

Kyrönjoen vesistöalueen rikkipitoiset viljelysmaat

RAIMO ERVIÖ

Maatalouden tutkimuskeskus, Maantutkimuslaitos, 01300 Vantaa

Cultivated sulphate soils in the drainage basin of river Kyrönjoki

RAIMO ERVIÖ

Institute of Soil Science, Agricultural Research Centre, 01300 Vantaa

Abstract. About 260 km² of cultivated soil in the drainage basin of river Kyrönjoki in Western Finland was mapped for acid sulphate soils on the basis that they included sulphate-sulphur more than 100 mg/litre soil and their pH (H₂O) was below 5.0. The area was about 19 % of the whole cultivated area and was situated mainly at 15 m to 45 m above the sea level.

More than 600 soil samples on 220 sites were taken from top soil (0—20 cm), from subsurface (50—70 cm) and from subsoil below the ground water level (150—300 cm). The sulphate-sulphur, Ca, Mg, K, Fe, Al and Mn were analysed in extract of acid ammonium-acetate (pH 4.65).

In the aerobic middle layer were the highest amounts of S, Fe and Al, the highest conductivity and likewise the lowest pH were found in the gyttja and gyttja clay soils. The mean contents of Mn were highest in the anaerobic subsoil samples.

The pH-values in the subsurface soil samples were the lower the more the soil included sulphur, aluminium or iron. Aluminium and iron were in positive correlation with each other. The more sulphur in the soil the higher the conductivity. The pH-value of soil decreased with increasing conductivity.

Rikkipitoiset maat kuuluvat Suomessa Litorinamerivaiheen aikana tai sen jälkeen suolaiseen veteen laskeutuneisiin sedimenttimaihin. Litorinamerivaihe alkoi täällä noin 5 000 vuotta e.Kr. ja meren korkein rantaviiva oli silloin Etelä-Pohjanmaalla 90—100 m meren nykyisen pinnan yläpuolella (Okko 1967). Tuolla kaudella syntyneet rikkipitoiset maat tunnetaan happamina sulfaattimaina (FROSTERUS 1914). Niitä tavataan eri puolilla maapalloa lähinnä merien rannikoilla (KAWALEC 1973). Rikki on joutunut näihin sedimentteihin meriveden sulfaateista ja orgaanisen, merenpohjaan laskeutuneen kasvi- ja eläinjätteen valkuaisaineesta. Suurin osa rikistä esiintyy veden alaisissa sedimenteissä rautasulfideina, joiksi rikki on alkulähteistään pelkistynyt tiettyjen rikkibakteerien vaikutuksesta (RICKARD 1972). Maan joutuessa ilman kanssa kosketuksiin, kuten maan kohoamisen johdosta Suomessa on tapahtunut, ha-

pettuu sulfidi sulfaatiksi, mihin näiden maiden nimikin perustuu. Tätä maanostyyppiä on nimitetty myös alunamaaksi kuivina kausina kapillaarisesti maan pintaan kulkeutuvien ja siinä kiteytyvien alunatyyppisten suolojen vuoksi (AARNIO 1924).

Sulfaattimaille on ominaista paitsi runsas rikin määrä, alhainen pH (BRINKMAN et al. 1973, KEVIE 1973), suuri elektrolyyttien määrä, johon korkea johtoluku perustuu (PUROKOSKI 1958 ja 1959), sekä myös suhteellisen korkea orgaanisen aineksen määrä.

Suomessa tehdyssä rikkipitoisten maitten inventoinnissa löydettiin näitä maita meiltä noin 51 000 ha (PUROKOSKI 1959). Yli puolet tästä alasta sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla ja haitallisesti rikkipitoiset maat suurelta osalta Kyrönjoen varsilla. AARNIO (1927) on todennut Etelä-Pohjanmaan agrogeologista karttaa koskevassa julkaisussaan tasangoilla esiintyvien litorinasavien sisältävän runsaasti sekä rikkiä, sulfaattien ja sulfidien muodossa, että rautaa. KORKMAN (1973) on laskenut LAAKSOSEN (1970) tutkimusten pohjalta Kyrönjoen vesistöalueelta uuttuvan rikkiä 33 kg/ha vuodessa.

Vesihallituksen asettaman työryhmän toimesta valmistui v. 1973 selvitys Kyrönjoen ja sen edustan merialueen kalakuolemien syistä (ANON. 1973). Selvitystä varten Maantutkimuslaitos inventoi Kyrönjoen vesistöalueen rikkipitoiset maa-alueet ja tutki niiden maaperän kemiallisia ominaisuuksia. Tässä julkaisussa käsitellään edellä mainitun maaperäaineiston tuloksia.

