

*Into Saarela, Harri Huhta,
Yrjö Salo, Jouko Sippola,
ja Martti Vuorinen*

**Kaliumlannoituksen
porraskokeet
1977–1994**

Into Saarela, Harri Huhta, Yrjö Salo, Jouko Sippola ja Martti Vuorinen

Kaliumlannoituksen porraskokeet 1977–1994

Potassium fertilizer rate trials, 1977–1994

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-523-5

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Into Saarela, Harri Huhta, Yrjö Salo, Jouko Sippola ja Martti Vuorinen

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puh. (03) 4188 7502, telekopio (03) 418 8339

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy 1998

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Saarela, I.¹⁾, Huhta, H.²⁾, Salo, Y.³⁾, Sippola, J.⁴⁾ & Vuorinen, M.⁵⁾ 1998. Kaliumlannoituksen porraskokeet 1977–1994. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 42. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 41 p. + 1 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-523-5.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, into.saarela@mtt.fi

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Ekologinen tuotanto, 50600 Mikkeli, harri.huhta@mtt.fi

³⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Alueellinen tutkimus, Lounais-Suomen tutkimusasema, 23120 Mietoinen, yrjo.salo@mtt.fi

⁴⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen, jouko.sippola@mtt.fi

⁵⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Alueellinen tutkimus, Hämeen tutkimusasema, 36600 Pälkäne, martti.vuorinen@mtt.fi

Tiivistelmä

Avainsanat: lannoitustarve, maan kalium, maan viljavuus, sadon kalium, sadon laatu, sadon ravinteet

Tässä julkaisussa esitetään tuloksia laajasta valtakunnallisesta tutkimuksesta, jossa verrattiin monivuotisissa kenttäkokeissa vuosittain annettujen kaliummäärien vaikutuksia peltokasvien sadon määrään ja laatuun sekä maan viljavuuteen. Tavoitteena oli viljan, nurmen, rypsin ja perunan kaliumlannoituksen optimoiminen eri maala-jeilla kemiallisten maa- ja kasvianalyysien avulla. Ilman kaliumlannoitusta tuotettu sato vaihteli eri kokeissa välillä 28–100 % riittävällä kaliummäärällä saadusta sadosta. Lisätty kalium paransi kasvua eniten niukkaravinteisella turvemaalla viljellyllä nurmella, jonka sadoissa poistui runsaasti ra-

vinteita. Savimaiden ravinnevarat riittivät nurmellakin useiksi vuosiksi täyteen satoon ilman kaliumlannoitusta. Viljan ottamasta kaliumista pääosa oli oljissa, joiden palauttaminen maahan vähensi lannoitustarvetta. Ilman kaliumlannoitusta kasvaneet viljasadot pysyivät siten lähes normaaleina myös karkeilla kivennäismailla ja eloperäisillä mailla. Ohra hyötyi lisätystä kaliumista enemmän kuin muut viljat. Savimailla ammoniumionien kanssa maahiukkasten spesifisistä pidätyspaikoista kilpailevien kaliumionien lisääminen edisti kasvien typen saantia ja suurensi valkuaisatoja.

Saarela, I.¹⁾, Huhta, H.²⁾, Salo, Y.³⁾, Sippola, J.⁴⁾ & Vuorinen, M.⁵⁾ 1998. Potassium fertilizer rate trials, 1977–1994. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 42. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 41 p. + 1 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-523-5.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Plant Production Research, Crops and Soil, 31600 Jokioinen, into.saarela@mtt.fi

²⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Resource Management Research, Ecological Production, 50600 Mikkeli, harri.huhta@mtt.fi

³⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Regional Research, Southwest Finland Research Station, 23120 Mietoinen, yrjo.salo@mtt.fi

⁴⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Resource Management Research, Environmental Resources 31600 Jokioinen, jouko.sippola@mtt.fi

⁵⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Regional Research, Häme Research Station, 36600 Pälkäne, martti.vuorinen@mtt.fi

Abstract

Key words: crop quality, fertilization requirement, plant potassium, soil fertility, soil potassium, soil tests

This paper presents the results of a large national Finnish project comparing the effects of different rates of annual potassium fertilization on the yield and quality of field crops and on soil fertility in long-term field experiments. The main objective was to optimize potassium fertilization of cereal, ley, rapeseed and potato crops on various soil types by means of chemical soil and plant analyses. The relative yield obtained without potassium application ranged from 28 to 100 per cent of the yield produced with a sufficient amount of potassium. Application of potassium improved plant growth most clearly on infertile peat soil, as seen in ley grass, which removed large amounts of nutrients from the soil in harvested yields. The

potassium reserves of clay soils were sufficient to produce maximum yields for several years, even in ley. Most of the potassium taken up from the soil by cereals was in the straw, which when returned to the soil thus reduced the need for potassium fertilization. Therefore the yields of cereal grain grown without potassium fertilization remained almost normal, even on coarse mineral soils and organic soils. Potassium application was more beneficial to barley than other cereals. In clay soil, applied potassium ions, which compete for specific binding sites with ammonium ions, improved the availability of nitrogen to plants and increased protein yields.

Alkusanat

Vuonna 1977 käynnistettiin professori Paavo Elosen johdolla laaja valtakunnallinen tutkimus peltokasvien kaliumlannoituksen optimointia varten.

Monivuotisia kokeita perustettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) 12 tutkimusasemalle, Jokioisten koekentille, Maanviljelyskemian ja fysiikan laitoksen kiinteille koekentille sekä Kemiran Kotkaniemen koetilalle kaikkiaan 34 koepaikalle.

Tutkimuksen suunnitteluun osallistivat mm. Antti Jaakkola, Jorma Kähäri, Jouko Sippola, Hilikka Tähtinen, Jaakko Köylijärvi, Johan Korkman ja Simo Sallasmaa. Kokeiden toteuttamisesta ovat vastanneet Elsi Ettala, Sirkka-Liisa Hiivola, Helmi Linnomäki, Pirkko Köylijärvi, Pentti Teittinen, Kalevi Virri, Mauri Takala, Tadeusz Aniszewski, Reijo Heikkilä, Matti Zitting, Erkki Virtanen, Paavo Simojoki, Kalle Rinne, Heikki Hakkola, Heikki Talvitie, Aulis Järvi, Martti Vuorinen, Erkki Kemppainen, Tapani Kangasmäki, Yrjö Salo ja Harri Huhta. Tulosten laskennan

suunnitteluun osallistuivat Liisa Mattila ja Riitta Saarikko. Maanviljelyskemian- ja -fysiikan tutkimusalalla näytteiden käsittelystä ja satoanalyysistä sekä kenttäkokeiden hoidosta ovat vastanneet Marjatta Ahola, Kerttu Hämäläinen, Kirsti Niskanen, Helge Öberg, Tuomo Nissi, Risto Tanni, Kimmo Kakkonen, Katariina Saarela ja Ritva Niemi. MTT:n maantutkimusosastossa tehdyistä maan viljavuusanalyysistä on vastannut Pekka Kivistö.

Itse olen johtanut tutkimusta vuodesta 1978, koonnut ja laskenut tulokset sekä kirjoittanut tekstin, jonka muut tekijät ovat tarkastaneet ja tehneet siihen merkittäviä parannuksia. Tutkimuksessa on hyödynnetty MTT:n maaperätieteen ja kasvintuotannon osaamista ja siihen on käytetty tuhansia tunteja erikoiskoulutettujen ammattilaisten huolellista työtä niin koekentillä kuin laboratorioissakin. Parhaat kiitokset kaikille tutkimukseen osallistuneille.

Jokioisissa 5.3.1998

Into Saarela

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
1 Johdanto	7
2 Aineisto ja menetelmät	7
3 Tulokset ja tarkastelu	8
3.1 Sadot	8
3.2 Sadon ravinnepitoisuus	10
3.3 Sadon laatu	14
3.4 Olkien ravinteet	14
3.5 Ohrasato ja sen ravinnepitoisuus eri maalajeilla	15
3.6 Maan viljavuuden kehitys	16
3.7 Nurmien sadot ja ravinnetalous	19
3.8 Nurmen kaliumlannoituksen tarve	31
3.9 Maan kalium ja lannoitustarve	34
4 Yhteenveto ja päätelmät	37
Kirjallisuus	39
Liite	

1 Johdanto

Tärkeimpien peltokasvien kaliumlannoituksen tarve Suomen oloissa on selvitetty perusteellisesti laajojen kenttäkoesarjojen avulla (mm. Salonen & Tainio 1961, Keränen & Tainio 1968). Tutkimuksen alkaessa 1970-luvun lopussa lannoituksen ja muun viljelytekniikan kehitys, kuten tilakohtainen ja alueellinen erikoistuminen, olkien maahan kyntö ja sijoituslannoitus sekä heinänuurmien moninkertaistunut typpilannoitus, korostivat nykyaikaiseen viljelyyn soveltuvan tutkimustiedon tarvetta. Vanhojen koetulosten soveltuvuutta lannoitus-suositusten perustaksi heikensi myös pitkään jatkuneen runsaan lannoituksen aiheuttama maan viljavuuden paraneminen. Kaikkiaan 34 koepaikalle perustettujen kokeiden tuloksia on jo aikaisemmin raportoitu useissa julkaisuissa (mm. Saarela 1982, Saarela 1983, Vuorinen 1989). Tässä julkaisussa esitetään tulokset 21 kokeesta, joita viljeltiin vähintään 8 vuotta.

2 Aineisto ja menetelmät

Kolme 21 kokeesta sijaitsi Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusalan koekentillä Jokioisissa ja 17 koetta kahdellatoista MTT:n tutkimusasemalla eri puolilla maata. Yhtenä koepaikkana oli Kemiran Kotkaniemen koetila Vihdissä (Taulukko 1). Koepaikkoja- ja menetelmiä sekä alkuvuosien tuloksia on selostettu tarkemmin aikaisemmissa julkaisuissa (Saarela 1982, Saarela 1983). Koska kaliumlannoituskokeet sijaitsivat yleensä pareittain vastaavien fosforilannoituskokeiden vieressä, näiden tarkempi kuvaus (Saarela et al. 1995) koskee myös vastaavia kaliumkokeita. Kokeet 13006/13007 ja 15178 olivat kuitenkin erillään samoilla tutkimusasemilla tehdyistä fosforilannoituskokeista, ja kaliumko-

keen 21007 alueella turvetta oli vähemmän kuin sen parissa. Useimmilla koekentillä viljeltiin viljaa jatkuvasti tai monivuotisten nurmien kanssa vuorotellen. Joissakin kokeissa tutkittiin myös rypsiä ja perunaa.

Vertailtavina koekäsittelyinä oli viisi vuotuisen kaliumlannoituksen määrää. Viljalla ja rypsilä ne vaihtelivat välillä 0–80 kg/ha tasaisin 20 kilon portain ja annettiin kalisuolana sijoittaen joko kylvölannoituksessa tai erillisellä rivilannoituksella. Nurmella samat määrät kalisuolaa levitettiin pintaan erikseen jokaista satoa varten. Kahdessa kokeessa (24802 ja 25428) nurmelle levitetyt kaliummäärät kuitenkin kaksinkertaistettiin neljänestä koevuodesta alkaen. Perunalla kaliumsulfaattina annetut kaliummäärät vaihtelivat välillä 0–200 kg/ha 50 kilon portain. Kokeen lopussa tutkittiin kaliumlannoituksen jälkivaikutusta jättämällä lannoitukset 40 ja 80 kg K/ha antamatta. Oljet palautettiin silputtuina maahan. Kolmessa kokeessa olkien poistaminen oli toisena koetekijänä siten, että kaikki kaliumlannoitustasot esiintyivät sekä oljet palautettaessa että oljet poistettaessa. Taulukoissa esitetään nurmelle niittoa kohti ja muille kasveille vuosittain annettuja kaliummääriä, kg/ha, koodeilla seuraavasti:

Koeruuduista otettiin maanäytteitä

	Vilja ja rypsi (Nurmiko- keissa 2087-2088)	Peruna	Nurmi koivuosi- na	
			1-3	4-12
Ko	0	0	0	0
K1	20	50	20	40
K2	40	100	40	80
K3	60	150	60	120
K4	80	200	80	160

kyntökerroksesta ja jankosta alussa sekä myöhemmin kolmen vuoden välein. Maanäytteistä määritettiin makroravinteiden pitoisuudet happamalla ammoniumasetatilla uuttamalla ja pH-luku mitattiin vesilietteestä. Satonäytteistä määritettiin makroravinteiden pitoisuus sekä ulkoinen laatu.

Taulukko 1. Koepaikkojen sijainti ja maaperän ominaisuudet kokeen alussa.
Table 1. Location and initial soil properties of field experiments.

Kokeen numero <i>Exp. number</i>	Maalaji, kunta <i>Soil type, municipality</i>	Maantieteellinen sijainti <i>Geographic position</i>	Org. aine <i>OM</i> %	Saves <i>Clay</i> %	pH-luku (vesi) <i>pH value (water)</i>	Kalium, mg/l <i>Potassium K-AAc K-HCl</i>	Vilj. luokka <i>K rating* (K-AAc)</i>	
Savimaat - <i>Clay soils</i>								
13016	AS, Mietoinen	60.35N 21.53E	3,5	70	6,7	345	5278	Hyvä
15178	HsS, Anjalank.	60.41N 26.50E	4,7	57	6,8	337	5071	Hyvä
02087/88	HeS, Jokioinen	60.49N 23.28E	4,9	42	6,4	316	5782	Hyvä
13006/07	HeS, Mietoinen	60.35N 21.53E	3,3	41	6,0	288	6276	Tyydyttävä
25429	HsS, Mouhijärvi	61.32N 23.00E	5,3	34	5,7	129	3801	Välttävä
25428	HsS, Mouhijärvi	61.32N 23.00E	5,2	33	6,6	214	3684	Tyydyttävä
02089	HTS, Vihti	60.20N 24.25E	5,6	32	6,2	277	3550	Tyydyttävä
Karkeat kivennäismaat - <i>Silt, loam and sand soils</i>								
19025	Hs, Laukaa	62.25N 26.15E	4,5	30	6,3	128	2555	Tyydyttävä
14812	He, Kokemäki	61.15N 22.18E	15,0	26	5,7	179	1041	Tyydyttävä
20232	He, Ylistaro	62.57N 22.31E	12,0	24	5,4	176	1177	Tyydyttävä
13017	sKHt, Mietoinen	60.35N 21.53E	2,5	19	5,8	215	2537	Hyvä
18262	HHt, Maaninka	63.08N 27.20E	3,6	13	6,2	92	3270	Välttävä
16067	He, Pälkäne	61.20N 24.15E	3,8	12	5,7	144	5570	Tyydyttävä
02162	KHt, Jokioinen	60.49N 23.28E	4,5	11	6,0	485	e.m.	Korkea
21004	HHt, Toholampi	63.48N 24.12E	4,5	7	5,5	103	817	Välttävä
22002	KHt, Ruukki	64.42N 25.00E	16,0	5	5,2	88	467	Välttävä
43337	HHt, Tohmajärvi	62.11N 30.23E	4,8	5	5,6	180	880	Tyydyttävä
Eloperäiset maat - <i>Organic soils</i>								
21007	hsMm, Toholampi	63.48N 24.12E	25,0		4,9	126	509	Tyydyttävä
24802	hkMm/Ct, Vaala	64.30N 26.25E	25,0		4,6	26	68	Huono
02091/92	sMm, Jokioinen	60.49N 23.28E	35,0		5,4	211	2702	Hyvä
43027	LcT, Tohmajärvi	62.11N 30.23E	48,0		4,8	71	470	Välttävä

* Hyvä = Good, Tyydyttävä = Satisfactory, Välttävä = Fair, Korkea = High, Huono = Poor

Rypsisadoista määritettiin öljypitoisuus ja perunoista tärkkelyspitoisuus. Kaliumlannoituksen vaikutukset testattiin varianssianalyysillä ja F-arvon merkitsevyys (P) esitetään seuraavasti: – = >0,05 (ei merkitsevä), * = 0,01–0,05 (merkitsevä), ** = 0,001–0,01 (hyvin merkitsevä) ja *** = <0,001 (erittäin merkitsevä).

3 Tulokset ja tarkastelu

3.1 Sadot

Taulukossa 2 esitettävän satotulosten yhteenvedon mukaan kaliumlannoitus vaikutti koko koekauden satoon yhdeksällä

koepaikalla, joista yhdellä vähentävästi. Kokeissa, joissa ohraa kasvoi useampana vuonna, sen sato suureni kaliumlannoituksella savimaalla kokeissa 02087 (***), 02088 (*) ja 13007, multamaalla kokeessa 02091 (**) sekä hietamaalla kokeessa 18262 (***). Yksittäisinä vuosina (Liite 1) lisätyn kaliumin vaikutus satoon oli tilastollisesti merkitsevä kaikilla koepaikoilla lukuun ottamatta kolmea koetta, mutta kaikkina vuosina se oli merkitsevä vain nurmikokeessa 24802, jonka maaperä oli niukkaravinteista hiekkaista turvetta. Lisätyn kaliumin vähäinen välitön vaikutus satoon on tavallista paitsi savimailla (mm. Salonen & Tainio 1961, Keränen & Tainio 1968) myös voimaperäisesti viljellyillä karkeilla kivennäismailla (Jaakkola 1980, Hahlin & Ericsson 1984, Kuhlman & Wehrmann

Taulukko 2. Maan vaihtuva kalium ja suhteellinen sato erikseen kaliumlannoituksilla yksittäisissä kokeissa, maalajeittain ja keskimäärin. Sadon suhdelukujen eron merkitsevyys, P: – = >0,05, * = 0,05–0,01, ** = 0,01–0,001, *** = <0,001. Kaliumlannoituskäsittelyissä K0-K4 käytetyt kaliummäärät esitetty Taulukossa 3.

Table 2. Exchangeable soil K and relative feed unit yields by K fertilization rate in each experiment, by soil type and on average. Significances of differences in yield (P) as shown above. The potassium rates used by potassium treatments K0-K4 presented in Table 3.

Kokeen numero <i>Exp. number</i>	Koe- vuosia <i>Exp. years</i>	Maan kalium eri K-lannoituksilla mg/l <i>Soil K by K fertiliz. rate</i>			Sadon suhdeluku eri K-lannoituksilla (K3-K4=100) <i>Relative yield by K fertilizaton rate</i>					Tilast. merkit- sevyys <i>Signi- fi- cance</i>	Ry-sato ry/ha <i>FU yield fu/ha (K4)</i>
		K0	K2	K4	K0	K1	K2	K3	K4		
<i>Jäykät savet - Heavy clays</i>											
02087	12	241	269	283	98	100	101	97	103	*	4828
02088	12	229	254	276	98	102	100	100	100	-	4669
13016	12	292	287	307	100	99	102	100	100	-	3833
15178	11	299	328	343	92	95	95	97	103	*	3530
	47	264	282	301	97	99	100	99	101		4245
<i>Kevyet savet - Loamy clays</i>											
02089	8	236	289	326	98	99	99	100	100	-	4245
13006	10	258	270	278	101	99	100	99	101	-	3698
13007	10	237	264	264	97	95	96	100	100	*	3807
25428	12	128	164	238	94	98	100	100	100	-	5248
25429	12	98	118	155	100	101	101	99	101	-	2903
	52	184	212	245	98	99	99	100	100		3977
<i>Hiesu- ja hieumaat - Silt and loam soils</i>											
13017	12	146	147	160	98	99	99	100	100	-	3897
14812	11	131	158	177	102	101	98	101	99	-	3389
16067	12	154	171	175	94	99	101	100	100	*	3689
19025	12	88	99	106	98	99	102	99	101	-	2728
20232	12	113	142	160	101	101	101	100	100	-	4464
	59	126	143	155	99	100	100	100	100		3638
<i>Hietamaat - Sand soils</i>											
02162	12	281	320	363	98	101	101	100	100	-	4428
18262	12	79	89	96	95	97	100	101	99	*	3811
21004	12	91	117	160	98	101	101	101	99	-	2818
22002	11	57	83	102	95	98	96	99	101	-	3508
43337	12	111	128	142	97	99	99	100	100	-	3648
	59	125	149	174	97	99	99	100	100		3645
<i>Multa- ja turvemaat - Organic soils</i>											
02091	12	166	189	207	96	99	101	100	100	*	4257
02092	12	143	159	175	95	98	99	99	101	-	4328
21007	12	84	102	128	102	98	98	101	99	-	3080
24802	10	14	24	57	28	86	96	98	102	***	5131
43027	12	51	56	72	95	99	100	99	101	*	3528
	58	94	109	130	85	97	99	100	100		4028
<i>Yhteensä ja keskimäärin - Total and mean</i>											
	275	153	174	196	95	99	100	100	100		3889

1984).

Perunalla kokeessa 02162 kalium vähensi mukulasatoa sateisena vuonna 1981, mikä johtui lisätyn kaliumin pahentamasta magnesiumin puutteesta. Kaliumin pienensi satoa myös ensimmäisen vuoden nurmella savimaalla kokeessa 02087/88 sekä runsasmultaisella hiukeella kokeessa 20232. Savimaalla kalisuola vaikeutti koiranheinän rikin saantia (Saarela & Hahtonen 1994), mutta tärkeämpi syy sadonvähennykseen oli ilmeisesti pienten heinänoiraiden vesitalouden ja ravinnetasapainon häiriintyminen kalisuolarakeiden vieressä.

Pienet, matalajuuriset oraat voivat kärsiä väkevästä lannoitteista erityisesti kuivina keväänä (Jokinen & Simojoki 1972). Hiukeella kokeessa 20232 kasvun heikentyminen näytti johtuvan kalsiumin ja magnesiumin saannin vaikeutumisesta. Kaliumlannoitus vähensi satoa tässä kokeessa yhtenä vuonna myös kauralla ja kokeessa 21004 ohralla. Kasvien magnesiumin saannin vaikeutuminen on useissa tapauksissa kaliumlannoituksen aiheuttaman kasvun heikkenemisen syytä (Jokinen 1981, Seggewiss & Jungk 1988, Hahlin 1991).

