuus–keltaisuus E	5,13	5	4	6	0,463
vaaleus E	5,10	5	3	6	0,871
värikyllisyys E	2,10	2	1	3	0,379
punaisuus-indeksi E	0,05	0	0	1	0,221
punaisuus–keltaisuus B	4,45	4,5	3	5	0,597
vaaleus B	3,15	3	2	4	0,622
värikyllisyys B	3,33	3	2	6	0,971
punaisuus-indeksi B	1,49	0,833	0	6,67	1,71
hienoaines, %	21,4	21,5	6,78	39,6	6,86
karkea-aines, %	54,7	51,6	39,3	80,3	9,61
keskiraekoko, mm	0,250	0,220	0,129	0,465	0,0826
vesipitoisuus, %	35,3	36,3	20,7	49,8	7,82

Runkoluku oli merkittävästi suurempi kulotetuilla koealoilla kuin kulottamattomilla (taulukko 3). Keskipituuden tai -läpimitan kasvuihin kulotuksella ei ollut vaikutusta, hehtaariohtainen tilavuuskasvu kuitenkin oli merkittävästi suurempi kulotetuilla koealoilla kuin kulottamattomilla.

3.2 Maatunnukset ja taimikon kehitys

Useat maan väritunnukset korreloivat merkittävästi maan vesipitoisuuden kanssa. Voimakkainta korrelaatio oli rikastumiskerroksen punaisuutta–keltaisuutta ja värikyllyyttä kuvaavien tunnusten kanssa (taulukko 4). Maa oli sitä kuivempaa mitä punaisempi ja värikylläisempi rikastumiskerros oli. Samansuuntaisesti maan tilavuusvesipitoisuus oli merkittävästi pienempi rautapodssoleilla (30 %) kuin humuspodssoleilla (41 %). Maalaji sen sijaan ei määrännyt mittaushetken maan vesipitoisuutta koealoilla, sillä maalajia kuvaavien tunnusten ja maan

Taulukko 3. Puustotunnukset käsittelemättömällä ja kulotetuilla koealoilla ja t-testin p-arvo.

	Käsittelemätön	Kulotettu	p-arvo
runkoluku, kpl/ha	1720	2730	0,000
pituuskasvu, m/a	0,251	0,268	0,168
läpimitan kasvu, cm/a	0,325	0,338	0,589
tilavuuskasvu, m ³ /ha/a	0,988	1,76	0,002

vesipitoisuuden välillä ei ollut korrelaatioita.

Taimikon kasvu oli merkittävästi suurempaa rautapodssoleilla kuin humuspodssoleilla (taulukko 5). Taimikon runkoluvussa ei sen sijaan ollut eroa maannosluokkien välillä. Maannoksen ominaisuuksia kuvaavista väritunnuksista huuhtoutumiskerroksen vaaleus (kuvat 2a, b), rikastumiskerroksen värikyllisyys ja rikastumiskerroksen punaisuusindeksi korreloivat positiivisesti sekä taimikon keskipituuden että keskiläpimitan vuotuisen kasvun kanssa (taulukko 6). Lisäksi rikastumiskerroksen vaaleus korreloi positiivisesti keskiläpimitan kasvun kanssa. Rikastumiskerroksen punaisuus–keltaisuus puolestaan korreloi negatiivisesti sekä keskipituuden että keskiläpimitan vuotuisen kasvun kanssa, eli puiden kasvu väheni punaisuuden vähetessä ja keltaisuuden lisääntyessä. Yhteenvetona väritunnuksien ja puiden kasvun välisestä suhteesta voidaan todeta että kasvu

Taulukko 5. Keskimääräiset puustotunnukset rauta- ja humuspodssoleilla ja t-testin p-arvo pituuden ja läpimitan kasvun eroille ja varianssianalyysin (kulutus lisämuuttujana) p-arvo runkoluvun ja tilavuuskasvun eroille maannosluokkien välillä.

