



■ Pekka Tamminen

Pekka Tamminen

Maaperätunnusten maasto- arvioinnin tarkkuus

Tamminen, P. 1999. Maaperätunnusten maastoarvioinnin tarkkuus. Metsätieteen aikakauskirja 3/1999: 467–478.

Tutkimuksessa tarkastellaan Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventoinnin ja maantutkimuksen kenttärhymien arvioimien maaperätunnusten vastaavuutta ja suhdetta mittaustuloksiin 8. inventoinnin 488 pysyvällä näytealalla.

Inventointiryhmien silmävarainen kivisyysarvio kuvasi huonosti pintamaan kivisyyttä. Inventoinnissa vähäkiviseksi arvioidut maat sisälsivät painamismenetelmän mukaan 30 % ja kiviset ja erittäin kiviset maat yhtä paljon, 54 %, kiviä.

Inventointiryhmän neljään mittaukseen perustunut arvio orgaanisen kerroksen paksuudesta poikkesi maantutkimuksen ryhmän keskimäärin 20 mittaukseen perustuneesta arviosta enintään 2 cm 75 %:ssa ja enintään 5 cm 95 %:ssa tapauksia. Orgaanisen kerroksen laadun (puuttuu, kangashumus, turve, multa) inventoinnin ja maantutkimuksen ryhmät arvioivat samaksi keskimäärin 90 %:ssa tapauksia. Turpeen ja mullan osalta vastavuus oli huonompi, 43 ja 40 %, kun maantutkimuksen ryhmän arviota pidettiin oikeana.

Kivennäismaan raakoostumuksen arviointi onnistui sekä inventoinnin että maantutkimuksen ryhmiltä tyydyttävästi. Inventointiryhmät arvioivat keskimääräisen raokokoluokan (5 luokkaa) lajittuneiden maiden osalta oikein enintään yhden luokan virheellä 94 %:ssa tapauksia. Maantutkimuksen ryhmät arvioivat keskimääräisen raokokoluokan (7 luokkaa) oikein enintään yhden luokan virheellä 90 %:ssa tapauksia. Ryhmien arviot kivennäismaan lajittuneisuudesta vastasivat toisiaan 81 %:ssa tapauksia.

Saatuja tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että koska inventoinnin ryhmät arvioivat maaperätunnukset näytealan sisältä ($r = 9,77$ m) ja maantutkimuksen ryhmät arvioivat tunnukset ja ottivat maanäytteet näytealan kehältä, niin ryhmien arvioiden erilaisuus voi johtua osaksi edellä kuvatusta eripaikkaisuudesta. Lisäksi mitattuihinkin tunnuksiin sisältyy merkittäviä otanta- ja analyysivirheitä.

Asiasanat: maaperä, kivisyys, maalaji, humuskerros, maastoarviointi, VMI

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, PL 18, 01301 Vantaa. Faksi (09) 857 2575, sähköposti pekka.tamminen@metla.fi

Hyväksytty 18.5.1999

1 Johdanto

Maaperän ominaisuuksia kuvataan ja mitataan metsätaloudessa monia eri tarpeita varten. Maan ominaisuudet selittävät kasvupaikan puuntuotoskykyä eli viljavuutta (Ilvessalo 1933, Aaltonen 1941, Viro 1947, 1951, 1958, Urvas ja Erviö 1974, Lipas 1985, Tamminen 1993). Maaperän ominaisuudet vaikuttavat eri puulajien viihtymiseen (Lähde 1974), luontaiseen uudistumiseen ja metsänuudistamisessa tarvittaviin toimenpiteisiin (Valtanen 1984, Valtanen ja Lehtosaari 1991, Kinnunen 1993). Puunkorjuuta suunniteltaessa maan kantavuus ja maanpinnan esteet on otettava huomioon (Saarilahti 1991). Lisäksi maaperän ominaisuudet vaikuttavat sen läpi valuvaan veteen ja edelleen pohja- ja pintavesiin (Ahonen ym. 1998).

Kolmessa ensimmäisessä valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI) on määritetty maalaji (Ilvessalo 1933, 1952, Aaltonen 1941) ja kaikissa inventoinneissa on arvioitu kivisyys, mikä kolmannessa inventoinnissa myös mitattiin (Viro 1958). Kangashumuskerroksen paksuudesta koottiin tietoja toisessa inventoinnissa (Aaltonen 1941). Vuosina 1985–86 perustetuilta 8. inventoinnin pysyviltä näytealoilta kerättiin ensi kerran kolmannen inventoinnin jälkeen (1951–53) monipuolista maaperätietoa (Valtakunnan... 1986).

Nykyisin metsämaan fysikaalisia ominaisuuksia arvioidaan lähes kaikissa metsäorganisaatioissa (Halinen 1997, Juvakka 1996, Laamanen ym. 1997, Oksanen-Peltola ym. 1996, Pekkarinen ym. 1997). Metsätalouden harjoittajan katsotaan tarvitsevan metsänhoidon ja puunkorjuun yhteydessä tietoja myös maaperästä. Lisäksi metsätalouden ympäristövaikutusten arvioinnissa on katsottu olevan hyötyä maaperätiedoista (Finér ym. 1995).

Metsämaan ominaisuuksien silmävaraisen arvioinnin tarkkuudesta on käytettävissä hyvin vähän tietoa. Viro (1958) selvitti VMI 3:n ryhmien kivisyysarvioiden luotettavuutta suhteessa mitattuun kivisyyteen. Raekoostumuksen eli maalajin ja orgaanisen kerroksen laadun ja paksuuden osalta ei Suomen metsämaita ole julkaistu vastaavia tutkimuksia.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan silmävaraisesti määritetyn kivisyyden suhdetta mitattuun kivisyyteen, kivennäismaan keskimääräisen raekoon maastomäärityksen osuvuutta laboratorioanalyysiin ver-

rattuna ja humuskerroksen laadun ja paksuuden sekä kivennäismaan lajittuneisuusarvioiden vastaavuutta riippumattomissa maastomäärityksissä.