Kylmänä katokesänä 1987 kaliumin vaikutus kasvien hallankestävyyteen ilmeni selvästi ohralla Jokioisten multamaalla kokeessa 2091, kun kaliumlannoitus lisäsi jyväsatoa 40 %:lla, 1090 kg:sta 1440 kg:aan hehtaariilta (Liite 1). Lakoontuneen ohrakasvuston sato oli kuitenkin suurimmallaan kaliumlannoituksella erittäin kevyttä ja pienijyvistä, sillä hehtolitraino oli vain 32,9 kg ja 1000 siemenen paino 18,4 g.

Kokeiden alussa kaliumin merkitystä saattoi ainakin savimailla korostaa fosforilannoitteen sijoittaminen riviin poikittain kaliumruutujen yli, mikä rikkoi kylvöalustaa. Liiallinen kuohkeus heikensi ravinteiden saantia maasta ja lisäsi lannoitustarvetta ilmeisesti ainakin Jokioisten kokeessa 2087/2088 vuosina 1981–1982 (Liite 1). Myöhemmin fosfori sijoitettiin kylvösyvyyteen, jolloin kylvöalusta vaurioitui vähemmän, vaikka kalium sijoitettiin edelleen normaaliin syvyyteen, noin 8 cm:iin. Maaninگان hienolla hiedalla kokeessa 18262 lan-

noituksen vaikutusta näyttivät korostavan etenkin kokeen lopussa maan tiivistyminen sekä siitä johtuneet liikamarkkuus ja poudanarkuus, jotka häiritsivät juurten kasvua ja ravinteiden ottoa. Tällöin kaliumin saannin vaikeutuminen piti korvata lannoitusta lisäämällä, jotta se ei olisi pienentänyt satoa.

Vuosina 1985–1986 tutkittiin kaliumlannoitteiden sivuvaikutuksia Arraohralla Jokioisten hiesavimaalla kokeen 2087/2088 vieressä (Saarela 1987). Maan vaihtuvan kaliumin pitoisuus oli 180 mg/l ja vuosittain kloridina eli kalisuolana tai sulfaattina annetun kaliumin määrä 140 kg/ha. Muina käsittelyinä olivat pelkkä NP-lannoitus, joka oli koko kokeessa sama, sekä kalisuolan kloorimäärä vuorisuolana eli natriumkloridina. Kaikki lannoitteet annettiin sekä äestäen mullattuina että erikseen riviin sijoitettuina. Kalisuola lisäsi ohrasatoa äestäen mullattuna 6 % ja sijoitettuna 13 %. Natriumkloridin vaikutus oli mullattuna sama 6 % ja sijoitettuna 8 % eli hiukan heikompi kuin kalisuolan, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Kaliumsulfaatilla ei ollut merkitsevää vaikutusta ohrasatoon. Tässä tapauksessa kalisuolan edullinen vaikutus näytti siten johtuvan pääasiassa sen kloorista, jonka lisääminen maahan saattaa olla hyödyllistä monella tavalla. Kloori mm. lieventää eräitä sienten aiheuttamia kasvitauteja niin tehokkaasti, että sen käyttöä niiden torjumiseksi suositellaan (Fageria et al. 1997).

3.2 Sadon ravinnepitoisuus

Viljasadon sisältämä kaliummäärä vaihteli eri lajeilla välillä 12–20 kg/ha (Taulukko 3). Kevätvehnän muita pienempi kaliumsisältö johtui pääasiassa sen pienistä sadoista. Jyvi-en kuiva-aineen kaliumpitoisuus oli vehnälä jokseenkin yhtä suuri kuin kauralla, mutta noin viidennestä pienempi kuin ohralla (Taulukko 4). Syysviljojen harvalukuiset kokeet eivät ehkä edusta näitä lajeja oikein. Varsinkin eloperäisellä maalla kasvaneen rukiin kaliumpitoisuudet olivat pienempiä kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Jaakko-

Taulukko 3. Kalium- ja typpitase kasvilajeittain (kg/ha).
Table 3. Potassium and nitrogen balance by crop (kg/ha).

Koe- jäsen <i>Treat- ment</i>	Kalium- lann. <i>K fer- tiliz.</i>	Kaliumin otto <i>K up- take</i>	Kalium- tase <i>K bal- ance</i>	Maan K <i>Soil K mg/l</i>	Sato <i>Yield kg/ha</i>	Typpi- lann. <i>N fer- tiliz.</i>	Typen otto <i>N up- take</i>	Typpi- tase <i>N bal- ance</i>
<i>Syysruis, 2 sataa - Winter rye, 2 harvests</i>								
K0	0	17,3	-17,3	141	4220	40	77,2	-37,2
K1	20	17,0	3,0	154	4136	40	77,2	-37,2
K2	40	17,7	22,3	165	4259	40	78,8	-38,8
K3	60	17,2	42,8	154	4249	40	78,4	-38,4
K4	80	16,8	63,2	215	4157	40	76,9	-36,9
<i>Syysvehnä, 2 sataa - Winter wheat, 2 harvests</i>								
K0	0	20,2	-20,2	259	4215	160	67,7	92,3
K1	20	20,0	-0,0	284	4270	160	68,8	91,2
K2	40	20,4	19,6	291	4330	160	70,3	89,7
K3	60	19,8	40,2	284	4220	160	67,5	92,5
K4	80	20,7	59,3	308	4345	160	70,9	89,1
<i>Kevätvehnä, 34 sataa - Spring wheat, 34 harvests</i>								
K0	0	12,6	-12,6	210	3275	93	64,0	29,3
K1	19	12,6	6,8	222	3302	93	64,6	28,6
K2	39	12,5	26,3	234	3303	93	64,7	28,5
K3	58	12,5	45,7	222	3271	93	63,9	29,3
K4	78	12,7	65,0	253	3286	93	64,4	28,9
<i>Ohra, 133 sataa - Barley, 133 harvests</i>								
K0	0	15,5	-15,5	149	3437	72	55,4	16,2
K1	20	15,9	3,9	159	3519	72	56,1	15,5
K2	39	16,0	23,1	168	3551	72	56,6	14,9
K3	60	16,1	43,5	159	3568	72	56,6	15,0
K4	78	16,2	62,0	187	3592	72	57,0	14,6
<i>Kaura, 63 sataa - Oats, 63 harvests</i>								
K0	0	15,5	-15,5	131	4032	66	73,7	-7,7
K1	20	15,5	4,5	142	4036	66	73,3	-7,4
K2	40	15,6	24,4	150	4025	66	73,1	-7,1
K4	80	15,7	64,3	167	4032	66	72,7	-6,8
<i>Kevätrypsi, 7 sataa - Spring turnip rape, 7 harvests</i>								
K0	0	15,8	-15,8	172	2262	85	76,4	8,5
K1	20	15,7	4,3	181	2247	85	77,3	7,5
K2	40	16,0	24,0	192	2296	85	77,0	7,9
K3	60	16,1	43,9	181	2301	85	76,9	7,9
K4	80	15,6	64,4	218	2243	85	75,0	9,9
<i>Peruna, 8 sataa - Potato, 8 harvests</i>								
K0	0	182,8	-182,8	300	31646	86	92,0	-5,8
K1	50	188,1	-138,1	303	32300	86	91,9	-5,7
K2	63	190,7	-128,2	329	32118	86	90,5	-4,2
K3	150	194,9	-44,9	303	32604	86	91,7	-5,4
K4	125	189,3	-64,3	363	32109	86	91,7	-5,4

Taulukko 3. (jatkoa) Kalium- ja typpitase kasvilajeittain (kg/ha).
Table 3. Potassium and nitrogen balance by crop (kg/ha).

Koe- jäsen <i>Treat- ment</i>	Kalium- lann. <i>K fer- tiliz.</i>	Kaliumin otto <i>K up- take</i>	Kalium- tase <i>K bal- ance</i>	Maan K <i>Soil K mg/l</i>	Sato <i>Yield Kg/ha</i>	Typpi- lann. <i>N fer- tiliz.</i>	Typen otto <i>N up- take</i>	Typpi- tase <i>N bal- ance</i>
Nurmi, 23 satoa - <i>Grass ley, 23 annual yields</i>								
K0	0	91,3	-91,3	94	5531	168	98,7	69,6
K1	57	136,9	-79,5	108	7579	168	140,6	27,6
K2	108	168,6	-60,7	118	7969	168	147,0	21,3
K3	172	192,7	-20,5	108	7900	168	143,1	25,1
K4	216	214,7	1,0	167	8123	168	146,8	21,4

la & Vogt 1978, Varo et al. 1980, Jansson et al. 1985, Saarela et al. 1995). Ohra ja ruis sisältävät kaliumia yleensä enemmän kuin muut viljat ja noin kolmanneksen enemmän kuin fosforia, mutta muissa viljoissa kaliumia on vain hiukan enemmän kuin fosforia. Kaliumlannoituksella oli vain vähäinen vaikutus viljasadon kaliuminottoon ja sadon kaliumpitoisuuteen, mutta pienet sadonlisäykset olivat kuitenkin melko säännöllisiä ja usein tilastollisesti merkitseviä.

Rypsin siemenissä kaliumia on selvästi enemmän kuin viljan jyvässä, mutta niukasti verrattuna muihin ravinteisiin. Viljaan verrattuna rypissä on erityisen runsaasti kalsiumia. Perunan ja nurmikasvien ottamat kaliummäärät ovat suuruusluokaltaan kymmenkertaisia viljan jyväsatoihin verrattuna (Taulukot 3 ja 4). Perunasadon suuri kaliumsisältö korostuu verrattaessa sitä muihin ravinteisiin, joita perunoissa on suhteellisen vähän. Jokioisissa vuosina 1987–1989 tehdyssä toisessa perunakokeessa (maalaji savinen hieta, pH 6,5, Ca 2290 mg/l, Mg 190 mg/l, P 39,8 mg/l ja K 142 mg/l), jossa kaliumlannoitus suurensi merkittävästi Rekord-perunan mukulasatoa (50 kg K/ha 0,8 tn/ha ja 100 kg K/ha 1,4 tn/ha), mukuloiden kuiva-aineen kaliumpitoisuus oli pienempi (17,8–21,8 g/kg) mutta kalsiumpitoisuus suurempi (0,32–0,46 g/kg) kuin taulukoissa 3 ja 4 esitettävässä monivuotisessa kokeessa keskimäärin.

Loppuvuosina mukuloiden kaliumpitoi-

suus oli Jokioisten monivuotisessa kokeessa 02162 pienimmillään 15,7 g/kg. Tällöin mukuloiden magnesiumpitoisuus oli normaalia pienempi, 0,76–0,96 g/kg, mutta se suureni kaliumlannoitusta lisättäessä. Perunan mukuloihin kaliumlannoitus vaikutti siten päinvastoin kuin viljan jyviin sekä varsiin ja lehtiin useimmilla kasveilla (Jokinen 1981) peruna mukaan luettuna (Varis 1972b). Piilevä magnesiumin puute vähensi mahdollisesti kaliumlannoituksen vaikutusta satoon, kun maan ja kasvin K/Mg-suhde nousi liian suureksi (Hahlin 1991). Vaikka mukuloiden magnesiumpitoisuus kasvoi kaliumlannoituksen lisääntyessä, lehdissä vaikutus oli todennäköisesti päinvaistainen (Varis 1972b).

Kaliumlannoituksen vaikutus mukuloiden kalsiumpitoisuuteen oli monivuotisessa kokeessa melko vähäinen ja vaihteli vuosittain (Taulukot 3 ja 4). Vuosien 1987–1989 kokeessa vuosittain annettu kaliumlannoitus 50–100 kg/ha suurensi sekä kalsiumin että magnesiumin pitoisuutta mukuloiden kuiva-aineessa. Variksen (1972b) tutkimuksessa kaliumlannoitus kuitenkin pienensi Realta-perunan mukuloiden kalsiumpitoisuutta. Sadon ravinnepitoisuuden muutosten vaihtelu johtuu lisätyn kalium kemiallisten ja biologisten vaikutusten erilaisesta painottumisesta eri olosuhteissa (Seggewiss & Jungk 1988). Kationien vaihtumisen aiheuttaman maanesteen kalsium- ja magnesiumpitoisuuden suurenemisen merkitys lisääntynee maan savespitoisuu-

Taulukko 4. Kasvilajien sadon kuiva-aineen ravinnepitoisuus (K, N, P, Ca, Mg, g/kg) ja ulkoinen laatu eri kaliumlannoituksilla. Nurmen sadon K/N-suhde laskettu alkuaineiden painon ja K/(Ca+Mg)-osamäärä kemiallisten ekvivalenttien mukaan.

Table 4. Nutrient content of dry matter and external quality of crops by K fertilization rate. K/N ratio of grass based on elemental masses, K/(Ca+Mg) on chemical equivalents.

Kasvi (Satoja) <i>Crop</i> (<i>Yields</i>)	K-lan- loitus <i>K fert.</i> <i>kg/ha</i>	K	N	P g/kg	Ca	Mg	Hehtol. paino <i>Hl w.</i> <i>kg/hl</i>	1000 siem. paino <i>1000 seed</i> <i>weight, g</i>
Ruis <i>Rye</i> (2)	0 20 40 60 80	4,8 4,9 4,9 4,8 4,8	21,5 22,0 21,8 21,7 21,8	4,04 4,06 4,06 4,02 4,04	0,29 0,29 0,28 0,28 0,28	1,26 1,25 1,23 1,22 1,21	69,2 69,0 69,1 69,2 69,2	25,6 25,8 26,5 26,4 26,8
Syys- vehnä <i>Winter</i> <i>wheat</i> (2)	0 20 40 60 80	5,7 5,5 5,5 5,5 5,6	18,9 19,0 19,1 18,8 19,2	4,38 4,33 4,36 4,39 4,39	0,34 0,35 0,33 0,33 0,35	1,41 1,44 1,39 1,41 1,43	80,4 80,0 80,6 80,4 80,1	35,0 35,2 35,6 34,9 35,5
Kevät- vehnä <i>Spring</i> <i>wheat</i> (34)	0 20 39 60 78	4,5 4,5 4,4 4,5 4,5	23,5 23,5 23,6 23,7 23,7	4,00 4,02 4,03 4,05 4,05	0,29 0,29 0,29 0,29 0,29	1,31 1,30 1,30 1,29 1,30	75,1 75,3 75,3 75,1 75,3	34,3 34,5 34,6 34,6 34,7
Ohra <i>Barley</i> (133)	0 20 39 60 78	5,4 5,4 5,4 5,4 5,4	18,9 18,7 18,7 18,6 18,6	4,03 4,00 3,99 3,99 3,99	0,41 0,41 0,42 0,42 0,42	1,22 1,20 1,20 1,20 1,19	60,3 60,4 60,5 60,5 60,6	33,1 33,4 33,6 33,6 33,8
Kaura <i>Oats</i> (63)	0 20 40 60 80	4,5 4,5 4,5 4,5 4,6	21,5 21,4 21,4 21,3 21,2	4,01 3,99 3,98 3,99 3,98	0,64 0,63 0,62 0,62 0,62	1,23 1,22 1,22 1,22 1,21	52,3 52,4 52,6 52,7 52,7	32,3 32,7 32,8 32,9 32,9
							Öljy <i>Oil %</i>	
Kevät- rypsi <i>Spring</i> <i>t. rape</i> (7)	0 20 40 60 80	7,5 7,5 7,5 7,5 7,5	36,3 37,5 36,1 35,9 36,0	9,08 9,00 9,02 8,95 8,89	5,34 5,33 5,35 5,28 5,29	3,70 3,64 3,64 3,63 3,60	44,0 43,9 43,8 44,2 44,3	2,6 2,6 2,6 2,6 2,6
							Tärkkelys <i>Starch %</i>	
Peruna <i>Potato</i> (8)	0 50 63 150 125	24,0 24,2 24,6 24,8 24,8	12,1 11,8 11,7 11,6 12,1	2,65 2,60 2,66 2,58 2,61	0,25 0,25 0,26 0,26 0,25	0,99 0,99 1,01 1,00 1,01	20,9 20,6 20,5 20,4 20,4	
							K/N, % K/(Ca+Mg)	
Nurmi <i>Grass</i> <i>ley</i> (23)	0 57 108 172	21,0 25,5 28,9 33,1	29,5 26,4 25,6 25,2	3,93 3,42 3,35 3,28	5,48 4,95 4,76 4,41	2,95 2,27 2,01 1,79	81,5 102,8 118,4 138,6	1,3 1,7 2,0 2,6

Taulukko 5. Leikkuupuitujen olkien kuiva-ainesato ja sen ravinnepitoisuus (K, N, P, Ca, Mg, g/kg) ja olkisadon ottamat ravinteiden määrät Jokioisissa savimaalla kokeessa 02088 ja multamaalla kokeessa 02092.

Table 5. Dry matter yield and nutrient contents and uptakes of combine-harvested cereal straw in Jokioinen at experiments 02088 on clay soil and 02092 on humus soil.

K-lannoitus <i>K fert.</i> <i>kg/ha</i>	K:n otto <i>K uptake</i> <i>kg/ha</i>	Maan K <i>Soil K</i> <i>mg/l</i>	Olkia <i>Straw</i> <i>kg/ha</i>	K	N	P g/kg	Ca	Mg	N:n otto <i>N upt.</i> <i>kg/ha</i>	P:n otto <i>P upt.</i> <i>kg/ha</i>
Koe 02088, savimaa v. 1980-1989 - Exp. 02088, clay soil										
0	34,5	239	2643	14,4	7,4	1,64	3,75	0,84	15,0	4,0
20	38,4	259	2754	15,4	7,4	1,68	3,87	0,85	16,0	4,3
40	39,8	265	2803	15,5	7,4	1,63	3,83	0,88	15,9	4,3
60	39,7	258	2749	15,8	7,4	1,57	3,78	0,87	15,6	4,0
Koe 02092, multamaa v. 1980-1991 - Exp. 02092, humus soil										
0	64,1	143	3836	19,1	10,9	1,17	3,05	0,84	36,7	3,8
40	72,8	158	3964	20,5	10,5	1,13	2,86	0,79	36,2	3,9
60	77,5	150	4125	21,4	10,5	1,13	2,81	0,81	37,4	4,1
80	79,5	175	4071	22,1	10,2	1,12	2,77	0,78	36,0	4,0

den kasvaessa. Maanesteeseen lisätyn kaliumin vastustava vaikutus muiden kationien ottoon (antagonismi) on taas voimakasta vähän savesta sisältävillä mailla.

3.3 Sadon laatu

Kaliumlannoitus ei vaikuttanut viljan ulkoiseen laatuunkaan, ellei se lisännyt satoa. Sen aiheuttamat hehtolitrapainon ja tuhannen siemenen painon erot olivat siten kaikilla viljalajeilla vähäisiä (Taulukko 4). Rypsin öljypitoisuudessa oli kaliumlannoituksen mukana suureneva mutta tilastollisesti merkityksetön suuntaus. Perunan tärkkelyspitoisuus sen sijaan vähän pieneni annetun kaliummäärän suureutuessa kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa on havaittu (Varis 1972a).

Nurmella kaliumlannoitus tehosti kasvien typenottoa mutta pienensi typpipitoisuutta sadon suurenemisen aiheuttaman laimenemisen takia. Nurmen kaliumlannoitus vaikuttaa lisäksi voimakkaasti kasvien kivennäispitoisuuksiin ja rehun ruokinnalliseen laatuun. Verson kasvullisten osien

kaliumpitoisuus kasvaa herkästi erityisesti karkeilla kivennäismailla ja eloperäisillä mailla, jolloin kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet pienenevät sekä absoluuttisesti että kaliumin pitoisuuteen verrattuna (Taulukko 4). Eniten muuttuu magnesiumin pitoisuus, joka pahassa kaliumin puutteessa nousee epänormaalin suureksi (Peltomaa et al. 1979, Saarela 1982, Saarela 1983). Savimaalla kaliumlannoitus vaikuttaa rehun kivennäiskoostumukseen ja laatuun paljon vähemmän (Saarela et al. 1981, Suonurmi-Rasi & Huokuna 1983, Linna & Jansson 1994).

3.4 Olkien ravinteet

Koska olkia analysoitiin vain kahdesta kokeesta, saadut tulokset (Taulukko 5) eivät ole kovin edustavia. Ravinnepitoisuudet olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmin oljista analysoidut (Jaakkola et al. 1982, Jansson et al. 1985). Ne osoittavat siten olkien tärkeän roolin kaliumin kierrossa viljalla. Leikkuupuiduissa oljissa oli kaliumia noin kolme kertaa niin paljon

Taulukko 6. Ohran sato, ravinnepitoisuus (K, N, Ca, Mg, g/kg) ja ravinteiden otto (kg/ha) sekä hehtolitraino (HLP) ja tuhannen siemenen paino (TSP) maalajeittain.

Table 6. Barley grain yield, nutrient contents (g/kg) and nutrient uptakes (kg/ha) and external quality by soil type (HLP = hectolitre weight, TSP = 1000 seed weight).

