



Seppo Kaunisto



Mikko Moilanen

Seppo Kaunisto ja Mikko Moilanen

Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella

Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1998: 393–410.

Tutkimuksessa selvitettiin ojitettujen soiden turpeen ravinnepitoisuuksia ja -määriä raakahumuksessa ja 0–50 cm:n pintaturvekerroksessa. Lisäksi arvioitiin puustoon sitoutuneiden ja hakkuiden mukana poistuneiden ravinteiden määriä samoilta koealoilta mitattujen puuston tilavuuden ja poistuman (min. 5, max. 178 m³/ha) ja muista tutkimuksista saatujen keskimääraisten puun eri osiin sitoutuvien ravinnemäärien perusteella. Aineisto kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikaisessa seurannassa olleilta 34 rämekoealalta, 12 korpikoealalta ja 10 metsitetyltä nevakoealalta. Kohteet oli ojitettu 1930-luvulla. Turvenäytteistä määrätettiin typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, raudan, mangaanin, boorin, sinkin ja kuparin kokonaispitoisuudet kuivamassaa ja määrät tuoretilavuutta kohden. Raakahumuksessa ja 0–20 cm:n pintaturvekerroksessa oli typpeä yhteensä 5500–7000 kg/ha, fosforia 250–400 kg/ha ja kaliumia 60–90 kg/ha. Rämeistä kehittyneillä turvekankailla ja muuttumilla typpeä ja fosforia oli 3–4 -kertaisesti verrattuna vastaaviin luonnontilaisiin rämeisiin, mutta kaliumia vain n. 60–90 %. Valtaosa kalium- ja sinkkivaroista oli raakahumuksessa ja turpeen 0–10 cm:n pintakerroksessa. Entisillä nevakoealoilla kivennäisravinnevarat olivat erittäin vähäiset. Kaliumia, booria ja sinkkiä oli raakahumuksessa ja turpeen pintakerroksessa (0–20 cm) useissa tapauksissa vähemmän kuin puustossa. Latvusten hyödyntämisen hakkuukertymässä arvioitiin olennaisesti vähentävän näiden ravinteiden määriä kasvupaikalla. Koealoilla runkokuunkorjuuna toteutettujen harvennushakkuiden aiheuttamat ravinnepoistumat olivat kuitenkin suhteellisen vähäisiä verrattuna kasvualustaan ja nykypuustoon sitoutuneisiin ravinnemääriin, koska harvennushakkuut olivat olleet verrattain vähäisiä.

Avainsanat: Ravinnevarat, ravinteiden otto, ravinnepoistuma, puunkorjuu, turvekangas, suo, suo-
puusto, kalium, sinkki, kivennäisravinteet, tuotos, lannoitus.

Yhteystiedot: Kaunisto, Metla, Parkanon tutkimusasema, Kaironiementie 54, 39700 Parkano.

Faksi +358 (0)3 44351, sähköposti seppo.kaunisto@metla.fi;

Moilanen, Metla, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie, 91500 Muhos.

Faksi +358 (3) 5312211, sähköposti mikko.moilanen@metla.fi

Hyväksytty 6.8.1998

1 Johdanto

Vuoden 1990 loppuun mennessä Suomessa oli ojitettu metsänkasvatusta varten noin 5,9 miljoonaa hehtaaria soita ja soistuneita kankaita, mikä on noin viidennes maapinta-alasta ja yli neljännes metsätalousmaan alasta. Laajan ojitustoiminnan seurauksena on metsä- ja kitumaan pinta-ala kasvanut 1950-luvun tasosta 1,4 miljoonaa hehtaaria (Aarne 1993). Soiden metsänparannustoimenpiteiden aiheuttaman puuston lisäkasvun arvioidaan tällä hetkellä olevan n. 12,5 milj. m³/a (Tomppo, esitelmä Tampereella 27.11.1997).

Ojituksen seurauksena valunta alkuvaiheessa voimistuu, mikä lisää ravinteiden, etenkin kaliumin ja boorin huuhtoutumista (Ahti 1983, Ahtiainen 1988, Lundin 1988). Vähäistä ravinnelisäystä soille tulee kuiva- ja märkälasseumina (Järvinen 1986, Finér 1992, Sallantaus ja Kaipainen 1996), mutta esim. ojittamattomalta suolta sitä huuhtoutuu suunnilleen saman verran (Sallantaus ja Kaipainen 1996). Luonnontilaiset minerotrofiset suot saavat valumavesien mukana ravinteita myös ympäröiviltä kangasmailta. Ojaverkosto niskaojineen kuitenkin katkaisee mineraaliravinteiden kulkeutumisen kangasmailta suolle.

Suometsikön kalium- ja boorivaroista huomattava osa sitoutuu puustoon (Paavilainen 1980, Finér 1989, 1991, Kaunisto 1996) ja muuhun kasvillisuuteen (Paavilainen 1980, Finér ja Nieminen 1996). Varttuneessa suomännikössä kaliumia ja booria voi olla puustoon sitoutuneena jopa enemmän kuin puiden juuristokerroksen turpeessa (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Finér 1992, Moilanen ym. 1996). Puunkorjuun yhteydessä metsiköstä kulkeutuu ravinteita pois, osa hakkuupoistuman mukana (Kaunisto 1996), osa huuhtoutumalla (Ahtiainen 1988). Hakkuin käsitellyillä turvekankailla kaliumvarat onkin todettu pienemmiksi kuin vastaavilla luonnontilaisilla soilla (Westman 1981, Kaunisto ja Paavilainen 1988).

Alunperin nevaisilla, paksuturpeisilla ja runsastyppisillä suotyypeillä metsikön suotuisa alkukehitys monesti tyrehtyy ja puusto rappeutuu jo nuorella iällä. Puuston heikkoon kasvuun on tällöin yleensä syynä kaliumin puutos (Kaunisto ja Tukeyva 1984, Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto 1989, 1992).

Tässä tutkimuksessa selvitetään 1930-luvulla ojitettujen soiden ravinnevaroja ja niiden riittävyttä koealoilta, joilta oli tiedossa puuston tuotos ja poistuma. Puustoon sitoutuneiden ja hakkuissa, puutavaran mukana poistuneiden ravinteiden määriä arvioidaan mitattujen puustotunnusten ja kirjallisuudesta saatujen puustoon sitoutuvien ravinne-määrien avulla (Paavilainen 1980, Finér 1989). Lisäksi selvitetään alkuperäisen suotyypin ja turpeen paksuuden vaikutusta kasvualustan ravinnevaroihin sekä lannoituksen vaikutusta turpeen ravinne-määriin. Tavoitteena on määrittää ne ravinteet, joiden niukuus saattaa pitkällä aikavälillä rajoittaa suopuustojen kasvua tai jopa ehkäistä niiden kehityksen.

2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa hyödynnettiin Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusalueisiin neljään kohteeseen 1930-luvulla perustettuja ojitus- ja puustonkasvatuskokeita ja koealoja. Tutkimuskohteista yksi sijaitsee Keski-Suomessa (Karstulan Mustapuro) ja kolme Lapin läänissä (Rovaniemen Alajärvensuo ja Sattasuo sekä Sodankylän Suoloma-aapa) (kuva 1, taulukko 1). Kasvukauden keskimääräinen tehoisa lämpösumma vaihtelee tutkimuskohteittain välillä 1088–800 d.d. Perusojitus oli kaikissa kohteissa tehty lapiotyönä 1930-luvulla. Lapin kokeilla ojastoja oli myös täydennetty. Suoloma-aapaa lukuunottamatta koealat kuuluvat koko maan kattavaan ns. pysyvien kasvukoealojen verkostoon, joilla puuston kehitystä on seurattu toistuvien mittauksin 1930-luvulta lähtien ja joilla myös runkopuuston poistumat tunnetaan tarkoin. Myöhemmin muutamilla koealoilla oli tehty myös lannoituksia. Tutkimuskohteiden kasvupaikat eivät edusta selvää trofiasarjaa. Valittuja kohteita tarkastellaankin omina kokonaisuuksinaan, eikä esim. kohteen maantieteellisen sijainnin vaikutusta tietyn suotyypin puuston tuotokseen tai kasvupaikan ravinne-määriin voida tässä tarkemmin selvittää.

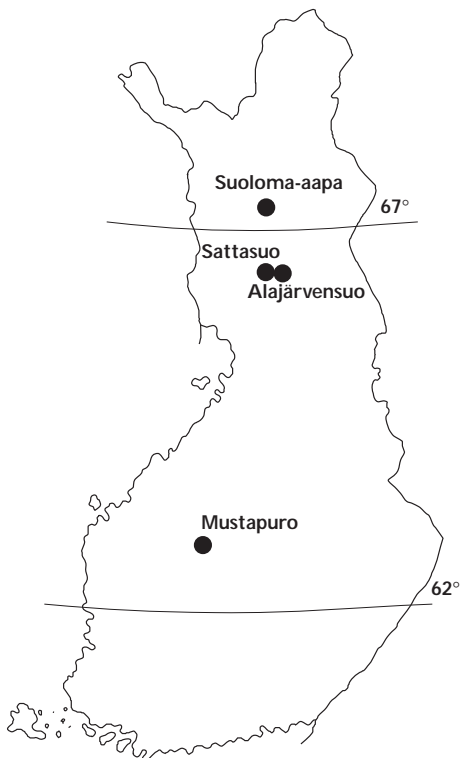
Suoloma-aapa oli ojitettaessa suursaraneva, joka kylvettiin männylle v. 1934 (taulukko 1). Alajärvensuo oli vähäpuustoinen koivulettokorpi, joka uudistui luontaisesti ojituksen jälkeen. Sattasuo oli ruohoinen sararäme, jolla puuston määrä ojitushet-

Taulukko 1. Tutkimuskohteiden yleistiedot. Alaindeksi s = turvekerros ohut tai ohuehko.