Aineisto ja analyysimenetelmät

Kyrönjoen valuma-alueelta pyrittiin kartoittamaan vähintään 100 ha:n suuruiset yhtenäiset rikkipitoisten viljelymaiden alueet. Tuloksen varmentamiseksi otettiin maanäytteitä 221 pisteestä, yhteensä noin 660 kpl. Näytteet otettiin kustakin pisteestä kolmesta kerroksesta: muokkauskerroksesta 0–20 cm:n (muokkauskerros), 50–70 cm:n (keskikerros) sekä pohjaveden pinnan alapuolelta 150 ja 400 cm:n väliltä (pohjamaa), niin että 97 kpl oli 100–200 cm:n, 95 kpl 200–300 cm:n ja 20 kpl yli 300 cm:n syvyydestä. Näytteistä oli hietoja 137, hiesuja 188, hieta-, hiesu- ja aitosavia 94, liejusavia ja liejuja 81, saraturpeita 57 sekä multamaita 104 kpl.

Rikkipitoisiksi maiksi inventoitiin alueet, joiden hapettuneen kerroksen (50–70 cm:n syvyys) maanäytteissä todettiin alhainen pH-arvo ja korkea rikkipitoisuus. Tähän ryhmään luettiin maat, joiden pH-arvo oli alle pH 5.0 ja (tai) jotka sisälsivät sulfaattirikkiä vähintään 100 mg/litra maata eli 0.01 %, kun maan tilavuuspainon oletetaan olevan 1. Rikkipitoisten maiden varmana tunnusmerkkinä pidettiin maastotutkimuksissa myös pohjaveden pinnan alapuolelta, anaerobisesta tilasta otetun maan tummanharmaata tai mustaa väriä, mikä johtuu rautasulfidista.

Maanäytteet kuivatettiin 25–30° C:ssa, jauhettiin 2 mm:n seulan läpi ja analysoitiin 5–7 kk:n päästä näytteiden otosta. Alkuainepitoisuudet on ilmaistu kuivatusta ja jauhetusta maasta saatua tilavuusyksikköä kohti.

Sulfaattirikki määritettiin atomiabsorptiospektrofotometrillä maan hapamasta ammoniumasetattiututteesta, joka oli 0.5 N ammoniumasetatin ja 0.5 N etikkahapon suhteen, pH:n ollessa 4.65 ja uuttosuhteen 1:10 (VUORINEN

ja MÄKITIE 1955). Maanäytteistä määritettiin lisäksi: pH, johtoluku, Ca, K, Mg, Fe, Al ja Mn. Johtoluku ja pH mitattiin maa-vesisuspensiosta (til.suhde 1:2.5). Alkuaineista Ca ja K määritettiin liekkifotometrillä ja Mg, Fe, Al ja Mn atomiabsorptiospektrofotometrillä happaman ammoniumasettaatin uut- teesta. Ilmoitettu johtoluku (JL) = ominaisjohtokyky (mho/cm) $\times 10^4$. Orgaaninen hiili määritettiin dikromaattimärkäpoltolla, josta saatu hiiliarvo kerrottiin luvulla 1.73 maalajiluokituksessa käytettäviin humusarvoihin pää- semiseksi.

Multamaiksi on luettu ne pintamaanäytteet, joiden humuspitoisuus on 15–39 %. Muokkauskerroksen alapuolelta otetut savinäytteet on luokiteltu liejusaviksi, jos ne ovat sisältäneet humusta 3.0–5.9 %, ja liejuiksi, jos humusta on ollut vähintään 6.0 % mutta alle 40 %, joka on turpeiden humuspitoisuuden alaraja. Maanäytteistä tehtiin 106 mekaanista analyysiä oikean maalajinimi- tyksen varmistamiseksi käyttäen $H_2O_2-HCl-Na_4P_2O_7$ -esikäsitteilyä ja ns. pipettimenetelmää.