Maan K Soil K mg/l	K/ Ca+Mg	K-lann. K fert. kg/ha	Sato Yield kg/ha	Suhd. luku Rel. yield	K	N g/kg	Ca	Mg	K	N kg/ha	Ca	Mg	HLP kg	TSP g
Jäykät savet, 14 sataa (2087, 2088, 13016, 15178) - Heavy clay, 14 harvests														
267	3,9	0	4028	97	5,19	20,4	0,46	1,28	17,4	69	1,55	4,4	62,2	34,4
284	4,1	20	4103	99	5,22	20,6	0,48	1,29	17,8	71	1,66	4,5	62,0	34,5
282	4,1	34	4182	100	5,20	20,7	0,48	1,27	18,2	72	1,69	4,5	62,1	34,8
284	4,1	60	4144	99	5,16	20,3	0,49	1,26	17,9	70	1,69	4,5	62,1	34,8
299	4,3	69	4193	101	5,16	20,5	0,49	1,26	18,1	72	1,72	4,5	61,8	34,9
Kevyet savet, 23 sataa (2089, 13006, 13007, 25428, 25429) - Loamy clay, 23 harvests														
190	4,9	0	3600	97	5,53	18,8	0,41	1,21	16,7	57	1,21	3,7	60,1	33,2
205	5,3	20	3655	98	5,55	18,6	0,41	1,19	17,1	58	1,22	3,7	60,1	33,4
215	5,6	40	3671	98	5,59	18,5	0,41	1,18	17,3	58	1,24	3,7	60,1	33,4
223	5,8	60	3707	99	5,55	18,5	0,41	1,18	17,3	58	1,25	3,7	60,3	33,4
239	6,2	80	3739	101	5,56	18,6	0,41	1,18	17,5	59	1,27	3,7	60,2	33,5
Hiesu- ja hieumaat, 24 sataa (13017, 14812, 16067, 19025, 20232) - Silt and loam, 24 harvests														
121	4,0	0	3388	97	5,41	18,6	0,41	1,15	15,4	54	1,16	3,3	61,8	34,9
125	4,1	20	3497	100	5,39	18,2	0,41	1,14	15,8	55	1,21	3,4	61,9	35,0
134	4,4	40	3520	100	5,42	18,3	0,42	1,14	16,0	55	1,24	3,4	62,1	35,4
135	4,4	60	3524	100	5,37	18,1	0,42	1,14	15,9	55	1,25	3,4	61,9	35,3
Karkeat kivennäismaat, 39 sataa (2162, 18262, 21004, 22002, 43337) - Sand soils, 39 harvests														
81	4,6	0	3221	96	5,43	18,0	0,38	1,22	14,7	49	1,00	3,3	62,2	33,1
91	5,2	19	3315	99	5,42	17,7	0,38	1,20	15,2	50	1,04	3,3	62,3	33,6
103	5,9	39	3305	99	5,38	17,7	0,39	1,20	15,0	49	1,05	3,3	62,2	33,8
114	6,7	58	3343	100	5,41	17,6	0,38	1,21	15,2	50	1,07	3,4	62,3	33,9
127	7,6	78	3353	100	5,41	17,7	0,39	1,19	15,3	50	1,08	3,4	62,5	34,0
Eloperäiset maat, 25 sataa (2091, 2092, 21007, 43027) - Organic soils, 25 harvests														
111	2,4	0	3355	94	5,25	20,8	0,42	1,26	14,7	60	1,13	3,6	58,6	31,9
119	2,6	20	3430	98	5,21	20,5	0,41	1,24	14,9	60	1,14	3,6	59,0	32,5
128	2,9	40	3519	100	5,20	20,6	0,42	1,24	15,3	62	1,19	3,7	59,0	32,5
139	3,2	60	3509	99	5,22	20,6	0,41	1,23	15,3	62	1,16	3,7	59,1	32,5
145	3,4	80	3524	101	5,20	20,4	0,41	1,22	15,3	62	1,16	3,6	59,3	32,8

kuin jyvissä, vaikka huomattava osa kasvimassasta jäi sänkeen tai varisi maahan. Kalium ei kuulu kasvien orgaanisen aineen rakenteeseen vaan on elävissä soluissa pääasiassa vapaina ioneina kalvojen muodostamissa pusseissa, jotka alkavat vuotaa solukon kuollessa. Sateisina tuleentumiskausina suuri osa kaliumista voi siten huuhtoutua maahan jo ennen puintia. Kokeessa 02091 sateisena vuonna 1981 ohran olkien kaliumpitoisuus pieneni neljässä viikossa ilman kaliumlannoitusta viljellyillä ruuduilla 2,3 %:sta 1,2 %:iin ja 80 kg/ha kaliumia saaneilla ruuduilla 2,9 %:sta 1,5 %:iin (Saa-

rela 1982). Olkien fosforipitoisuus oli noin kolmannes jyvien fosforipitoisuuksista.

3.5 Ohrasato ja sen ravinnepitoisuus eri maalajeilla

Kaliumlannoitus lisäsi ohrasatoa kaikilla maalajeilla jokseenkin yhtä paljon, 130–170 kg/ha (Taulukko 6). Sadon ulkoiseen laatuun kalium vaikutti kuitenkin savimaille vähemmän kuin muilla maalajeilla. Savimaille kaliumin saanti on heikointa oras- ja pensomisvaiheessa, jolloin se vai-

kuttaa jyvälukuun ja sitä kautta sadon määrään mutta ei niinkään laatuun. Karkeilla kivennäismailla ja eloperäisillä mailla kaliumin niukkuus painottuu myöhempään vaiheeseen, jolloin se pienentää jyvien kokoa ja heikentää laatua.

Jäykkien savimaiden korkea ammoniasetaattiin uuttuvan eli vaihtuvan kaliumin pitoisuus ei korvannut kaliumlannoitusta kovinkaan tehokkaasti. Karkeilla kivennäismailla saatiin täysi sato pienemällä kuin puolella savimaissa tarvittavasta kaliumpitoisuudesta. Olkien palautuksella ei savimailla ollut välitöntä vaikutusta kaliumin tarpeeseen kuten ei aikaisemminkaan (Saarela 1982).

Maalajien erot ohran kaliumin saannissa johtuvat niiden erilaisista kationinpidätysominaisuuksista. Pienten saveshiukkasten suuri ominauspinta-ala suurentaa maan negatiivista varausta eli kationinvaihtokapasiteettia (Hartikainen 1992), jonka kasvaessa myös kationien ekvivalenttinen summa kasvaa. Kaliumin osuus vaihtuvista katiooneista on siksi savimaissa pienempi kuin karkeissa maissa, joiden vaihtuvan kaliumin pitoisuus on yhtä suuri (Schachtschabel 1982). Suomen maaperässä vallitsevat kiilteen kaltaiset savimineraalit (Sippola 1974) pidättävät lisäksi kaliumioneja pinnoilleen selektiivisesti ja pienentävät näin maanesteen kaliumpitoisuutta vielä enemmän kuin kationinvaihtokapasiteetti sinänsä edellyttäisi.

Savimailla kaliumlannoituksella saatuihin sadonlisäyksiin on vaikuttanut todennäköisesti myös lannoitteiden sijoittaminen ja siitä johtunut typen saannin paraneminen, joka kasvaa nopeuttamalla suurensi samalla kaliumin tarvetta. Hajalevitystä käytettäessä kalium ei ole yleensä lisännyt satoa savimailla lainkaan (Salonen & Tainio 1961, Keränen & Tainio 1968, Köylijärvi 1968), mutta sijoituslannoituksella sadonlisäystä on saatu vaihtuvan kaliumin suhteen tyydyttävilläkin savimailla (Larpe 1977, Saarela 1982, Saarela 1989).

Sadon ravinnepitoisuuksien erot eri koejäsenten välillä olivat vähäisiä, mutta osittain selvästi maalajiin liittyviä (Taulukko

6). Savissa ja myös jonkin verran savimineeraaleja sisältävissä hiesu- ja hieumaissa kaliumlannoitus suurensi ohrasadon kalsiumpitoisuutta ja pienensi sen magnesiumpitoisuutta vain hiukan. Tulos voidaan selittää lisätyn kaliumin tehokkaalla pidättymisellä maahiukkasten pinnoille, jolloin niiltä samalla vaihtui kalsium- ja magnesiumioneja maanesteeseen (Seggewiss & Jungk 1988).

Toinen merkittävä eri maalajien ravinnetalouteen liittyvä kaliumlannoituksen vaikutus oli typen saannin paraneminen savimaista, mikä oli selvintä jäykällä savilla. Ohrasadon typpipitoisuus ei nimittäin pienentynyt niillä lainkaan sadon suurenmisen aiheuttaman laimenemisen takia, vaan sadon typpisisältö suureni (Taulukko 6). Typen saannin paraneminen johtui todennäköisesti ammoniumionien vähäisemmästä pidättymisestä savimineeraaleihin kasveille käyttökeltomaan muotoon, kun ammoniumionien kanssa spesifisistä pidätyspaikoista kilpailevia kaliumioneja lisättiin maahan (Kaila 1962, Sippola et al. 1973). Samankaltainen tulos saatiin myös aikaisemmin Lounais-Suomen aitosavella viljellyillä timoteilla, jonka typpisatoa kaliumlannoitus lisäsi neljällä prosentilla (Saarela et al. 1981). Toinen mahdollinen kaliumin vaikutusmekanismi on sen kloorin aiheuttama ammoniumtypen nitrifioitumisen hidastuminen (Christensen & Brett 1985), mutta se ei kuitenkaan rajoittune savimaille.

3.6 Maan viljavuuden kehitys

Taulukossa 7 on yhteenveto maan viljavuuden kehityksestä kyntökerroksessa, jonka syvyys vaihteli koepaikkojen välillä 20 cm:stä vajaan 30 cm:iin. Jokioisten perunakokeessa 02162 ruokamultaa oli lähes 30 cm, muilla koepaikoilla 20–25 cm. Vaihtuvan kalsiumin pitoisuuden ja pH-lukujen huomattava kasvu erällä koepaikoilla johtui kalkituksesta. Kaliumlannoitus vaikutti muihin viljavuuslukuihin kuin vaihtuvaan kaliumiin vain vähän. Tilastollisesti merkitseviä eroja koejäsenten välillä

Taulukko 7. Kyntökerroksen ravinnepitoisuudet (K, Ca, Mg, P, mg/l) ja pH-luvut kokeen alussa keskimäärin ja lopussa koejäsenittäin.

Table 7. Fertility of ploughed layer soil initially and by treatment finally.

Vaihe <i>Stage</i>	Koejäsen <i>Treatment</i>	K	Ca	Mg <i>mg/l</i>	P	pH (vesi) <i>pH (water)</i>
Jäykät savet (2087, 2088, 13016, 15178) - <i>Heavy clay</i>						
Alku <i>Initial</i>	Keskimäärin <i>Mean</i>	329	3084	516	25,4	6,6
Loppu <i>Final</i>	K0	220	2982	511	19,4	6,5
	K1	229	2978	504	22,7	6,5
	K2	235	2925	480	24,5	6,5
	K3	250	2946	502	19,2	6,6
	K4	254	2949	492	24,9	6,6
Kevyet savet (2089, 13006, 13007, 25428, 25429) - <i>Loamy clay</i>						
Alku <i>Initial</i>	Keskimäärin <i>Mean</i>	239	1628	234	8,2	6,1
Loppu <i>Final</i>	K0	175	1613	229	10,4	5,9
	K1	195	1574	229	11,0	6,0
	K2	217	1568	224	11,5	6,0
	K3	241	1541	228	10,8	6,0
	K4	253	1537	215	11,3	6,0
Hiesu- ja hiuemaat (13017, 14812, 16067, 19025, 20232) - <i>Silt and loam</i>						
Alku <i>Initial</i>	Keskimäärin <i>Mean</i>	168	1375	128	12,1	5,8
Loppu <i>Final</i>	K0	95	1438	121	16,7	5,9
	K1	104	1425	123	15,4	5,9
	K2	117	1386	120	16,4	5,8
	K3	131	1399	117	16,1	5,8
	K4	152	1365	123	15,9	5,8
Karkeat kivennäismaat (2162, 18262, 21004, 22002, 43337) - <i>Sand soils</i>						
Alku <i>Initial</i>	Keskimäärin <i>Mean</i>	190	992	113	17,4	5,7
Loppu <i>Final</i>	K0	8	1332	104	19,8	6,0
	K1	105	1317	98	20,0	6,0
	K2	107	1280	98	19,4	6,0
	K3	124	1228	92	18,6	6,0
	K4	132	1300	96	20,1	6,0
Multa- ja turvemaat (2091, 2092, 21007, 24802, 43027) - <i>Organic soils</i>						
Alku <i>Initial</i>	Keskimäärin <i>Mean</i>	129	1879	226	6,7	5,0
Loppu <i>Final</i>	K0	81	2151	177	12,5	5,0
	K1	94	2230	190	11,0	5,1
	K2	111	2223	186	10,9	5,1
	K3	133	2217	184	10,8	5,1
	K4	143	2209	184	10,1	5,1

Taulukko 8. Jankon ravinnepitoisuudet (K, Ca, Mg, P, mg/l) ja pH-luvut kokeen alussa keskimäärin ja lopussa koejäsenittäin.

Table 8. Fertility of subsoil initially and by treatment finally.

Vaihe Stage	Koejäsen Treatment	K	Ca	Mg mg/l	P	pH (vesi) pH (water)
<i>Jäykät savet (2087, 2088, 13016, 15178) - Heavy clay</i>						
Alku Initial	Keskimäärin Mean	260	2973	1067	2,7	6,7
Loppu Final	K0	248	3024	921	3,7	6,8
	K1	246	2923	819	4,9	6,8
	K3	255	2920	907	3,5	6,8
<i>Kevyet savet (2089, 13006, 13007, 25428, 25429) - Loamy clay</i>						
Alku Initial	Keskimäärin Mean	184	1438	474	2,0	6,3
Loppu Final	K0	203	1523	333	5,6	6,1
	K1	218	1522	336	5,9	6,1
	K3	230	1484	340	5,6	6,1
<i>Hiesu- ja hiuemaat (13017, 14812, 16067, 19025, 20232) - Silt and loam</i>						
Alku Initial	Keskimäärin Mean	107	727	182	3,5	5,5
Loppu Final	K0	92	1000	138	7,5	5,7
	K1	97	1030	133	7,7	5,6
	K3	110	1016	122	8,2	5,7
<i>Karkeat kivennäismaat (2162, 18262, 21004, 22002, 43337) - Sand soils</i>						
Alku Initial	Keskimäärin Mean	100	542	91	5,4	5,7
Loppu Final	K0	85	857	80	12,9	5,9
	K1	95	842	76	14,1	5,9
	K3	118	845	72	12,9	5,9
<i>Multa- ja turvemaat (2091, 2092, 21007, 24802, 43027) - Organic soils</i>						
Alku Initial	Keskimäärin Mean	75	1505	247	2,7	4,7
Loppu Final	K0	67	1775	168	5,3	4,9
	K1	73	1780	179	5,0	4,9
	K3	99	1770	167	5,3	4,9

todettiin Vaalan hiekkaisessa turvemaassa, jonka fosforipitoisuus suureni huonon kasvun seurauksena viljeltäessä nurmea ilman kaliumlannoitusta.

Jankkonäytteet otettiin välittömästi kyntökerroksen alta, syvyydestä 20–40 cm tai vähän syvempää (Taulukko 8). Maan tiivyyden vaihtelu ja muut tekijät vaikuttivat

eri aikoina otettujen näytteiden syvyyteen. Alussa ja lopussa jankkonäytteistä mitatut pitoisuudet eivät siten osoita muutoksia luotettavasti. Lopussa eri koejäsenten välillä esiintyvät erot johtuivat pääasiassa kaliumlannoituksesta, mutta muukin vaihtelu oli jankossa suurempaa kuin kyntökerroksessa.

Lannoituksen vaikutuksesta maan vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen esitetään yhteenveto maalajeittain kuvassa 1 ja yksittäisten kokeiden kaliumpitoisuuksien kehitys kuvissa 2–6. Ennen kokeiden perustamista useimmilla koelalueilla viljeltiin viljaa, jonka oljet kynnettiin maahan, ja kaliumlannoitus oli ajan tavan mukaisesti runsas. Kun edeltävät kesät 1975 ja 1976 olivat lisäksi vähäsateisia, maan vaihtuvan kaliumin pitoisuus oli kokeiden alussa useilla paikoilla niin korkea, ettei edes suurin käytetty kaliummäärä estänyt sen hidasta pienenemistä. Kokeessa 13017 (Kuva 4) korkea lähtötaso johtui esikasvina olleesta monivuotisesta siemennurmesta, jolle annettiin runsaasti kaliumia typpiköyhänä Y-lannoksena. Kokeen 02162 (Kuva 5) hyvin korkea kaliumpitoisuus johtui runsaasta kaliumlannoituksesta, josta suuri osa oli lantaa.

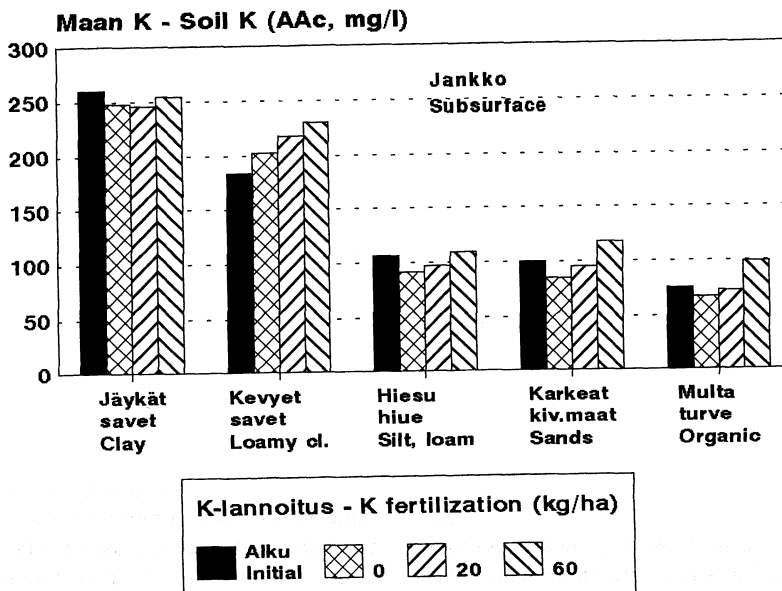
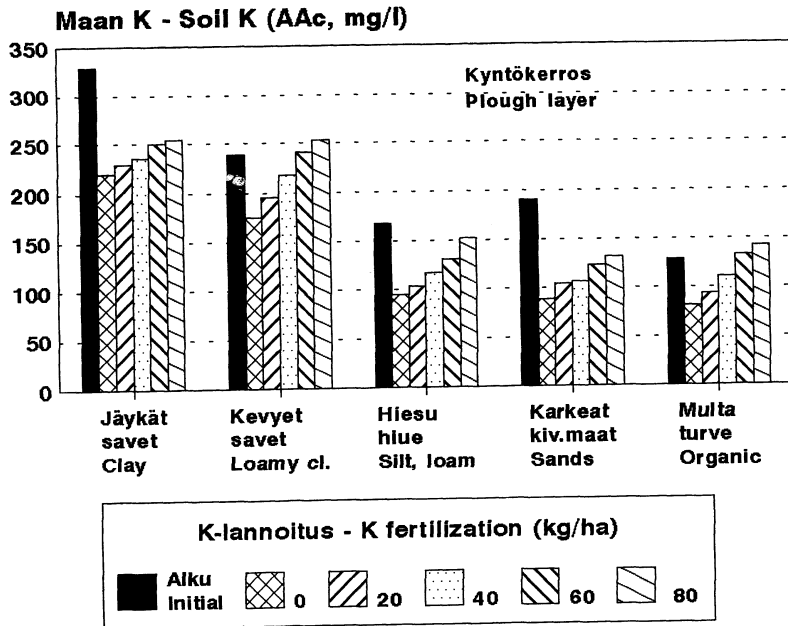
Jäykät savimaat olivat niin tehokkaasti puskuroituneita kaliumin suhteen, että koejäsenten väliset erot vaihtuvan kaliumin pitoisuudessa jäivät suhteellisen pieniksi kyntökerroksessakin (Kuva 2), ja syvemmälle maahan kaliumin lisääminen ei vaikuttanut lainkaan (Kuva 1). Koelueen 2087/2088 vieressä 1032 kg/ha puun tuhkan kaliumia pidättyi maahan vaihtumattomaksi niin tehokkaasti, että siitä oli kolme vuotta levityksen jälkeen happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvaa vain n. 10 %. Multamaalla kokeen 2091/2092 vieressä kyntökerroksessa uuttuvana pysynyt osuus tuhkan kaliumista oli yli kaksinkertainen eli n. 25 % (Saarela 1991). Viljan lannoituksella muutokset olivat hitaita myös kevyemmällä savilla, mutta nopeampia hie-

sua muistuttavassa nurmikokeessa 25428, jossa lisätyt kaliummäärät olivat suurempia (Kuva 3).

Vaihtuvan kaliumin pitoisuudet pieneivät vähitellen, vaikka kaliumlannoitus oli runsaampi kuin korjatuissa jyväsadoissa poistui. Vaihtuvaa kaliumia kulutti savimailla ilmeisesti eniten kaliumionien pidätyminen maahan vaihtumattomaan muotoon (Kaila 1962, Sippola 1974). Karkeissa kivennäismaissa ja eloperäisissä maissa taas kaliumin huuhtoutumisen merkitys oli todennäköisesti suurempi (Ylänta et al. 1996). Satojen mukana kaliumia poistui eniten nurmella ja perunalla, joka pienensi maan kaliumpitoisuutta kokeessa 02162 kuitenkin melko hitaasti maaperän karkeudesta huolimatta (Kuva 5). Kolmena viimeisenä vuonna kokeessa 20232 viljelty timoteinurmi nopeutti selvästi maan kaliumpitoisuuden laskua (Kuva 4).