Alueen sijainti	Lämpösumma d.d.	Perus- (kunnostus-) ojituskohdat, v	Sarkaleveys perus- (kunnostus-) ojituksessa, m	Alkuperäinen turveysvyvyys	Nykyinen turveysvyvyys ¹⁾	Alkuperäinen suotyyppi ²⁾ (koaloja, kpl)	Puuston runko-tilavuus ojitushetkellä m ³ /ha	Viimeinen mittaust, v
Mustapuro Karstula	1088	1932	38–110	0,3–1,4	0,1–0,9	VSK(1), VSK _s (2), RhSR(4), TSR(5), TSR _s (1), PsR(2), TR(5)	2–41	1988
Alajärvensuo Kivalo	n. 870	1933, (-81)	70–90 (25)	1,4–2,0	n.d.	RhK(1), KoLK(8), VLR(2)	Δ	1989
Sattasuo Kivalo	n. 870	1934, (-85)	95–99 (25–40)	0,5–3,3	n.d.	RhSR(12), RhSR _s (3)	2–20	1984
Suoloma-aapa Sodankylä	800	1935, (-70, -88)	80 (40)	5,0+	5,0+	VSN(10)	0	1987

1) Sisältää myös raakahumuskerroksen

2) Laineen ja Vasanderin (1990) mukaan

**Kuva 1.** Tutkimuskohteiden sijainti.

kellä oli 2–20 m³/ha. Kasvupaikkatyypin vaihtelu oli suurinta Mustapurolla, jossa esiintyi sekä niukka-tyypisiä (piensaraiset ja tupasvillaiset kasvupaikat) että runsastyypisiä (suursaraiset ja ruohoiset kasvupaikat) räme- ja korpikoaloja. Puuston tilavuus ojitushetkellä vaihteli välillä 2–41 m³/ha. Mustapuron alue oli kehittynyt kuivumissuhteissaan turvekangasasteelle 1980-luvulle tultaessa. Muut kohteet edustivat muuttumia. Mustapuron koalueella turveysvyvyys vaihteli koalojen välillä huomattavasti, mutta muut koalueet olivat pääasiassa paksuturpeisia, erityisesti Sodankylän Suoloma-aapa, jossa turvetta oli yli 5 metriä. Mustapuron koalueella myös pohjamaalaji vaihteli (hiesu, hieta, hiekka, hieta-/hiekkamoreeni).

Mustapuron 20:stä koalasta kaksi tupasvillaisen sararämeen koalaa oli lannoitettu NPK-lannoitteella 550 kg/ha (N 14 %, P 7,7 %, K 8,3 %) ja yksi PK-lannoitteella 600 kg/ha (P 7,1 %, K 13,4 %) sekä yksi pallosararämeen koala myös em. NPK-lannoitteella v. 1965. Sattasuon 15 koalasta kolme oli lannoitettu PK-lannoitteella 600 kg/ha (P 7,1 %, K 13,4 %) v. 1965. Suoloma-aavan 10:stä koalasta neljä oli lannoitettu kalisuolalla 200 kg/ha (K 41,5 %), sekä neljä hienofosfaatilla 400 kg/ha (P 14,2 %) ja kalisuolalla v. 1964. Suoloma-aavalla puolet lannoitetuista koaloista jatkokäsiteltiin uudelleen samoilla ravinteilla (K tai P ja K) v. 1971. Fosforia käytettiin yhtä paljon kuin edelliselläkin kerralla,

mutta kaliumia jonkin verran enemmän (100 kg/ha alkuaineena).

Kokeilta otettiin turvenäytteet kesäkaudella 1988. Näytteet otettiin suon tasapinnasta elävän sammal-kerroksen alta erikseen raakahumuskerroksesta sekä turvekerroksesta seuraavista syvyyksistä: 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm ja 40–50 cm. Raakahumuskerroksella tarkoitetaan tässä turpeen päälle syntynyttä orgaanisen aineksen kerrosta, joka koostuu pääasiassa puuston ja pintakasvillisuuden juurista ja näiden maanpäällisistä ja maanalaisista karikkeista. Mustapuron eräillä koealoilla esiintyi paksu, maanmyötäisesti painunut karhunsammalkasvusto, joka vaikeutti turpeen ja raakahumuskerroksen rajan määrittämistä ja jonka alimpia osia saattoi tulla mukaan raakahumuskerroksen paksuutta mitattaessa. Raakahumuskerroksen paksuus (cm) määritettiin vain Mustapuron koealoilla. Paksuus määritettiin elävän sammal-kerroksen alarajasta turpeen pintaan. Mustapuron ohutturpeisilla koealoilla turvenäytteitä ei saatu kaikista em. kerroksista. Koealaa edustava näyte koostettiin viidestä osanäytteestä (osanäytteen poikkileikkauspinta-ala 178,6 mm²), joista yksi otettiin koealan keskipisteestä ja neljä koealan lävistäjiltä keskipisteen ja nurkkapisteen puolivälillä.

Turvenäytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasemalla. Turvenäytteistä määritettiin kokonaispitoisuus seuraavista ravinteista: typpi, fosfori, kalium, kalsium, magnesium, rauta, mangaani, boori, sinkki ja kupari. Kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä, boori tuhkan rikkihappo-fosforihappo -uutoksesta ja fosfori tuhkan suolahappouutoksesta spektrofotometrisesti, sekä muut ravinteet tuhkan suolahappouutoksesta atomiabsorptiospektrofotometrillä (Varian AA-30, ks. myös Halonen ym. 1983). Turvenäytteiden poikkileikkauspinta-alan, kuivamassan ja ravinnepitoisuuden avulla laskettiin hehtaariohtaiset ravinnemäärät kerroksittain.

Puuston tilavuus on mitattu yleensä 8–10 vuoden välein; Mustapuron koealueella vuodesta 1932, Sattasuolla vuodesta 1934 ja Alajärven suolla vuodesta 1968 alkaen. Suoloma-aavalla puusto on mitattu vain vuonna 1987. Mittauksissa puuston kasvun lisäksi on määritetty puuston harvennus- ja luonnonpoistuma. Aineistojen avulla voitiin puuston kokonaistuotos (52–55 vuoden ajalta) määrit-

tää jokseenkin tarkoin lukuunottamatta Suoloma-aapaa, jossa poistumasta on tietoa vain vuoden 1987 mittauksen perusteella. Suoloma-aavalla puuston mittausta mahdollisesti edeltäneen, maahan kaatuneen luonnonpoistuman katsottiin palanneen ravinnekiertoon.

Puustoon sitoutuneiden ja hakkuiden mukana poistuneiden ravinteiden määrä on laskettu raudan osalta Finérin (1989) ja muiden ravinteiden osalta Paavilaisen (1980) rämemänniköistä saamien tulosten perusteella jakamalla puuston eri ositteisiin sitoutuneiden ravinteiden määrä runkopuun tilavuudella ja kertomalla saatu lukuarvo tämän tutkimuksen koealojen nykypuustojen ja hakkuupoistumien tilavuuksilla.

Aineiston tilastollinen tarkastelu tehtiin korrelaatio- kovarianssi- ja varianssianalyseillä (BMDP-ohjelmisto). Testattavia tunnuksia olivat turvekerroksen paksuuden ja pintaturpeen ravinnemäärien välinen korrelaatio, ravinnemäärien vaihtelu eri suotyyppien kesken sekä turpeen ravinnemäärien ja puuston tuotoksen vaihtelu lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen kesken. Käsittelyjen paritaisessa vertailussa käytettiin Bonferronin ja Tukeyn testejä. Tarkasteltaessa lannoituksen vaikutusta puuston tuotokseen käytettiin kovarianssianalyysiä, jossa lannoitusta edeltäneessä mittauksessa jäljelle jäänyt puusto oli kovariaattina.

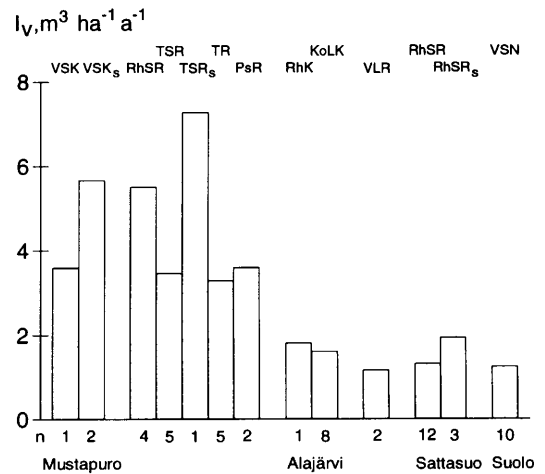
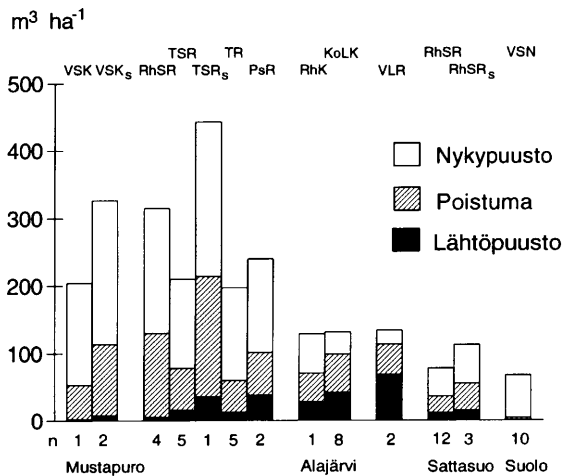
3 Tulokset

3.1 Puuston tuotos ja puulajisuhteet

Puuston kokonaistuotos samoin kuin kokonaispoistumakin olivat suurimmat Mustapuron alueen ohutturpeisella tupasvillasararämeen koealalla: kokonaistuotos 443 m³/ha, josta hakkuupoistuman osuus 178 m³/ha (kuva 2). Keskimääräinen ojituksen jälkeinen kasvu tällä suotyyppillä oli 7.3 m³/ha/v. Mustapuron muilla koealoilla puuston kokonaistuotos vaihteli välillä 77–356 m³/ha, ojituksen jälkeinen kasvu välillä 1.3–6.0 m³/ha/v ja hakkuupoistuma välillä 5–145 m³/ha. Alajärvensuolla ja Sattasuolla kokonaistuotos vaihteli koealoittain välillä 49–194 m³/ha keskimääräisen ojituksen jälkeisen kasvun ollessa 0.7–2.5 m³/ha/v. Hakkuupoistumat olivat

Taulukko 2. Koivun ja männyn osuus (%) nykypuustossa ja kokonaispoistumassa koealueilta eri suotyypeillä.