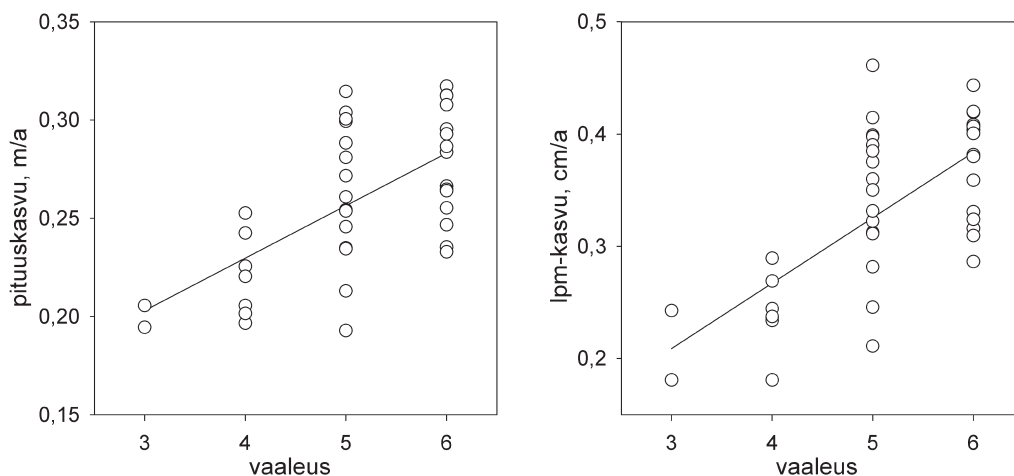
	Rautapodsoli	Humuspodsoli	p-arvo
runkoja, kpl/ha	2160	2300	0,616
pituuskasvu, m/a	0,276	0,240	0,002
läpimitan kasvu, cm/a	0,368	0,291	0,001
tilavuuskasvu, m ³ /ha/a	1,64	1,08	0,017

Taulukko 4. Maatunnusten keskinäiset riskitasolla 5 % merkittävät korrelaatiokertoimet. Kertoimet Pearson-kertoimia lukuun ottamatta punaisuuden–keltaisuuden ja muiden tunnusten välisiä kertoimia, jotka ovat Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimia.

	pun.–kelt. E	vaal. E	värik. E	pun. E	pun.–kelt. B	vaal. B	värik. B	pun. B	hienoaines	kark.-aines	keski-raek.	vesipit.
punaisuus–keltaisuus E	•											
vaaleus E	0,40	•										
värikyllisyys E			•									
punaisuus-indeksi E	–0,52			•								
punaisuus–keltaisuus B				–0,31	•							
vaaleus B				–0,44		•						
värikyllisyys B		0,45		–0,48	0,38		•					
punaisuus-indeksi B				0,36	–0,95	0,32	0,36	•				
hienoaines									•			
karkea-aines	–0,33	–0,45		0,40		–0,32			–0,88	•		
keskiraekoko	–0,33	–0,43		0,44		–0,33			–0,86	0,99	•	
vesipitoisuus		–0,35		–0,41	0,55	–0,35	–0,55	–0,56				•

Taulukko 6. Männyntaimikon keskipituuden ja -läpimitan vuotuisten kasvujen ja maatunnusten väliset riskitasolla 5% merkitsevät korrelaatiot. Kertoimet Pearson-kertoimia lukuun ottamatta punaisuuden–keltaisuuden ja muiden tunnusten välisiä kertoimia, jotka ovat Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimia.

	pun.– kelt. E	vaal. E	värik. E	pun. E	pun.– kelt. B	vaal. B	värik. B	pun. B	hieno- aines	kark- aines	keski- raek.	vesi- pit.
pituuskasvu, m/a		0,61			–0,35		0,43	0,38				–0,46
läpimitan kasvu, cm/a		0,68			–0,33	0,37	0,51	0,32		–0,42	–0,41	–0,49



Kuva 2. Männyntaimikon keskipituuden (2a) ja keskiläpimitan (2b) vuotuisen keskikasvun riippuvuus huuhtoutumiskerroksen vaaleudesta.

oli nopeampaa mitä vaalempi huuhtoutumiskerros oli ja mitä punaisempi (= mitä vähemmän keltainen), vaalempi ja värikylläisempi rikastumiskerros oli. Samat tunnuksot olivat yhteydessä myös vähäiseen maan vesipitoisuuteen ja ovat rautapodsolin tunnusmerkkejä.