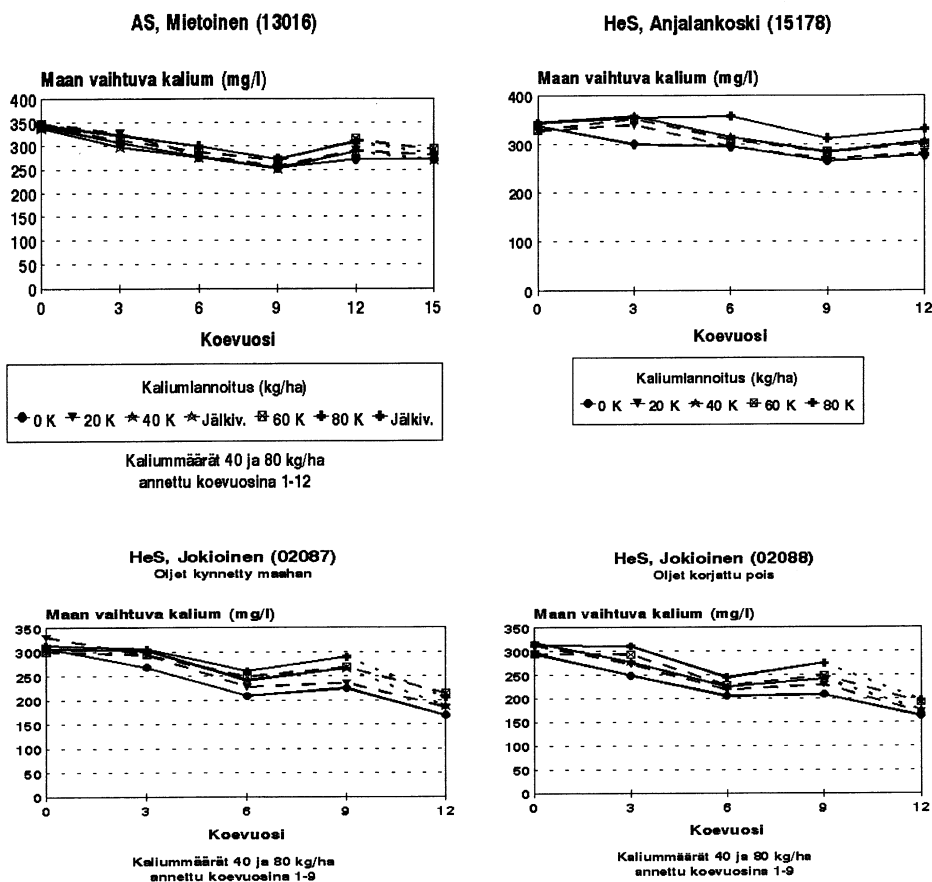
Vaalan hiekkaisella multamaalla nurmikasvit ottivat suurimmatkin alussa käytetyt kaliummäärät (80 + 80 kg K/ha) melkein kokonaan, joten maahan jäi kyntökerroksenkin hyvin vähän (Kuva 5). Neljänestä koevuodesta alkaen kaksinkertaistetut annokset kuitenkin kasvattivat myös maan kaliumpitoisuutta. Niukalla kaliumlannoituksella viljellyillä, vähän hienoa kivennäisainesta sisältävillä karkeilla kivennäismailla ja eloperäisillä mailla jankko voi tyhjäntyä kaliumista vielä täydellisemmin kuin kyntökerros (Saarela 1982, Vuorinen 1989, Virkajärvi & Huhta 1994).

Kokeen 16067 maan kaliumpitoisuuden poikkeuksellinen nouseva kehitys (Kuva 4) selittyy osittain esikasvina olleen nurmen tehokkaasta kaliumin otosta, joka pienensi alkupitoisuutta. Tärkeämpi tekijä oli kuitenkin alueen kiillepitoinen, erittäin runsaasti happoliukoista reservikaliumia sisältävä maaperä (Taulukko 1), josta vapautui kaliumia koejakson aikana. Happoliukoista kaliumia oli tässä kokeessa jankossa vielä enemmän kuin kyntökerroksessa eli 9000 mg/l, mikä ylitti jopa jäykkien savien vastaavat pitoisuudet (Saarela 1982).



Kuva 1. Kaliumlannoituksen vaikutus maasta happamalla asetaatilla uutuvan eli vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen eri maalajien muokkauskerroksessa ja jankossa.

Fig. 1. Effect of rate of potassium application on content of exchangeable soil potassium extracted in acid ammonium acetate.



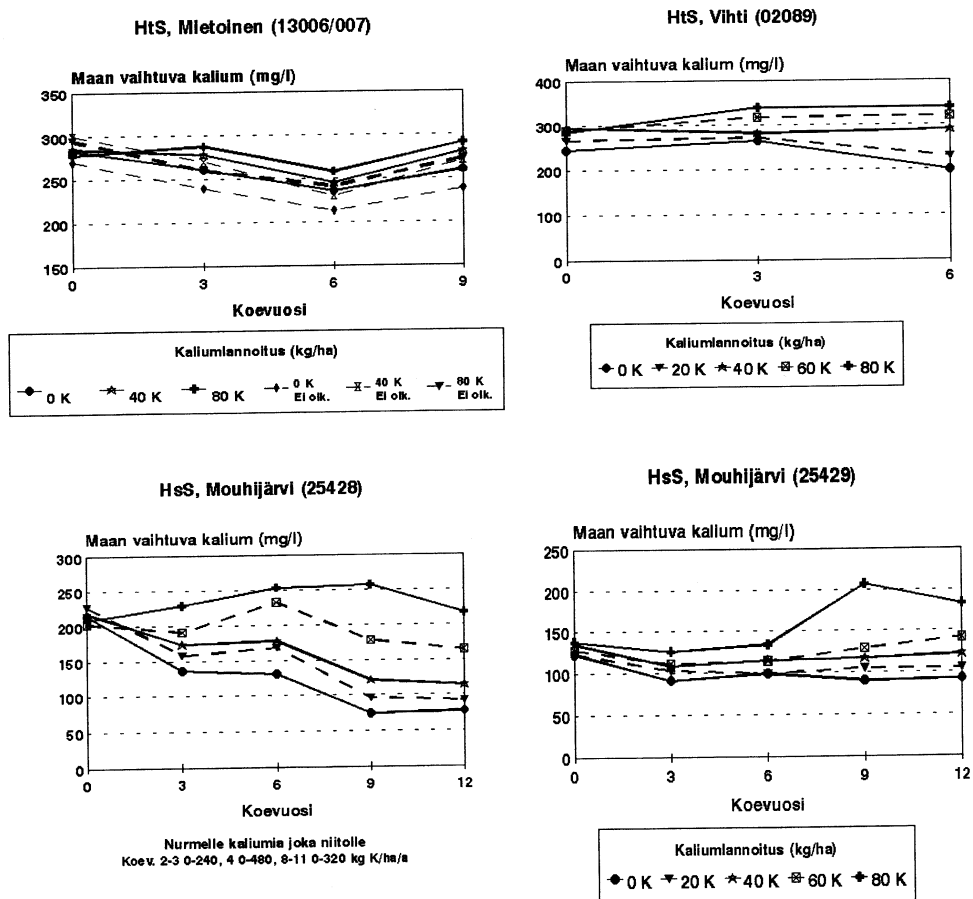
Kuva 2. Kaliumlannoituksen vaikutus maan vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen jäykillä savimailla.
Fig. 2. Effect of potassium application ("kaliumlannoitus") on content of exchangeable potassium ("maan vaihtuva kalium") in heavy clay soils. "Koevuosi"= experimental year, "Jälkiv." = residual effect.

3.7 Nurmien sadot ja ravinnetalous

Koeaineistoon sisältyi kahdeksan 2–4-vuotista nurmijaksoa kuudella eri paikalla (Kuvat 7 ja 8). Nurmikasvit saivat maasta runsaasti kaliumia ja tuottivat melko hyviä satoja ilman kaliumlannoitustakin muilla koepaikoilla, mutta ei Vaalan hiekoitetulla saraturpeella. Tästä maasta timotei sai irti vain vaihtuvan kaliumin, jonka alkupitoisuus oli pieni. Vielä selvimmin hiekkaisen turpeen kaliumin niukkuus ilmeni happoliukoisen reservikaliumin pitoisuudessa, joka oli hyvin pieni verrattuna muihin koepaikkoihin (Taulukko 1) ja aikaisempiin

tutkimuksiin (Kaila 1967, Joy et al. 1973, Volden 1996). Happouutto näytti osoittavan monivuotisten nurmiheinien kaliumin saantia luotettavasti aikaisempien tutkimusten mukaisesti (Saarela 1982, Volden 1996). Tiheän juuristonsa ja pitkän kasvukautensa ansiosta nurmikasvit hyödyntävät maan hitaasti vapautuvia kaliumvaroja tehokkaasti (Joy et al. 1973, Linna & Jansson 1994, Barber 1995).

Tutkimuksen aikaisemmassa osassa todettiin, että nurmikasvien sadon K/N-suhte osoittaa kaliumin riittävyyttä tarkasti (Saarela 1982), ja menetelmän luotettavuus timoteilla on osoitettu muissakin suomalai-

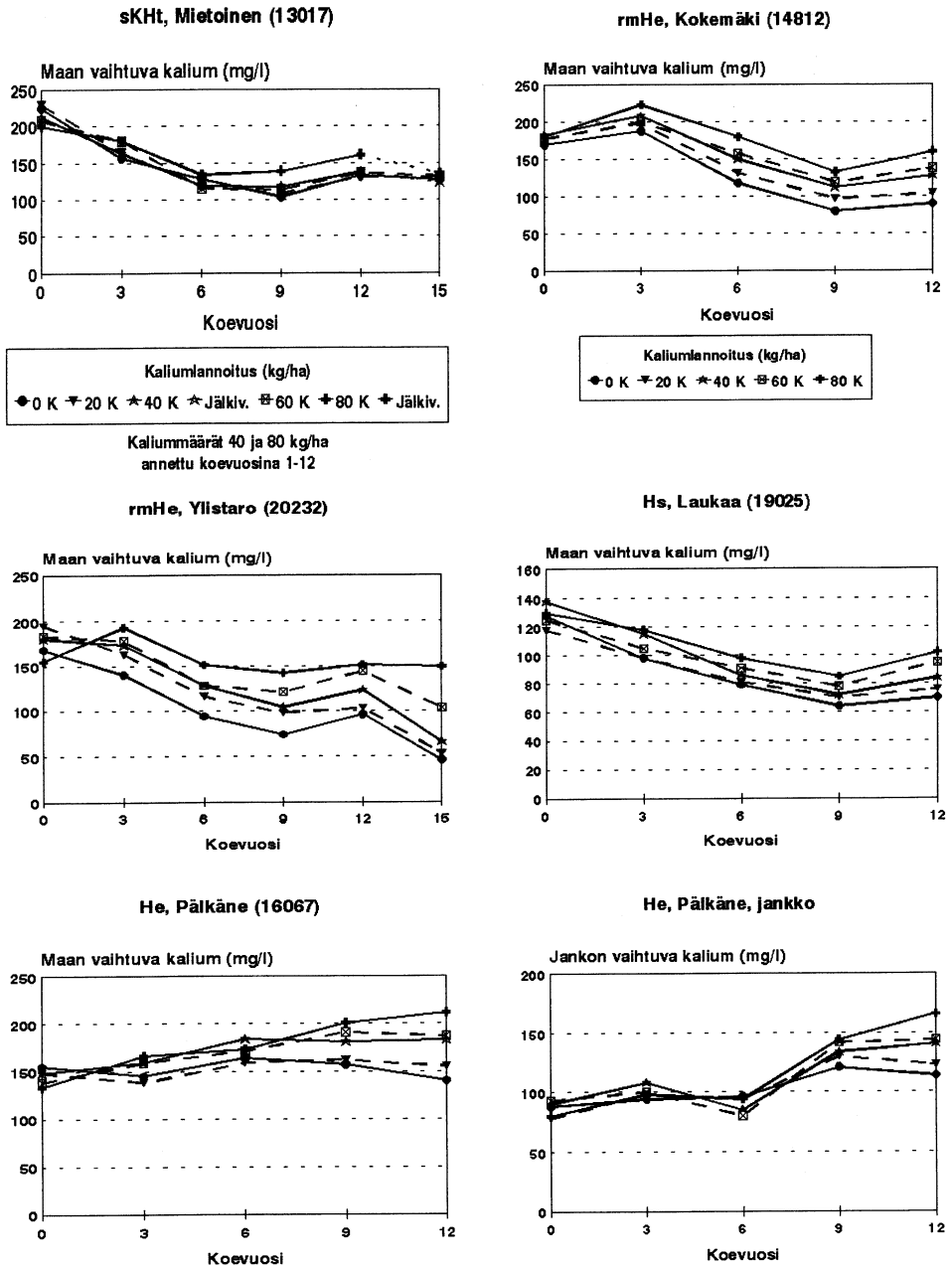


Kuva 3. Kaliumlannoituksen vaikutus maan vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen kevyillä savimailla.
Fig. 3. Effect of potassium application on content of exchangeable potassium in loamy clay soils (for legend see Fig 2).

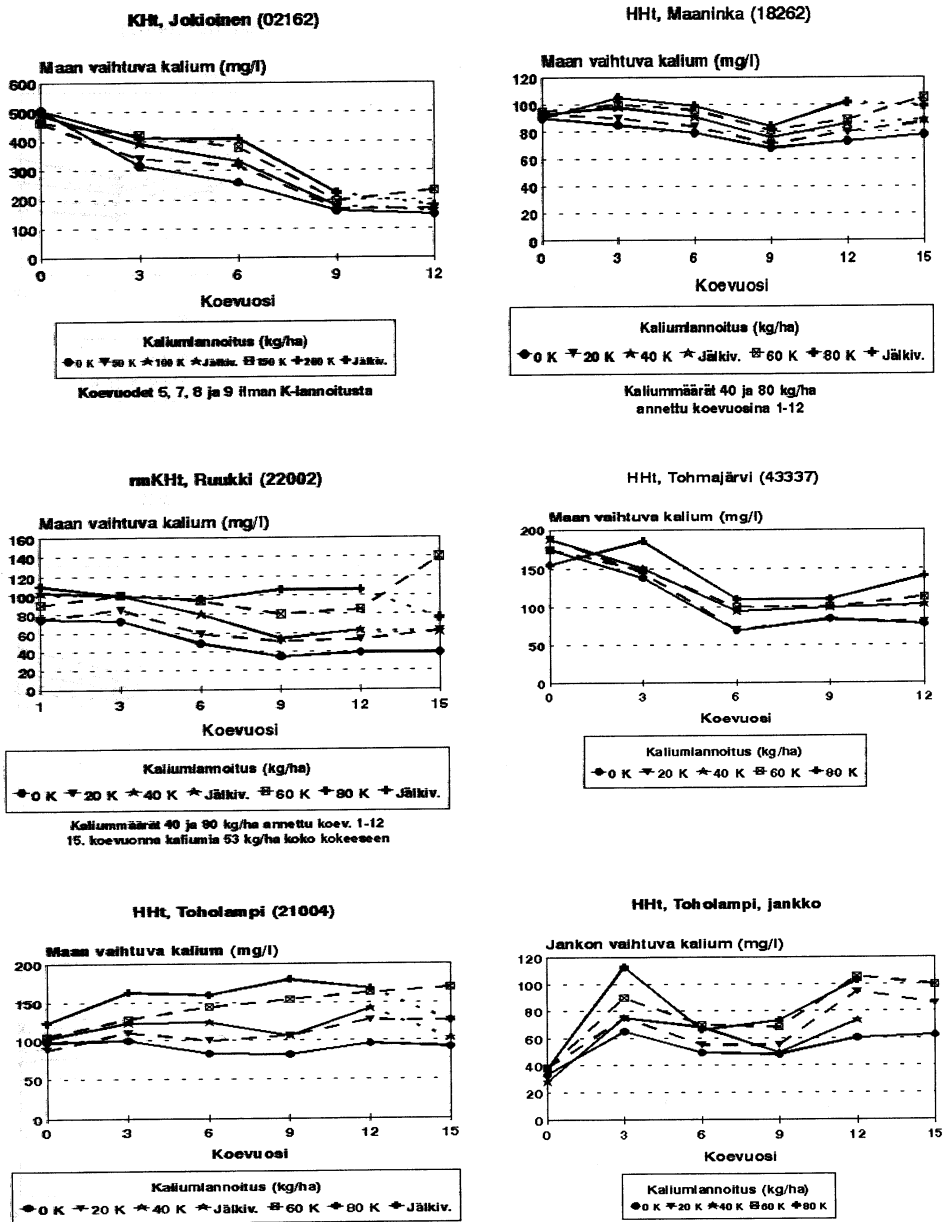
sisä kokeissa (Koikkalainen et al. 1990, Virkajärvi & Huhta 1994). Kaliumin saanti ei rajoita kasvua, kun kasvit sisältävät sitä yhtä paljon kuin typpeä. Savimaissa kaliumlannoitus aiheutti kuitenkin usein pienen sadonlisäyksen, vaikka K/N-suhde oli huomattavasti yli yhden (Kuva 8). Samanlaisia tuloksia saatiin aikaisemminkin erityisesti kivennäsmailta (Saarela 1982). Eräs mahdollinen selitys on kaliumin oton hitaus kasvun alkaessa keväällä ja niiton jälkeen, mikä saattaa aiheuttaa lievää tilapäistä puutosta. Kalisuola saattaa lisäksi helpottaa muiden ravinteiden saantia (Seggewiss & Jungk 1988) ja sen kloori voi lieventää sienien aiheuttamia kasvitauteja (Fageria et al.

1997).

Jokioisten savimaalla koiranheinävaltaisen nurmen sadon sisältämä kaliummäärä vaihteli maan kosteuden mukaan. Kasvin kuiva-aineen kaliumpitoisuus oli suurempi runsaan kosteuden avulla tuotetuissa suurissa sadoissa kuin kuivuuden takia kituen kasvaneissa pienissä sadoissa (Kuva 9). Maan kuivuminen häiritsee sekä juurten kasvua että kaliumionien kulkeutumista juuriin (Kuchenbuch et al. 1986). Vaikka huonosti talvehtineen kolmannen vuoden nurmen pienet sadot eivät johtuneet kaliumin puutteesta, niiden ravinnesuhteet osoittivat kaliumin saannin rajoittavan savimailla ensimmäiseksi kasvua kuivina kau-

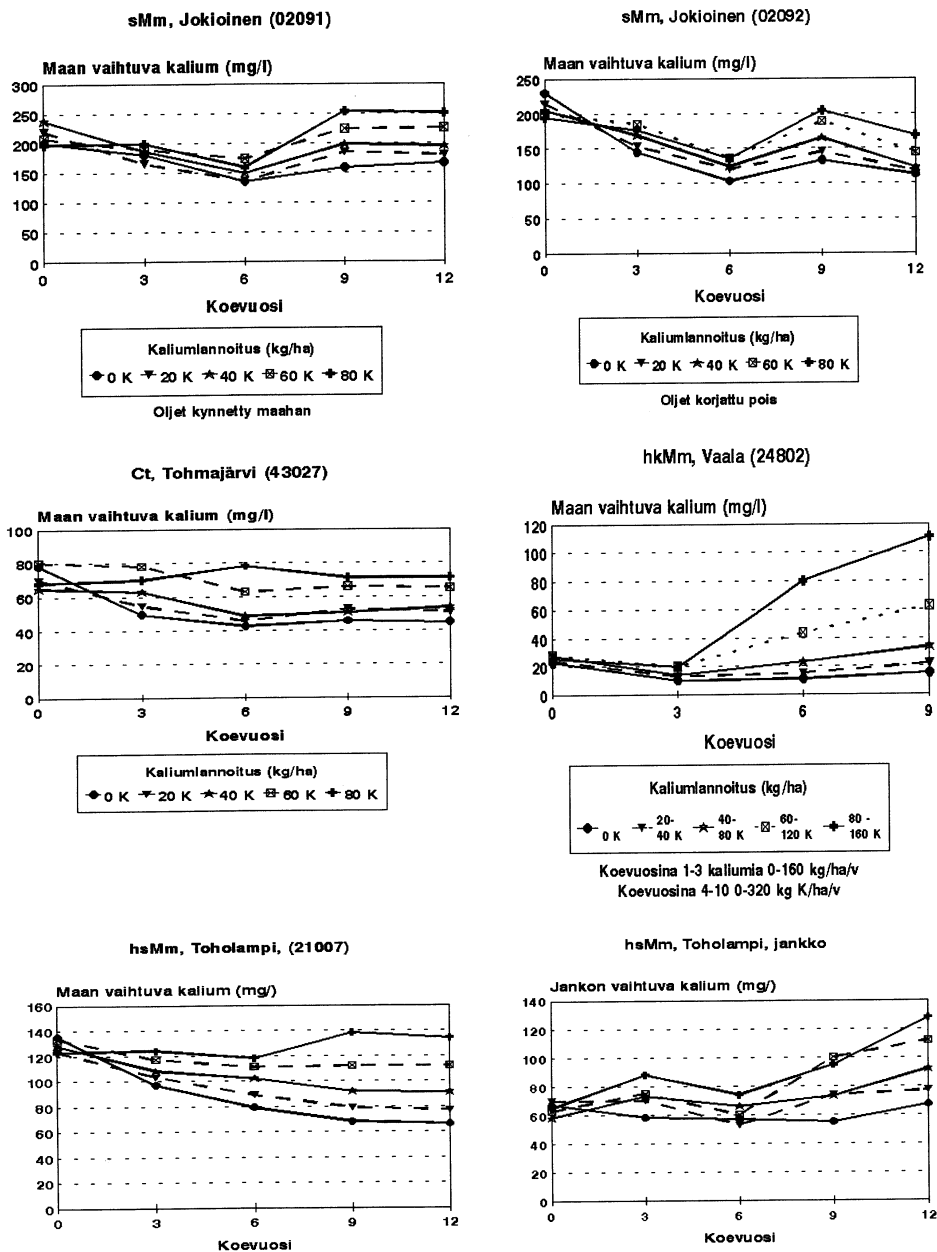


Kuva 4. Kaliumlannoituksen vaikutus maan vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen hiesu- ja hieumailla.
Fig. 4. Effect of potassium application on content of exchangeable potassium in silt and loam soils (for legend see Fig 2).



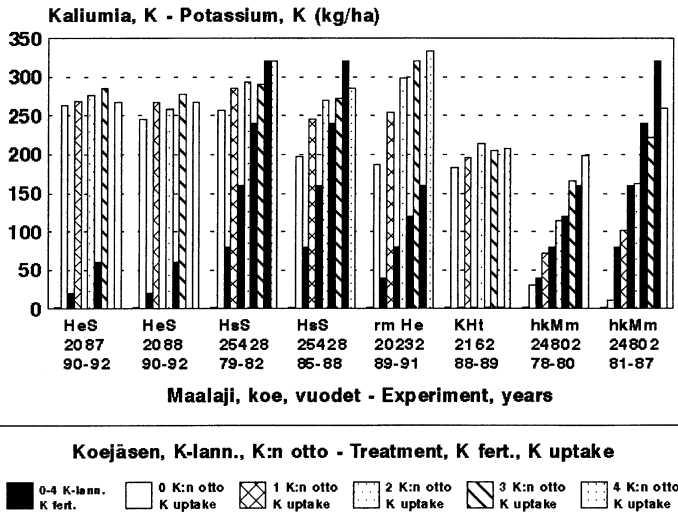
Kuva 5. Kaliumlannoituksen vaikutus maan vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen karkeilla kivennäismailla.

Fig. 5. Effect of potassium application on content of exchangeable potassium in sandy soils (for legend see Fig. 2).