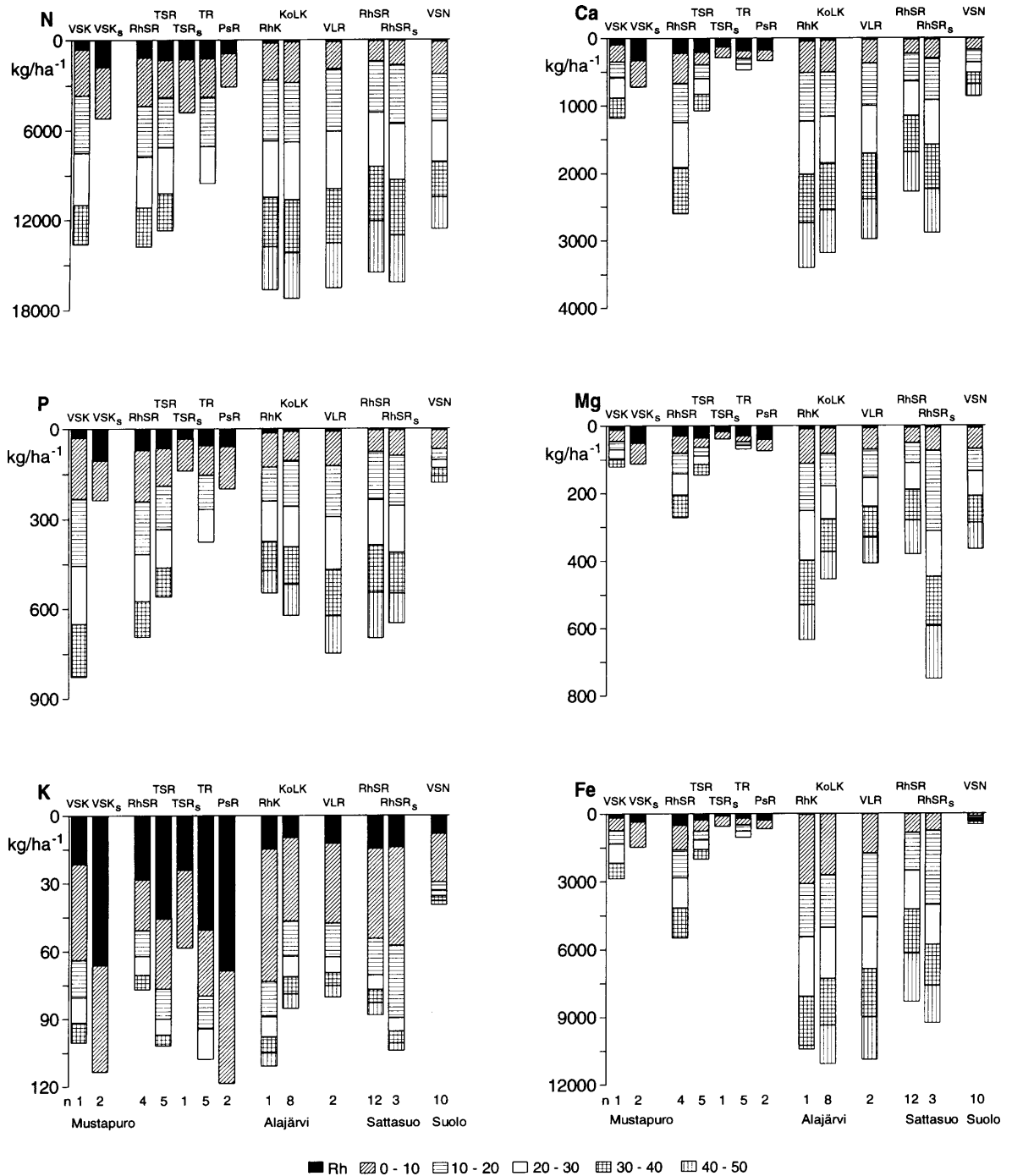
Koealue	Suotyyppi	Nykypuusto			Poistuma		
		Mä %	Ku %	Ko %	Mä %	Ku %	Ko %
Mustapuro	VSK	44	0	56	11	0	89
	VSK _s	59	0	41	16	0	84
	RhSR	59	1	40	20	2	78
	TSR	90	0	10	38	0	62
	TSR _s	96	0	4	58	0	42
	TR	89	0	11	47	1	52
	PsR	99	0	1	78	0	22
Alajärvi	RhK	62	13	25	88	12	0
	KoLK	56	9	35	93	7	0
	VLR	52	8	40	84	16	0
Sattasuo	RhSR	95	3	2	97	2	1
	RhSR _s	97	2	1	91	2	7
Suoloma-aapa	VSN	100	0	0	100	0	0

**Kuva 2.** Lähtöpuusto, hakkuupoistuma ja puuston kokonaistuotos (koko pylväs) sekä ojituksen jälkeinen vuotuinen tilavuuskasvu eri suotyypejä edustavien koealojen keskiarvoina. Alaaindeksi s = turvekerros ohut tai ohuehko.

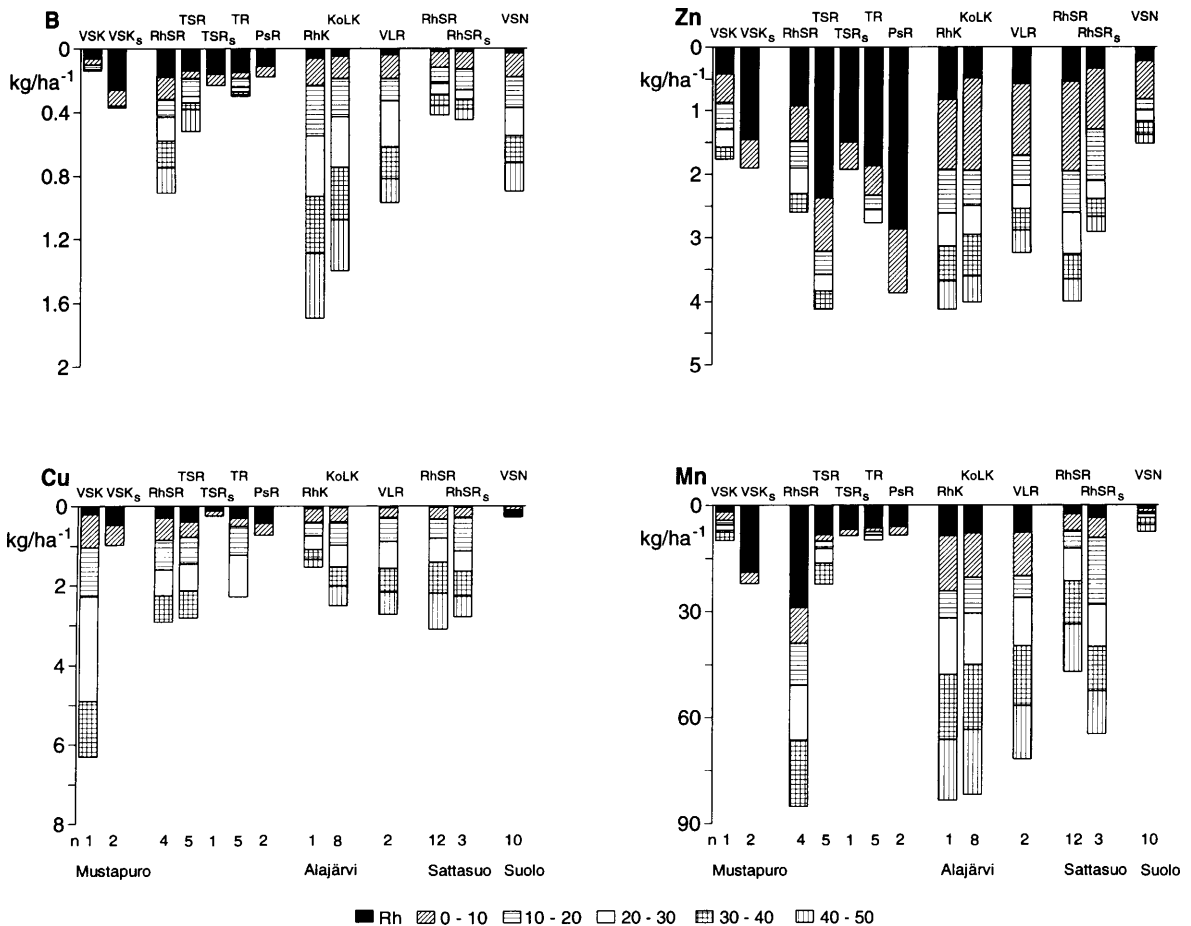
koealasta riippuen 11–123 m^3/ha . Suoloma-aavalla puuston kokonaistuotos vaihteli välillä 40–93 m^3/ha , kasvu välillä 0.8–1.8 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$ sekä poistuma välillä 1–9 m^3/ha .

Mustapuron runsastyyppisillä korpi- ja rämekoealoilla poistumasta oli 80–90 % hieskoivua ja loput mäntyä, mutta viimeisessä mittauksessa puustosta oli keskimäärin vähän yli puolet mäntyä ja loput hieskoivua (taulukko 2). Mustapuron niukkatyyppi-

sillä rämekoealoilla oli poistumasta mäntyä ja koivua suunnilleen yhtä paljon, mutta viimeisessä mittauksessa puustot olivat lähes puhtaita männiköitä. Alajärvensuolla poistuma oli lähes yksinomaan mäntyä, mutta nykypuustossa mäntyä oli vain runsaat 50 % ja koivua keskimäärin noin kolmannes. Sattasuolla niin poistuma kuin nykypuustokin olivat lähes yksinomaan ja Suoloma-aavalla yksinomaan mäntyä.



Kuva 3. Pää- ja sivuravinteiden määrät turveprofilissa eri koalueilla. Alaindeksi s = turvekerros ohut tai ohuehko.



Kuva 4. Hivenravinteiden määrät turveprofiilissa eri koalueilla. Alaindeksi s = turvekerros ohut tai ohuehko.

3.2 Kasvualustan ravinnepitoisuudet ja -määrät

Typpipitoisuudet ja -määrät olivat raakahumuskerroksessa selvästi alempia kuin turpeessa ja typpipitoisuudet yleensä jonkin verran alempia 0–10 cm:n kuin sitä syvemmällä sijaitsevissa turvekerroksissa (liite 1, kuvat 3 ja 4). Fosforin ja kalsiumin pitoisuudet olivat raakahumuksessa joissakin tapauksissa korkeampia ja joissakin alempia, mutta määrät lähes poikkeuksetta pienemmät kuin ylimmässä 0–10 cm:n turvekerroksessa. Turvekerrosten väliset erot olivat fosforin ja kalsiumin osalta verraten vähäisiä.

Muiden ravinteiden pitoisuudet olivat rautaa lukuunottamatta raakahumuskerroksessa yleensä moninkertaiset turpeen ravinnepitoisuuksiin verrattuna. Kaliumin ja sinkin pitoisuudet ja määrät aleniivat 10 cm:n kerroksittain turvekerroksen paksuudesta riippumatta jyrkästi turveprofiilissa alapäin siirryttäessä jo 0–10 cm:n pintaturvekerroksen alapuolella.