Ainoat taimikon kehityksen ja maalajitunnusten väliset merkitsevät korrelaatiot olivat keskiläpimitan kasvun negatiiviset suhteet maan karkean aineksen määrään ja keskiraekokoon (taulukko 6). Toisaalta maan tilavuusvesipitoisuus korreloi negatiivisesti sekä keskipituuden että keskiläpimitan vuotuisen kasvun kanssa.

3.3 Taimikon kehityksen mallintaminen

Päätettyjen kriteerien mukainen kahden tai useamman maatunnuksen lineaarinen malli kyettiin muodostamaan vain keskiläpimitan vuotuiselle kasvulle (kuva 3). Selittäjiksi malliin (2) jäivät huuhtoutumis-

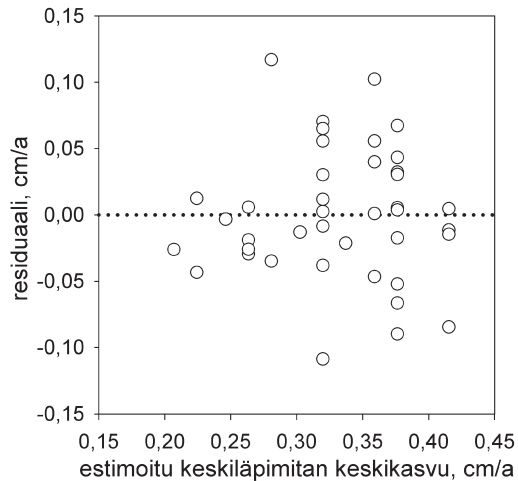
ja rikastumiskerroksien (E- ja B-kerrokset) vaaleudet, joilla on mallissa positiivinen kerroin. Mallilla kyettiin selittämään 56% keskiläpimitan kasvun vaihtelusta tutkimuksen koaloilla.

$$cm / a = -0,0795 + 0,0564 \times \text{vaaleus (E)} + 0,0391 \times \text{vaaleus (B)}, \quad R^2 = 0,56 \quad (2)$$

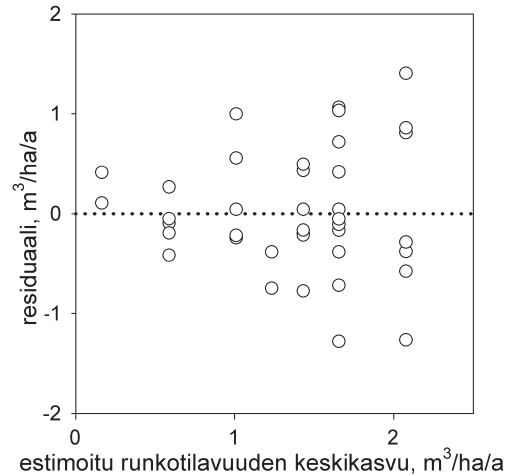
Parhaiten vuotuista pituuskasvua ennustavaan malliin (3) jäi ainoaksi selittäjäksi huuhtoutumiskerroksen vaaleus jolla oli mallissa positiivinen kerroin. Esteenä useamman maatunnuksen mallien syntyemiselle olivat malliin tulossa olevien maatunnusten keskinäiset korrelaatiot.

$$m / a = 0,123 + 0,0268 \times \text{vaaleus (E)}, \quad R^2 = 0,38 \quad (3)$$

Runkoluvun ja tilavuuskasvun ja yksittäisten maatunnusten välisiä suhteita ei ollut mielekästä tutkia korrelaatioanalyysillä johtuen kulotuksen runkolukua ja siten myös tilavuuskasvua lisäävästä vaiku-



Kuva 3. Huuhtoutumis- ja rikastumiskerrosten vaaleuteen perustuvan lineaarisen mallin (2) residuaalit mallilla estimoidun männynntaimikon keskiläpimitan vuotuisen keskikasvun suhteen.