Sulfaattimaiden pinta-alat

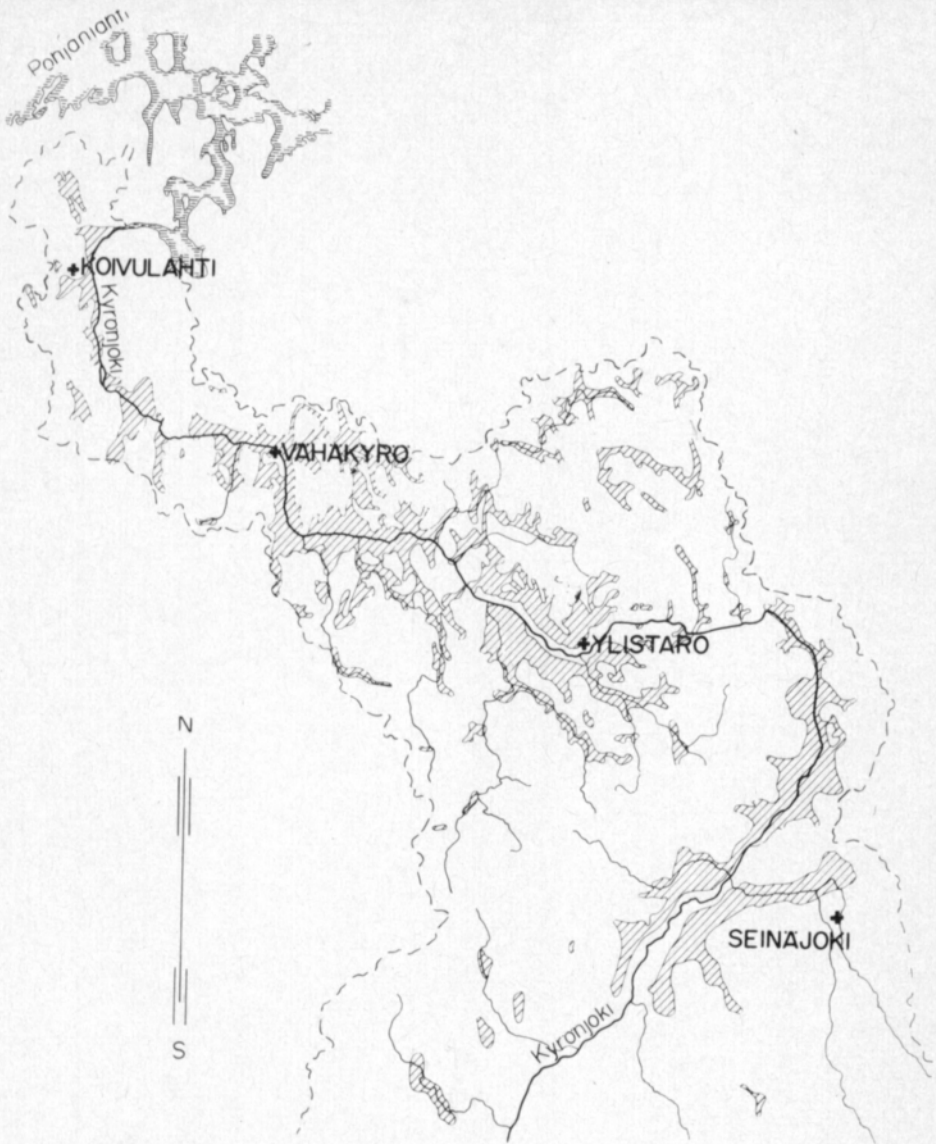
Tutkimuksessa inventoitiin sulfaattimaiksi kaikkiaan 26 400 ha viljely- maata (taulukko 1), mikä on 5.4 % Kyrönjoen valuma-alueen pinta-alasta, 4 900 km²:stä ja 19.0 % alueen viljellystä pinta-alasta. Jos pienialaiset rikko- naisetkin peltoalueet otettaisiin lukuun, kasvaisi ala arvion mukaan viidennek- sellä. Näiden alueiden ulkopuolelle jäävät vielä suot, joista laajimmat varsinkin Kyrönjoen suupuolella ovat syntyneet litorinamaalle, sekä lisäksi metsät, joista myös osa sijaitsee tällä maatyypillä. Koko litorinamaa-alaksi voidaan Kyrönjoen valuma-alueella hyvällä syyllä arvioida 35 000–40 000 ha.

Suurin osa todetuista sulfaattimaista sijaitsee Kyrönjoen alajuoksun laajoilla tasankomailla korkeintaan 50 metriä merenpinnan tasoa ylempänä (taulukko 1 ja kuva 1), toisin sanoen Ilmajoen kirkonkylästä jokisuulle päin. Sulfaattimaa- alasta saattuu 80 % 15 ja 45 metrin välille merenpinnan tasosta. Myös 50 metrin tason yläpuolelta, aina 90 metristä löytyy vähäisiä alueita, joita edustaa laske- tun Haasjärven peltokuivio Peräseinäjoen suunnalla.

Kemialliset ominaisuudet

Maan pH ja johtoluku. Viljelytoimenpiteiden vaikutuksessa olleen muok- kauskerroksenkin pH-arvot osoittautuivat yleisesti ottaen suhteellisen alhaisiksi: kivennäismaat keskimäärin pH 5.4, multamaat 5.2 ja turvemaat 5.0 (taulukko 2). Kerroksen 50–70 cm keskimääräiset pH-arvot olivat huomattavan alhai- sia, liejusavella ja liejulla jopa alle pH 4. Aineistossa todettiin pH 3.0:n arvoisia lukemia myös hieta- ja hiesumaissa. Tämän kerroksen keskiarvot olivat joka maalajiryhmässä muokkauskerroksen ja pohjamaan vastaavia arvoja alhaisem- pia. Pohjamaan liejujen ja etenkin liejusavien keskimääräiset pH-arvot 4.5 ja 5.8 olivat huomattavasti keskikerroksen vastaavia, pH 3.9 ja 3.9, arvoja korkeammat.