Kasvualustan ravinteisuudessa oli eroja sekä koalueiden että kasvupaikkatyyppien välillä (kuvat 3 ja 4, liite 1). Suoloma-aavalla, entisen nevan pintaturpeessa oli tyypeä ja magnesiumia lukuunottamatta selvästi vähemmän ravinteita kuin muilla alueilla. Ravinnepitoisuuksissa erot olivat vähäisempiä

Taulukko 3. Puuston tuotos Mustapurolla (v. 1962–1988), Sattasuolla (v. 1964–1984) ja Suoloma-aavalla (v. 1935–1987) sekä typen, fosforin ja kaliumin määrät v.1988 lannoittamattomilla (alaindeksi o) ja kertaalleen (v. 1965 tai 1964) PK- tai NPK-lannoitetuilla (alaindeksi l) koealoilla. Mustapuron pallosararämeillä (PsR) ravinnemäärät raakahumuksessa +0–10 cm:n turvekerroksessa, muissa raakahumuksessa +0–20 cm:n turvekerroksessa. Puuston tuotos kovarianssikorjattu Mustapurolla vuonna 1962 ja Sattasuolla vuonna 1964 kasvamaan jääneen puuston kuutiomäärällä. Lannoituksen vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Ravinne	Mustapuro				Suotyyppi		Sattasuo		Suoloma-aapa	
	TSR _o	TSR _l	TR _o	TR _l	PsR _o	PsR _l	RhSR _o	RhSR _l	VSN _o	VSN _l
	137	173	117	135	106	119	66	69	50	64
	Puuston tuotos, m ³ ha ⁻¹									
	6998	7860	7562	6429	4127	2145	4728	5101	5194	5005
	±1420	–	±504	±583	–	–	±623	±255	±1095	±543
N	304	462	210	358	252	150	235	241	103	95
	±68	–	±14	±175	–	–	±17	±21	±23	±6
P	89	96	88	103	142	95	69	75	28	28
	±23	–	±14	±8	–	–	±12	±9	±16	±4
K	4	1	3	2	1	1	9	3	2	2
n										

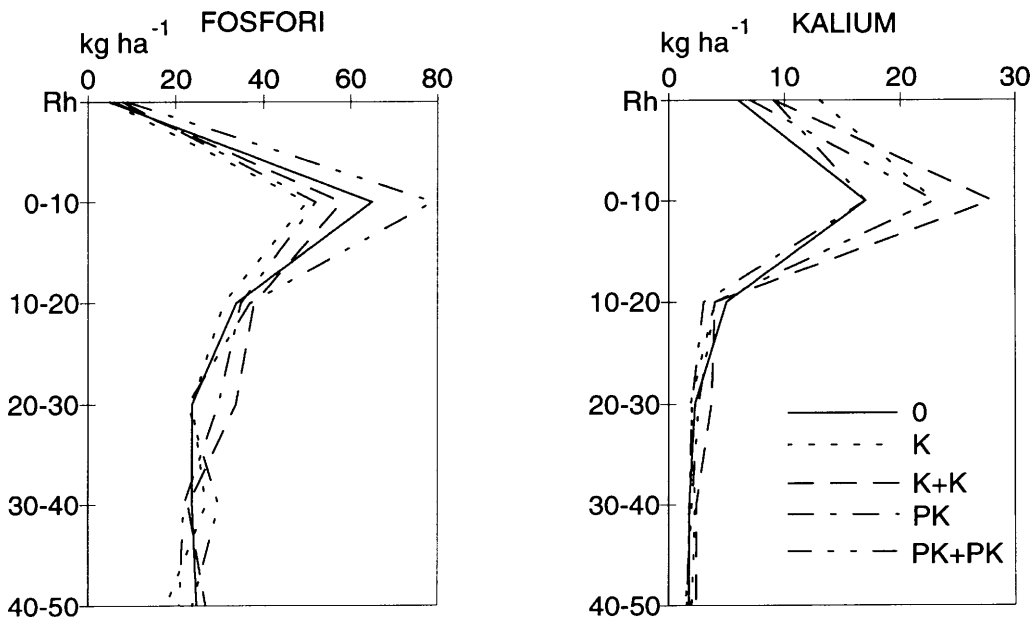
(liite 1). Magnesiumpitoisuudet ja -määrät olivat Mustapurolla vastaavasti selvästi alempia kuin muilla alueilla. Mustapuron ruohoisen sararämeen koealoilla kalium- ja sinkkimäärät olivat alemmat, mutta kalsium-, magnesium- ja rautamäärät tilastollisesti merkitsevästi korkeammat kuin karummilla tyypeillä (kuvat 3 ja 4). Rautaa oli eniten Alajärvensuon lettoisilla ja ruohoisilla suotyypeillä ja vähiten Suoloma-aavalla, jossa sitä oli vain n. 4 % Alajärvensuon raudan määrästä (kuva 3). Raakahumuksessa ja 0–20 cm:n pintaturpeessa yhteensä oli suotyypistä riippuen tyypeä keskimäärin 5500–7000 kg/ha, fosforia 250–400 kg/ha ja kaliumia 60–90 kg/ha (kuva 3).

Tutkimuskohteet olivat paksuturpeisia lukuunottamatta Mustapuroa, jossa turvepaksuus vaihteli välillä 0,1–0,9 metriä. Selkeää yhteyttä turvepaksuuden ja pintaturpeen ravinteisuuden välillä ei Mustapurolla löytynyt. Kaliumpitoisuudet ja -määrät tosin korreloivat negatiivisesti turvepaksuuden kanssa kerroksissa 0–10 cm ja 20–30 cm, mutta riippuvuus ei ollut yksiselitteinen.

3.3 Lannoituksen vaikutus puuston kehitykseen ja kasvualustan ravinnemääriin

Lannoitus lisäsi puuston tuotosta jonkin verran (taulukko 3), mutta sen vaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Syynä oli suuri hajonta ja koealojen vähäinen määrä. Fosforia oli lannoitetuilla koealoilla joissakin tapauksissa enemmän ja joissakin tapauksissa vähemmän kuin lannoittamattomilla (taulukko 3). Mustapuron tupasvilla- ja tupasvillasararämeen lannoitetuilla koealoilla fosforia oli moninkertaisesti lannoitteena annettuun fosforiin verrattuna, joten erot tuskin aiheutuivat lannoituksesta. Suoloma-aavalla kaksinkertainen fosforilannoitus lisäsi fosforin määrää, mutta vain 0–10 cm:n pintakerroksessa (kuva 5). Lannoituksen vaikutus fosforin määriin maassa ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Kaliumia oli yleensä jonkin verran enemmän lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla (taulukko 3). Lannoituksen vaikutus oli havaittavissa selvimmän Suoloma-aavan jatkolannoitetuilla koealoilla 0–10 cm:n kerroksessa (kuva 5), mutta ei sieläkään tilastollisesti merkitsevänä.



Kuva 5. Kasvualustan ravinnemäärät lannoituskäsittelyittäin Suoloma-aavalla. (Rh tässä = raakahumus).

3.4 Puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät

Kasvualustan pintakerros (raakahumus ja 20 cm:n pintaturve) sisälsi kaikissa kokeissa typpeä, fosforia, kalsiumia ja magnesiumia moninkertaisesti ja rautaa monisatakertaisesti verrattuna nykypuustoon sitoutuneisiin (rautaa puustossa 1,2–3,5 kg/ha) sekä harvennushakkuissa ja luonnonpoistumassa metsiköistä runkopuun mukana poistuneisiin ravinnemääriin (kuva 6). Kuparilla tulos oli samansuuntainen, lukuunottamatta Suoloma-aapaa, jossa puuston ja kasvualustan kuparimäärät olivat samaa suuruusluokkaa. Mustapuruolla (erityisesti runsastyyppisillä koealoilla) ja Suoloma-aavalla puuston sisältämät kalium- ja sinkkimäärät olivat suuremmat kuin kasvualustan pintakerroksen vastaavat ravinnemäärät. Boorin osalta tilanne oli sama Mustapuruolla ja mangaanin osalta Suoloma-aavalla ja Mustapuron niukatyyppisillä koealoilla.

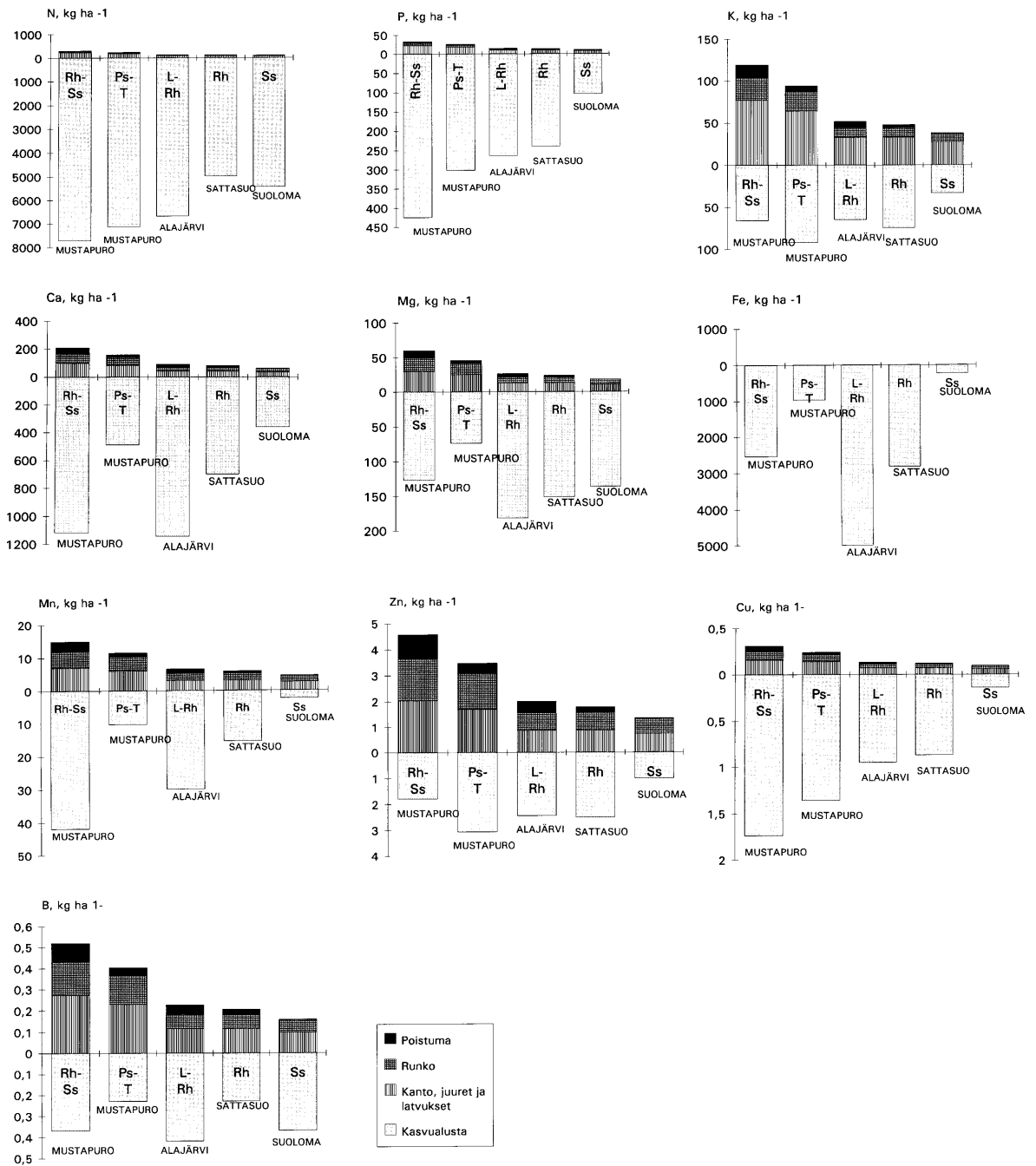
Runkopuukorjuuna toteutettujen harvennushakkuiden seurauksena tutkimusmetsiköiden tähänastiset ravinnemenetykset olivat yleensä olleet vähäisiä verrattuna kasvualustan nykyisiin ravinnemääriin. Poikkeuksen tekivät Mustapuron runsastyyppi-