Kuva 4. Huuhtoutumiskerroksen vaaleuteen ja kulotustilanteeseen perustuvan lineaarisen mallin (5) residuaalit mallilla estimoidun männynntaimikon tilavuuden vuotuisen keskikasvun suhteen.

tuksesta. Runkoluvun ja tilavuuskasvun tapauksissa kokeiltiin erikseen jokaisen jatkuvan maatunnuksen merkittävyyttä niiden selittäjänä käyttäen kulotustilannetta lisämuuttujana yleisessä lineaarisessa mallissa. Runkoluvun vaihtelua ennustavaan malliin (4) jäi ainoana muuttujana kulutus, eikä mikään yksittäinen maatunnus osoittautunut olevan lineaarisessa suhteessa runkolukuun. Runkoluku oli kulotetuilla koealoilla keskimäärin 1000 runkoa/ha suurempi kuin kulottamattomilla koealoilla.

$$n / ha = 1700 + (1000, \text{ jos kulotettu}), \quad R^2 = 0,30 \quad (4)$$

Hehtaarikohtaisen tilavuuskasvun kanssa lineaarisessa suhteessa osoittautuivat maatunnuksista olevan ainoastaan huuhtoutumiskerroksen vaaleus ja rikastumiskerroksen värikyllisyys, joilla oli malleissa (järjestyksessä 5 ja 6) positiivinen kerroin. Tunnusten keskinäinen korreloituminen kuitenkin esti niiden tulon samaan malliin.

$$m^3 / a = -0,781 + 0,423 \times \text{vaaleus (E)} - (0,323, \text{ jos kulottamaton}), \quad R^2 = 0,42 \quad (5)$$

$$m^3 / a = -0,527 + 0,255 \times \text{värikyllisyys (B)} - (0,342, \text{ jos kulottamaton}), \quad R^2 = 0,32 \quad (6)$$

Yhteenvedona yleinen lineaarinen mallinnus osoitti huuhtoutumiskerroksen vaaleuden selittävän yksittäisistä maatunnuksista tehokkaimmin puuden kasvua tutkimuksen koealoilla. Runkoluvun (eloonjäämisen) ja maatunnusten suhde jäi täysin epäselväksi.

4 Tulosten tarkastelu

Rautapodssoleille on tyypillistä vaalea huuhtoutumiskerrokseen ja punertava värikylläinen rikastumiskerrokseen kun taas humuspodssoleille on tyypillistä tummanharmaa huuhtoutumiskerrokseen ja kellertävä, tummanruskea rikastumiskerrokseen (Tamminen ja Mälkönen 1999, s. 10–11). Vaalea huuhtoutumiskerrokseen indikoi hapekasta, hyvin vettä läpäisevää maannosta (Lindbo ym. 1998), samoin kuin värikylläinen rikastumiskerrokseen (Pickering ja Veneman 1984, Evans ja Franzmeier 1988, Cogger ja Kennedy 1992, Zampella 1994) ja punainen rikastumiskerrokseen (Evans ja Franzmeier 1988, Mokma ja Sprecher 1994). Humuspodssoleilla esiintyykin ajoittain hapenpuutetta liikkumattoman maaveden kyllästävässä maamateriaalissa. Liian märissä hapettomissa oloissa mäntyn ravinteiden otto kärsii (Leyton ja Rousseau 1958, Lähde 1978, Mäkitalo ja Heiskanen 2001) ja mätät

maat ovat myös kylmiä (Lähde 1978, Mäkitalo ja Heiskanen 2001) mikä osaltaan hidastaa ravinteiden ottoa ja kasvua.