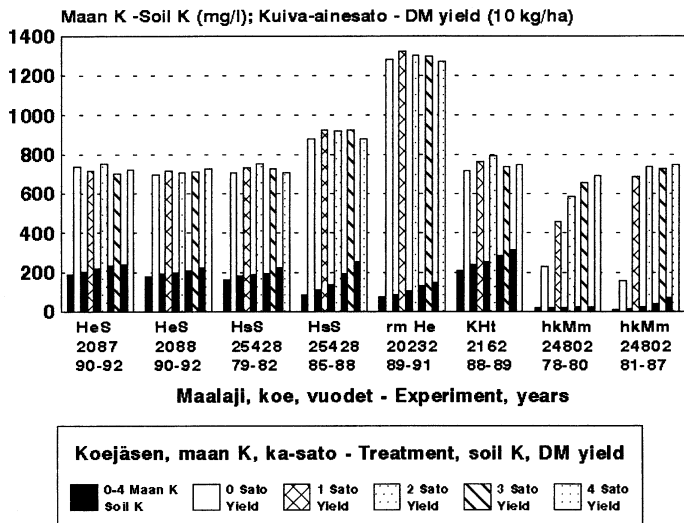


Kuva 6. Kaliumlannoituksen vaikutus maan vaihtuvan kaliumin pitoisuuteen eloperäisillä mailla.
Fig. 6. Effect of potassium application on content of exchangeable potassium in organic soils (for legend see Fig. 2).

Kaliumlannoitus ja kaliumin otto
K fertilization and K uptake

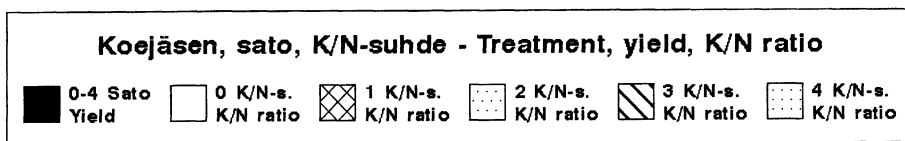
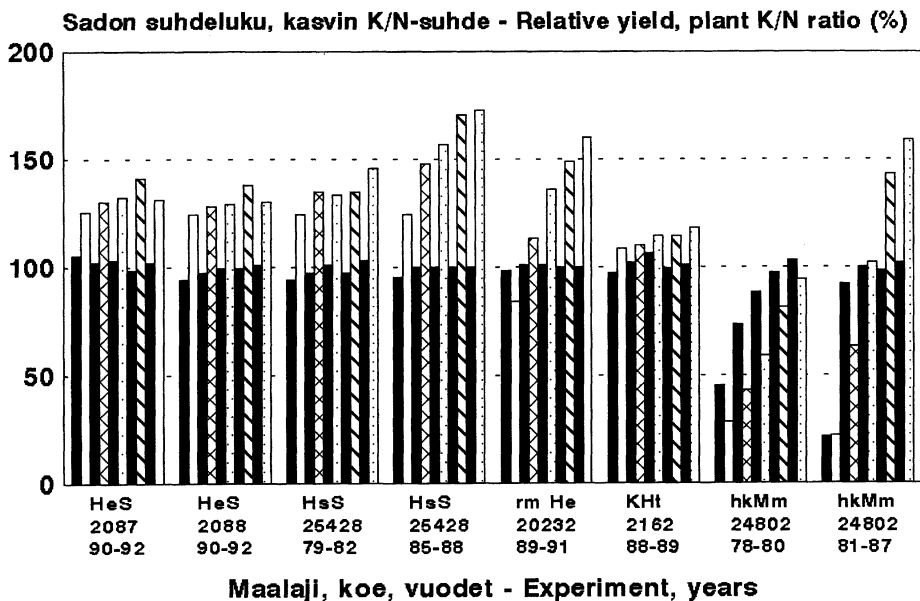


Maan uuttuva kalium ja kuiva-ainesato
Extractable soil potassium and dry matter yield



Kuva 7. Nurmen vuotuinen kaliumlannoitus ja kaliumin otto (ylhäällä) sekä maan vaihtuva kalium ja kuiva-ainesato.

Fig. 7. Annual potassium application and potassium uptake (upper) and exchangeable soil potassium and dry matter yield in grass ley.



Kuva 8. Nurmen suhteellinen kuiva-ainesato (koejäsenten 3 ja 4 keskiarvo=100) ja kasvin K/N-suhde. Koejäsenten kaliumlannoitus esitetty Kuvassa 7.

Fig. 8. Relative dry matter yields of ley crops (mean of treatments 3 and 4=100) and plant K/N ratio. Potassium application by treatment presented in Fig 7.

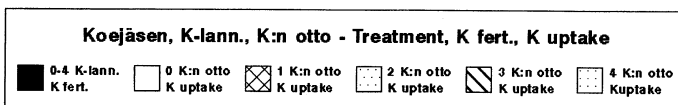
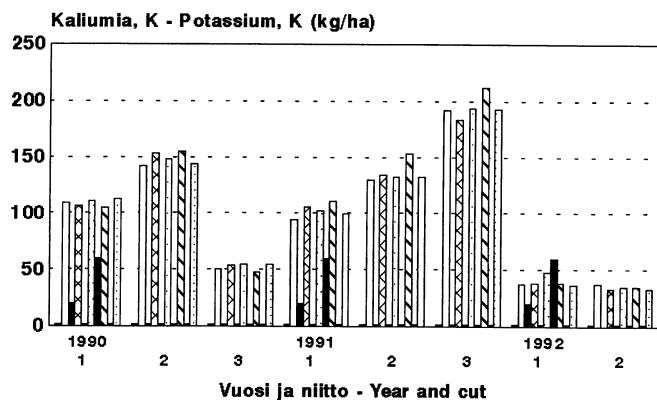
sina. Samanlaisia havaintoja on tehty aikaisemmissakin tutkimuksissa (Tähtinen 1979, Saarela et al. 1981). Vaihtuvaa kaliumia on savissa runsaasti myös kyntökerroksen alapuolisissa kerroksissa, mutta pitkän poutajakson aikana maa voi kuivua syvältä ja ravinteiden otto vaikeutua sieltäkin.

Ylistaron runsasmultaisella hiukeella viljeltiin timoteinurmea viljan jälkeen 13–15 koevuonna. Sadot olivat aika tasaisia koko nurmikierron ajan, mutta kaliumlannoituksen vaikutus kääntyi alun vähentävästä lopussa lisääväksi (Kuva 10). Ensimmäisen nurmivuoden keväällä jopa pienin kalisuolamäärä pienensi satoa. Kasvun heikkeneminen johtui ilmeisesti pääasiassa lisätyn kaliumin aiheuttamasta magnesiumin puutteesta, vaikka myös kalsiumin

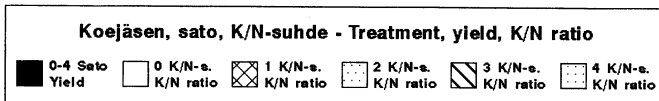
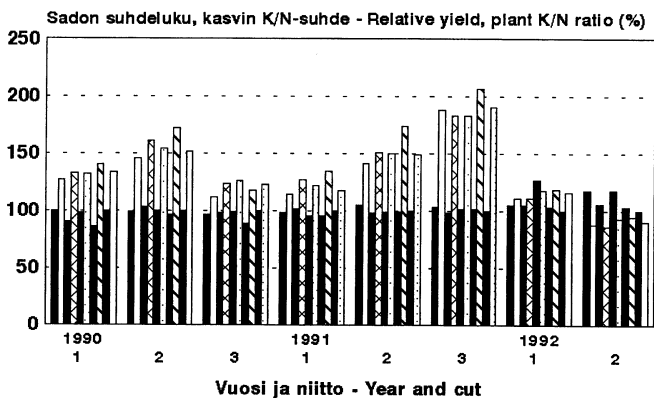
otto vaikeutui (Kuva 11). Timotein magnesiumipitoisuudet olivat alussa selvästi normaalia pienempiä (Rinne et al. 1974, Kähäri & Nissinen 1978, Saarela et al. 1995) ja alle puutosrajan (Bergmann 1983). Lisäksi on mahdollista, että magnesiumin puutos oli aikaisemmassa vaiheessa ankarampaa kuin niitettäessä, jolloin juuristo oli jo laaja.

Toisen nurmivuoden syksystä alkaen sekä magnesium- että kalsiumipitoisuudet olivat korkeampia kuin alussa. Kolmantena vuonna kaliumlannoitus paransi kasvua, mutta riittävä kaliummäärä oli edelleen paljon pienempi kuin sadoissa poistui. Kasvin K/N-suhteen jääminen lievän kaliumin puutoksen alueelle 75 %:iin ei pienentänyt kokeen viimeistä satoa. Vuosina 1985 ja 1986 samassa kokeessa ohran oraat olivat

Kaliumlannoitus ja kaliumin otto
K fertilization and K uptake



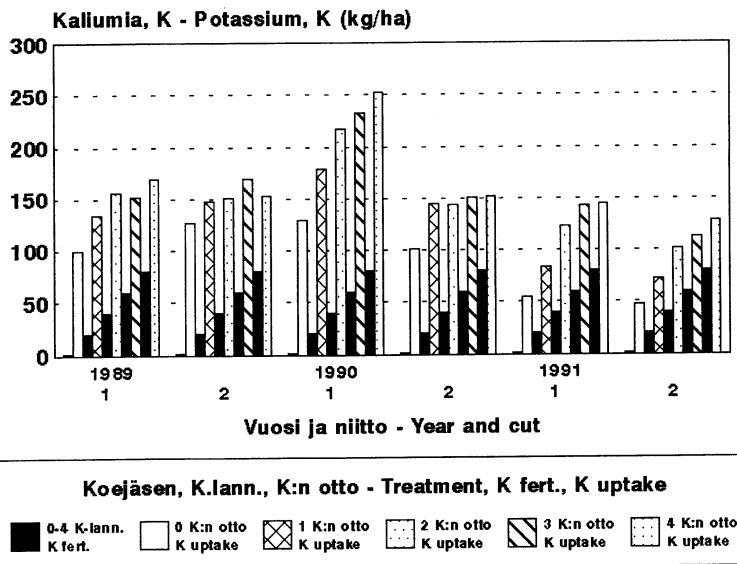
Suhteellinen sato ja kasvin K/N-suhde
Relative yield and plant K/N ratio



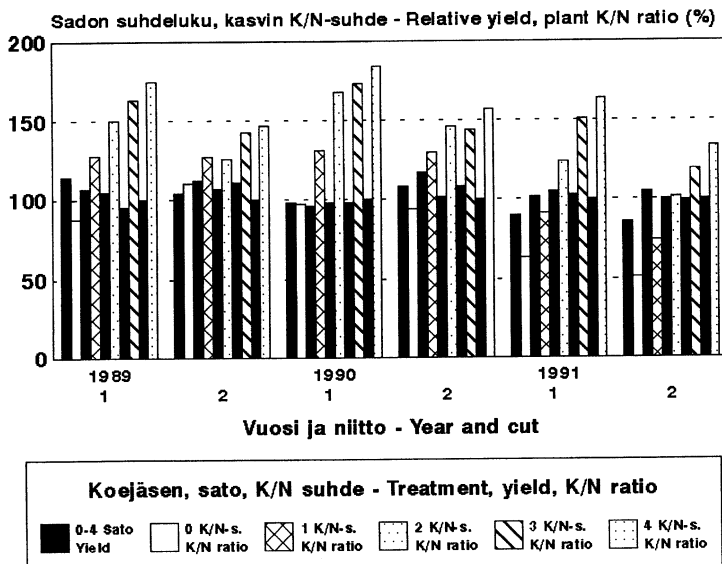
Kuva 9. Nurmen kaliumlannoitus ja kaliumin otto (ylhäällä) sekä suhteellinen sato ja kasvin K/N-suhde Jokioisten hiuesavella.

Fig. 9. Potassium application and potassium uptake (upper) and relative yield and plant K/N ratio on loamy clay soil in Jokioinen.

Kaliumlannoitus ja kaliumin otto
K fertilization and K uptake

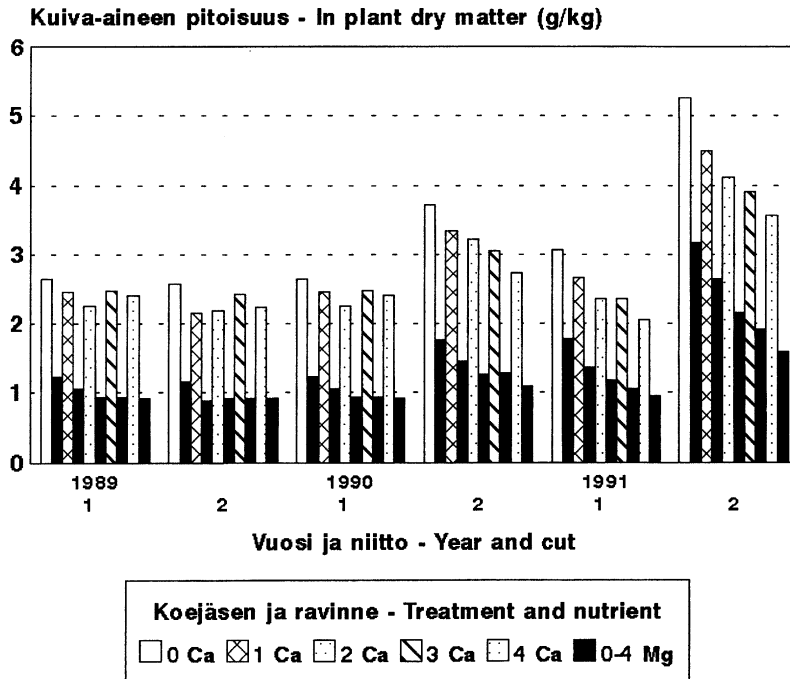


Suhteellinen sato ja kasvin K/N-suhde
Relative yield and plant K/N ratio



Kuva 10. Nurmen kaliumlannoitus ja kaliumin otto (ylhäällä) sekä suhteellinen sato ja kasvin K/N-suhde Ylistaron hiuemaalla kokeessa 20232.

Fig. 10. Potassium application and potassium uptake (upper) and relative yield and plant K/N ratio in timothy ley on loam soil in experiment 20232.



Kuva 11. Timoteinurmen sadon kalsium- ja magnesiumipitoisuus kokeessa 20232 (Kuva 10).

Fig. 11. Calcium and magnesium contents of timothy crops in experiment 20232 (Fig. 10).

kaliumin 0-ruuduissa kirkkaamman vihreitä kuin 40–160 kg/ha kalisuolaa saaneilla, mutta tyypillisiä magnesiumin puutosoireita ei ollut.

Tässä tapauksessa magnesiumin ja kalsiumin saannin vaikeus johtui pääasiassa muista syistä kuin niiden alhaisista happamaan ammoniumasettaattiin uuttuvista pitoisuuksista maassa, koska vaihtuvaa kalsiumia oli 1700 mg/l ja magnesiumia 172 mg/l. Happamaan asettaattiin uuttuvasta magnesiumista huomattava osa voi olla vaihtumatonta. Neutraalikin ammoniumasettaatti uuttaa joistakin maista enemmän magnesiumia kuin kaliumkloridi (Jokinen 1981), ja hapan asettaatti uuttaa sitä ilmeisesti vielä tehokkaammin.

Uuttuvan magnesiumin osittaisesta liukenemattomuudesta huolimatta magnesiumin puute johtui kuitenkin ilmeisesti

enemmän juurten valikoivan ioninoton häiriintymisestä happamassa maassa. Aikaisemmin suoritettujen kalkituksen jälkeen koealueen kyntökerroksen pH-luku oli nurmivuosina 5,7. Vaikka tämä ei ole happamuutta sietävälle timoteille runsasmultaisella maalla huono arvo, se ei välttämättä estänyt kalsiumin ja magnesiumin ottoa haittaavien alumiinin ja mangaanin liiallista liukenemistä maanesteeseen (Baligar & Smedley 1989, Le Bot et al. 1990, Rengel & Robinson 1990, Marschner 1995, Fageria et al. 1997). Viereisen kokeen maa pidatti laboratoriokokeessa liuoksesta fosfaattia tavallista nopeammin, mikä viittaa hyvin aktiiviseen (vaihtuvaan) alumiiniin ja sen vapautumiseen maanesteeseen kalisuolaa lisättäessä. Osasyynä timoteisadon alhaisiin kivennäispitoisuuksiin oli epäilemättä suurten satojen aiheuttama laimeneminen.

Vaalan hiekkaisella turvemaalla (analyysin mukaan multamaa) kokeen alussa käytetyistä kaliummääristä toiseksi suurin eli 120 kg/ha vuodessa oli satojen mukaan niukka (Kuva 12). Suurinkin määrä (160 kg/ha) siirtyi melkein kokonaan heti seuraavaan satoon eikä suurentanut juuri lainkaan maan kaliumpitoisuutta (Kuvat 6 ja 7). Kaliummäärien suurentaminen kasvatti maan kaliumpitoisuutta, mutta ei lisännyt keskimääräistä satoa. Vuosina 1982 ja 1984 suuret kaliummäärät pikemminkin heikensivät kasvua, kokeen lopussa vuosina 1986 ja 1987 taas paransivat sitä.

Neljännän vuoden nurmessa vuonna 1987 kasvit ottivat heikosti paitsi kaliumia myös typpeä. Tehoton ravinteiden otto johtui ilmeisesti osittain harvasta ja aukkoisesta kasvustosta, mutta myös kasvupaikan maaperästä, sillä heikosti maatuneessa turpeessa kasvaneessa timoteissa on esiintynyt alhaisia ravinnepitoisuuksia myös mm. Tohmajärven Valkeasuolla (Virkajärvi & Huhta 1994).

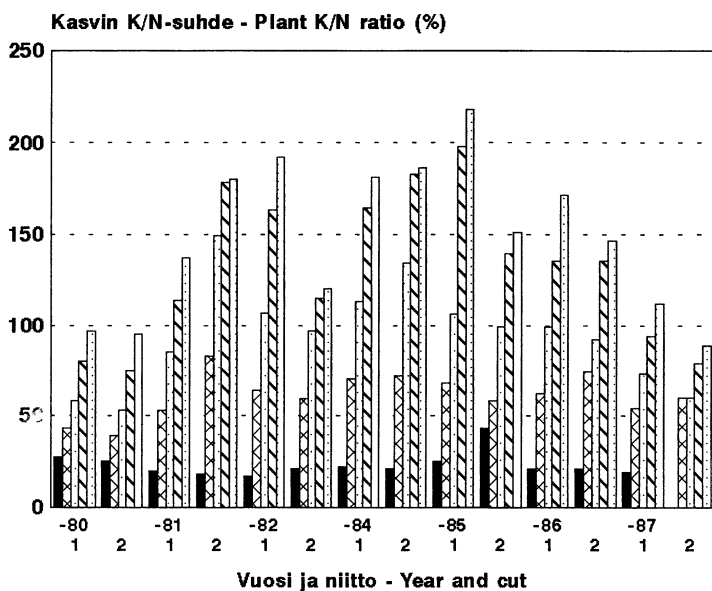
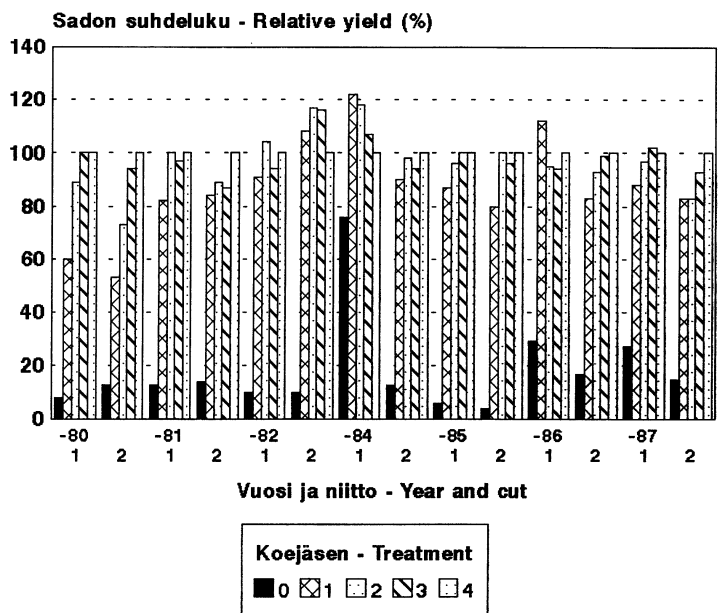
Nurmisadon kuiva-aineen kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat kokeessa 24802 alussa normaaleja, mutta lopussa suuria kaliummääriä käytettäessä alhaisia (Kuva 13). Magnesiumin ja kalsiumin puute oli todennäköinen syy suurten kaliummäärien aiheuttamaan kasvun heikkenemiseen vuosina 1982 ja 1984. Ilmeisesti muiden ravinteiden saannin vaikeutuminen vähensi kaliumin hyödyllisyyttä yleisemmin, koska sadon maksimi saavutettiin alhaisemmalla kasvin K/N-suhteella kuin aikaisemmissa kokeissa (vuoden 1984 kevät-sadossa noin 70 %:ssa). Myös maan happamuus (pH 4,6) saattoi vähentää kaliumlannoituksen vaikutusta. Pahassa kaliumin puutteessa kasvin magnesiumpitoisuudet nousivat epänormaalin suuriksi ja jopa ohittivat kalsiumpitoisuudet. Versojen magnesiumpitoisuus voi nousta kaliumin puutteessa erittäin korkeaksi, vaikka maan vaihtuvan magnesiumin pitoisuus olisi melko alhainenkin (esim. Saarela 1982, p. 52).

3.8 Nurmen kaliumlannoituksen tarve

Vähän hienoa kivennäisainesta sisältäviin maihin ei voida antaa liukoista kaliumia varastoon, koska kasvit ottaisivat sitä yli tarpeen (Peltomaa et al. 1979, Tähtinen 1979, Saarela et al. 1981, Suonurmi-Rasi & Huokuna 1983, Koikkalainen et al. 1990). Tällöin lannoituksen hyötysuhde jäisi alhaisemmaksi, sato voisi pienentyä ja sen ruokinnalliset ominaisuudet huonontuisivat. Suurten ja laadukkaiden satojen tuottaminen edellyttää siten riittävän kaliummäärän levitystä erikseen kullekin sadolle samaan tapaan kuin typpilannoitus. Tällaisessa kasvin suorassa lannoittamisessa ravinnetarve on suoraan verrannollinen tuotettavan sadon sisältämän valkuaisen ja typen määrään (Taulukko 9). Kaliumin ja typen samansuuruiset tarpeet eivät johdu näiden ravinteiden kasvifysiologisesta yhteisvaikutuksesta, mutta kaliumia tarvitaan kasvin aktiivisissa osissa samalla tavalla kuin typpeä.