2 Aineisto ja menetelmät

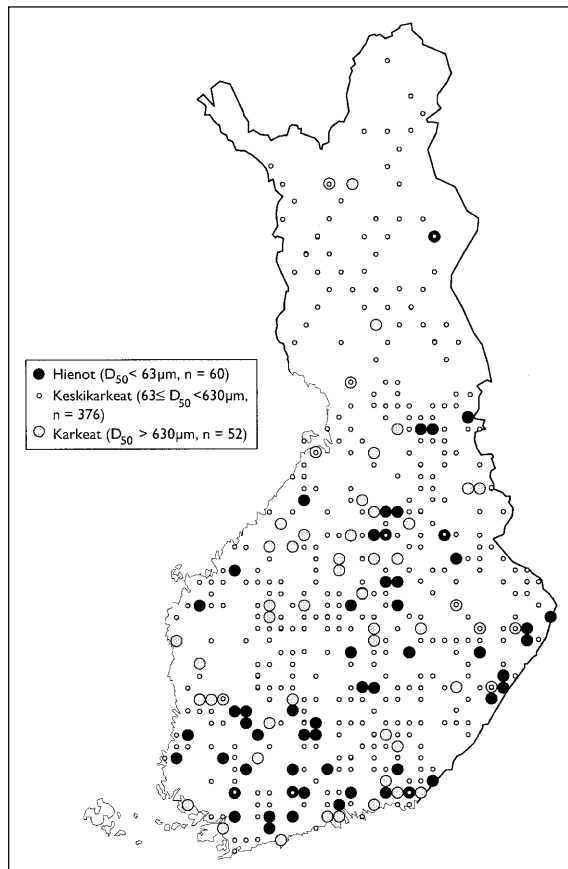
Aineisto koostui Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien 8. inventoinnin (VMI 8) pysyvillä näytealoilla tehdyistä maaperähavainnoista. Inventointiryhmät (12) perustivat noin 3 000 pysyvää seuranta-alaa vuosina 1985–86. Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimuksen ryhmät (5) mittasivat vuosina 1986–89 ja 1995 maaperätunnuksia ja ottivat maanäytteitä 488 näytealalta, joilla orgaanisen kerroksen paksuus oli enintään 15 cm. Pääosa maantutkimuksen näytealoista (77 %) poimittiin systemaattisesti VMI:n pysyvistä näytealoista. Jotta havaintoja olisi tullut riittävästi myös harvinaisista luokista, esim. savi- ja soramaista, poimittiin VMI-näytealoista systemaattisesti vielä lisäotos. Nämä näytealat muodostivat tämän tutkimuksen aineiston.

Näytealoja perustettaessa VMI-ryhmään kuulunut biologi tai ryhmänjohtaja määrittä (Reinikainen ja Nousiainen 1985, Valtakunnan... 1986)

- 1) orgaanisen kerroksen paksuuden (cm) neljän inventointialalle rajoitetun kasvillisuusruudun kulmasta (kuva 1) tai keskipisteestä 7 m päällmansuuntiin
- 2) orgaanisen kerroksen laadun eli humuslajin (puuttuu, kangashumus, turve, multa ja lieju) samoista pisteistä (kuva 1) ja
- 3) 30 cm:n syvyydessä vallitsevan maalajin (turve, kalli, kivikko, karkea moreeni (hiekk- ja sora-moreeni), hieno moreeni (hiesu- ja hietamoreeni), sora, hiekka, hietä, hiesu ja savi) samoista pisteistä (kuva 1) ja lisäksi ryhmänjohtaja määrittä kunkin inventointialalle osuneen kuvion (pinta-ala vähintään 0,1 ha)
- 4) kivisyyden veroluokan tarkennuksena (ei alennusta, alennus yksi tai kaksi veroluokkaa).

Maantutkimuksen ryhmänjohtaja (MAA) määrittä (Tamminen 1995)

- 1) orgaanisen kerroksen paksuuden keskimäärin 20 pisteestä (kuva 1)
- 2) orgaanisen kerroksen laadun eli humuslajin samoista pisteistä (puuttuu, kangashumus, mullas, multa ja turve)



Kuva 2. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin pysyvät näytealat ja raekostumusanalyysin perusteella määritetty maalajiryhmä.

3 Tulokset

3.1 Kivisyys

Valtakunnan metsien inventoinnissa kiviä kasvupaikkoja, joilla veroluokkaa alennettiin yhdellä, oli vain 13 % ja erittäin kiviä vain 1 % kaikista kohteista, kun veroluokan IV kalliomaita ei otettu huomioon (taulukko 1).

Painamismenetelmällä määritetty kivisyys vastasi huonosti VMI-ryhmien arvioimaa kivisyyttä (taulukko 2). Vähäkiviset kuviot erosivat selvästi kivisistä, jotka taas eivät eronneet erittäin kivisistä. Tarkasteltaessa toisistaan eniten poikkeavia tapauksia

havaittiin, että synnä näihin suuriin eroihin oli vähäisestä pintakivisyydestä huolimatta maa-aineksen suuri kivisyys ja osittain arvioiden eripaikkaisuus.

3.2 Orgaanisen kerroksen paksuus

Ryhmien määrittämät orgaanisen kerroksen paksuudet vastasivat melko huonosti toisiaan (kuva 3).