set koealat, joilla myös harvennukset olivat olleet voimakkaimpia: hakkuupoistuman mukana oli metsiköstä kulkeutunut pois kaliumia 23 %, booria 24 % ja sinkkiä 50 % näiden ravinteiden nykyisestä määrästä raakahumuksessa ja 20 cm:n pintaturpeessa (kuva 6). Nykypuuston runko-osaan sitoutuneiden ravinnemäärien suhteelliset osuudet kasvualustan vastaavista ravinnemääristä olivat Mustapuron runsastyyppisillä koealoilla seuraavat: kalium 29 %, boori 38 % ja sinkki 66 %. Runkopuuston kokonaistuotokseen oli siis tutkituilla Mustapuron koealoilla sitoutunut em. ”kriittisiä” ravinteita (etenkin sinkkiä) huomattavan suuri määrä.

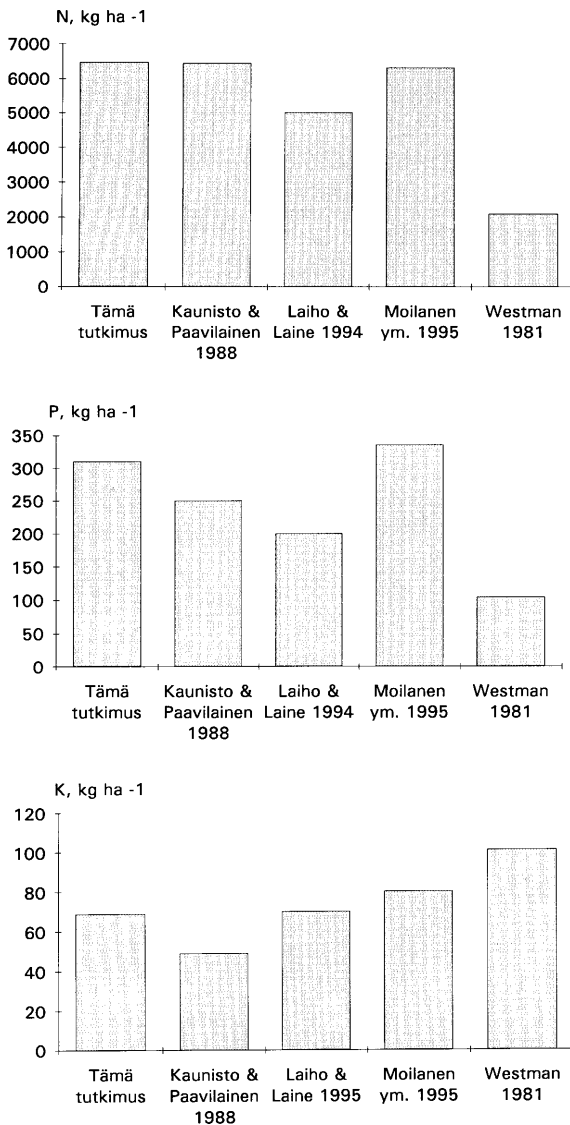
5 Tulosten tarkastelu

5.1 Maan ravinteet

Typen määrät maassa olivat tässä tutkimuksessa samaa suuruusluokkaa ja fosforin määrät joko samaa tasoa tai vähän korkeampia kuin mitä vanhoilta ojitusalueilta tehdyissä muissa selvityksissä on esitetty (kuva 7, Kaunisto ja Paavilainen 1988, Lai-



Kuva 6. Kasvualustan (= raakahumus + 20 cm:n turvekerros) ravinnemäärät sekä arvioidut hakkupoistuman ja nykypuuston sitomat ravinnemäärät kasvupaikkatyypeittäin ja koalueittain. Arvio tehty raudan osalta Finérin (1989) ja muiden osalta Paavilaisen (1980) tutkimustulosten pohjalta. Kasvupaikkatyyppien lyhenteet: Rh = ruuhainen, Ss = suursarainen, Ps = piensarainen, T = tupasvillainen, L = lettoinen.



Kuva 7. Kasvualustan (= raakahumus + 20 cm:n turvekerros) ravinnemäärät luonnontilaisilla ja ojitetuilla mesotrofisilla rämeillä tämän ja eräiden muiden tutkimusten mukaan. Tämän tutkimuksen aineistosta vertailussa mukana Mustapuron ruohoiset ja suursaraiset koalat, Alajärvi ja Sattasuo.

ho ja Laine 1994, Moilanen ym. 1996). Turpeen 20 cm:n pintakerroksessa typpeä ja fosforia oli n. kolminkertaisesti vastaavien luonnontilaisten nevarämeiden sisältämiin typen ja fosforin määriin verrattuna (kuva 7, Westman 1981). Turpeen fysika-

lisen tiivistymisen lisäksi typen ja fosforin rikastuminen syynä ojitusalueilla on mikrobien hajotustoiminnan lisääntyminen ojituksen seurauksena. Mikrobisto pilkkoo typpeä ja fosforia sisältävän orgaanisen aineksen hiilidioksidiksi ja vedeksi ja sitoo vapautuvan typen ja fosforin uusiksi orgaanisiksi yhdisteiksi omaan biomassaansa, jossa C/N- ja C/P-suhteet ovat pienemmät kuin esim. turvetta muodostavan tupasvillan lehdistä (Swift ym. 1979, ks. myös Kaunisto ja Paavilainen 1988).

Fosforin sitoutuminen riippuu voimakkaasti myös turpeen rautapitoisuudesta (Kaila 1959, Jarva ym. 1995). Suoloma-aavan turpeessa oli rautaa erittäin vähän, mikä saattaa osaltaan selittää, miksi lannoitus ei olennaisesti lisännyt turpeen fosforimääriä edes jatkolannoitetuilla koaloilla, joilla viimeisestään lannoituksesta oli kulunut vasta 17 vuotta. Myöskään muilla koalueilla ei voitu osoittaa lannoituksen vaikuttaneen turpeen fosforimääriin, mutta ne olikin lannoitettu vain kertaalleen ja lannoituksesta oli kulunut aikaa jo lähes 30 vuotta.

Tämän tutkimuksen koaloilla oli turpeessa booria saman verran kuin Kauniston ja Paavilaisen (1988) tutkimuksen vastaavilla kasvupaikoilla, lukuunottamatta Mustapuron VSK:n koalaa, jossa booria oli vain runsaat 100 g/ha. Myöskään kuparin määrät eivät olennaisesti eronneet em. tutkimuksen eivätkä myöskään Laihon ja Laineen (1995) esittämistä luvuista.

Kaliumin ja sinkin pitoisuudet ja määrät alenivat turvekerroksen paksuudesta riippumatta jyrkästi turveprofiilissa alaspäin siirryttäessä. Tulokset ovat varsin samanlaisia kuin Kauniston ja Paavilaisen (1988) aikaisemmin vanhoilta, hakkuin käsitellyiltä ojitusalueilta esittämät tulokset lukuunottamatta raakahumuksen varsin suurista kaliumin määriä Mustapuron alueella. Eroa raakahumuksen kaliumin määrissä tämän tutkimuksen ja Kauniston ja Paavilaisen (1988) tutkimuksen välillä saattavat osittain selittää aineistojen puulajisuhteiden erot ja tämän myötä myös ravinnepitoisuuksiltaan (Finér 1989) ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan erilaiset karikkeet ja erilainen pohjakerroksen kasvillisuus. Em. Kauniston ja Paavilaisen aineistossa puustot olivat pääasiassa puhtaita männiköitä, joiden alle oli syntynyt yhtenäinen ilmava seinäsammalkasvusto. Sitä vastoin Mustapuron aineistossa huomattava osa puustosta oli koivua ja useilla koaloilla oli poik-

keuksellisen voimakas ja tiivis karhunsammalkasvusto. Karhunsammalen on todettu sitovan erityisen runsaasti kaliumia (Moilanen, suullinen tieto).

Nevarämeiden muuttumilla ja turvekankailla kaliumia oli 60–90 % vastaavien luonnontilaisten nevarämeiden sisältämistä kaliummääristä (Westman 1981). Suotyypeittäin lasketut keskiarvot raakahumuksessa ja 20 cm:n pintaturvekerroksessa vaihtelivat välillä 60–90 kg/ha, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin Laihon ja Laineen (1995) hakkuin käsittelemättömiltä vanhoilta ojitusalueilta kerätyssä aineistossa, mutta suurempia kuin Kauniston ja Paavilaisen (1988) hakkuin käsitellyistä metsiköistä kerätyssä aineistossa. Syynä viimemainittuun eroon saattaa osittain olla se, että hakkuupoistumat em. tutkimuksessa olivat huomattavasti suurempia kuin tässä tutkimuksessa (ks. luku 5.2).

Kaliumin määrä oli Mustapuron ohutturpeisilla koealoilla (turvekerros 40–50 cm) suurimmillaan raakahumuksessa ja 0–10 cm:n pintaturvekerroksessa ja aleni voimakkaasti syvemmälle mentäessä. Raakahumuskerrosta ja 0–10 cm:n pintaturvekerrosta lukuunottamatta kaliumvarat olivatkin erittäin vähäiset puustoon sitoutuneeseen määrään verrattuna.