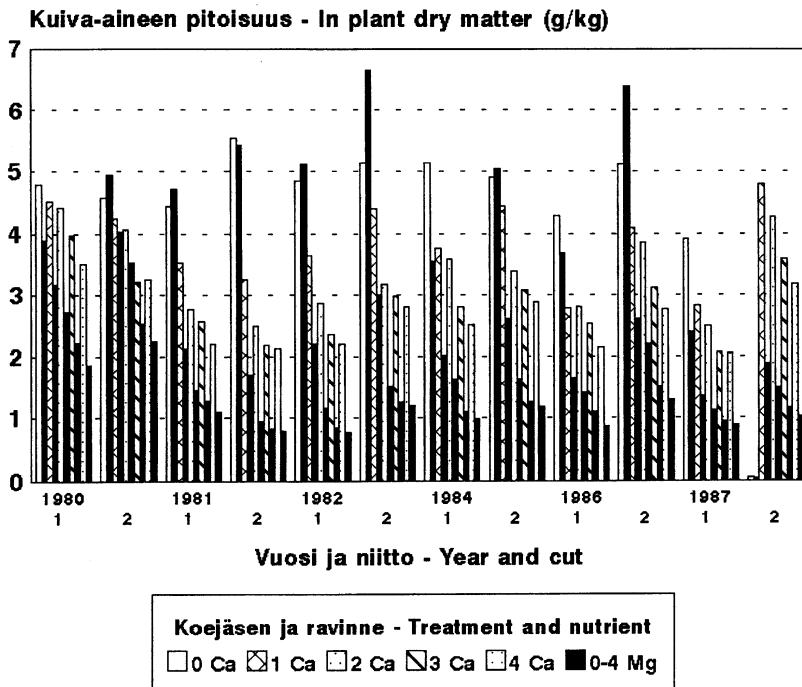
Jos sadon raakavalkuaispitoisuus on 1970–1980-luvun tavoitteen mukaisesti 15–17,5 %, sen typpipitoisuus ja kaliumin tarve on 2,4–2,8 %. Laihan heinän tai ”pihvikarjan säilörehusadon”, jossa on raakavalkuaisista 10 % ja typpeä 1,6 %, kaliumpitoisuudeksi riittää 1,6 %. Väkevän heinän tai normaalin säilörehusadon, jonka raakavalkuaispitoisuus on 12,5 % ja typpipitoisuus 2,0 %, kaliumin tarve on 2,0 %. Heinän fysiologinen kaliumin tarve on yleensä vähän pienempi kuin sen typpipitoisuus, mutta lohkon sisäinen maaperän ja kasvuston vaihtelu sekä säävaihtelu edellyttävät kaliumlannoituksen mitoittamista vähän keskimääräistä tarvetta suuremmaksi, jos kaliumin puutos ja siitä johtuvat haitat kuten nurmen huono talvehtiminen halutaan estää.

Niittokertojen ja vuotuisen typpilannoituksen lisääminen suurentaa kaliumlannoituksen tarvetta, vaikka kuiva-ainesato ei lisääntyisi lainkaan. Käytännössä vertailtavina on kaksi ja kolme niittokertaa kasvukauden aikana. Voitaneen olettaa, että kolmen niiton menetelmää käytetään pääasiassa



Kuva 12. Timoteinurmen suhteellinen sato ja K/N-suhde Vaalan hiekkaisella saraturpeella ko-
keessa 24802.

Fig. 12. Relative yield and plant K/N ratio of timothy on sandy Carex peat soil in experiment 24802.



Kuva 13. Timoteinurmen sadon kalsium- ja magnesiumipitoisuus kokeessa 24802 (Kuva 12).

Fig. 13. Calcium and magnesium contents of timothy crops in experiment 24802 (Fig. 12).

lämpö- ja kosteussuhteiltaan edullisissa oloissa, joissa sadot olisivat kahdellakin niitolla keskimääräistä suurempia. Lannoituksen K/N-suhde kannattaa pitää kolmessa niitossa samana kuin kahdessakin, ja koska vuotuinen typen käyttö kasvaa niittojen lisääntyessä, samalla kasvaa myös vuodessa levitettävän kaliumin määrä.

Erittäin niukkakalisella maalla kokeessa 24802 timoteinurmen vuotuinen kaliumlannoituksen tarve oli ensimmäisen jakson aikana noin 160 kg/ha. Karjalan tutkimusaseman hietta- ja saraturvemaidilla kolme vuotuista satoa, joissa oli kuiva-ainetta yhteensä yli 8 t/ha, tarvitsivat 13-vuotisen koejakson lopussa kaliumia suurimpaan satoon lähes 200 kg/ha (Koikkalainen et al. 1990). Pohjois-Savon tutkimusaseman hietamaalla 150 kg/ha vuotuinen kaliumlannoitus oli kolmella niitolla satotasolla 7,5 t/ha niukka jo kolmantena vuonna (Pelto-

maa et al. 1979). Kun runsas typpilannoitus nosti sadon typpipitoisuuden suuremmaksi kuin 3 %, kasvin 2,5 %:n kaliumipitoisuus ei riittänyt aivan täyteen satoon. Valkeasuolla polttoturpeen jätöalueella, jossa kahden niiton yhteinen kuiva-ainesato oli 7 t/ha, kaliumin tarve oli noin 150 kg/ha (Virkkajärvi & Huhta 1994). Norjan eloperäisillä mailla nurmen vuotuinen kaliumlannoituksen tarve on ollut suurimmillaan lähes 200 kg/ha (Volden 1996).

Kaliumlannoituksella saadun sadonlisäyksen suureneminen nurmen iän myötä oli tässä tutkimuksessa huomattavaa luontaisilta kaliumvaroiltaan keskinkertaisessa hieunaan kokeessa 20232 (Taulukko 1, Kuva 10). Hiekkaisessa turpeessa kokeessa 24802 kaliumlannoituksen tarve oli suuri alusta asti ja muilla koepaikoilla kaliumia riitti koko nurmikiertojen ajaksi. Kaliumlannoituksen merkityksen jyrkkä kas-

Taulukko 9. Nurmen vuotuisen sadon kaliumin tarve (kg/ha) kuiva-ainesadon ja sen raakavalkuaispitoisuuden (RV) mukaan.

Table 9. Potassium requirement of annual yield of ley crops at different amounts of dry matter and its raw protein (RV) content.

Kuiva-ainesato, t/ha <i>DM yield</i>	10,0 % RV 1,6 % N, K	12,5 % RV 2,0 % N, K	15,0 % RV 2,4 % N, K	17,5 % RV 2,8 % N, K
4	64	80	96	112
6	96	120	144	168
8	128	160	192	224
10	160	200	240	280
12	192	240	288	336

vu nurmen vanhetessa ja ravinnevarojen ehtyessä on kuitenkin hyvin tavallista erityisesti multamailla ja karkeilla kivennäismailla. Sitä osoittavat sekä aikaisemmat suomalaiset tutkimukset (Peltomaa et al. 1979, Tähtinen 1979, Saarela et al. 1981, Saarela 1982, Linna & Jansson 1994) että laajat norjalaiset koeaineistot (Lunnan 1993, Volden 1996). Linnan ja Janssonin (1994) pitkäaikaisissa biotiittikokeissa koiranheinä otti karkeasta hiedasta ensimmäisinä vuosina enemmän kaliumia kuin timotei, mutta kaliumvarojen ehtyessä koiranheinan kaliumin otto väheni ja sato pieneni nopeammin. Norjan kivennäismaiden nurmien optimaaliseksi kaliumlannoitukseksi on laskettu eri kaliummäärien tuottamien kuiva-ainesatojen mukaan 5 t/ha satotasolla 55–113 kg/ha ja 10 t/ha satotasolla 86–144 kg/ha (Lunnan 1993).

3.9 Maan kalium ja lannoitustarve

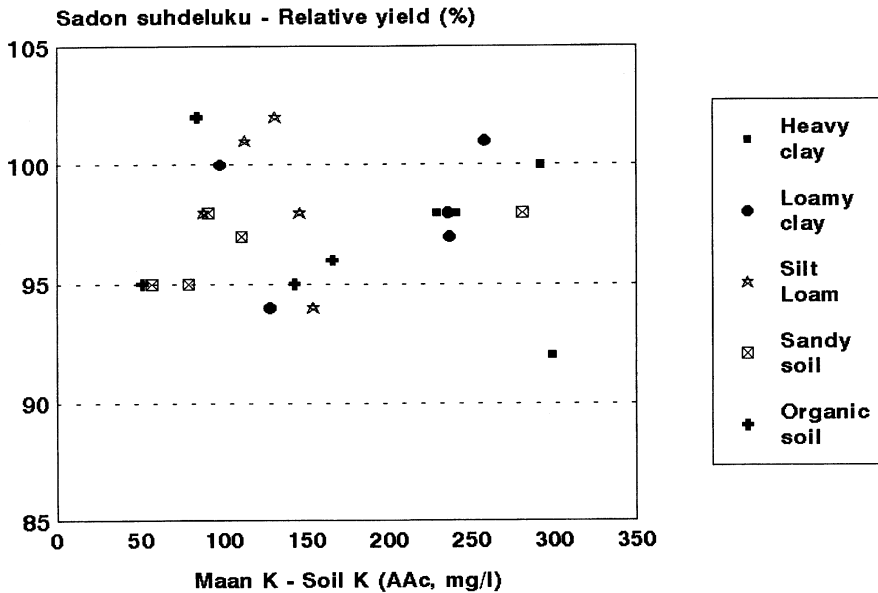
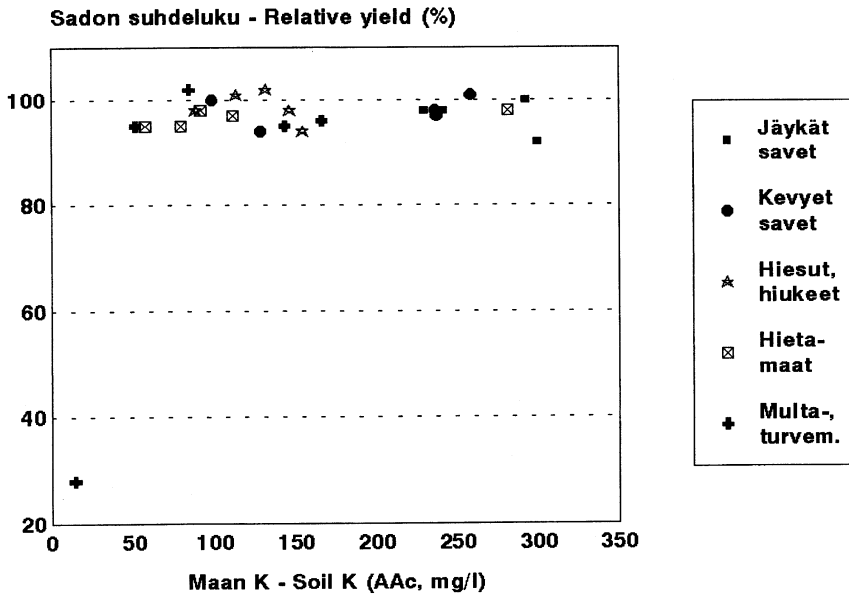
Viljelyskasvien lannoituksen optimointi edellyttää maasta saatavien ravinnevarojen arviointia, jotta niitä osataan täydentää oikein. Riittävän koeaineiston avulla ravinnetarve voidaan määrittää tilastomatematiikasta maan ravinnepitoisuusluokan ja maalajin mukaan (esim. Sippola & Marjanen 1978, Saarela et al. 1995). Tässä tutkimuksessa kaliumlannoitus lisäsi kuitenkin satoja

liian vähän tilastollista analyysiä varten. Yhtä turvemaan koetta lukuun ottamatta satoerot eivät juuri riippuneet maan vaihtuvan kaliumin pitoisuudesta (Kuva 14). Merkitseviä sadonlisäyksiä saatiin kuitenkin kaikilla maalajeilla ja savimailla ainakin yhtä usein kun muilla maalajeilla. Savimaiden korkeammat vaihtuvan kaliumin pitoisuudet ovat tarpeellisia ainakin viljan viljelyssä, jotta oraiden riittävä kaliumin saanti voidaan turvata.

Eri maalajien vaihtuvan kaliumin pitoisuudet ovat paremmin vertailukelpoisia, kun niitä verrataan kaliumin osuutena kaikista "emäksisistä" vaihtuvista kationeista eli efektiivisestä kationinvaihtokapasiteetista (Kuva 15). Muita kationeja kuten natriumia ja ammoniumtyyppiä on maassa yleensä niin vähän, ettei niitä tarvitse ottaa huomioon maan kaliumtilaa arvioitaessa. Koska myös kaliumin ekvivalenttinen osuus on tavallisesti alle 10 % kalsiumin ja magnesiumin summasta, kaliumia voidaan verrata suoraan kalsiumin ja magnesiumin summaan. Viljavuustutkimuksessa käytettävät vaihtuvien kationien yksiköt, mg/l, voidaan muuntaa kaliumin %-osuudeksi seuraavan kaavan avulla:

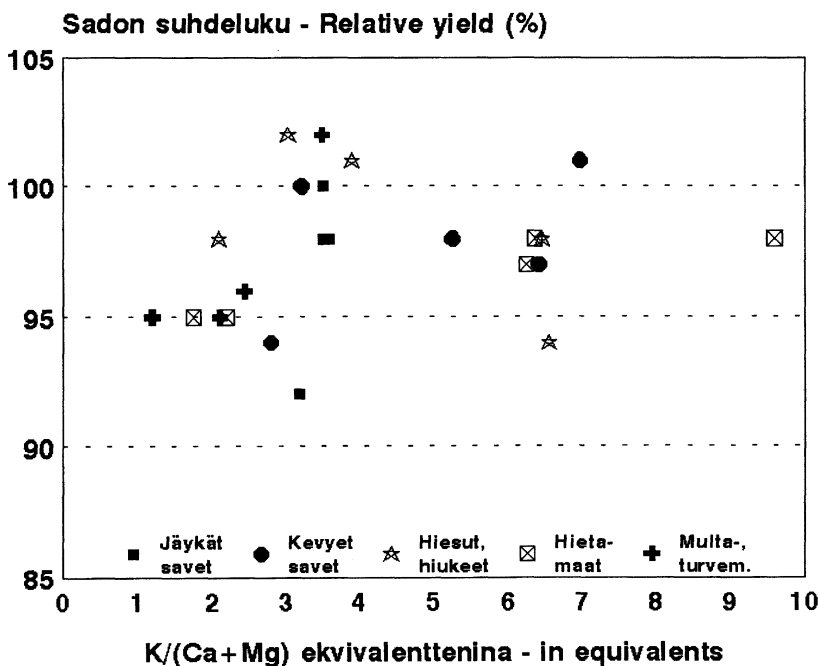
$$\text{Kaliumin osuus} = 100 \times \text{vaihtuva K} / (1,95 \times \text{vaihtuva Ca} + 3,2 \times \text{vaihtuva Mg})$$

Kun vaihtuvan kaliumin osuus voidaan



Kuva 14. Ilman kaliumlannoitusta saatu suhteellinen sato prosentteina riittävällä kaliumlannoituksella saadusta sadosta ja maan vaihtuva kalium, ylhäällä kaikki kokeet ja alhaalla kaliumin suhteen "normaalit" maat ilman koetta 24802.

Fig. 14. Relationships between relative yield without potassium application in per cent of yield with sufficient potassium fertilization and exchangeable soil potassium, all experiments in upper part and "normal" soils, without experiment 24802 in lower part.



Kuva 15. Ilman kaliumlannoitusta saatu suhteellinen sato ja kaliumin osuus vaihtuvista kationeista.

Fig. 15. Relationships between relative yield and proportion of potassium from soil macrocations (for legend see Fig. 14).

laskea suoraan tavallisesta viljavuustutkimuksesta, tämä lisämuuttuja saadaan nykyistä tietotekniikkaa hyödynnettäessä käytännöllisesti katsoen ilmaiseksi. Vaihtuvaa kaliumia tulisi olla sopivassa suhteessa savesfraktioon verrattuna, jotta maanesteen väkevyys turvaisi riittävän nopean kaliumin saannin. Koska maan kationinvaihtokapasiteetti ja sitä vastaava kationien summa kasvavat maan savespitoisuuden kasvaessa, riittävä kaliumin osuus riippuu vähemmän maan savespitoisuudesta kuin riittävä kaliumpitoisuus. Kaliumin osuus voisi tuoda osittain samoja etuja kuin eräät uudet menetelmät, joilla vaihtuvaa kaliumia uutetaan valikoiden ja joiden tulkinassa maan savespitoisuutta ei tarvitse ottaa huomioon (Schachtschabel 1982). Suomalaisilla mailla tehtyjen alustavien tutkimusten mukaan laimealla kalsiumkloridilla uuttuva kalium osoittaa viljan kaliumlan-

noituksen tarpeen paremmin kuin nykyinen asetaattimenetelmä.

Tämän tutkimuksen hiesusavimaista kokeessa 15178, jossa kaliumlannoitus lisäsi satoa, vaihtuvaa kaliumia oli alussa 337 mg/l ja kaliumin %-osuus oli 3,6. Kokeessa 25428, jossa timoteivaltaisen nurmen säilörehusadon kaliumpitoisuus nousi ilman kaliumlannoitusta arveluttavan suureksi eli 5 %:iin, maan vaihtuvan kaliumin pitoisuus oli alussa 214 mg/l ja kaliumin %-osuus 4,6. Kaliumin osuus vaihtuvista kationeista näyttää osoittavan arveluttavan suuret maan kaliumpitoisuudet paremmin kuin kalium yksinään. Sen avulla voidaan välttää ravinnesuhteiden vääristymisen haittoja kuten magnesiumin puutosta, joka on vanhastaan tunnettu seuraus liiasta kaliumista (Jokinen 1981, Hahlin 1991) ja ilmeni selvästi tässäkin tutkimuksessa sekä nurmella että perunalla.

Nurmikasvien maasta ottamat suuret kaliummäärät voivat korvautua vaikealiukoisen reservikaliumin vapautumisella, jota ei voida tyydyttävästi ennustaa maalajilla ja vaihtuvan kaliumin pitoisuudella. Esimerkiksi Linnan ja Janssonin (1994) tutkimuksessa Maaningan karkealla hiedalla vaihtuvaa kaliumia oli maassa vain 70 mg/l, mutta koiranheinän säilörehusadon kaliumpitoisuus ilman kaliumlannoitustakin yli 3 % eli selvästi yli kasvin tarpeen.

Viljalla kalium lisäsi jyväsatoa nimenomaan sellaisilla mailla, joissa happoliukoista kaliumia oli hyvin runsaasti. Reservikalium itse ei varmaan lisää kaliumlannoituksen tarvetta, mutta se osoittaa kerrossilikaattien runsautta ja siten välillisesti kaliumin pidättymistä vaikeasti saatavaan muotoon (Sippola 1974). Runsaasti reservikaliumia sisältävät, tehokkaasti lisättyä kaliumia pidättävät maat ilmeisesti heikensivät syksyllä maahan kynnettyjen olkien kaliumin käyttökelpoisuutta seuraavan vuoden kasveille ja lisäsivät kaliumin "starttilannoituksen" tarvetta.

Maasta vapautuvan kaliumin määrittämisessä yleisin menetelmä käytännössä on vahvalla hapolla uuttaminen, mutta perustutkimuksessa käytetään muitakin menetelmiä kuten vapautuvien kaliumionien saostamista tetrafenyyliboraatilla. Vahva happoliuotus hajottaa kaliumin pääasiallisina luovuttajina toimivia kerrossilikaatteja eli savimineraaleja ja kiilteitä, mutta ei juuri maasälpä (Sippola 1974), joiden kalium ei vapaudu kasveillekaan. Happouutossa vapautuvilla ja tetrafenyyliboraatti-menetelmällä vaihtuvilla kaliummäärillä on siten aika kiinteä tilastollinen riippuvuus (Al-Kanani et al. 1984).

Happouutto ennustaa reservikaliumin vapautumista maasta kasveille suhteellisen luotettavasti, vaikka se onkin juurten toiminnan kannalta luonnon menetelmä. Reservikaliumin määrittäminen on tärkeintä karkeilla kivennäismailla ja multamailla, joissa vaihtelu on laajinta (Taulukko 1). Savimaista happouutolla saadaan melkein aina suuria reservikaliumin pitoisuuksia (Kaila 1967, Joy et al. 1973), joten niiden

määrittäminen ei ole yleensä tarpeen, eikä tämän menetelmän tarkkuuskaan näytä olevan savimailla parhaimmillaan (Kong & Steffen 1989, Al-Kanani et al. 1984). Koska reservikaliumin suuremmat pitoisuudet muuttuvat suhteellisesti hitaammin kuin vaihtuvan kalium pitoisuudet (Saarela 1982), niiden määrittämistä ei tarvitse toistaa nurmiviljelyssäkin kovin usein, vaan noin 10–20 vuoden välein. Pitkä hyödyntämisaika vähentää menetelmän kustannuksia ja mahdollistaa tiheän näytteenoton siellä, missä se maaperän ominaisuuksien vaihtelun takia on tarpeen.