Taulukko 1. Silmävaraisesti arvioitu kivisyys kasvupaikkatyypeittäin valtakunnan metsien 8. inventoinnin ryhmien mukaan.

Kasvupaikka- tyyppi ¹⁾	Kivisyys							
	Vähäkivinen		Kivinen		Erittäin kivinen		Yhteensä	
	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%
Lehdot	11	92	1	8	0	0	12	100
Lmk	67	86	10	13	1	1	78	100
Tuok	177	83	32	15	4	2	213	100
Khk	127	86	20	13	1	1	148	100
Kk	27	96	1	4	0	0	28	100
Krk	2	100	0	0	0	0	2	100
Yhteensä	411	85	64	13	6	1	481	100

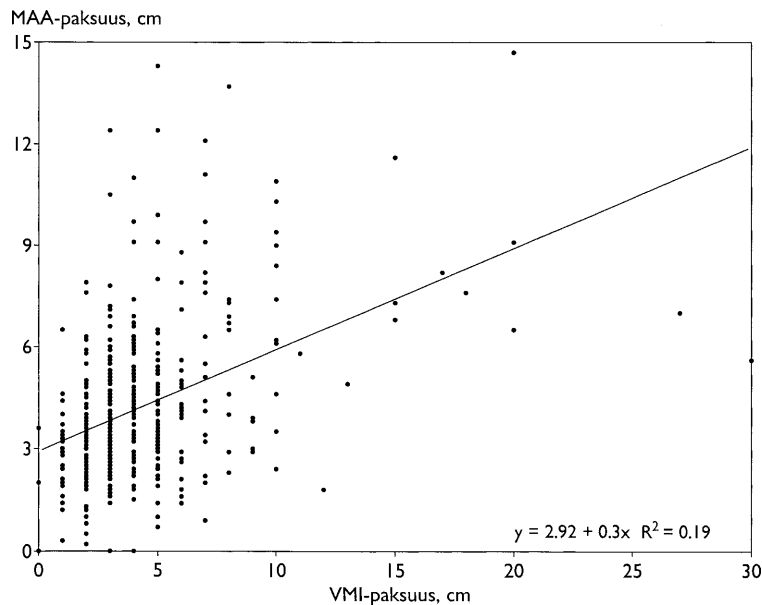
¹⁾ Valtakunnan... 1986: Lmk = lehtomaiset kankaat, Tuok = tuoret kankaat, Khk = kuivahkot kankaat, Kk = kuivat kankaat ja Krk = karukkokankaat.

Taulukko 2. Painamismenetelmällä määritetty kivisyysprosentti eli kivien tilavuusosuus VMI-ryhmien silmävaraisesti määrittämässä kivisyysluokissa.

Kivisyys, %	VMI-kivisyysluokka		
	Vähäkivinen	Kivinen	Erittäin kivinen
Keskiarvo	30,2	54,8	53,7
Vaihteluväli	0,5–77,5	3,2–77,5	19,8–77,5

Taulukko 3. Orgaanisen kerroksen paksuushavaintojen poikkeamien kumulatiivinen jakauma.

	Poikkeama, cm						
	0	±1	±2	±3	±4	±5	±6
Summafrequenssi, %	19,2	55,4	75,0	86,4	91,9	94,8	97,0



Kuva 3. Valtakunnan metsien inventoinnin ja maantutkimuksen kenttäryhmien arvioimien organisen kerroksen paksuuksien korrelaatiodiagramma.

Taulukko 4. Suhteellinen virhe¹⁾ organisen kerroksen keskipaksuuden²⁾ funktiona.

	Keskim. paksuus, cm											
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	10+	Yht.
Virhe, %	95	69	41	38	35	37	55	38	41	35	40	45
Frekvenssi	14	36	121	126	90	42	16	15	8	6	10	484

¹⁾ Suhteellinen virhe eli variaatiokerroin s_r on laskettu havaintoparien perusteella seuraavasti (Minkkinen 1983):

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{ri}^2}{2n}}, \text{ missä } d_{ri} = \frac{100 \times d_i}{\bar{x}_i}, \text{ missä } \bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2}}{2} \text{ ja } d_i = x_{i1} - x_{i2},$$

missä x_{i1} = VMI-ryhmän paksuusarvio ja x_{i2} = MAA-ryhmän paksuusarvio (cm).

²⁾ Havaintoparin keskiarvo = $\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2}}{2}$.

Verrattaessa paksuusmääryksiä, jätettiin pois neljä tapausta, joissa suuri ero (13...24 cm) johtui siitä, että määrykset oli tehty humuksen paksuuden suhteen erilaisilta maaperäkuvioilta (kangas ja suo). Lisäksi kun VMI-ryhmä oli luokitellut humuslajin mullaksi, merkittiin paksuudeksi ”0”, yhdenmukaisesti MAA-ryhmien kanssa (9 tapausta).

VMI-ryhmien paksuusarvioiden geometrinen keskiarvo 3,2 cm oli pienempi kuin MAA-ryhmien 3,6

cm ($t = 3,83^{***}$). Logaritimuunnoksella poistettiin jakaumien vinous oikealle ja saatiin geometriset keskiarvot takaisinmuunnoksen jälkeen, $\bar{x}_g = e^{\ln x}$. Yli puolessa tapauksia poikkeama oli enintään 1 cm ja 75 %:ssa tapauksia poikkeama oli enintään 2 cm (taulukko 3). Toisistaan paljon poikkeavat paksuudet oli useimmiten mitattu soistuneilta kuvioilta.