Tulostemme mukaan männikön kasvu olikin nopeampaa rautapodssoleilla kuin humuspodssoleilla, lisäksi männikön kasvu oli samansuuntaisesti sidoksissa yksittäisten maakerrosten Munsell-väritunnuksiin. Tulos on uutta tietoa, mutta on sopusoinnussa maan vesipitoisuuden vaihtelun suhteesta kivennäismaan väriin ja maannosluokkiin saamiemme tulosten kanssa.

Männikön kasvu oli selkeämmin sidoksissa huuhtoutumiskerroksen kuin rikastumiskerroksen väriin. Evans ja Mokma (1996) jotka tutkivat podsoleita USA:n Michiganissa ja New Hampshiresä arvioivatkin podsolin huuhtoutumiskerroksen väriin kuvastavan juuristokerroksen kosteus- ja happioloja rikastumiskerroksen väriä paremmin. Heidän mukaansa rikastumiskerros on kemiallisesti niin stabiili systeemi, ettei sen kemia, eikä siten myöskään väri, ole kovin herkkä maan vesi- ja happiolojen eroavaisuuksille.

Mittaushetken vesipitoisuus korreloi merkitsevän negatiivisesti sekä männikön pituus- että paksuuskasvun kanssa. Vesipitoisuuden suhde männikön elossaoloon ja kasvuun oli aineistossa kuitenkin odotettua epäselvempi ja vesipitoisuuden kanssa negatiivisesti korreloiva huuhtoutumiskerroksen vaaleus oli sidoksissa männikön kasvuun selvästi vesipitoisuutta voimakkaammin. Lähde (1978) on Lapissa todennut männyntaimien pituuskasvun korreloivan negatiivisesti viljelykohdan vesipitoisuuden ja positiivisesti maan ilmatilan kanssa. Sutinen ym. (2001) toteavat samanikäisten mäntyjen kuolleisuuden Lapissa lisääntyvän merkitsevästi, kun maan vesipitoisuus ylittää 28 % ja suosittavat männyn viljelyn suuntaamista tämän raja-arvon alle jääville maille. Tämä tutkimus ei kuitenkaan tue Sutisen ym. (2001) esittämän 28 % raja-arvon käyttämistä ainakaan Suomenselän olosuhteissa: vesipitoisuus oli koealoilla keskimäärin selvästi raja-arvon yläpuolella, mutta männikön elossaolo oli kuitenkin käsittelemättömälläkin maalla keskimäärin 56 % ja kulotetulla maalla 90 %. Mäkitalo ja Heiskanen (2001) saivat samansuuntaisia tuloksia kuin Lähde (1978) ja Sutinen ym. (2001), mutta korostavat vesipitoisuuden vaihtelevan mittauskertojen välillä ja selittävän mäntyjen menestymistä vaihtelevasti,

eivätkä siten suosittale vesipitoisuusraja-arvojen käyttöönottoa metsänuudistamisen suunnittelussa. Mäkitalo ja Heiskanen (2001) toteavat myös, että suuri vesipitoisuus ei sinänsä ole ongelma taimille, vaan pieni happipitoisuus, josta maan vesipitoisuus ei suoraan kerro. Mikäli maavesi on liikkuvaa maassa saattaa olla riittävästi happea männyn juurille suurista vesipitoisuuksista huolimatta.