4 Yhteenveto ja päätelmät

Tutkimusaineisto sisältää 21 eri puolilla Suomea suoritettua 8–15-vuotista pelto-kasvien kaliumlannoituskoetta. Koekasveina olleista viljoista, nurmista, rypsisistä ja perunasta kertyi yhteensä 305 vuotuista koesatoa. Kaliumin välitön vaikutus viljan ja rypsin satoon oli melko vähäinen 15-vuotisten kokeiden loppuun saakka, kun suurimman osan kasvin ottamasta kaliumista sisältävät oljet palautettiin maahan. Ohralla kaliumlannoitus lisäsi kuitenkin satoa enemmän kuin muilla viljoilla eli keskimäärin 4 %, ja vuotuiset kaliummäärät 20–30 kg/ha olivat kannattavia. Muilla viljoilla ja rypsilä keskimääräiset sadonlisäykset olivat korkeintaan pari prosenttia eivätkä korvanneet lannoituskustannuksia. Savimailla kaliumlannoitus lisäsi satoa vähintään yhtä paljon kuin muilla maalajeilla sekä paransi kasvien typen saantia ja suurensi valkuais-satoja, mikä ilmeisesti johtui ammoniumtypen pidättymisen heikentymisestä kaliumia lisättäessä.

Yksittäisinä vuosina kaliumlannoitus lisäsi merkittävästi myös kauran ja kevävehnän satoa, mutta myös vähäisiä sadonvähennyksiä esiintyi, kuten ohrallakin. Vesiliukoisena suolana annettu kalium voi lisätä happamissa maissa esiintyvän liukoisen alu-

miinin haitallisuutta ja vaikeuttaa muiden ravinteiden kuten magnesiumin, kalsiumin ja fosforin saantia. Kalkki- ja ravinnetilaltaan tyydyttävillä mailla maahan sijoitettu kalium ei heikentänyt kasvua. Riittävällä kalkituksella ja magnesiumlannoituksella kaliumlannoituksen hyödyllisyyttä voitaneen siten parantaa. Maan liiallinen kuohkeuttaminen häytti oraiden ravinteiden ottoa ja lisäsi kaliumlannoituksen tarvetta erityisesti alkukesän ollessa kuiva. Nurmen pinnalle levitetty kalisuola näytti aiheuttavan kuivina kausina lievää suolastressiä erityisesti ensimmäisen nurmivuoden hennoissa oraissa.

Maan vaihtuvan kaliumin pitoisuudet laskivat vähitellen paitsi ilman kaliumlannoitusta viljeltäessä myös sadossa poistuneen kaliumin korvaavalla lannoituksella. Savimailla liukoista kaliumia pidättyi vaikealiukoiseksi ja muilla maalajeilla sitä hävisi pääasiassa huuhtoutumalla. Maan viljavuuden ylläpitoa varten ainakin korjattavan sadon ravinnesisältöä vastaava kaliumlannoitus, 15–20 kg/ha, näyttää siten kaliumtilaltaan keskinkertaisilla mailla tarpeelliselta, vaikka oljet palautetaan jatkuvasti maahan.

Suurempaa määrää kuin 30–40 kg K/ha tällä tutkimuksella ei voida perustella maan viljavuuden ylläpitoonkaan, kun oljet kynnetään jatkuvasti maahan. Vaikka vaihtuvan kaliumin pitoisuudet yleensä aluksi pienenevät, ne näyttivät vakiintuvan ennen kaliumportaiden välisten satoerojen kasvua. Käytössä olevia kaliumlannoitus suosituksia voidaan siten tarkistaa hiukan alaspäin ja pienentää viljavuusluokkien välisiä eroja ainakin keskimmäisten luokkien välillä. Luontaisesti kaliumköyhillä, vähän savesta sisältävillä eloperäisillä ja karkeilla mailla tulisi korvata myös korjattavien olkien kalium, keskimäärin 40–70 kg/ha. Savimailla olkien poistaminen ei juuri lisännyt kaliumlannoituksen tarvetta eikä niiden palauttaminen korvannut sijoitetun kaliumin vaikutusta satoon.

Perunan mukulasatoa kaliumlannoitus lisäsi merkittävästi maan kaliumtilan ollessa luokassa tyydyttävä. Kaliumlannoitus

suurensi perunoiden kalsiumpitoisuutta ja savisella hiedalla hiukan myös magnesiumpitoisuutta, mutta pienensi tärkkelyspitoisuutta. Karkean hiedan vaihtuvan kaliumin pitoisuuden ollessa korkea kaliumlannoitus pienensi sateisena vuonna perunan satoa pahentamalla muuten lievää magnesiumin puutosta. Jonkin verran savesta sisältävän karkean hiedan kalium riitti kymmenen vuotta täyteen perunasatoon kokonaan ilman kaliumlannoitusta. Riittävä kaliumlannoitus on perunalle tarpeen sekä mukulasadon määrän että laadun kannalta, mutta liian runsas kaliumlannoitus heikentää sekä sadon määrää että laatua.

Nurmikasvit käyttivät suurten satojen tuottamiseen paljon kaliumia. Kaliumin ylimäärä pienensi sadon magnesium- ja kalsiumpitoisuutta varsinkin vähän savesta sisältävillä mailla, ja joissakin tapauksissa kohtuullinenkin kaliumlannoitus vähensi myös sadon määrää. Monivuotiset nurmikasvit, jotka ottavat tiheällä juuristollaan maasta ravinteita koko kasvukauden ajan, käyttivät tehokkaasti myös vaikeasti vaihtuvaa reservikaliumia. Nurmista saatiin siten kiinteästä maa-aineksesta vapautuvan kaliumin avulla täysiä satoja useita vuosia, vaikka vaihtuvan kaliumin pitoisuus oli melko alhainenkin. Reservikaliumia on savissa lähes poikkeuksetta runsaasti ja turpeissa niukasti, mutta karkeissa kivennäismaissa ja multamaissa sen määrät vaihtelevat laajasti samankin maalajin sisällä.

Tarkennettu kaliumlannoitus, joka voi olla tarpeen sekä turhien lannoituskustannusten välttämiseksi että sadon laadun parantamiseksi, edellyttää nurmen viljelyssä viljavuustutkimuksen täydentämistä reservikaliumin määrityksellä ainakin karkeilla kivennäismailla ja multamailla. Kaliumin vapautumista voidaan ennustaa melko luotettavasti viljavuustutkimuksessa käytettävällä happouutolla, ja tarkempiakin menetelmiä on kehitetty ja rutiinimäärityksiin sovellettavissa. Vähän reservikaliumia sisältävillä mailla kaliumia tulisi antaa erikseen nurmen jokaiselle sadolle samaan tapaan kuin typpeä. Heinäkasveista on koiranheillä erityisen suuri taipumus kaliumin luk-

- Kaila, A.** 1962. Fixation of ammonium in Finnish soils. The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland. 34: 107–114.
- 1967. Release of nonexchangeable potassium from Finnish soils. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 39: 107–118.
- Keränen, T. & Tainio, A.** 1968. Hiesu- ja savi- maiden kalilannoitustarpeesta. Annales Agriculturae Fenniae 7: 161–174.
- Koikkalainen, K., Huhta, H., Virkajärvi, P. & Heikilä, R.** 1990. Pitkäikäisen säilörehunurmen kaliumlannoitus heikosti kaliumia pidättävillä mailla. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 9/90. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 59 p. ISSN 0359-7652.
- Kong, T. & Steffens, D.** 1989. Bedeutung der Kalium-Verarmung in der Rhizosphäre und der Tonminerale für die Freisetzung von nichtausbarem Kalium und dessen Bestimmung mit HCl. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 152: 337–343.
- Kuchenbuch, R., Claassen, N. & Jungk, A.** 1986. Potassium availability in relation to soil moisture. Plant and Soil 95: 221–243.
- Kuhlmann, H. & Wehrmann, J.** 1984. Kali-Dungeempfehlung auf der Grundlage von 81 K-Düngungsversuchen zu Getreide und Zuckerruben auf Lössböden in Südniedersachsen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 147: 349–360.
- Kähäri, J. & Nissinen, H.** 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. I. Calcium, magnesium, phosphorus, potassium, chromium, cobalt, copper, iron, manganese, sodium, and zinc. Acta Agriculturae Scandinavica, Supplementum 20: 26–39.
- Köylijärvi, J.** 1968. Vilja- ja nurmikasvien kalilannoitus savimailla. Koetoiminta ja käytäntö 25(10): 38.
- Larpe, G.** 1977. Lannoitteiden vertailu kevätiljanviljelyssä savimailla. Koetoiminta ja käytäntö 34 (25.1.1977): 3.
- Le Bot, J., Goss, M.J., Carvalho, M.J.G.P.R., van Beusichem, M.L. & Kirkby, E.A.** 1990. The significance of the magnesium to manganese ratio in plant tissue for growth and alleviation of manganese toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*) plants. Developments in Plant and Soil Sciences 41: 223–228.
- Linna, P. & Jansson, H.** 1994. Biotiitti nurmen kaliumlannoitteena. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 1/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 13 p. ISSN 0359-7652.
- Lunnan, T.** 1993. Grass yield response to potassium fertilization on mineral soils in the inland of southern Norway. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 7: 345–357.
- Marschner, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Cambridge: University Printing House. 889 p. ISBN 0-12-473542-8 (HB), 0-12-473543-6 (PB).
- Peltomaa, R., Pohjanheimo, O. & Huokuna, E.** 1979. Pintakalkituksen ja K-lannoituksen vaikutus nurmen satoon ja sen N-, P-, K-, Ca- ja Mg-pitoisuuteen. Maatalouden tutkimuskeskus, maantutkimuslaitos, Tiedote 6. Vantaa: Maatalouden tutkimuskeskus. 24 p.
- Rengel, Z. & Robinson, D.L.** 1990. Temperature and magnesium effects on aluminium toxicity in annual ryegrass (*Lolium multiflorum*). Developments in Plant and Soil Sciences 41: 413–417.
- Rinne, S.-L., Sillanpää, M., Huokuna, E. & Hiivola, S.-L.** 1974. Effects of heavy nitrogen fertilization on potassium, calcium, magnesium and phosphorus contents in ley grasses. Annales Agriculturae Fenniae 13: 96–108.
- Saarela, I.** 1982. Kaliumlannoituksen porraskokeet 1977–1981. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote 16. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 57 p. ISSN 0356-7710.
- 1983. Response of timothy to increasing rates of potassium. Selostus: Kaliummäärän vaikutus timotein satoon. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 55: 163–178.
- 1987. Tuloksia kalium- ja kloorisuolojen vertailusta ohralla Jokioisten savimailla. Maatalouden tutkimuskeskus, Mimeografia. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimuslaitos. 1 p.
- 1989. Growth of rye grass, barley and oats in soils amended with ashes of wood, bark, peat and coal. Annales Agriculturae Fenniae 28: 121–132.
- 1991. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. Annales Agriculturae Fenniae 30: 375–388.
- & **Hahtonen, M.** 1994. Sulphur nutrition of field crops in Finland. Norwegian Journal of Agricultural Sciences, Supplement 15: 119–126.
- , **Hakkola, H., Linnomäki, H. & Köylijärvi, J.** 1981. Nurmen pintakalkitus, sadetus, typpi- ja ka-

liumlannoitus. Monitekijäkokeiden tuloksia. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote 15. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 37 p. ISSN 0356-7710.

–, **Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K.** 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 16/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 94 p. ISSN 0359-7652.

Salonen, M. & Tainio, A. 1961. Kalilannoitusta koskevia tutkimuksia. Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja 185. Helsinki: Maatalouden tutkimuskeskus. 60 p.

Schachtschabel, P. 1982. Nährstoffe. In: Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (eds.). *Bodenkunde*. 11. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. p. 214–226. ISBN 3-432-84771-8.

Seggewiss, B. & Jungk, A. 1988. Einfluss der Kaliumdynamik im wurzelnahen Boden auf die Magnesiumaufnahme von Pflanzen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 151: 91–96.

Sippola, J. 1974. Mineral composition of and its relation to texture and to some chemical properties in Finnish subsoils. *Annales Agriculturae Fenniae* 13: 169–234.

–, **Erviö, R. & Eleveld, R.** 1973. The effects of simultaneous addition of ammonium and potassium on their fixation in some Finnish soils. *Annales Agriculturae Fenniae* 12: 185–189.

– & **Marjanen, H.** 1978. Viljavuusluokittaiset sadonlisäykset paikallisissa nousevien fosfori- ja kaliummäärien kokeissa. Maatalouden tutkimuskeskus, maantutkimuslaitos, Tiedote 3. Vantaa: Maatalouden tutkimuskeskus. 16 p.

Suonurmi-Rasi, R. & Huokuna, E. 1983. Kaliumin lannoitustason ja -tavan vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin. Maatalouden tut-

kimuskeskus, Tiedote 5/83. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 21 p. ISSN 0359-7652.

Tähtinen, H. 1979. Säilörehunurmen typpi- ja kaliumlannoitus. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote 9. Vantaa: Maatalouden tutkimuskeskus. 42 p.

Varis, E. 1972a. The effects of increasing NPK rates on the yield and quality of the Pito potato. I. Tuber yield, starch content and starch yield. *Acta Agraria Fennica* 128, 1: 1–20.

– 1972b. The effect of magnesium and potassium on the chemical composition and yield of the potato. *Acta Agraria Fennica* 128, 3: 1–13.

Varo, P., Nuurtamo, M., Saari, E. & Koivistoinen, P. 1980. Mineral element composition of Finnish Foods. III. Annual variations in the mineral element composition of cereal grains. *Acta Agriculturae Scandinavica, Supplementum* 22: 27–35.

Virkajärvi, P. & Huhta, H. 1994. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla. Timoteinurmen kaliumlannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 13/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 23 p. ISSN 0359-7652.

Volden, B. 1996. Nitrogen og kalium til eng i Nordland. *Norsk landbruksforskning* 10: 283–314.

Vuorinen, M. 1989. Turvemaan kaliumlannoitus. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 3/89. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 17 p. ISSN 0359-7652.

Ylärinta, T., Uusi-Kämppeä, J. & Jaakkola, A. 1996. Leaching of phosphorus, calcium, magnesium and potassium in barley, grass and fallow lysimeters. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science* 46: 9–17.

LIITE 1 (1/6) (Appendix 1)

Kokeissa vuosittain viljellyt kasvit, nurmen niittokerrat, typpilannoitus ja lakaisuus sekä eri kaliummäärillä saadut sadot ja niiden erojen merkitsevyys. Merkintä .. = havannot puuttuvat. 0' = jälkivaikutus ilman kyseisen vuoden K-lannoitusta. ĩ = 2-kertainen K-lannoitus. # = 2,5-kertainen K-lannoitus.
Crop species and varieties, numbers of cuts in ley, rate of nitrogen fertilization and lodging and yields and significance of their differences at different rates of potassium fertilization. Symbol .. = observation, lacking 0' = residual effect without K fertilization in that year. ĩ = doubled K fertilization. # = 2.5 times normal K rates.

Koe Vuosi	Kasvi	Lajike, (laji)	N-lann.	Lako	Sato eri K-määrillä					Merk.
Exp. Year	Crop	Vatiety (spec. n)	N fert. kg/ha	Lodg. %	Yields by rates (kg/ha)					Sign.
					0	20	40	60	80	
2087	80 Ohra	Pomo	100	5	3770	3900	3950	3990	4080	-
	81 Ohra	Pomo	100	15	3320	3580	3660	3750	3760	**
	82 Ohra	Pomo	100	4	5430	5660	5830	5760	5830	*
	83 S.vehnä	Vakka	160	0	4210	4240	4310	4120	4310	-
	84 Kaura	Puhti	100	62	5860	5830	5890	5840	5910	-
	85 Rypsi	Emma	110	20	2470	2470	2520	2370	2470	-
	86 K.vehnä	Luja	110	0	2950	3040	2880	2730	3050	-
	87 Ohra	Pomo	90	100	3810	3950	3850	3920	3790	**
	88 K.vehnä	Luja	90	0	2530	2550	2570	2390	2780	-
	89 Ohra	Arra	60	0	3430	3530	3590'	3350	3890'	-
	90 1. v. n2	Apila-kh 3	100	0	8900	8700	8900'	8200	9000'	-
	91 2. v. n2	Koiranh. 3	230	0	10800	10400	10900'	10500	10500'	-
	92 3. v. n2	Koiranh. 2	200	0	2500	2400	2800'	2300	2300'	-
	93 S.vehnä	Aura	170	100	6160	6280	6550'	6680	6600'	-
	94 K.vehnä	Satu	120	0	5600	5730	5780'	5600	5680'	-
2088	80 Ohra	Pomo	100	5	3770	3900	3950	3990	3960	-
	81 Ohra	Pomo	100	15	3420	3850	3780	3750	3870	***
	82 Ohra	Pomo	100	9	5670	5880	5950	5940	6000	***
	83 S.vehnä	Vakka	160	0	4220	4300	4360	4320	4380	-
	84 Kaura	Puhti	100	73	5780	5780	5860	5980	5950	-
	85 Rypsi	Emma	110	20	2320	2420	2320	2400	2380	-
	86 K.vehnä	Luja	110	0	2860	3030	2760	2670	2520	-
	87 Ohra	Pomo	90	100	3710	3650	3770	3690	3740	-
	88 K.vehnä	Luja	90	0	2340	2560	2300	2340	2360	-
	89 Ohra	Arra	60	0	3290	3490	3330'	3240	3130'	-
	90 1. v. n2	Apila-kh 3	100	0	8500	8600	8700'	8100	8800'	*
	91 2. v. n2	Koiranh. 3	230	0	10200	10500	10300'	10600	10400'	-
	92 3. v. n2	Koiranh. 2	200	0	2200	2300	2300'	2600	2600'	-
	93 S.vehnä	Aura	170	100	6310	6290	6510'	6350	6430'	-
	94 K.vehnä	Satu	120	0	5630	5710	5660'	5750	5720'	-
2089	78 Ohra	Paavo	104	..	3890	3850	3810	3930	3850	-
	79 Ohra	Aapo	104	..	4290	4630	4470	4630	4660	*
	80 Ohra	Aapo	104	0	4400	4390	4210	4300	4250	-
	81 Ohra	Aapo	104	..	1750	1800	1880	1810	1860	-
	82 Ohra	Aapo	101	..	4700	4690	4800	4860	4920	-
	83 K.vehnä	Tapio	120	..	4260	4070	4140	4030	4230	-
	84 K.vehnä	Tapio	120	..	4780	5120	5120	5270	4990	**
	85 K.vehnä	Kadett	120	0	5320	5160	5190	5120	5200	-
2091	80 Ohra	Pomo	55	70	3790	3690	3900	3830	3980	*
	81 Ohra	Pomo	47	27	2370	2360	2380	2380	2400	-
	82 Ohra	Pomo	40	71	5240	5130	5510	5340	5490	-
	83 Rypsi	Emma	60	10	2810	2650	2960	2790	2730	-
	84 K.vehnä	Luja	80	83	2020	2250	2280	2240	2240	*
	85 Kaura	Veli	45	81	4740	4480	4780	4660	4760	*
	86 Ohra	Etu	40	30	4310	4770	4530	4670	4580	-
	87 Ohra	Etu	40	93	1090	1380	1480	1450	1440	*
	88 Kaura	Veli	40	62	4180	4380	4130	4150	3940	-
	89 Kaura	Veli	40	0	6250	6410	6440	6440	6390	-
	90 Ohra	Arra	40	10	6120	6410	6390	6380	6310	**
	91 Ruis	Anna	40	10	4150	3960	4240	4180	4090	-

LIITE 1 (2/6) (Appendix 1)

Koe Vuosi	Kasvi	Lajike, (laji)	N-lann.	Lako	Sato eri K-määrillä					Merk.
Exp. Year	Crop	Vatiety (spec. n)	N fert. kg/ha	Lodg. %	Yields by rates (kg/ha)					Sign.
					0	20	40	60	80	
2092	80 Ohra	Pomo	55	70	3790	3690	3900	3830	3910	-
	81 Ohra	Pomo	47	19	2340	2420	2490	2340	2470	-
	82 Ohra	Pomo	40	68	5180	5420	5560	5670	5520	*
	83 Rypsi	Emma	60	10	2670	2710	2700	3060	2740	-
	84 K.vehnä	Luja	80	81	1880	2100	2050	1910	1990	-
	85 Kaura	Veli	45	70	4820	4690	4670	4760	4680	-
	86 Ohra	Etu	40	32	4880	4470	4920	4580	4900	-
	87 Ohra	Etu	40	93	880	1330	1240	1330	1390	-
	88 Kaura	Veli	40	57	4390	4120	4300	4230	4540	*
	89 Kaura	Veli	40	0	6270	6390	6290	6290	6410	*
	90 Ohra	Arra	40	12	6200	6340	6350	6430	6420	*
	91 Ruis	Anna	40	12	4300	4320	4280	4320	4230	*
2162	81 Peruna	Pito	90	..	29100	27600#	28300#	28800#	26100#	*
	82 Peruna	Pito	90	..	26900	29000#	27500#	28800#	27400#	-
	83 Peruna	Pito	90	..	30100	30800#	30100#	34100#	32800#	-
	84 Peruna	Pito	90	..	28000	30900#	29700#	26900#	31300#	-
	85 K.vehnä	Luja	100	0	4000	4130'	4010'	4050'	3950'	-
	86 Peruna	Pito	90	..	37000	37100#	37300#	35400#	36400#	-
	87 Ohra	Arra	60	20	4160	4270'	4270'	4080'	4200'	-
	88 1. v. n2	Apila-tim 2	45	..	6400	6600'	6700'	6500'	6700'	-
	89 2. v. n2	Apila-tim 2	45	..	8000	8600'	9200'	8300'	8300'	-
	90 Peruna	Pito	90	..	34600	34200#	34300#	35700#	34000#	-
	91 Peruna	Pito	90	..	30000	30800#	31800#	32300#	31300#	-
	92 Peruna	Pito	60	..	37400	38100#	38000#	38900#	37700#	-
13006	79 Kaura	Puhti	100	21	3540	3470	3510	3530	3470	-
	80 K.vehnä	Ruso	100	19	2860	2880	2870	2910	2910	-
	81 Ohra	Suvi	100	32	3490	3480	3570	3440	3540	-
	82 K.vehnä	Tähti	99	0	3990	4120	3960	3940	3710	*
	83 Kaura	Puhti	99	0	5120	5030	5110	4960	5080	-
	84 Ohra	Suvi	99	100	4550	4790	4810	4740	4840	-
	85 K.vehnä	Tähti	99	0	3910	3830	4010	3850	3920	-
	86 Ohra	Ida	115	0	4430	4410	4340	4310	4460	-
	87 Ohra	Pokko	110	0	1920	1630	1880	1900	2010	-
	88 K.vehnä	Tapio	110	9	3130	3030	2950	2910	3040	-
13007	79 Kaura	Puhti	100	8	3110	3310	3140	3410	3450	*
	80 K.vehnä	Ruso	100	20	2880	2820	3030	3030	3020	*
	81 Ohra	Suvi	100	50	3480	3470	3450	3800	3670	-
	82 K.vehnä	Tähti	99	0	4220	4130	4120	3970	4200	-
	83 Kaura	Puhti	99	0	4950	4780	4840	4900	4920	-
	84 Ohra	Suvi	99	100	4750	4830	4910	4850	5010	*
	85 K.vehnä	Tähti	99	1	4000	3910	3860	3980	4050	-
	86 Ohra	Ida	115	0	4440	4340	4210	4530	4460	-
	87 Ohra	Pokko	110	0	1960	1810	1910	2200	2170	-
	88 K.vehnä	Tapio	110	19	3150	3040	3030	3070	3120	-
13016	77 K.vehnä	Ruso	100	0	3560	3570	3660	3600	3510	-
	78 K.vehnä	Ruso	99	0	3200	3040	3200	3030	3020	-
	79 Ohra	Suvi	99	0	2280	2000	2270	2180	2150	-
	80 Ohra	Suvi	99	0	4880	4510	4750	4580	4800	-
	81 K.vehnä	Suvi	99	0	3770	3820	3930	3830	3780	-
	82 Kaura	Puhti	99	20	4800	4980	4920	5000	4920	-
	83 Ohra	Suvi	99	82	4850	4800	4850	4940	4800	-
	84 K.vehnä	Ruso	99	0	5080	5020	5070	5010	5100	-
	85 Rypsi	Emma	99	55	2270	2250	2290	2260	2240	-
	86 Ohra	Ida	99	0	4890	4860	5000	4900	5040	-
	87 K.vehnä	Luja	99	17	950	1010	1050	1010	1000	-
	88 K.vehnä	Tapio	110	20	3450	3410	3570	3540	3400	-