Havaintoparien perusteella laskettu suhteellinen virhe (Minkkinen 1983) oli odotetusti suurin silloin,

kun orgaaninen kerros oli ohut (taulukko 4, kuva 3). Keskimääräinen suhteellinen virhe, $\pm 45\%$, oli yllättävän suuri (Tamminen 1991, Hokkanen ym. 1995).

3.3 Orgaanisen kerroksen laatu

Maantutkimuksen ryhmät käyttivät orgaanisen kerroksen laadun eli humuslajin arvioinnissa luokitusta: puuttuu, kangashumus, mullas, multa ja turve. Näistä luokista mullas, joka on kangashumuksen ja mullan välimuoto, muunnettiin vertailua varten mullaksi, jos multaa oli vähintään 30 %:ssa näytepisteitä, muuten kangashumukseksi.

VMI- ja MAA-ryhmien arviot vastasivat keskimäärin erinomaisesti toisiaan – sama luokka 91 %:ssa tapauksia, mutta turpeen ja mullan osalta heikommin – onnistumissadannekset 44 ja 40, jos MAA-ryhmän arviota pidettiin oikeana (taulukko 5).

3.4 Raekoostumus

VMI-ryhmät jakoivat varsinaiset kivennäismaalajit moreeneihin ja lajittuneisiin maalajeihin. MAA-ryhmät arvioivat kivennäismaan keskiraekoon (mediaanilajite) ja lajittuneisuuden toisistaan riippumatta. Analysoiduista näytteistä laskettiin keskiraekoko (mm) ja lajittuneisuusindeksi (ks. Aineisto ja menetelmät). Kaikissa luokituksissa otettiin huomioon alle 20 mm:n maa-aines eli lajitteet savesta soraan.

Keskimääräinen raekoko

VMI-ryhmät arvioivat moreenimaat 61 %:ssa tapauksia samaan ryhmään kuin analysoitu näyte (taulukko 6). Karkeista moreeneista kuului oikeaan keskiraekokoluokkaan 80 %, mutta hienoista moreeneista vain 50 %. Moreenit oli arvioitu keskimäärin liian hienoiksi. Kun hienoja olisi pitänyt olla 38 % ja karkeita 62 %, niin VMI-ryhmien arviot olivat täsmälleen päinvastaiset. VMI-ryhmät arvioivat hienot lajittuneet maalajit (savi, hiesu, hieta) liian karkeiksi ja karkeat maalajit liian hienoiksi. Arvioitu keskiraekoko vastasi analysoitua 60 %:ssa tapauksia. Poikkeama oli enintään yksi luokka

Taulukko 5. VMI- ja MAA-ryhmien arviot vallitsevasta humuslajista.

VMI	MAA				Yhteensä
	Puuttuu	Kangashumus	Turve	Multa	
Puuttuu	3	1	0	0	4
Kangashumus	0	415	18	12	445
Turve	0	6	15	0	21
Multa	1	4	1	8	14
Yhteensä	4	426	34	20	484

94 %:ssa tapauksia ja kaikkiaankin enintään kaksi luokkaa (taulukko 7).

MAA-ryhmien arvio osui analyysin mukaiseen keskiraekokoluokkaan 45 %:ssa tapauksia. Arvion poikkeama oli enintään yksi luokka 90 %:ssa tapauksia ja enintään kaksi luokkaa 97 %:ssa tapauksia (taulukko 8). Hienot maalajit ($D_{50} < 200$ mm) arviointiin keskimäärin liian karkeiksi ja karkeat maalajit ($D_{50} \geq 200$ mm) liian hienoiksi. Yleisin keskiraekokoluokka oli analyysien mukaan hieno hiekka ja toiseksi yleisin karkea hieta. MAA-ryhmien maastoarvion mukaan yleisin lajiteluokka oli karkea hieta ja hiekkalajitteet olivat yhtä yleisiä (taulukko 8).

Lajittuneisuus

Kivennäismaan lajittuneisuus otettiin mukaan tarkasteluun, koska se vaikuttaa mm. keskikarkeiden maiden uudistumisherkkyyteen ja männyntaimikoiden menestymiseen (Lähde 1974, Valtanen ja Lehtosaari 1991). Lajittuneisuuden määrittäminen ei kuitenkaan ole yhtä yksiselitteistä kuin mediaani- eli keskiraekoon määrittäminen (Seppälä 1971, Sepponen 1981).

VMI-ryhmät arvioivat lajittuneita maita olevan enemmän (30 %) kuin MAA-ryhmät (selvästi lajittuneita maita 21 %) (taulukko 9). Ryhmien arvio oli 81 %:ssa tapauksia sama. Analyyttinen lajittuneisuusindeksi käyttäytyi loogisesti maastoarvioiden suhteen, mutta indeksi erotteli heikosti maastoluokat toisistaan (taulukko 10). Erotteluanalyysin mukaan maastossa arvioitua lajittuneisuusluokkia erotelti parhaiten kivisyys-% ja sitten vasta analyttinen lajittuneisuusindeksi ja mm. soran osuus. Maas-

Taulukko 6. VMI-ryhmien moreeneiksi arvioimien maiden keskiraekokojakaumat. Oikeaan luokkaan osuneiden havaintojen frekvenssit on lihavoitu.

Maastoarvio Moreeni- luokka	D ₅₀ -luokka, µm						Yhteensä
	<20 Sa+Hs	20–63 hHt	63–200 kHt	200–630 hHk	630–2000 kHk	>2000 Sr	
Hieno (Hs, Ht)	10	14	77	88	9	5	203
Karkea (Hk, Sr)		1	24	73	23	5	126
Yhteensä	10	15	101	161	32	10	329

Taulukko 7. VMI-ryhmien maastossa arvioimien ja näytteistä analysoitujen lajittu-
neiden maiden keskiraekokojen vastaavuus. Oikeaan luokkaan osuneiden havainto-
jen frekvenssit on lihavoitu.