Pintamaiden johtoluku oli keskimäärin alhaisin 1.4, hietaryhmässä ja kor- kein saraturveryhmässä 2.2, muiden maalajiryhmien sijoituessa näiden väliin. Keskikerroksen keskimääräiset maalajittaiset johtoluvut olivat hiedoilla,



Kuva 1. Kyrönjoen valuma-alueen laajimmat sulfaattimaa-alueet.

Fig. 1. The areas of sulphate soils in the drainage basin of river Kyrönjoki.

hiesuilla, savilla ja saraturpeilla samaa luokkaa, mutta liejusavella (3.4) ja liejulla (11.0) jo huomattavasti korkeammat. Tämän kerroksen yksittäisten lukujen vaihtelu maalajiryhmän sisällä on selvästi pintamaissa todettua laajempaa. Korkein johtolukuarvo 18.3 mitattiin liejulla. Syvimmän kerroksen näytteiden johtolukujen keskiarvot ylittivät hieta-, hiesu-, savi- ja liejusavi-ryhmissä selvästi jankon vastaavat luvut ja kaikista ryhmistä löytyi myös suhteellisen korkeita yksittäisiä arvoja.

Rikki. Näytekerroksittain rikkipitoisuuksia tarkasteltaessa havaitaan, että maalajiryhmien sulfaattirikin keskimääräiset pitoisuudet olivat turvemaita lukuunottamatta alhaisimmat muokkauskerroksessa ja hiesua lukuunotta-

Taulukko 1. Rikkipitoisten viljelymaiden alat ja sijainti karttalehdittään.

Table 1. The areas of sulphate soils and their location above the sea level on various Basic Maps.

Peruskarttalehti The Basic Map		ha	metriä mpy metres above the sea level
1244 07	Nopankylä	430	75—80
09	Kasinkylä	150	30—53
10	Koskenkorva	260	52—59
11	Huissinkylä	150	56—59
12	Orisberg	270	29—47
1331 12	Karperö	40	10—12
1333 02	Toby	920	6—11
03	Kvevlax	710	2—10
04	Laihia	740	14—21
05	Vähäkyrö	2 340	9—16
07	Isokyrö	2 120	16—32
08	Palhojainen	1 920	16—24
1333 10+	Ylistaro	4 430	22—37
2311 01			
1333 11+	Lehmäjoki	1 500	22—47
2311 02			
1333 12+	Kaurajärvi	260	36—45
2311 03			
1334 01	Västerhankmo	340	1—4
2221 09	Ylimysjärvi	100	89—90
2222 01	Ilmajoki	110	42—43
02	Könni	1 060	39—50
03	Vittinki	700	31—38
04	Pojanluoma	240	54—79
05	Jouppila	2 980	36—45
06	Munakka	2 000	37—42
08	Seinäjoki	500	37—40
09	Nurmo	570	37—40
2311 04	Malkamäki	920	35—45
05	Kosola	290	45—54
06	Ylihärmä	180	41—46
07	Lapua	160	37—38
	Yhteensä — Total	26 390	

matta korkeimmat keskikerroksessa (taulukko 2). Muokkauskerroksen viiden maalajiryhmän rikin pitoisuuden keskiarvot rajoittuivat 33 ja 56 mg:n välille. Sensijaan keskikerroksessa maalajien väliset erot rikin pitoisuudessa olivat toista luokkaa. Kun saraturpeissa oli rikkiä keskimäärin vain 34 mg, oli liejuissa peräti 1 379 mg. Myös liejusavien (26 kpl) keskiarvo 422 mg viittaa erittäin selviin sulfaattimaihin.

Pohjamaiden keskimääräiset sulfaattirikin määrät jäävät hiesuryhmää lukuunottamatta keskikerroksen vastaavien arvojen alapuolelle, ja suhteellinen ero oli suurin liejuryhmän keskiarvojen 721 ja 1 379 mg/l välillä. Näytteiden rikin pitoisuuksien hajonta oli maalajiryhmienkin sisällä varsin suuri. Pintamaihin sisältyi jokaisessa maalajiryhmässä näytteitä, joiden rikin pitoisuus todettiin käytetyllä menetelmällä nolaksi, sensijaan kaikissa keskikerrok-

Taulukko 2. Maalajien ominaisuudet eri kerroksissa (keskiarvot ja sulkeissa keskihajonta).
 Table 2. Properties of soil types in different layers (means, and standard deviations in parenthesis).