Männikön läpimitan kasvu oli nopeampaa hienomilla maalajeilla kuin karkeammilla. Tämä tulos on jossain määrin ristiriitainen edellä esitetyn tulkinnan kanssa, että maannoksen ja männikön kasvun välisen yhteyden selitys on, että mäntyjen juuristo kärsii liiallisen märkyyden aiheuttamasta hapenpuutteesta ja kylmyydestä humuspodsoli-maannoksilla. Hienot maat pidättävät paremmin vettä kuin karkeat ja ovat siten periaatteessa karkeita maita märempiä, hapettomampia ja kylmempiä (Lähde 1974, 1978). Tämä ristiriita aiheutunee siitä, että koealojen maalaji oli hienoimmillaankin kohtuullisen hyvin vettä läpäisevää, vaikka humuspodsoleilta mitattiinkin keskimäärin varsin korkeita vesipitoisuuksia (41 %). Lisäksi Lähde (1974, 1978) on tehnyt tutkimuksensa Lapissa, jossa ilmasto on humidisempi kuin Suomenselällä (Solantie 1974) ja siten hienojen maalajien merkitys on todennäköisesti korostuneempi. Liiallisen märkyyden männyntaimille koealoilla aiheuttamat ongelmat ovat todennäköisesti aiheutuneet nimenomaan epäedullisesta topografiasta (Nyberg 1996, Mäkitalo ja Heiskanen 2001), jota tutkimuksessa ei valitettavasti selvitetty. Tätä päätelmää tukee, että vesipitoisuuden kertamittauksen arvo ei ollut merkitsevässä suhteessa mihinkään maalajitunnuksista. Edullisessa topografisessa asemassa olevilla koealoilla männikkö on todennäköisesti kasvanut paremmin maan hienojen lajitteiden osuuden lisääntyessä (Hägglund ja Lundmark 1977, Westman 1990, Tamminen 1993).

Mikään maatunnus ei selittänyt männikön runkoluvun vaihtelua, kulotuksella sen sijaan oli selvästi runkolukua eli elossaoloa edistävä vaikutus. Tulos on samansuuntainen T. Levulan (1988) esittämien tulosten kanssa, jotka pohjautuvat osin tässä tutkimuksessa tutkittujen koeruutujen inventointiin ja jotka osoittavat kulotuksen edistävän männikön elossaoloa muokkaamattomilla koeruuduilla. Toisaalta T. Levula (1988) toteaa laajaan aineistoon perustuvassa tutkimuksessaan ettei kulotus ole vaikut-

tanut merkittävästi männyn taimien kasvuun. Myös tämä tulos on yhtäpitävä saamiemme tulosten kanssa. Kulotuksen elossaoloa edistävä vaikutus viittaa pintakasvillisuuden kilpailun merkityksellisyyteen taimien kuolemisessa. Kulutus vähentää hakkuualat usein valtaavan metsälauhan (*Deschampsia flexuosa*) peittävyttä (Schimmel ja Granström 1996), joka on edullista männyn taimien eloonjäämisen kannalta (Jonsson 1999, J. Levula ym. 2003).

T. Levulan (1988) tulokset viittaavat muokkauksen lisänneen männyn taimien kasvuun tutkimuksemme kokeilla. Onkin todennäköistä, että onnistunut muokkaus olisi vähentänyt epäedullisen vesitalouden vaikutuksia ja siten heikentänyt maatunnusten ja taimikon kehityksen välistä riippuvuutta myös aineistomme koaloilla (Repo ja Valtanen 1994, Mannerkoski ja Mälkönen 2000).

Taimikon kehityksen vaihtelujen selittäminen maatunnuksilla osoittautui olevan vaikeaa ja suuri osa vaihtelusta jäikin selittämättömäksi. Maan väriin liittyvillä tunnuksilla näyttää kuitenkin olevan kiistaton yhteys männyn taimikon kasvuun ja ainakin luontaisesti uudistettaessa todennäköisesti myös taimien syntyyn ja eloonjäämiseen (J. Levula ym. 2003). Huomattavaa on, että vesipitoisuuden kerta-mittaus osoittautui olevan maan väriä ja maannosta löyhemmin yhteydessä männyn taimikon kehitykseen.

5 Johtopäätökset

Muokkaamattomalla maalla kulutus lisää männyn taimien elossaoloa, mutta ei vaikuta kasvuun.