Maastoarvio Maa- laji	D ₅₀ -luokka, µm							Yhteensä
	<2 ¹⁾ Sa	-20 Hs	-63 hHt	-200 kHt	-630 hHk	-2000 kHk	>2000 Sr	
Savi	8	3	3	3	0	0	0	17
Hiesu	5	4	5	2	0	0	0	16
Hieta	0	0	5	23	10	1	0	39
Hiekka	0	0	1	19	38	5	0	63
Sora	0	0	0	2	2	1	1	6
Yhteensä	13	7	14	49	50	7	1	141

1) D₅₀ ≤ 2 µm tai savilajitetta vähintään 30 %.

Taulukko 8. MAA-ryhmien maastossa arvioimien ja näytteistä analysoitujen keski-
raekokojen vastaavuus. Oikeaan luokkaan osuneiden havaintojen frekvenssit on li-
havoitu.

Maastoarvio Keski- raekoko	D ₅₀ -luokka, µm							Yhteensä
	<2 ¹⁾ Sa	-20 Hs	-63 hHt	-200 kHt	-630 hHk	-2000 kHk	>2000 Sr	
Sa	9	1	1	0	0	0	0	11
Hs	2	8	4	4	1	0	0	19
hHt	3	4	19	23	18	1	0	68
kHt	1	1	6	81	97	3	2	201
hHk	1	0	0	47	94	19	3	164
kHk	0	0	0	1	10	8	5	164
Sr	0	0	0	0	0	0	1	1
Yhteensä	16	14	30	156	220	41	11	488

1) D₅₀ ≤ 2 µm tai savilajitetta vähintään 30 %.

Taulukko 9. Kivennäismaan lajittuneisuus VMI- ja MAA-ryhmien mukaan.

VMI	MAA		Yhteensä
	Lajittumaton	Lajittunut ¹⁾	
Lajittumaton	306	23	329
Lajittunut	65	77	142
Yhteensä	371	100	471

¹⁾ Maantutkimuksen ryhmien arvio "selvästi lajittunut".

Taulukko 10. Lajittuneisuusindeksi¹⁾ ja keskiraekoolla (D_{50}) korjattu savi- ja hiesulajitteiden osuus maastossa arvioituissa lajittuneisuusluokissa

	VMI-ryhmät			MAA-ryhmät			
	Ei	Lajittunut	F-arvo	Ei	Hiukan	Lajittunut	F-arvo
Sort ¹⁾	2,70a	1,95b	82***	2,74a	2,37b	1,93c	36***
Sa+Hs	12,6a	7,5b	77***	13,4a	10,2b	6,8c	45***
Havaintoja	330	141		259	130	99	

¹⁾ Lajittuneisuusindeksi $Sort = 2 \times \lg(D_{75\%} / D_{25\%})$, missä D on raeläpimitta ko. kvartiilin kohdalla.

tossa lajittuneiksi arvioidut maat sisälsivät tilastollisesti merkitsevästi vähemmän hienoimpia lajitteita kuin lajittumattomat maat (taulukko 10).

4 Tulosten tarkastelu

Aineisto on varsin edustava, koska se poimittiin VMI 8:n näytealoista, joskin harvinaisista, hienoimmista ja karkeimmista maista poimittiin lisäotos niiden mukaantulon varmistamiseksi. Tähän tutkimukseen aineisto soveltui kuitenkin hyvin.

VMI-ryhmien silmävaraisesti arvioima kivisyys poikkesi selvästi mitatusta kivisyydestä (taulukko 2). Vastaavuus oli selvästi huonompi kuin VMI 3:n aineistossa (Viro 1958), jossa VMI-ryhmät myös mittasivat kivisyyden silmävaraisen arvioinnin jälkeen. Kun VMI 3:ssa kivisyysluokkien 2 ja 3 osuudet olivat 32 ja 16 %, niin VMI 8:ssa kivisten alojen osuus oli 13 % ja erittäin kivisten 1 %. Mitatut kivisyydet vastasivat sen sijaan täysin 3. inventoinnin kivisyysjakaumaa (taulukko 11). Silmävaraisesti

arvioitu kivisyys selittää kasvupaikan tuotoskykyä (Tamminen 1993), mutta subjektiivisena tunnuksena se on huono esim. verrattaessa kasvupaikkojen laatua eri aineistoissa, kuten edellä valtakunnan metsien 3. ja 8. inventoinnissa. Sen sijaan painamismenettelmällä määritetty kivisyys on objektiivinen ja itsenäinen kasvupaikkatunnus, joka selittää lisäksi ainakin yhtä hyvin boniteettia kuin silmävarainen kivisyys (Tamminen 1993).

VMI-ryhmien orgaanisen kerroksen paksuuden arviointi onnistui keskimäärin tyydyttävästi, joskin mukana oli yksittäisiä suuria poikkeamia (kuva 3, taulukko 3). Osa suurista poikkeamista orgaanisen kerroksen paksuushavainnoissa lienee johtunut mitattujen humuskerrosten todellisista paksuuseroista. Osa poikkeamista johtui luultavasti mittausmenetelmien eroista sekä otanta- ja mittausvirheistä. MAA-ryhmät ottivat yleensä 20 osanäytettä sylinterillä, jonka läpimitta oli 58 mm, kun taas VMI-ryhmät ottivat 4 osanäytettä näytteenottimella, jonka läpimitta oli 23–25 mm. Ohuempi näytteenotin painaa kokemuksen mukaan voimakkaammin kasaan huokoista orgaanista kerrosta. VMI-ryhmien

Taulukko 11. Valtakunnan metsien 3. (Viro 1958) ja 8. inventoinnin mitatun kivisyyden jakaumat. Painumaluokien suhteelliset frekvenssit.