Maalaji — Soil type	kpl Number of samples	pH(H ₂ O)	Johtoluku Conduc- tivity	mg/l maata — mg/l of soil						
				SO ₄ -rikki SO ₄ -sulphur	Ca	K	Mg	Fe	Al	Mn
PINTAMAA — SURFACE										
Hiedat — Finesand	66	5.5 (0.4)	1.4 (0.8)	35 (43)	1178 (715)	123 (93)	147 (78)	100 (71)	158 (77)	13 (6)
Hiesu — Silt	11	5.1 (0.4)	1.8 (1.3)	33 (34)	932 (476)	131 (69)	139 (71)	141 (104)	178 (71)	12 (6)
Savet — Clays	16	5.2 (0.4)	2.1 (1.2)	56 (52)	1303 (612)	131 (83)	160 (77)	148 (66)	190 (63)	23 (19)
Multamaa — Mould	104	5.2 (0.4)	2.0 (1.3)	53 (84)	1386 (722)	107 (97)	194 (131)	190 (117)	226 (93)	24 (13)
Saraturve — Carex peat	23	5.0 (0.3)	2.2 (1.2)	56 (61)	1669 (646)	55 (26)	228 (115)	202 (111)	179 (51)	26 (14)
	220									
KESKIKERROS — SUBSURFACE										
Hiedat — Finesand	43	4.9 (0.9)	1.5 (2.0)	146 (204)	358 (381)	48 (34)	117 (108)	181 (185)	127 (89)	7 (8)
Hiesu — Silt	57	5.1 (0.8)	1.3 (2.0)	116 (243)	897 (585)	83 (30)	316 (184)	215 (212)	114 (84)	12 (16)
Savet — Clays	62	4.7 (0.8)	1.8 (1.7)	193 (189)	664 (636)	140 (72)	303 (251)	264 (164)	179 (110)	14 (12)
Liejusavi — Gyttja clay	26	3.9 (0.5)	3.4 (2.0)	422 (308)	215 (259)	133 (66)	146 (161)	561 (218)	201 (82)	14 (16)
Lieju — Gyttja	7	3.9 (1.1)	11.0 (6.9)	1379 (954)	493 (322)	67 (43)	227 (113)	842 (588)	275 (131)	29 (21)
Saraturve — Carex peat	26	4.9 (0.3)	1.2 (0.8)	34 (47)	990 (406)	23 (11)	272 (138)	80 (59)	113 (79)	40 (28)
	221									
POHJAMAA — SUBSOIL										
Hiedat — Finesand	28	5.1 (0.7)	2.0 (2.7)	109 (169)	545 (279)	90 (68)	172 (127)	231 (158)	51 (32)	36 (33)
Hiesu — Silt	120	5.5 (0.7)	3.2 (3.5)	145 (208)	790 (267)	222 (128)	324 (185)	220 (113)	56 (39)	68 (50)
Savet — Clays	27	5.5 (0.5)	2.6 (2.3)	117 (132)	868 (219)	254 (92)	361 (441)	214 (97)	49 (15)	100 (47)
Liejusavi — Gyttja clay	29	5.8 (1.0)	7.8 (3.0)	369 (243)	943 (355)	340 (116)	533 (193)	245 (203)	58 (58)	71 (48)
Lieju — Gyttja	8	4.5 (0.9)	10.2 (4.3)	721 (476)	981 (183)	273 (165)	455 (240)	473 (438)	77 (44)	61 (29)
	212									

sen ja pohjamaan liejusavissa ja liejuissa todettiin rikkiä vähintään 20 mg/l. Pintamaiden korkein arvo 490 mg oli multamaassa, keskikerroksen 2 450 mg ja pohjamaiden 1 500 mg liejuissa. Yli 1 000 mg rikkiä oli kuudessa keskikerroksen maanäytteessä, joista viisi oli liejua ja yksi liejusavi. Näistä näytteistä viisi oli otettu korkeustasolta 36—47 metriä mpy. ja yksi, aineiston korkeinta arvoa edustava näyte, 90 metrin tasolta Haasjärven peltokuiviosta.

Kivennäismaiden näytteet ryhmiteltiin taulukossa 3 näytteenottokohdan korkeuden merenpinnasta mukaan, jolloin todettiin että pintamaan sulfaattirikkipitoisuuksissa ei ollut kovin suuria eroja korkeustason suhteen. Sensijaan keskikerroksen näytteiden keskimääräinen rikkipitoisuus oli korkeustasoilla 0—39 m noin 340 mg, korkeustasoilla 40—59 m noin 134 mg sekä korkeustasoilla 60—79 m ja yli 80 m enää 40 ja 31 mg. Syvimmän näyteryhmän keskimääräiset pitoisuudet olivat korkeustasoilla 40—59 m ja 60—79 m selvästi suuremmat kuin keskikerroksen vastaavat pitoisuudet, mutta yli 80 m:n tasolla pitoisuus-eroja ei ollut minkään kerrosten välillä.

Taulukko 3. Keskimääräiset sulfaattirikkipitoisuudet kivennäismaissa eri korkeustasoilla
Table 3. The average contents of sulphate-S in mineral soils on the various high levels.