5.2 Ravinnepoistuma

Puustoon sitoutuneiden ja hakkuiden mukana poistuneiden ravinteiden määrä on tässä tutkimuksessa laskettu Paavilaisen (1980) ja Finérin (1989) rämenäköistä saamien tulosten perusteella jakamalla siinä puuston eri ositteisiin sitoutuneiden ravinteiden määrä runkopuun tilavuudella ja kertomalla saatu lukuarvo tämän tutkimuksen koealojen puustojen tilavuuksilla. Laskelmat antanevat Alajärven-suon ja Mustapuron männyn ja koivun sekapuustojen osalta jonkin verran todellista alemman arvion, koska koivun ravinnepitoisuudet ovat jonkin verran männyn ravinnepitoisuuksia korkeampia (Finér 1989).

Puun maanpäällisiin osiin sitoutuneiden ravinteiden määrä riippuu käyräviivaisesti puun rinnankorkeusläpimitasta, mutta ensiharvennuspuustoa ($D_{1,3}$ välillä 10–15 cm) kookkaampien puiden ollessa kysymyksessä riippuvuus on lähes suoraviivainen (Laiho 1997). Tämä aiheuttaa epävarmuutta laskel-

miin Alajärven, Sattasuon ja Suoloma-aavan puustoihin sitoutuneiden ravinteiden määrissä, koska puut näillä kohteilla olivat vielä verraten pienikokoisia ja pienempiä kuin Paavilaisen (1980) aineistossa, jonka perusteella muuntoluku laskettiin. Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä on mainituilla kohteilla todennäköisesti jonkin verran laskettua suurempi. Sen sijaan Mustapuron koealoilla virhe lienee vähäisempi.

Tutkimuskohteilla perusojitukset oli tehty 52–55 vuotta ennen viimeistä puuston mittausta. Paavilaisen ja Kauniston (1988) tutkimuksessa ojitukset olivat n. 20 vuotta vanhempia. Siinä puuston hakkuupoistumat olivat tätä tutkimusta vastaavilla suotyypeillä (VSK ja RhSR) yli kaksinkertaiset eli n. 150 m³/ha suuremmat kuin Mustapuron alueella, joka lähinnä vastaa ilmastollisesti Kauniston ja Paavilaisen aineistoa ja jolla oli myös suurimmat hakkuupoistumat tässä tutkimuksessa. Em. kuutiomäärä kuorineen sisältää n. 15–21 kg/ha kaliumia (Paavilainen 1980, Finér 1989). Jos tämä vähennetään kaliumin määristä raakahumuksessa ja 20 cm:n pintaturvekerroksessa päädytään Kauniston ja Paavilaisen (1988) tutkimuksen kanssa varsin samanlaisiin kaliummääriin pintaturpeessa. Laiho ja Laine (1995) ovat todenneet, että nuorilla ja vanhoilla hakkuin käsittelemättömillä ojitusalueilla pintaturpeen kaliumin määrissä ei ole sanottavia eroja ja esittävät syyksi pintaturpeen tiivistymisen. Karstulan koealue kuitenkin on vanha ojitusalue, jolla turpeen tiivistyminen tuskin enää olennaisesti lisää kaliumin määrää puiden juuristokerroksessa, joten on odotettavissa, että pintaturpeen kaliumin määrät tulevat siellä vähenemään.

Samoin kuin Kauniston ja Paavilaisen (1988), Laihon Laineen (1995), Finérin (1989, 1992) ja Laihon (1997) tutkimuksessa myös tästä tutkimuksesta ilmenee, että kaliumia, booria ja sinkkiä on turpeessa vähän puustoon sitoutuviin verrattuna. Puunkorjuu on perinteisesti kohdistunut runkopuuhun. Jo tämän korjuu näyttää vähentävän maan kaliumvarantoja huomattavan paljon. On kuitenkin odotettavissa, että tulevaisuudessa korjataan enenevässä määrin myös oksa- ja neulasmassaa. Puuston neulasissa ja oksissa esim. kaliumia on 1,3–2 -kertainen määrä runkopuun ja kuoren yhteiseen määrään verrattuna (Paavilainen 1980, Finér 1991, Kaunisto 1996, Laiho 1997). Hakkuutahteiden korjuu

päättehakkuaualalta ja latvusosaa hyödyntävät harvennushakkuut nopeuttavat näin ollen vielä olennaisesti näiden ravinteiden vähenemistä. Toisaalta vielä julkaisemattomissa tutkimustuloksissa on viitteitä, että avohakkuaaloilta kaliumia huuhtoutuu suuria määriä (2–3 kg/ha/a) ensimmäisinä toimenpidettä seuraavina vuosina (Nieminen, esitelmä Tampereella 27.11.1997), joten niiden jättäminen hakuuualalle ei ehkä sanottavasti vaikuta avohakkuualueen kaliumtaseeseen.

4 Päätelmiä

Vaikka kalium liikkuu vilkkaasti maaperän ja kasvillisuuden välillä ja sen sisäinen kierto latvuksessa vanhoista uusiin neulasiin ja sisäkuoreen on tehokasta (Mälkönen 1974, Finér 1991, Helmisaari 1992), saattaa sen riittävydestä tulla ongelmia pitkällä aikavälillä, koska monissa tapauksissa sitä oli tässäkin tutkimuksessa sitoutuneena puustoon jo nyt enemmän kuin mitä sitä oli kasvualustassa jäljellä ja koska sitä ei metsäojitetulle suolle tule lisää muutoin kuin laskeumana. Laskeuma puolestaan korvaa keskimäärin vain luontaisen huuhtouman (Sallantaus ja Kaipainen 1996).

Booria ja sinkkiä oli kasvualustassa kaikissa kohteissa vähän (ks. myös Kaunisto ja Paavilainen 1988). Boorin puutos aiheuttaa kärkikasvupisteiden kuolemista ja kasvuhäiriöitä (esim. Kolari 1983) ja näin pituuskasvun taantumista ja runkovikoja. Booria onkin lisätty kaikkiin turvemaiden kivennäisravinteita sisältäviin lannoitteisiin.

Sinkkiä oli erityisen vähän Suoloma-aavalla ja Mustapuron runsastyyppisillä kasvupaikoilla. Sinkki vaikuttaa moniin entsyymaattisiin reaktioihin ja sen puutos heikentää mm. yhteyttämistä sekä valkuaisaine- ja auksiini synteesiä (Brown ym. 1993). Sinkin merkityksestä turvemaiden puustojen ravinnetaloudessa ei ole tietoa. Sinkin riittävyys ja sen mahdollinen puutos on kuitenkin syytä ottaa huomioon suopuustojen kasvatuksessa, joten lisätutkimuksia sinkin merkityksestä ja riittävydestä turvemaidella tarvitaan.

Tupasvillaisia ja pallosaraisia kasvupaikkatyyppiä viljavampien vanhojen ojitusalueiden typpi- ja fosforivarat osoittautuivat tämän tutkimuksen mu-

kaan määrällisesti riittävän suuriksi myös pitkän aikavälin puunkasvatusta ajatellen. Typestä ja fosforista voi puille tulla kuitenkin ajoittain puutetta. Pohjois-Suomessa esim. typen nettomineralisaatio jää varsinkin kylminä kasvukausina vähäiseksi, etenkin jos ojastojen kuivatusteho on alentunut (Moilanen ym. 1996).

Vaikka fosforia määrällisesti onkin verraten runsaasti puuston käyttöön verrattuna, on muistettava, että samoinkuin typpi sekin on valtaosaltaan orgaanisesti sitoutuneena (Kaila 1959, 1963). Fosfori typpi ovat sitoutuneina pääasiassa samoihin orgaanisiin yhdisteisiin ja ne vapautuvat samoissa mikrobiologisissa prosesseissa ja samassa suhteessa kuin ne esiintyvät orgaanisessa aineessa (Alexander 1961). Typen ja fosforin suhde turpeen pintakerroksessa oli tutkitussa aineistossa (N/P 100/2–100/6) huomattavasti suurempi kuin puustoon (Kaunisto ja Paavilainen 1988) ja mikrobistoon (Swift ym. 1979) sitoutuvien typen ja fosforin suhde. Näin ollen fosforin puutosta tyypeen tai typen ylimäärää fosforiin nähden saattaa ilmetä. Typen ylimäärä fosforiin suhteen saattaa aiheuttaa ongelmia proteiinisynteesissä (Pietiläinen ym. 1996) ja puustovaurioita (Kaunisto 1987, Ferm ym. 1990). Typen ja fosforin epäsuhte koskee turvekankaiden ravinnetaloutta yleisemminkin.

Avosoita edustavalla Suoloma-aavalla sekä fosforia että kaliumia oli erittäin vähän ja on syytä olettaa, että siellä tarvitaan toistuvia fosfori- ja kalilannoituksia, kuten avosoilla yleensäkin.

Paksuturpeisilla ja ruohoisilla nevarameilla jo pelkästä runkopuun korjuusta seuraa pitkällä aikavälillä merkittäviä ravinnemenetyksiä kasvupaikalla (erityisesti kalium, boori ja sinkki). On ilmeistä, että hakkuutahteita ja latvuksia hyödyntävä puunkorjuu vähentäisi näitä ravinteita olennaisesti ja lisäisi ravinnetalouden epätasapainoa näillä soilla. Mahdolliset puutostilat on korjattavissa lannoituksella. Saataisikin olla järkevää lisätä kaikkiin suometsiin tarkoitettuihin lannoitteisiin fosforin, kaliumin ja boorin ohella myös sinkkiä.