Maannosluokka ja kivennäismaan väri ovat mahdollisia tarkenteita metsätyypille männyn taimikon kehitystä ennustettaessa. Ne ovat varsin pysyviä ja puuston kehitysvaiheesta riippumattomia kuten maalajikin, mutta ottavat maalajista poiketen epäsuorasti huomioon myös ilmaston ja topografian ja ovat maalajia helpompia määrittää maasto-oloissa. Nykyisissä uudistamis- ja muokkausohjeistoissa esiintyvä maalaji näyttääkin sinällään olevan varsin hyödytön tunnus taimikon kehitysmahdollisuuksia arvioitaessa, sillä topografialla ja ilmastolla on varsin määräävä vaikutus vesitalouteen.

Hetkellinen vesipitoisuus on myös helppo määrittää nykyvälineillä, mutta koko jääkauden jäl-

keisenä aikana muodostuneina maannosluokka ja kivennäismaan väri ovat tehokkaampia tunnuksia maan vesitaloutta arvioitaessa. Vesipitoisuusmittaus ei myöskään suoraan kerro maan happioloista kuten maannostunnukset tekevät.

Maannoksen ja puuston kehityksen suhde vaatii kuitenkin vielä lisätutkimusta ennen pitkälle meneviä johtopäätöksiä. On lisäksi selvää, että onnistuneella maannuokkauksella voidaan vähentää maannoksen ja taimikon kehityksen välistä riippuvuutta ja tulevaisuudessa tämän kaltaisia tutkimuksia olisi tehtävä myös muokatuilla aloilla.

Kirjallisuus

- Cajander, A.K. 1930. Metsätyypit ja metsämaan hyväysluokittelu. Maa ja metsä 4(2): 295–316.
- Cogger, C.G. & Kennedy, P.E. 1992. Seasonally saturated soils in the Puget lowland I. Saturation, reduction, and color patterns. Soil Science 153(6): 421–433.
- Delta-T Devices LTD. 1995. ThetaProbe soil moisture sensor type ML1, user manual.
- Evans, C.V. & Franzmeier, D.P. 1988. Color index values to represent wetness and aeration in some Indiana soils. Geoderma 41: 353–368.
- & Mokma, D.L. 1996. Sandy wet spodosols: water tables, chemistry, and pedon partitioning. Soil Science Society of America Journal 60: 1495–1501.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1977. Site index estimation by means of site properties – Scots pine and Norway spruce in Sweden. Studia Forestalia Suecica 138. 38 s.
- Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Metsänuudistamisen suunnittelun nykytilanne ja kehittämismahdollisuudet. Metsätehon katsaus 2/1987.
- Jonsson, B. Stand establishment and early growth of planted *Pinus sylvestris* and *Picea abies* related to microsite conditions. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 425–440.
- Kaila, S. 1993. Taimikoiden tila metsäteollisuuden ja metsähallituksen vuosien 1990 ja 1991 männyn taimikoiden erillisinventoinneissa. Metsätehon moniste 19.11.1993.
- 1995. Metsänviljelyn tulos- ja kustannusvertailu aggregointiin perustuvalla menetelmällä. Julkaisussa: Niin metsänuudistamistutkimus vastaa – Metsänuudistamistutkimuksen tutkimuskokonaisuuden loppuraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 3/95: 191–221.