Näytepaikan korkeus merenpinnasta <i>Metres above the sea level</i>	Syvyys — <i>Depth</i> 0—20 cm		Syvyys — <i>Depth</i> 50—70 cm		Syvyys — <i>Depth</i> > 100 cm	
	kpl	SO ₄ -S	kpl	SO ₄ -S	kpl	SO ₄ -S
	<i>number</i>	<i>mg/l</i>	<i>number</i>	<i>mg/l</i>	<i>number</i>	<i>mg/l</i>
0—19 m	16	48	35	339	33	275
20—39 m	13	48	49	343	48	208
40—59 m	20	44	37	134	42	281
60—79 m	10	24	12	40	11	149
80 m—	34	31	55	31	70	30

Rauta. Pintamaiden helppoliukoinen rauta lisääntyi hietamaista hiesu- ja savimaihin päin, ja näistä edelleen eloperäisiin maihin päin ollen saraturpeilla keskimäärin kaksinkertainen (202 mg/l) hietamaihin verrattuna. Keskikerroksen saraturpeen arvo oli vain 80, mutta muiden maalajiryhmien keskiarvot pintamaiden arvoja suuremmat. Tämän kerroksen Fe-arvo oli erityisen korkea liejusavilla (561 mg) sekä liejuilla (842 mg). Yksittäisen liejunäytteen huippuarvo nousi jopa 1 652 mg Fe/l maata. Pohjamaiden Fe-arvoissa ei maalajien välillä yleensä ollut merkittäviä eroja lukuunottamatta liejun muihin nähden kaksinkertaista arvoa (473 mg).

Alumiini. Pintamaan alumiinin pitoisuudet olivat eri maalajeilla saraturvetta lukuunottamatta hiukan raudan pitoisuuksia suurempia. Sensijaan keskikerroksessa tilanne oli juuri päinvastainen, vain saraturve sisälsi rautaa alumiinia enemmän. Liejusavessa raudan määrä oli 2.5- ja liejussa 3-kertainen alumiinin määrään verrattuna. Pohjamaassa tilanne on muuttunut vielä jyrkemmäksi, niin että kaikissa maalajiryhmissä alumiinin määrä edustaa enintään neljättä osaa raudan määrästä.

Mangaani. Muokkauskerroksen ja 50–70 cm:n kerroksen maalajittaiset Mn-keskiarvot olivat keskenään jotakuinkin samaa luokkaa, mutta syvimmän tutkitun kerroksen selvästi näitä korkeampia. Eloperäisten maiden, kuten muokkauskerroksen turpeiden ja multamaiden sekä 50–70 cm:n kerroksen turpeiden ja liejujen mangaanin pitoisuudet ylittivät keskimäärin vastaavien kerrosten kivennäismaiden pitoisuudet. Kaikissa maalajiryhmissä esiintyi pitoisuuksissa laajaa hajontaa. Korkeimmat arvot muokkaus- ja keskikerroksessa jäivät alle 100 mg:n, mutta nousivat pohjamaassa kaikissa maalajiryhmissä yli sen, suurimman arvon ollessa hiesulla 432 mg Mn/l maata. Pohjamaan 27 savinäytteen keskiarvokin ylti 100 mg:aan.

Paljon rikkiä sisältävät maat sisälsivät myös mangaania enemmän kaikissa kerroksissa, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee:

		Mn mg/l maata	
		S < 100 mg/l	S > 100 mg/l
Pintamaa	kivennäismaat	13	20
	turpeet	23	38
Keskikerros	kivennäismaat	9	14
Pohjamaa	kivennäismaat	58	94

Kalsium, kalium ja magnesium. Kalsiumin, kaliumin ja magnesiumin keskimääräiset pitoisuudet vaihtelivat muokkauskerroksessa maalajien välillä melko vähän ja odotettuun suuntaan edustaen viljelyä ajatellen tyydyttävää ravinnetilaa. Keskikerroksen liukoiset Ca-, K- ja Mg-määrät olivat maalajiryhmittäin keskimäärin vähäisemmät kuin pohjamaassa, etenkin liejusavi- ja liejuryhmissä erot olivat huomattavat. Varsinkin pohjamaan magnesiumipitoisuuksia voidaan pitää yllättävän korkeina.

Kemiallisten ominaisuuksien vuorovaikutukset

Keskikerroksen aineistosta lasketut suoraviivaiset riippuvuussuhteet (taulukko 4) osoittavat, että maan vesi-pH oli sitä alhaisempi mitä enemmän maa sisälsi sulfaattirikkiä, helppoliukoista rautaa tai alumiinia, jotka taas olivat positiivisessa vuorosuhteessa keskenään. Maalajiryhmittäin asiaa tarkasteltaessa rikin ja alumiinin sekä raudan ja alumiinin välillä ei tilastollisesti merkitsevää vuorosuhdetta kuitenkaan esiintynyt liejusaviryhmässä. Mitä korkeampi oli maasta mitattu johtoluku sitä alhaisempi oli maan pH-arvo. Edellä todetun johdonmukaisena seurauksena havaitaan sekä rikin että raudan ja alumiinin määrän olevan erittäin merkitsevällä tilastollisella varmuudella kaikissa maalajiryhmissä positiivisessa vuorosuhteessa johtolukuun jälleen liejusaviryhmää lukuunottamatta.