LIITE 1 (3/6) (Appendix 1)

Koe Vuosi Kasvi	Lajike, (laji)	N-lann. Lako	Sato eri K-määrillä							Merk.
Exp. Year Crop	Vatiety (spec. n)	N fert. kg/ha	Lodg. %	Yields	by	rates (kg/ha)				Sign.
				0	20	40	60	80		
13016	89 Ohra	Kustaa	110	0	3050	3200	3320'	3150	3060'	-
	90 K.vehnä	Kadett	110	0	3260	3250	3260'	3310	3220'	-
	91 Ohra	Kustaa	110	3	5150	5330	5260'	5400	5210'	-
13017	77 Ohra	Karri	83	80	3180	3300	3180	3250	3300	-
	78 Kaura	Hannes	83	91	3750	3710	3820	3890	3950	-
	79 K.vehnä	Ruso	83	39	3340	3090	3160	3180	3120	-
	80 Kaura	Puhti	83	80	5350	5330	5340	5390	5320	-
	81 Kaura	Puhti	83	61	3080	3070	2940	3120	3100	-
	82 Ohra	Suvi	83	26	5180	5240	5220	5120	4960	-
	83 K.vehnä	Ruso	83	12	3120	3370	3420	3460	3550	-
	84 Ohra	Eero	83	99	4920	5220	5170	5230	5230	-
	85 Kaura	Puhti	83	90	4850	4800	4980	4990	5050	-
	86 K.vehnä	Luja	83	0	2990	2940	2870	3040	2820	-
	87 Ohra	Eero	83	75	2800	3120	2970	3050	3050	-
	88 K.vehnä	Kadett	99	80	3160	3180	3290	3190	3310	-
	89 Ohra	Ida	83	0	4390	4330	4380'	4490	4500'	-
	90 Kaura	Veli	83	0	4470	4510	4470'	4410	4560'	-
	91 Ohra	Ida	83	35	4940	5010	5040'	4980	5030'	-
14812	78 Ohra	Birgitta	53	78	3520	3700	3340	3540	3450	-
	79 Ohra	Suvi	53	45	4170	4130	4150	4190	4160	-
	80 Ohra	Suvi	41	0	3210	3280	3350	3450	3220	-
	81 Kaura	Puhti	41	19	2850	2920	2980	2900	2990	-
	82 Kaura	Puhti	41	10	4230	3960	3930	4080	4040	-
	83 Ohra	Suvi	41	42	4460	4390	4410	4490	4490	-
	85 Ohra	Suvi	41	36	3000	3020	2970	3000	2960	-
	86 Kaura	Puhti	41	0	4490	4390	4090	4330	4260	-
	87 Ohra	Kustaa	41	0	1880	1740	1680	1710	1640	-
	88 Kaura	Puhti	41	4	2700	2740	2580	2630	2630	-
	89 K.vehnä	Luja	60	2	3540	3470	3370	3460	3440	-
15178	78 Ohra	Pomo	80	0	7160	7030	7150	7220	7140	-
	79 Ohra	Pomo	80	0	3740	3920	3990	4050	4200	-
	80 Ohra	Pomo	80	0	3450	3530	3400	3750	3730	-
	81 Ohra	Pomo	80	0	2840	2920	2680	2660	2940	-
	82 Ohra	Pomo	80	0	3510	3850	3870	3890	4140	-
	83 Ohra	Pomo	80	0	3180	2950	3100	3050	3380	-
	84 Ohra	Pomo	80	0	2560	2360	2470	2310	2600	-
	85 Ohra	Pomo	80	0	730	970	970	1120	1200	*
	86 Ohra	Pomo	103	0	1760	1840	1810	1740	2030	-
	87 Ohra	Arra	92	0	3520	3830	3840	3870	3940	-
16067	78 Ohra	Pomo	55	0	2470	2830	3090	2940	2990	-
	79 Kaura	Heikki	55	51	3640	3640	3880	3840	3980	-
	80 Ohra	Pomo	55	2	3670	3850	3910	3970	3890	-
	81 K.vehnä	Tähti	55	..	1850	1900	2030	2030	1990	-
	82 Kaura	Puhti	55	39	4920	5270	5240	5200	5330	*
	83 Ohra	Otra	55	65	3650	3750	3710	3680	3650	-
	84 K.vehnä	Tapio	55	0	4050	4160	4290	4190	4270	-
	85 Kaura	Puhti	55	13	3240	3450	3480	3510	3450	-
	87 Ohra	Silja	55	97	3370	3550	3710	3580	3540	-
	88 K.vehnä	Luja	55	0	2880	2860	2910	2860	2840	-
	89 Kaura	Puhti	55	34	4770	4810	4810	4790	4880	-
	90 K.vehnä	Luja	55	0	3280	3690	3380	3420	3460	-
18262	77 Ohra	Vigdis	80	95	3840	3670	3610	3760	3780	-
	78 Ohra	Vigdis	80	93	2870	2900	2940	3000	2900	-
	79 Ohra	Vigdis	60	84	3930	3840	3770	3730	3940	-
	80 Ohra	Eero	50	0	4220	4240	4060	4010	4210	-

LIITE 1 (4/6) (Appendix 1)

Koe Vuosi	Kasvi	Lajike, (laji)	N-lann.	Lako	Sato eri K-määrillä					Merk.
Exp. Year	Crop	Vaiety (spec. n)	N fert. kg/ha	Lodg. %	Yields by rates (kg/ha)					Sign.
					0	20	40	60	80	
18262	81 Ohra	Eero	50	0	2330	2200	2620	2710	2540	-
	82 Ohra	Eero	80	18	4810	4850	4830	4970	4830	-
	83 Ohra	Eero	80	0	4480	4810	4810	4830	4750	-
	84 Ohra	Eero	80	0	4160	4360	4530	4520	4550	-
	85 Ohra	Arra	80	82	3930	3950	4150	4110	4140	*
	86 Ohra	Eero	80	0	3750	3840	3770	3900	3890	-
	87 Ohra	Eero	80	38	3680	3850	3930	3800	3880	-
	88 Ohra	Eero	80	55	1980	2430	2650	2740	2320	*
	89 Ohra	Eero	80	22	4660	5310	5240'	5610	5000'	***
	90 Ohra	Eero	80	0	3970	4550	4300'	4280	4240'	***
	91 Ohra	Eero	80	15	2940	3090	3340'	3340	2950'	-
19025	77 Kaura	Tiitus	82	..	2210	2280	2300	2260	2310	-
	78 Ohra	Otra	82	..	3520	3660	3610	3610	3690	-
	79 Ohra	Otra	82	..	3310	3520	3340	3550	3370	**
	80 Kaura	Tiitus	68	..	2820	2850	2890	2650	2750	-
	81 Ohra	Pomo	68	..	2310	2410	2440	2420	2470	-
	82 Ohra	Pomo	68	..	3130	3180	3510	3250	3110	*
	83 Ohra	Pomo	68	..	2780	2870	3040	2950	3090	-
	84 Ohra	Pomo	68	..	2990	3200	3240	3280	3260	**
	85 Kaura	Veli	68	..	3530	3390	3540	3470	3400	-
	86 Ohra	Arra	68	..	1750	1850	1970	1920	1990	-
	87 Ohra	Arra	69	..	2180	2040	2190	2080	2160	-
	88 Kaura	Veli	69	..	1260	1130	1230	1110	1140	-
20232	77 Kaura	Tiitus	52	20	4010	4160	3880	4260	4060	-
	78 Kaura	Tiitus	52	13	3990	3970	4040	3960	3900	-
	79 Kaura	Tiitus	55	5	4080	4170	4050	3990	3910	-
	80 Kaura	Tiitus	55	..	4350	4090	4180	4230	4050	-
	81 Kaura	Tiitus	55	57	3650	3590	3550	3740	3710	-
	82 Kaura	Tiitus	55	5	5480	5690	5520	5450	5270	-
	83 Kaura	Veli	55	0	5560	5570	5530	5350	5360	-
	84 Kaura	Veli	55	8	4930	4830	4820	4390	4740	**
	85 Kaura	Veli	55	5	4810	4760	4870	4830	4820	-
	86 Ohra	Arra	55	11	4430	4470	4460	4380	4300	-
	87 Rypsi	Emma	55	41	1670	1700	1690	1670	1680	-
	88 Ohra	Arra	55	4	5430	5610	5830	5920	6090	***
	89 1. v. n2	Timotei 2	185	..	14300	14400	13900	13600	13100	***
	90 2. v. n2	Timotei 2	185	..	15600	15900	15200	15600	15300	-
	91 3. v. n2	Timotei 2	185	..	10100	11100	11700	11500	11300	***
21004	77 Ohra	Otra	60	43	3630	3700	3420	3570	3360	*
	78 Ohra	Otra	61	60	3940	4120	4070	4230	4230	-
	79 Ohra	X	61	0	2700	2980	2910	2830	3010	*
	80 Ohra	Otra	61	62	2610	2820	2570	2630	2600	-
	81 Ohra	Otra	61	66	1890	1920	1850	1720	1630	-
	82 Ohra	X	61	33	2800	2710	2730	2680	2690	-
	83 Ohra	Otra	61	94	3510	3490	3640	3640	3670	*
	84 Ohra	X	61	..	3290	3530	3370	3540	3600	-
	85 Ohra	Arra	61	0	2760	2630	2770	2680	2650	-
	86 Ohra	X	61	1	2660	2600	2680	2760	2550	-
	87 Ohra	X	61	..	970	1040	1020	1060	1010	-
	88 Ohra	X	83	..	2480	2730	2960	2870	2810	-
	89 Ohra	X	83	..	3170	3570	3340'	3770	3440'	-
	90 Ohra	X	83	..	2620	2800	2480'	2700	2530'	-
	91 Ohra	X	83	..	2280	2360	2250'	2290	2360'	-
21007	78 Kaura	X	61	90	2820	2360	2070	2300	2120	-
	79 Kaura	X	60	0	5160	5470	5170	5240	5440	-
	80 Kaura	Tiitus	60	98	3760	3250	3420	3640	3100	-

Koe Vuosi	Kasvi	Lajike, (laji)	N-lann.	Lako	Sato eri	K-määrillä				Merk.
Exp. Year	Crop	Vatiety (spec. n)	N fert. kg/ha	Lodg. %	Yields 0	by rates 20	(kg/ha) 40	60	80	Sign.
21007	81 Ohra	Otra	41	58	2060	2060	2030	2060	2030	-
	82 Ohra	X	41	44	3050	2950	3090	3120	3200	-
	83 Ohra	X	41	28	3040	2930	3190	3040	3120	-
	84 Ohra	X	42	24	3250	3260	3440	3530	3440	*
	85 Ohra	Arra	42	0	3170	2970	3230	2330	3120	-
	86 Ohra	X	41	0	3270	3260	3410	3400	3330	-
	87 Vih.ohra	Vih.ohra	41	..	2860	2570	2180	3180	2680	-
	88 Ohra	X	55	..	2710	2790	2720	2930	2790	-
	89 Ohra	X	55	..	3360	3520	3430	3610	3390	-
22002	77 Ohra	Otra	75	95	3050	3300	3090	3100	3320	-
	78 Ohra	Otra	75	97	5110	4630	5000	5040	4730	-
	79 Ohra	Hja 673	75	66	4550	4730	4510	4420	4540	-
	80 Ohra	Hja 673	75	0	3030	3110	3140	3120	3250	-
	81 Ohra	Hja 673	75	22	2200	2500	2410	2460	2520	-
	82 Ohra	Hja 673	75	13	3440	3610	3660	3610	3910	-
	83 Ohra	Hja 673	75	47	2530	2510	2410	2590	2710	-
	84 Ohra	Hja 673	75	34	2700	3480	2910	3440	3320	*
	85 Ohra	Arra	75	0	3130	2860	3200	2950	3370	*
	86 Ohra	Arra	75	12	2410	2420	2330	2720	2760	-
	88 Ohra	Arra	75	15	4310	4320	3990	4220	4160	-
	89 Ohra	Arra	75	51	3660	4020	3970'	4300	3990'	-
	90 Ohra	Arra	75	88	4120	4350	4010'	4160	3840'	-
	91 Ohra	Hja 673	80	0	3470	3460	3770'	3460	3890'	-
24802	78 Ital.rh	Raiheina	2 160	..	3000	3800	4300	4500	4700	***
	79 V.kau+tim.	Kaur-tim	2 160	..	2700	3600	4100	4300	4900	***
	80 1. v. n1	Timotei	2 160	..	1200	6300	9100	10900	11300	***
	81 2. v. n1	Timotei	2 160	..	1100	7000İ	7900İ	7700İ	8400İ	***
	82 3. v. n1	Timotei	2 160	..	700	6600İ	7400İ	6900İ	6800İ	***
	83 V.kau+tim.	Kaur-tim	2 160	..	1500	4500İ	5300İ	5200İ	5600İ	***
	84 1. v. n2	Timotei	2 160	..	4200	10400İ	10600İ	9800İ	9800İ	***
	85 2. v. n2	Timotei	2 160	..	400	6800İ	8000İ	7900İ	8200İ	***
	86 3. v. n2	Timotei	2 160	..	1800	7500İ	7100İ	7300İ	7500İ	***
	87 4. v. n2	Timotei	2 160	..	1400	5300İ	5600İ	6000İ	6100İ	***
25428	78 Ohra	X	80	..	5670	5670	5690	5730	5750	-
	79 1. v. n1	Ap.-tim.	3 240	..	5900	6400	6600	6500	7000	*
	80 2. v. n1	Ap.-tim.	3 240	..	7000	6600	7100	6800	7000	-
	81 3. v. n1	timotei	3 240	..	8300	8900	9000	8600	9100	-
	82 Kaura	X	82	..	3290	3350	3500	3630	3600	-
	83 Ohra	X	82	..	4140	4590	4740	4850	4890	*
	84 Ohra	X	82	..	3920	4080	4130	4220	3990	-
	85 1. v. n2	Koiranh.	2 200	..	7200	7800İ	8000İ	8400İ	7500İ	-
	86 2. v. n2	Koiranh.	2 200	..	10500	11300İ	10800İ	10900İ	11100İ	-
	87 3. v. n2	Koiranh.	2 200	..	8400	8400İ	8800İ	8900İ	8400İ	-
	88 4. v. n2	Koiranh.	2 200	..	9100	9600İ	9300İ	8800İ	9900İ	*
	89 Kaura	X	83	..	4190	4290	4150	4270	4130	-
	90 Ohra	X	83	..	3260	3520	3430'	3900	3700'	-
	91 K.vehnä	X	83	..	3200	3170	3060'	3220	2950'	-
	92 Ohra	X	83	..	3010	3200	3150'	3360	3310'	-
25429	79 Ohra	X	80	..	3300	3400	3320	3410	3470	-
	80 Ohra	Suvi	80	..	2010	2130	2070	2020	2050	-
	81 Kaura	X	80	..	3280	3440	3540	3330	3270	-
	82 Kaura	X	80	..	2950	3130	2960	2930	3110	-
	83 Ohra	X	82	..	3210	3280	3390	3380	3550	-
	84 Ohra	X	82	..	2820	2930	2920	3030	2980	-
	85 Ohra	X	82	..	3120	3130	3170	3150	3180	-
	86 Kaura	X	82	..	2100	1920	1820	2000	2030	-

LIITE 1 (6/6) (Appendix 1)

Koe Vuosi Kasvi	Lajike, (laji)	N-lann. Lako	Sato eri K-määrillä	Merk.						
Exp. Year Crop	Variety (spec. n)	N fert. kg/ha	Lodg. %	Yields by rates (kg/ha)	Sign.					
				0 20 40 60 80						
25429	87 Rypsi	X	100	..	1630	1550	1580	1560	1460	-
	88 K.vehnä	X	100	..	1960	1890	1900	1840	1770	-
	89 Ohra	X	83	..	3690	3770	3810	3640	3780	-
	90 Ohra	X	83	..	2780	2760	2760	2470	2720	-
	91 Ruis	X	90	..	4260	4380	4110'	4220	4370'	-
	92 Ohra	X	90	..	2680	2720	2690'	2470	2580'	-
43027	77 Kaura	X	55	82	3660	3660	3640	3630	3480	-
	78 Kaura	Tiitus	55	89	3570	3920	3860	3890	4030	*
	79 Kaura	Tiitus	55	4	4030	3990	3910	3910	3860	-
	80 Kaura	Tiitus	55	30	4670	4710	4730	4510	4520	-
	81 Ohra	X	55	45	2760	2940	2820	2890	2810	-
	82 Ohra	X	55	42	3670	3810	3780	3840	3790	-
	83 Ohra	Otra	55	..	3040	3120	3380	3230	3270	-
	84 Kaura	Veli	55	80	4960	4740	4830	4790	4650	-
	85 Kaura	Veli	55	15	3470	3500	3600	3700	3780	-
	86 Ohra	X	55	4	3230	3210	3270	3230	3350	-
	87 Ohra	X	55	..	970	1540	1580	1500	1720	-
	88 Kaura	X	55	0	2830	2920	3040	3050	3080	-
	89 Kaura	Veli	55	12	3610	3900	3930	3900	3960	-
43337	77 Kaura	X	75	..	3880	3860	3840	3850	3910	-
	78 Kaura	Tiitus	75	6	4090	4050	3800	4030	4140	-
	79 Kaura	Tiitus	75	..	3330	3340	3460	3370	3140	-
	80 Kaura	Tiitus	75	0	4850	4850	4770	4880	4770	-
	81 Kaura	X	75	22	3830	3950	3940	3840	3910	-
	82 Kaura	X	75	..	5080	5340	5090	5280	5090	-
	83 Ohra	X	75	..	3290	3440	3570	3490	3670	*
	84 Kaura	Veli	75	0	4010	3900	4080	4030	4040	-
	86 Ohra	X	75	85	2390	2680	2610	2700	2690	*
	87 Ohra	X	75	..	2120	2210	2120	2130	2070	-
	88 Kaura	X	75	0	2420	2420	2630	2760	2700	**

		Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 42	
		Julkaisu-aika (kk ja vuosi) Lokakuu 1998	
Tekijä(t) Into Saarela, Harri Huhta, Yrjö Salo, Jouko Sippola ja Martti Vuorinen		Tutkimushankkeen nimi	
		Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus	
Nimike Kaliumlannoituksen porraskokeet 1977–1994			
Tiivistelmä Tässä julkaisussa esitetään tuloksia laajasta valtakunnallisesta tutkimuksesta, jossa verrattiin monivuotisissa kenttäkokeissa vuosittain annettujen kaliummäärien vaikutuksia peltokasvien sadon määrään ja laatuun sekä maan viljavuuteen. Tavoitteena oli viljan, nurmen, rypsin ja perunan kaliumlannoituksen optimointi eri maalajeilla kemiallisten maa- ja kasvianalyyysien avulla. Ilman kaliumlannoitusta tuotettu sato vaihteli eri kokeissa välillä 28–100 % riittävällä kaliummäärällä saadusta sadosta. Lisätty kalium paransi kasvua eniten niukkara-vinteisella turvemaalla viljellyllä nurmella, jonka sadoissa poistui runsaasti ravin-teita. Savimaiden ravinnevarat riittivät nurmellakin useiksi vuosiksi täyteen sa-toon ilman kaliumlannoitusta. Viljan ottamasta kaliumista pääosa oli oljissa, joi-den palauttaminen maahan vähensi lannoitustarvetta. Ilman kaliumlannoitusta kasvaneet viljasadot pysyivät siten lähes normaaleina myös kärkeillä kivennäis-mailla ja eloperäisillä mailla. Ohra hyötyi lisätystä kaliumista enemmän kuin muut viljat. Savimailla ammoniumionien kanssa maahiukkasten spesifisistä pi-dätyspaikoista kilpailevien kaliumionien lisääminen edisti kasvien typen saantia ja suurensi valkuais-satoja.			
Avainsanat lannoitustarve, maan kalium, maan viljavuus, sadon kalium, sadon laatu, sadon ravinteet			
Toimintayksikkö Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen			
ISSN 1238-9935	ISBN 951-729-523-5	<input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomu- viljelyssä	
Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 7502 Telekopio (03) 4188 339		Sivuja 41 s. + 1 liite	Hinta 40,00 mk + alv

Vammalan Kirjapaino Oy 1998
ISBN 951-729-523-5
ISSN 1238-9943