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.). 1993. Metsätilastollinen vuosikirja 1992. Yearbook of forest statistics 1992. SVT. Maa- ja metsätalous 1993:5. 317 s.
- Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Seloste: Lannoituksen vaikutus fosforin ja kaliumin huuhtoutumiseen ojitetuilta soilta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 111. 20 s.
- Ahtiainen, M. 1988. Effects of clear-cutting and forestry drainage on water quality in the Nurmes study. Proceedings of the international symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold regions, Joensuu, Helsinki, Finland, 6–8 June. Publications of the Academy of Finland 4: 206–219.
- Alexander, M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, Inc. 472 s.
- Brown, P. H., Cakmak, I. & Zhang, Q. 1993. Form and function of zinc in plants. Julkaisussa: Robson, A.D. 1993. (toim.). Zinc in soils and plants. Proceedings of the international symposium on "Zinc in soils and plants" at The University of Western Australia. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 93–106.
- Ferm, A., Hytönen J., Lähdesmäki, P., Pietiläinen P. & Pätilä, A. 1990. Effects of high nitrogen deposition on forests: Case studies close to animal farms. Teoksessa Kauppi et al. (Eds). Acidification in Finland. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. s 635–668.
- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa. Acta Forestalia Fennica 208. 63 s.
- 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Seloste: Lannoituksen vaikutus männyn kuivamassan kertymään ja ravinteiden kiertoon ombrotrofisella rämeellä. Acta Forestalia Fennica 223. 42 s.
- 1992. Biomass and nutrient dynamics of Scots pine on a drained ombrotrophic bog. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 420. 43 s.
- & Nieminen, M. 1996. Drymass and nutrient amounts in the understorey vegetation and litter layer and changes caused by fertilization on a drained ombrotrophic bog. Metla, Käsikirjoitus.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Helmisaari, H-S. 1992. Spatial and age-related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. Tiivistelmä: Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien paikallinen ja iänmukainen vaihtelu. Silva Fennica 26: 145–153.
- Jarva, M., Kaunisto, S., Nieminen, M., Sallantausta, T. & Saura, M. 1995. Metsälannoituksen huuhtoutuminen Liesinevan sarkaleveyskoekentältä – alustavia tuloksia. Julkaisussa Metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden torjunta. Metve-projektin loppuraportti. Toim. Saukkonen, S. & Kenttämies, K. Suomen Ympäristö, Ympäristönsuojelu 2: 121–128.
- Järvinen, O. 1986. Laskeuman laatu Suomessa 1971–1982. Vesihallitus, Helsinki. Vesihallituksen monistesarja 408. 142 s.
- Kaila, A. 1959. Retention of phosphate by peat samples. The Journal of the Scientific agricultural Society of Finland 31: 215–225.
- 1963. Organic phosphorus in Finnish soils. Soil Science 95: 38–44.
- Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin tyyppitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140. 58 s.
- 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. Folia Forestalia 724. 15 s.
- 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. Seloste: Kalilannoituksen vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan. Suo 43: 45–62.
- 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusemetsiköissä. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593: 15–23.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.
- & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. Folia Forestalia 585. 40 s.
- Kolari, K. 1983. Physiological and biochemical role of micronutrients in growth disturbances of forest trees. Julkaisussa: Growth disturbances in forest trees. Kolari, K. (toim.). Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 39–43.
- Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine

- mires in southern Finland. Implications for carbon and nutrient balance. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 631. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 631. 54 + 52 s.
- & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 251–260.
- & Laine, J. 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 218–224.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. *Suotyypit*. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.
- Lundin, L. 1988. Impacts of drainage for forestry on runoff and water chemistry. Proceedings of the international symposium on the hydrology of wetlands in temperature and cold regions, Joensuu, Helsinki, Finland, 6–8 June. Publications of the Academy of Finland 4: 197–205.
- Moilanen, M., Piironen, M-L & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat ja puiden kasvukunto metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Piironen, M-L. & Väärä, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Kaajanissa 1995*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35–54.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kierto kiertokulku mänikössä*. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 84(5): 1–87.
- Nieminen, M. & Ahti E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. Summary: Leaching of nutrients from an ombrotrophic peatland area after fertilizer application on snow. *Folia Forestalia* 814:1–22.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. *Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvubiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä*. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 98(5). 71 s.
- Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Lähdesmäki, P. 1996. Peat inorganic nutrients and the concentration of soluble arginine in Scots pine needles. *HUMUS Nordic Humus Newsletter* 3(1):4–13.
- Sallantausta, T. & Kaipainen, H. 1996. Leaching and accumulation of elements in ombrotrophic bogs as indicators of recent and past deposition quality. In: Jaana Roos (Ed.). *The Finnish Research Programme on Climate Change. Final Report*. Publications of the Academy of Finland 4/96: 412–417.
- Swift, M. J., Heal, O.W. & Anderson, J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. *Studies in Ecology* volume 5. University of California Press. Berkeley and Los Angeles. 372 s.
- Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. *Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikatyyppeihin ja puuston kasvupotentiaaliin*. *Acta Forestalia Fennica* 172. 77 s.

36 viitettä

Liite 1. Raakahumuskerroksen paksuus ja turpeen ravinnepitoisuudet sekä orgaanisen aineksen osuus suotyypeittäin eri turvekerroksissa. Alaindeksi s = turvekerros ohut tai ohuehko.

Ravinne n	Kerros	Mustapuro							Alajärvi			Sattasuo		Suol. aapa VSN 10	
		VSK 1	VSK _s 2	RhSR 4	TSR 5	TSR _s 1	TR 5	PsR 2	RhK 1	KoLK 8	VLR 2	RhSR 12	RhSR _s 3		
	Rh, cm	4 –	5 ±1	4 ±1	7 ±1	4 –	7 ±1	7 ±1	–	–	–	–	–	–	
N %	Rh	1,89 –	1,92 ±,35	2,21 ±,21	1,52 ±,23	1,83 –	1,28 ±,13	1,03 ±,18	1,51 –	1,60 ±,20	1,52 ±,40	1,10 ±,23	1,07 ±,03	1,24 ±,09	
	0–10	2,08 –	1,99 ±,51	2,3 ±,09	1,91 ±,20	2,01 –	1,92 ±,16	1,64 ±,26	2,01 –	2,09 ±,37	1,83 ±,09	1,75 ±,28	1,82 ±,19	2,22 ±,26	
	10–20	2,21 –	1,72 ±,06	2,21 ±,07	2,16 ±,07	1,82 –	1,88 ±,23	1,42 ±,22	2,81 –	2,68 ±,22	2,59 ±,04	2,46 ±,15	2,65 ±,12	2,56 ±,23	
	20–30	2,01 –	1,04 –	2,26 ±,08	2,11 ±,05	1,73 –	1,43 ±,39	1,87 –	2,64 –	2,68 ±,06	2,50 ±,06	2,42 ±,15	2,49 ±,43	2,45 ±,17	
	30–40	1,98 –	–	2,21 ±,10	2,01 ±,03	1,23 –	1,10 ±,51	1,64 –	2,67 –	2,69 ±,15	2,58 ±,14	2,44 ±,14	2,64 ±,15	2,40 ±,13	
	40–50	1,31 –	–	2,15 ±,21	1,95 ±,10	–	1,93 ±,46	–	2,71 –	2,60 ±,19	2,55 ±,02	2,40 ±,1	2,47 ±,03	2,30 ±,14	
	N%/Org.	Rh	2,02 –	2,13 ±,42	2,48 ±,15	1,61 ±,26	2,35 –	1,43 ±,21	1,10 ±,13	1,59 –	1,70 ±,22	1,60 ±,43	1,18 ±,25	1,15 ±,04	1,33 ±,07
	0–10	2,23 –	2,81 ±,57	2,70 ±,16	2,19 ±,43	2,84 –	2,40 ±,39	2,05 ±,07	2,43 –	2,57 ±,32	2,16 ±,09	1,84 ±,29	1,91 ±,19	2,67 ±,34	
10–20	2,30 –	2,06 ±,07	2,47 ±,31	2,37 ±,29	2,63 –	2,38 ±,32	2,32 ±,25	3,09 –	2,98 ±,20	3,00 ±,14	2,55 ±,15	2,75 ±,11	3,20 ±,33		
20–30	2,10 –	1,89 –	2,62 ±,24	2,37 ±,24	2,15 –	1,98 ±,30	2,14 –	2,85 –	2,91 ±,18	2,80 ±,04	2,51 ±,15	2,58 ±,44	3,00 ±,24		
30–40	2,10 –	–	2,56 ±,34	2,20 ±,16	1,84 –	1,83 ±,44	1,75 –	2,84 –	2,92 ±,16	2,89 ±,06	2,53 ±,15	2,73 ±,16	2,91 ±,23		
40–50	2,26 –	–	2,51 ±,20	2,10 ±,16	–	2,23 ±,55	–	2,87 –	2,81 ±,19	2,85 ±,04	2,48 ±,10	2,59 ±,04	2,72 ±,25		
P mg/kg	Rh	960 –	1147 ±53	1333 ±208	757 ±184	481 –	609 ±122	675 ±129	1066 –	1158 ±261	1202 ±345	743 ±234	658 ±76	668 ±175	
	0–10	1363 –	744 ±199	1212 ±325	962 ±270	605 –	759 ±370	1050 ±28	935 –	759 ±255	1194 ±387	934 ±175	968 ±150	636 ±166	
	10–20	1293 –	919 ±202	1148 ±127	943 ±314	465 –	644 ±389	1002 ±84	766 –	1027 ±188	1061 ±64	1143 ±121	1126 ±27	299 ±55	
	20–30	1116 –	664 –	1042 ±195	885 ±302	435 –	636 ±397	703 –	963 –	952 ±175	1132 ±62	1020 ±117	1027 ±37	248 ±54	
	30–40	1346 –	–	1021 ±72	784 ±242	805 –	553 ±275	1254 –	776 –	947 ±135	1114 ±140	1066 ±93	973 ±62	268 ±79	
	40–50	1408 –	–	1164 ±100	848 ±279	–	760 ±52	–	709 –	888 ±135	1070 ±91	1054 ±137	781 ±182	255 ±58	
	K mg/kg	Rh	676 –	726 ±298	553 ±94	533 ±150	345 –	547 ±130	828 ±40	1076 –	1130 ±304	1441 ±170	1900 ±535	1610 ±35	858 ±434
	0–10	285 –	262 ±137	161 ±16	248 ±85	196 –	227 ±84	379 ±81	479 –	298 ±124	368 ±122	530 ±70	504 ±36	221 ±68	
10–20	95 –	200 ±107	74 ±13	90 ±52	106 –	82 ±30	308 ±59	108 –	106 ±68	94 ±37	117 ±25	216 ±148	32 ±10		
20–30	66 –	268 –	56 ±11	49 ±22	45 –	77 ±27	50 –	64 –	63 ±16	45 ±6	42 ±6	40 ±4	22 ±7		
30–40	66 –	–	53 ±7	38 ±13	165 –	100 ±54	67 –	56 –	58 ±14	41 –	39 ±6	37 ±18	21 ±5		
40–50	134 –	–	69 ±31	45 ±14	–	59 ±23	–	55 –	54 ±14	44 ±4	39 ±4	26 ±13	20 ±4		

Liite 1 jatkuu.