Inventointi	Keskipainuma, cm (0–30 cm)			Yhteensä
	0–12	12,1–21	21,1–30	
VMI 3 (1951–53)	32	44	24	100 %
VMI 8 (1985–86)	33	44	23	100 %

pienempi orgaanisen kerroksen paksuuden keskiarvo tuki tätä käsitystä.

Orgaanisen kerroksen laadun arviointi näytti oleen vaikeinta soistuneilla kankailla, joilla esiintyy sekaisin kangashumusta ja turvetta, viljavilla ja ohutturpeisilla soilla, joilla esiintyy turvetta ja multaa ja entisillä pelloilla, joilta orgaaninen kerros puuttuu tai joilla esiintyy multaa tai kangashumusta. VMI- ja MAA-ryhmien luokituserot keskittyivät harvinaisiin ja rajatapauksiin, joita ei onnistuttu käsittelemään ehkä koulutuksessakaan riittävästi. Orgaanisten kerrosten luokittelun vaikeutta kuvannee osaltaan myös kansainvälisten ja kansallistenkin standardien erilaisuus tai puuttuminen. Meillä erittelyn tarve koskee lähinnä kangashumuksia ja turpeita. Eteläisimmässä Suomessa ja Suomea etelämpänä luokitustarve on suurempi multamaisten kerrosten osalta.

Kivennäismaan keskiraekoon eli keskimmäisen lajiteluokan arviointi onnistui melko hyvin (taulukot 6–8). Jos molemmat ryhmät olisivat arvioineet saman analysoidun näytteen, tulos olisi todennäköisesti parantunut (Post ym. 1986, Levine ym. 1989). MAA-ryhmien arvio poikkesi analysoidusta arvosta enintään yhden lajiteluokan 90 %:ssa tapauksia (taulukko 8). Tulos on varsin hyvä, mutta samalla maat arvioitiin systemaattisesti hiukan liian hienoiksi. Näin kävi myös VMI-ryhmille moreenien osalta (taulukko 6). Systemaattinen virhe saattoi johtua mm. soralajitteen osuuden aliarvioimisesta ja puutteellisesta koulutuksesta. Aistinvaraisen arvioinnin satunnaisvirhe pienenee luultavasti työn kuluessa enemmän kuin systemaattinen virhe, jota lienee mahdollista pienentää laadukkaalla koulutuksella ja palautteella työn aikana (Levine ym. 1989). Kun otetaan huomioon keskiraekoon ekologinen, met-

sänhoidollinen ja tekninen merkitys (Sepponen 1981, Saarilahti 1991, Tamminen 1993) ja saavutettavissa oleva arviointitarkkuus, kannattaa keskiraekoon maastoarvioita ehdottomasti hyödyntää metsien inventoinneissa ja kartoituksissa. Myös metsämaiden laaja maalajijakauma, savesta soraan, auttaa erottamaan maastossa toisistaan olennaisesti poikkeavat maalajikuviot.

Maalajien jako moreeneihin ja lajittuneisiin maalajeihin tai lajittuneisuuden aste ei näyttänyt olevan tarkkarajainen ja yksiselitteinen ominaisuus (taulukko 9). Maa-aineksen lajittuneisuus, ts. joidenkin lajitteiden vallitsevuus ja joidenkin puuttuminen, on luonnossa likimain rajatta esiintyvä ominaisuus. Jako moreeneihin ja lajittuneisiin maalajeihin voi myös perustua maalajin geologiseen syntytapaan tai maaperämuodostumaan, eikä pelkästään lajitekoostumukseen (Haavisto 1983). Lajittuneisuutta ei pidetä erityisen merkityksellisenä ekologisenä tunnuksena (Sepponen 1981). Lajittuneet maat sisältävät keskimäärin vähemmän hienompia lajitteita kuin lajittumattomat (taulukko 10). MAA-ryhmien lajittuneisuusluokka vastasi likimain yhtä keskiraekokoluokkaa keskikarkeilla ja karkeilla maalajeilla, kun mittana oli hienimpien (savi+hiesu) lajitteiden osuus:

MAA-ryhmän lajittuneisuus	MAA-ryhmän kHt	keskiraekokoluokka hHK	kHK+Sr
Ei	11,6	9,3	6,4
Hiukan	9,4	7,9	3,0
Selvästi	7,6	3,3	1,4

Analyyttinen lajittuneisuusindeksi ($2 \times \lg(D_{75\%}/D_{25\%})$) vastasi odottamattoman huonosti maastossa tehtyä lajittuneisuusluokitusta (taulukko 10). Maastoluokkia erotteli maastossa mitatuista ja analyttisistä raekoostumustunnuksista selvästi parhaiten kivisyys-%: mitä vähemmän oli kiviä, sitä lajittuneempaa maa oli.