Taulukosta 5 havaitaan, että hieta- ja hiesuryhmissä maan sulfaattirikin pitoisuus näyttää selvittävän suuremman osan maan pH:n vaihteluista kuin rauta- tai alumiinipitoisuus. Savi- ja liejuryhmissä sitä vastoin Fe-pitoisuuden selvitys-% on suurempi kuin rikin tai alumiinin, ja alumiinikin näyttää selvittävän savi- ja liejuryhmissä enemmän pH:n vaihtelusta kuin rikki.

Taulukko 4. Korrelaatiokertoimet pH:n, SO₄-rikin, raudan, alumiinin ja johtoluvun välillä keskikerroksen eri maalajiryhmissä.

Table 4. The correlation coefficients for the relation between pH(H₂O), SO₄-sulphur, iron, aluminium and conductivity of different soil types in subsurface layer.

	Hieno hieta <i>Finer fine sand</i>	Hiesu <i>Silt</i>	Savet <i>Clays</i>	Liejusavi <i>Gyttja clay</i>	Lieju <i>Gyttja</i>	Kaikki <i>All material</i>
	26 kpl <i>samples</i>	57 kpl <i>samples</i>	62 kpl <i>samples</i>	26 kpl <i>samples</i>	7 kpl <i>samples</i>	194 kpl <i>samples</i>
r S/pH	-0.90***	-0.75***	-0.77***	-0.55**	-0.96***	-0.68***
r S/Fe	+0.92***	+0.87***	+0.68***	+0.35	+0.98***	+0.83***
r S/Al	+0.65***	+0.61***	+0.68***	+0.12	+0.82*	+0.55***
r S/johtoluku	+0.86***	+0.97***	+0.77***	+0.78***	+0.99***	+0.94***
<i>S conductivity</i>						
r Fe/pH	-0.84***	-0.73***	-0.82***	-0.58**	-0.90***	-0.76***
r Fe/Al	+0.61***	+0.60***	+0.81***	+0.30	+0.76*	+0.62***
r Fe/johtoluku	+0.73***	+0.85***	+0.67***	+0.11	+0.98***	+0.81***
<i>Fe conductivity</i>						
r Al/pH	-0.73***	-0.84***	-0.82***	-0.15	-0.79	-0.72***
r Al/johtoluku	+0.62***	+0.61***	+0.54***	-0.02	+0.76*	+0.51***
<i>Al conductivity</i>						
r pH/johtoluku	-0.79***	-0.75***	-0.61***	-0.48**	-0.96***	-0.66***
<i>pH conductivity</i>						

Taulukko 5. Keskikerroksen näytteiden pH-arvojen selvittyvyysprosentit S-, Fe- ja Al-pitoisuuksien perusteella.

Table 5. The coefficient of determination of pH on contents of S, Fe and Al (subsurface layer).

Maalaji — Soil type	Selvitys-% The coefficient of determination as per cents		
	S	Fe	Al
Hiedat — Finesand	88.3 %	82.3 %	74.5 %
Hiesu — Silt	86.3 »	66.0 »	74.4 »
Savet — Clays	69.4 »	74.6 »	72.3 »
Liejusavi — Gyttja clay	35.1 »	56.4 »	33.8 »
Lieju — Gyttja	68.7 »	86.7 »	80.7 »

Tulosten tarkastelu

Suomessa todetuista sulfaattimaasiintymistä sijaitsee suhteellisen suuri osuus Etelä-Pohjanmaan alueella. PUROKOSKEN (1959) suorittamassa rikkipitoisten maiden inventoinnissa kartoitettiin Suomesta n. 38 000 ha:n ala, josta puolet eli n. 19 000 ha sijaitsi juuri Kyrön-, Närpiön-, Laihian-, Vöyrin-, Munsalan- ja Lapuanjokien valuma-alueilla. Kun esillä olevassa tutkimuksessa todettiin pelkästään Kyrönjoen valuma-alueelta 26 000 ha rikkipitoisia viljelymaita, on näiden maiden osuus Etelä-Pohjanmaalla selvästi suurempi kuin mitä tutkimuksilla tähän mennessä on voitu osoittaa.

Tutkimuksessa analysoitu sulfaattirikki edustaa vain osaa maanäytteiden sisältämästä rikistä, mutta sulfaattimuodossa olevan rikin tiedetään kuitenkin muodostavan pääosan, noin 90 %, luonnossa aerobisessa tilassa esiintyvän maan epäorgaanisen rikin kokonaismäärästä, kuten PUROKOSKI (1956) on osoittanut. Pohjamaasta anaerobisesta tilasta otetuissa näytteissä epäorgaaninen rikki on alunperin esiintynyt suurelta osin sulfidimuodossa, mikä maanäytteiden kuivussa hapettuu mahdollisten alkuaine- ja sulfiittirikkipitoisuuksien kautta loppujen lopuksi sulfaattirikiksi (WIKLANDER, HALLGREN ja JANSSON 1950, PUROKOSKI 1958, RASMUSSEN 1961).