Ravinne n	Kerros	Mustapuro							Alajärvi			Sattasuo		Suol. aapa VSN
		VSK 1	VSK _s 2	RhSR 4	TSR 5	TSR _s 1	TR 5	Psr 2	RhK 1	KoLK 8	VLR 2	RhSR 12	RhSR _s 3	VSN 10
Ca mg/kg	Rh	2914	3610	4349	2466	1886	1987	2043	3655	4132	3525	2844	2580	1541
		–	±884	±312	±437	–	±309	±494	–	±583	±317	±545	±190	±550
	0–10	1738	2174	3215	1377	927	838	1107	3790	3531	3616	2787	3294	1688
		–	±1252	±674	±576	–	±294	±248	–	±1542	±1378	±462	±377	±863
	10–20	1330	2060	3825	1315	586	477	524	4979	4448	3980	2952	4120	1520
		–	±106	±1632	±563	–	±132	±296	–	±1078	±1218	±501	±386	±493
	20–30	1742	1605	4424	1641	816	534	943	5503	4862	4538	3404	4425	1427
		–	–	±698	±1017	–	±309	–	–	±1291	±636	±400	±278	±287
30–40	2270	–	5809	2017	580	555	1089	5879	5269	4877	3665	4690	1703	
	–	–	±322	±1167	–	±459	–	–	±1398	±255	±438	±445	±614	
40–50	1417	–	6811	2624	–	2815	–	6220	5385	5056	4084	5110	1902	
	–	–	±614	±1297	–	±2023	–	–	±1208	±49	±489	±292	±981	
Mg mg/kg	Rh	382	560	603	413	249	322	453	764	923	983	814	756	811
		–	±100	±91	±60	–	±52	±125	–	±150	±120	±222	±123	±170
	0–10	226	340	352	224	121	135	247	838	575	677	605	797	634
		–	±191	±106	±86	–	±49	±66	–	±212	±419	±101	±46	±192
	10–20	143	319	405	163	72	58	144	959	645	531	429	1601	549
		–	±28	±254	±54	–	±12	±2	–	±192	±250	±97	±1557	±111
	20–30	146	178	424	181	61	61	116	1036	678	542	517	901	668
		–	–	±165	±92	–	±26	–	–	±269	±204	±146	±171	±182
30–40	198	–	573	246	61	92	131	1058	730	669	625	1056	806	
	–	–	±179	±152	–	±41	–	–	±237	±177	±144	±120	±147	
40–50	171	–	858	267	–	324	–	994	698	663	705	1225	834	
	–	–	±53	±147	–	±226	–	–	±275	±132	±206	±112	±362	
Mn mg/kg	Rh	59	205	515	98	99	64	75	632	917	960	313	434	103
		–	±16	±262	±58	–	±46	±9	–	±268	±673	±176	±120	±60
	0–10	16	18	72	16	10	8	18	127	95	140	64	66	10
		–	±8	±43	±5	–	±4	±3	–	±47	±141	±41	±25	±6
	10–20	8	13	79	12	4	5	7	53	68	39	37	127	4
		–	±6	±74	±7	–	±4	±1	–	±30	±6	±14	±138	±3
	20–30	9	12	104	29	4	9	8	113	103	87	62	79	10
		–	–	±72	±28	–	±10	–	–	±41	±12	±16	±9	±8
30–40	22	–	158	49	4	15	11	148	139	121	83	89	19	
	–	–	±85	±49	–	±21	–	–	±43	±11	±17	±7	±19	
40–50	22	–	220	72	–	138	–	162	155	131	94	95	22	
	–	–	±107	±50	–	±177	–	–	±36	±9	±18	±7	±22	
Cu mg/kg	Rh	6,6	5,2	5,8	4,5	1,7	3,5	4,8	4,8	5,5	5,3	5,0	4,3	2,5
		–	±2,1	±1,5	±1,0	–	±1,8	±,7	–	±1,4	±,3	±1,1	±,5	±,8
	0–10	5,6	2,7	3,9	3,0	0,8	1,6	2,1	2,7	2,8	2,5	3,8	2,9	0,9
		–	±2,7	±1,6	±1,5	–	±1,6	±1,2	–	±1,5	±,3	±1,8	±,3	±,4
	10–20	7,2	3,2	4,8	4,4	1,2	4,0	3,4	2,4	3,9	3,7	3,4	5,7	0,3
		–	±,3	±1,4	±1,3	–	±3,8	±1,1	–	±2,8	±1,6	±,70	±4,6	±,2
	20–30	15,2	3,4	4,3	4,8	1,4	6,1	5,8	2,3	3,8	4,3	4,1	3,3	0,3
		–	–	±1,2	±2,4	–	±8,2	–	–	±2,4	±,6	±,7	±,8	±,2
30–40	10,7	–	5,6	5,6	1,8	7,6	10,0	2,0	3,8	4,3	5,2	4,4	0,5	
	–	–	±,9	±1,7	–	±10,5	–	–	±2,5	±1,5	±,7	±2,1	±,3	
40–50	7,7	–	8,4	6,0	–	6,8	–	1,9	4,2	4,8	6,4	4,0	0,5	
	–	–	±,2	±2,1	–	±1,4	–	–	±3,1	±,6	±1,4	±1,0	±,4	

Liite 1 jatkuu.

Ravinne n	Kerros	Mustapuro							Alajärvi			Sattasuo		Suol. aapa VSN 10
		VSK 1	VSK _s 2	RhSR 4	TSR 5	TSR _s 1	TR 5	PsR 2	RhK 1	KoLK 8	VLR 2	RhSR 12	RhSR _s 3	
Zn mg/kg	Rh	13,0	16,0	16,4	27,7	21,5	18,6	34,6	60,1	53,0	67,1	64,2	38,1	22,9
		–	±6,2	±5,1	±6,7	–	±9,1	±1,5	–	±28,0	±,3	±42,7	±5,8	±5,8
	0–10	3,0	2,5	4,0	6,8	2,4	3,7	7,7	9,0	11,4	12,0	19,2	11,1	6,2
		–	±1,3	±1,4	±3,4	–	±1,6	±2,2	–	±11,9	±6,7	±7,4	±2,4	±1,7
	10–20	2,5	2,4	2,8	2,4	1,0	1,2	2,4	4,7	3,7	2,9	4,6	5,4	1,5
		–	±,5	±,3	±1,0	–	±,5	±,6	–	±1,3	±,3	±2,4	±4,9	±,5
	20–30	1,6	2,7	2,6	1,9	1,4	1,2	1,6	3,7	3,2	2,4	4,3	1,9	1,5
		–	–	±,8	±1,0	–	±,3	–	–	±1,6	±1,2	±4,5	±,2	±,7
	30–40	1,5	–	2,4	2,3	1,1	1,4	2,3	4,5	5,2	2,4	2,7	2,0	2,1
		–	–	±,3	±,9	–	±,4	–	–	±4,8	±,5	±,7	±,1	±,8
	40–50	1,1	–	3,0	2,4	–	1,9	4,2	3,4	3,1	2,5	1,9	1,6	
		–	–	±1,0	±1,0	–	±,3	–	±1,4	±1,1	±,4	±,6	±,8	
B mg/kg	Rh	1,9	2,79	3,44	1,56	2,36	1,56	1,45	4,65	5,30	4,33	2,60	2,66	3,16
		–	±,51	±,22	±,55	–	±,26	±,47	–	±,97	±1,23	±2,43	±,48	±,59
	0–10	0,25	0,54	1,00	0,38	0,37	0,33	0,50	1,41	1,06	1,57	1,30	1,31	1,55
		–	±,16	±,49	±,26	–	±,19	±,08	–	±,54	±1,02	±,27	±,21	±,26
	10–20	0,19	0,29	0,72	0,63	–	0,31	–	2,20	1,65	0,88	0,71	0,99	1,55
		–	–	±,28	±,71	–	±,18	–	–	±,84	±,18	±,31	±,28	±,40
	20–30	–	–	1,02	0,23	–	0,22	0,06	2,65	2,24	1,84	0,45	0,42	1,64
		–	–	±,37	±,06	–	±,17	–	–	±1,03	±,21	±,30	±,08	±,53
	30–40	0,06	–	1,41	0,30	–	0,15	0,06	2,92	2,53	1,48	0,46	0,42	1,70
		–	–	±,72	±,32	–	±,05	–	–	±1,28	±,83	±,29	±,03	±,70
	40–50	0,06	–	1,73	1,17	–	0,64	3,90	2,72	1,25	0,41	0,50	2,00	
		–	–	±1,23	±1,27	–	±,37	–	±1,38	±,50	±,20	±,13	±,83	
Fe mg/kg	Rh	5629	4032	10314	3188	1325	2282	3216	3326	4066	3779	3195	1990	710
		–	±1453	±5212	±788	–	±834	±1892	–	±1882	±2300	±2177	±1013	±292
	0–10	3783	6151	7727	3673	2739	2291	2736	24943	20694	17152	10870	8734	1250
		–	±4299	±963	±1131	–	±775	±495	–	±5324	±1740	±3347	1698	±587
	10–20	3394	2831	8178	2563	1967	1540	1752	16404	15564	17592	12057	21884	801
		–	±2918	±1541	±798	–	±205	±64	–	±1375	±1341	±1740	±15516	±453
	20–30	4926	4826	8833	2890	2722	1638	2173	18373	15729	14717	11476	11806	676
		–	–	±667	±1527	–	±554	–	–	±2973	±1288	±1375	±1108	±308
	30–40	5194	–	11219	3453	3275	1588	2096	17577	15549	15255	13179	12785	814
		–	–	±690	±1836	–	±832	–	–	±3470	±383	±2234	±2827	±369
	40–50	3477	–	11632	7818	–	4782	1565	14428	15871	14748	12723	1083	
		–	–	±1039	±9174	–	±2879	–	±2456	±495	±1989	±3995	±731	
Org. %	Rh	93,5	90,2	88,9	94,5	77,8	89,5	93,1	94,9	94,2	95,0	93,6	93,3	93,1
		–	±1,7	±5,2	±3,1	–	±4,4	±5,4	–	±2,3	±,6	±1,8	±1,5	±3,4
	0–10	93,1	70,5	85,7	88,5	70,7	81,2	79,5	82,7	80,9	84,5	95,0	95,1	83,2
		–	±3,8	±8,4	±9,1	–	±9,1	±10,0	–	±6,7	±7,9	±,9	±,9	±4,6
	10–20	96,0	83,3	90,1	91,8	69,1	79,6	62,0	91,0	89,7	86,2	96,2	96,4	80,0
		–	±5,9	±8,3	±7,7	–	±9,8	±16,2	–	±2,8	±2,8	±,8	±,9	±2,9
	20–30	95,7	54,9	86,6	89,8	80,3	72,1	87,2	92,6	91,9	89,1	96,3	96,6	81,9
		–	–	±9,7	±9,4	–	±14,3	–	–	±,8	±,8	±1,0	±,3	±6,0
	30–40	94,5	–	87,2	91,6	66,8	59,8	93,5	94,1	92,1	89,2	96,4	96,7	82,9
		–	–	±8,9	±7,2	–	±20,4	–	–	±1,7	±3,1	±,9	±1,1	±4,1
	40–50	57,9	–	86,5	93,3	–	86,6	94,6	92,4	89,4	96,5	95,5	84,9	
		–	–	±13,8	±6,1	–	±,9	–	±1,5	±1,8	±1,0	±2,7	±6,7	