- Kinnunen, K. & Nerg, J. 1983. Istutustaimikoiden tila 11–12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä. *Folia Forestalia* 546. 20 s.
- Laasasenaho, J. 1983. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108. 78 s.
- Levula, J., Ilvesniemi, H. & Westman, C.J. 2003. Relation between soil properties and tree species composition in a Scots pine–Norway spruce stand in southern Finland. *Silva Fennica* 37(2): 205–218.
- Levula, T. 1988. Kulutus ja muokkaus maankunnostusmenetelminä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 300: 15–30.
- Leyton, L. & Rousseau, Z. 1958. Root growth of tree seedlings in relation to aeration. *Julkaisussa: Thiman, K.V. (toim.) The physiology of forest trees. Ronald Press, New York. s. 467–475.*
- Lindbo, D.L., Rabenhorst, M.C. & Rhoton, F.E. 1998. Soil color, organic carbon, and hydromorphology relationships in sandy epipedons. *Quantifying soil hydromorphology. SSSA Special Publication* 54: 95–105.
- Lähde, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 84(3). 23 s.
- 1978. Maankäsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 94(5). 59 s.
- Mannerkoski, H. & Mälkönen, E. 2000. Soil preparation for forest regeneration. *Julkaisussa: Mälkönen, E., Babich, N.A., Krutov, V.I. & Markova, I.A. (eds.). Forest regeneration in the northern parts of Europe. Proceedings of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar in Vuokatti, Finland, Sept. 28th–Oct. 2nd, 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 790: 147–157.
- Melville, M.D. & Atkinson, G.A. 1985. Soil colour: its measurement and its designation in models of uniform colour space. *Journal of Soil Science* 36: 495–512.
- Mokma, D.L. & Sprecher, S.W. 1994. Water table depths and color patterns in spodosols of two hydrosequences in Northern Michigan, USA. *Catena* 22: 275–286.
- Mäkitalo, K. & Heiskanen. 2001. Männynviljelyn onnistuminen ja siihen vaikuttavat tekijät – tuloksia pitkäaikaisesta metsänviljelykokeesta lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 803: 71–103.
- Munsell® soil color charts. 1992. Revised edition. Macbeth®, division of Kolmorgen Instruments Corp. New York.
- Nyberg, L. 1996. Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gårdsjön, Sweden. *Hydrological Processes* 10: 89–103.
- Pickering, E.W. & Vneman, P.L.M. 1984. Moisture regimes and morphological characteristics in a hydrosequence in central Massachusetts. *Soil Science Society of America Journal* 48: 113–118.
- Repo, R. & Valtanen, J. 1994. Maan ominaisuudet metsänviljelyssä. Mätästyksen perusteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 520. 52 s.
- Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. *Folia Forestalia* 637. 30 s.
- Saksa, T. 1998. Männyn istutustaimien menestyminen äestetyllä uudistusallalla. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1998(1): 15–31.
- , Jokinen, M. & Korhonen, J. 1999. Miksi metsänuudistamistoimet poikkeavat suunnitelmasta – haastattelututkimus Pohjois-Savossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1999: 215–226.
- Schimmel, J. & Granstrom, A. 1996. Fire severity and vegetation response in the boreal Swedish forest. *Ecology* 77(5): 1436–1450.
- Solantie, R. 1974. Kesän vesitaseen vaikutus metsä- ja suokasvillisuuteen ja linnustoon sekä lämpöolojen välityksellä maatalouden toimintaedellytyksiin Suomessa. *Silva Fennica* 8(3): 160–184.
- Sutinen, M.-L., Teirilä, A., Pänttjä, M. & Sutinen, R. 2001. Puulajikoostumus ja moreenikasvupaikkojen sähköiset ominaisuudet Keski- ja Pohjois-Lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 803: 55–70.
- Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819. 26 p.
- & Mälkönen, E. (toim.) 1999. Näytteenotto metsämaan ominaisuuksien määrittämistä varten. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 729. 54 s.
- Torrent, J., Schwertman, U. & Schulze, D.G. 1980. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma* 23: 191–208.

- Westman, C.J. 1990. Metsämaan fysikaaliset ja fysikaalis-kemialliset ominaisuudet CT-OMaT kasvupaikkasarjassa. *Silva Fennica* 24(1): 141–158.
- Zampella, R.A. 1994. Morphologic and color pattern indicators of water table levels in sandy pinelands soils. *Soil Science* 157(5): 312–317.

37 viitettä