Inventointialojen heterogeenisuus maaperäkuvioiden suhteen – suon ja kankaan tai moreenin ja lajittuneen maan rajat tai kallion ja turvemaan laikuitainen esiintyminen näytealalla – vaikeutti ryhmien työtä maastossa ja erityisesti tulosten tulkintaa. Lisäksi VMI-ryhmät tarkastelivat näytealan sisä- ja MAA-ryhmät sen ulkopuolta. Kaikkien arvioitujen ja näytteistä mitattujen tunnusten otantavirhe

($d \geq t \times CV / \sqrt{n}$, missä $t = 2$, $n = 4$ (VMI) tai 10, 20 tai 30 (MAA) ja $CV = 20...50\%$ (Tamminen 1991)) oli todennäköisesti varsin suuri, $\pm 10...50\%$ (Viro 1952, Falck 1973, Troedsson ja Tamm 1969, Tamminen 1991). Näytealojen heterogeenisuudesta ja pienestä havaintolukumäärästä aiheutunut suurehko otantavirhe ja maaperätunnusten arvioinnin eripaikkaisuus heikensivät ryhmien arvioiden ja mitaustulosten vertailtavuutta. Aineiston rajoitusten takia maaperätunnusten arviointitarkkuudesta on joiltakin osin saatu ehkä liian pessimistinen käsitys (vrt. Post ym. 1986, Levine ym. 1989).

Tämän tutkimuksen maastotöiden ja tulosten sekä aiemman tietämyksen (Viro 1958, Tamminen 1991, 1993) perusteella kivisyys voidaan ja kannattaa arvioida kasvupaikan ominaisuutena sellaisenaan tukeutumatta puiden kasvuun tai harkitsematta asiaa veroluokituksen kannalta (vrt. Halinen 1997, Juvakka 1996, Laamanen ym. 1996, Pekkarinen ym. 1997, Valtakunnan... 1986). Mittaukseen soveltuu esim. Viron (1952) painamismenetelmä. Mm. kasvupaikan historiaa ja vesi- ja ravinnetaloutta kuvaava orgaanisen kerroksen laatu eli humuslaji (Lowe ja Klinka 1981, Buberl ym. 1994, Fyles ja Côté 1994, Brais ym. 1995, Riek ja Wolff 1995) voidaan kuvata melko kattavasti seuraavilla luokilla: puuttuu, kangashumus, turve, turvemulta, mullas ja multa. Näistä luokat ”puuttuu” ja ”multa” eivät ole orgaanisia kerroksia, mutta kuvaavat hyvin maan pintakerroksen laatua. Turvemulta tarkoittaa alkuperäisen kerroksellisen rakenteensa menettänyttä, tasaisesti maatunutta turvekerrosta, joka on yleisin entsillä viljelysmailla ja ojitetuilla, viljavilla ja ohuturpeisilla soilla. Mullas on puolestaan kangashumuksen ja mullan välimuoto.

Orgaanisen kerroksen paksuus, joka kuvastaa mm. metsikön historiaa ja sukkessiovaihetta, on syytä arvioida vain riittävän yhtenäisille kuvioille. Ohuiden orgaanisten kerrosten paksuus on määritettävä lapiolla tehdystä leikkauksesta tai isohkolla sylinterillä (läpimitta vähintään 50 mm) otetuista näytteistä. Turvekerrosten (>10 cm) paksuus voidaan määrittää mitta-asteikolla varustetulla puikolla, esim. suorassilla. Mittauksia on tehtävä keskimäärin vähintään 10, jotta otantavirhe jäisi 67 %:n todennäköisyydellä alle $\pm 10\%$:n (Tamminen 1991).

Kivennäismaan raekoostumus on mahdollista arvioida riittävän luotettavasti 6–7 keskiraekokoluo-

kalla (savi, hiesu (tai savi+hiesu), hieno hieta, karkea hieta, hieno hiekka, karkea hiekka, sora). Jos lajittuneisuutta arvioidaan, se voidaan arvioida luokilla: lajittumaton (tyypillinen moreeni), hiukan lajittunut (huuhtoutunut eli suhteistunut moreeni tai sekamaalaji), selvästi lajittunut ja alueellisenä erikoisuutena mahdollisesti rapakivisora. Lajittuneisuusastetta määritettäessä on todennäköisesti hyödyllisempää tarkastella vain maa-ainesta eikä maailjin syntytapaa tai geologista muodostumaa.

Kiitokset

Aineisto kerättiin VMI:n pysyviin seuranta-aloihin perustuneen ILME-projektin yhteydessä. Kiitän Metlaa ja VMI:tä rahallisesta panostuksesta ja kenttäröhmien johtajia ja biologeja työpanoksestaan. Kiitos myös laborantti Maarit Martikaiselle raekoostumusanalyysistä, Sari Elomalle ja Anne Siikalle kuvista ja Eino Mälköselälle tekstin kommentoimisesta. Nimettömät tarkastajat saavat kiitokset rakennetta ja yksityiskohtia parantaneista kommentista.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1941. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin valossa. Zusammenfassung: Die finnischen Waldböden nach der Erhebungen der zweiten Reichswaldschätzung. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 29(5). 71 s.
- Ahonen, J., Rankinen, K., Holmberg, M., Syri, S. & Forsius, M. 1998. Application of the SMART2 model to a forested catchment in Finland: comparison to the SMART model and effects of emission reduction scenarios. *Boreal Environment Research* 3: 221–233.
- Brais, S., Camiré, C., Bergeron, Y. & Paré, D. 1995. Changes in nutrient availability and forest floor characteristics in relation to stand age and forest composition in the southern part of the boreal forest of northwestern Quebec. *Forest Ecology and Management* 76(1–3): 181–189.
- Buberl, H.G., Wilbert, K. von, Trefz-Malcher, G. & Hildebrand, E.E. 1994. Der chemische Zustand von Waldböden in Baden-Württemberg. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 1989–92 (BZE). Mittei-

- lungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 182. 104 s. ISSN 0178-3165.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agraria Fennica* 122. 122 s.
- Falck, J. 1973. En metod för bestämning av humusskiktets innehåll av växtnäringsämnen. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsskötsel, Rapporter och Uppsatser 1. 129 s.
- Finér, L., Ahtiainen, M., Höytämö, J., Mannerkoski, H., Piirainen, S., Seuna, P., Starr, M. & Store, R. 1995. Kangasmaan päätehakuun ja maanmuokkauksen vaikutus veden ja ravinteiden kierto: kalibrointijakson tuloksia. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 – ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 383–398.
- Fyles, J.W. & Côté, B. 1994. Forest floor and soil nutrient status under Norway spruce and red pine in a plantation in southern Quebec. *Canadian Journal of Soil Science* 74: 387–392.
- Haavisto, M. (toim.). 1983. Maaperäkartan käyttöopas 1:20 000, 1:50 000. Opas 10. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo. 80 s + 2 karttaa. ISBN 951-690-170-0.
- Halinen, M. 1997. Kuvioittainen arviointi ja kuvio- ja metsänhoitotietojen päivitys. UPM-Kymmene Metsä. Moniste. 40 s.
- Heiskanen, J. & Tamminen, P. 1992. Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 424. 32 s.
- Hokkanen, T.J., Järvinen, E. & Kuuluvainen, T. 1995. Properties of top soil and the relationship between soil and trees in a boreal Scots pine stand. *Silva Fennica* 29(3): 189–203.
- Iivessalo, Y. 1933. Metsätyyppien esiintyminen eri maa-lajeilla. Summary: Occurrence of forest types on the different soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 18(5). 36 s
- 1952. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national forest survey of Finland. Plan and instructions for field work. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(3). 67 s.
- Juvakka, M. 1996. LUOTI-maastotyöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusalueiden kuvioittaisen perusinventoinnin maastotyöohje. *Metsäntutkimuslaitoksen Moniste*. 42 s.
- Kinnunen, K. 1993. Männyn kylvö ja luontainen uudistaminen Länsi-Suomessa. Abstract: Direct sowing and natural regeneration of Scots pine in western Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 447. 144 s.
- Laamanen, R., Leskinen, J. & Hallman, E. 1997. PATI-maastotyöohje. Metsähallitus. Moniste. 58 s.
- Levine, S.J., Post, D.F. & Ellsworth, T.J. 1989. An evaluation of student proficiency in field estimation of soil texture. *Journal of Agronomic Education* 18(2): 100–104.
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618. 16 s.
- Lowe, L.E. & Klinka, K. 1981. Forest humus in the Coastal Western hemlock biogeoclimatic zone of British Columbia in relation to forest productivity and pedogenesis. Province of British Columbia, Ministry of Forests, Research Note 89. 83 s.
- Lähde, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84(3). 23 s.
- Minkinen, P. 1995. Rutiiniallyysien laadunvalvonta. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Lappeenranta. Moniste. 114 s.
- Oksanen-Peltola, L., Paananen, R., Schneider, H. & Ärölä, E. (toim.). 1996. Solmu maastotyöopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Moniste. 80 s.
- Pekkarinen, J., Suutarla, T., Määttä, J. & Hokkanen, H. 1997. Enson maastotyöopas 1997. 68 s. + 18 liites.
- Post, D.F., Huete, A.R. & Pease, D.S. 1986. A comparison of soil scientist estimations and laboratory determinations of some Arizona soil properties. *Journal of Soil and Water Conservation* 41(6): 421–424.
- Reinikainen, A. & Nousiainen, H. (toim.). 1985. Biologien työohjeet VMI 8:n pysyviä koaloja varten. Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto. Moniste. 58 s.
- Riek, W. & Wolff, B. 1995. Deutscher Beitrag zur europäischen Waldbodenzustandserhebung (Level I). Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstökologie und Walderfassung, Eberswalde. Moniste. 71 s.
- Saarihahti, M. 1991. Maastoliikkuvuuden perusteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 390. 99 s.
- Sepponen, P. 1981. Kivennäismaan raekoon tunnuksista ja niiden käyttökelpoisuudesta eräiden maan ominaisuuksien kuvaamiseen. Summary: Particle size distribution characteristics of mineral soil and their applicability for describing some soil properties. *Silva Fennica* 15(2): 228–238.
- Seppälä, M. 1971. Evolution of eolian relief of the Kaamasjoki-Kiellajoki river basin in Finnish Lapland. *Fennia* 104. 88 s. + 2 karttaa.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Ete-

- lä-Suomessa. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 40 s.
- 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 s.
- 1995. Kenttäyöohjeet maanäytteenottoa varten pysyviltä VMI-näytealoilta v. 1995. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. Moniste. 28 s.
- Troedsson, T. & Tamm, C.O. 1969. Small-scale spatial variation in forest soil properties and its implications for sampling procedures. *Studia Forestalia Suecica* 74. 30 s.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytymisen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Abstract: Influence of the soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 3: 307–319.
- Valtakunnan metsien 8. inventointi. 1986. Pysyvien koealojen kenttäyön ohjeet 1985–1986. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto, metsäinventoinnin tutkimussuunta. Moniste. 125 s.
- Valtanen, J. 1984. Männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuudet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 158: 37–50.
- & Lehtosaari, A. 1991. Männyn uudistumiseen vaikuttavista tekijöistä Siikalatvan alueella. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 388. 120 s. + liitteitä.
- Viro, P.J. 1947. Metsämaan raekoostumus ja viljavuus varsinkin maan kivisyyttä silmällä pitäen. Summary: The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 35(2). 115 s.
- 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. Pine stands. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus. I. Männiköt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(4). 54 s.
- 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(3). 23 s.
- 1958. Suomen metsämaiden kivisyydestä. Summary: Stoniness of forest soil in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 49(4). 45 s.

42 viitettä