Aineiston muokkaukskerroksen näytteiden SO_4 -rikin pitoisuus on selvästi korkeampi kuin suomalaisissa viljelymaissa yleisesti. KORKMAN (1973) sai samalla uuttoneesteellä 22 hiekka- ja hietamaanäytteen rikin keskiarvoksi 7 mg, 15 savimaanäytteen 8 mg ja 14 turve- ja multamaanäytteen niin ikään 8 mg S/l maata, kun tässä aineistossa vastaavien maalajiryhmien keskiarvot olivat 35, 65 ja 54 mg/l. PUROKOSKEN (1959) inventoimien rikkipitoisten alueiden maat Etelä-Pohjanmaalla sisälsivät 40–60 cm:n kerroksessa rikkiä aineiston pääosassa 500–2 500 mg/l maata, jolle tasolle tässä aineistossa vastaavan kerroksen näytteistä ylti vain 42 sulfaattimaa-alueita edustavista 92 näytteestä.

Eri korkeustasoilta merenpinnasta otettujen näytteiden keskimääräiset sulfaattirikkipitoisuudet viittasivat siihen, että sulfaattirikkiä on aikaa myöten huuhtoutunut pintamaasta pois, ja että yli 80 m:n tason näytteissä sitä ei normaalia runsaammin ole ilmeisesti ollutkaan. Eniten rikkiä sisältäneet maat sijoittuivat 60 metrin korkeustason alapuolelle, missä laajimmat rikkipitoisten maiden esiintymätkin sijaitsevat.

Keskikerroksen erittäin alhainen pH-arvo ilmentää aineistolle tyypillisten sulfaattimaiden ominaisuutta. Tässä kerroksessa epäorgaaninen rikki on pääosaltaan hapettunut sulfaatiksi. Sulfaattimaan pH laskee maan kuivatamisen jälkeen selvästi alle pH 5:n, usein jopa lähelle pH 3:a (KIVINEN 1938). Näin alhainen pH-arvo johtuu lähinnä hapetustapahtuman yhteydessä syntyvästä vapaasta rikkihaposta.

Monet esillä olevan tutkimuksen sulfidimaatyypisistä, pohjaveden pinnan alapuolelta otetuista näytteistä antoivat kuukauden kuivatuksen jälkeen jopa pH 7-luokkaa olevia arvoja, vaikka niiden rikkipitoisuus oli suhteellisen korkea. Tästä on HANNERZ (1934) todennut, että anaerobisessa tilassa olleen maan rautasulfidin hapettuminen rikkihapoksi tapahtuu vähitellen, ja että maanäytteiden nopeasti kuivussa, jolloin kosteana mustan maan väri muuttuu vaalean harmaaksi, edellyttää vain yhtälön $4\text{FeS} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe(OH)}_3 + 4\text{S}$ mukaista tapahtumaa. Maanäytteen kosteana pitäminen aerobisissa oloissa vasta saa hydrolyysi-ilmiön aikaan, ja täydellinen hapettuminen rikkihapoksi saakka pääsee tapahtumaan, jolloin mitattava pH vasta kuvaa sulfaattimaan pH:ta, kuten KIVINEN (1944) on kokeissaan todennut. Sulfidin hapettumisen jälkeenkään ei maan pH voi alentua kovin paljon silloin, kun maa sisältää käsiteltävän aineiston pohjamaakerroksessa todetussa määrin puskuvoivasti vaikuttavia kationeja kuten magnesiumia, kalsiumia ja kaliumia.

Maan elektrolyyttipitoisuutta ilmentävä johtoluku on sulfaattimaiden tunnistamisessa ehkä pH-arvoakin parempi suure, niinkuin taulukon 4 rikin ja pH:n sekä rikin ja johtoluvun välisistä korrelaatiokertoimista voidaan päätellä.

Johtoluku ilmaisee sekä kationien että anionien yhteismäärän, joita molempia suolamaihin kuuluvat sulfaattimaat sisältävät runsaasti. Koska meillä Suomessa ei käytännöllisesti katsoen ole alkaalisuolamaita, voidaan kaikki keskikerroksen poikkeuksellisen korkean johtoluvun omaavat maat lukea happamien sulfaattimaiden ryhmään.

Tutkitut maat ovat yleisesti sisältäneet runsaasti liukoista rautaa myös muokkauskerroksessa. Saadut arvot ovat kaksin-kolminkertaisia SILLANPÄÄN ja LAKASEN (1966) eri puolilta Suomea otettujen lähes 500 maanäytteen vastaaviin maalajittaisiin keskiarvoihin verrattuina. Molemmissa aineistoissa todettiin eloperäisten maiden Fe-pitoisuudet kivennäismaiden pitoisuuksia korkeammiksi.

Alumiinin määrityksiä on tehty suomalaisista maista tässä käytetyllä uuttomenetelmällä hyvin vähän, mutta MÄKITIEN (1968) pintamaanäytteistä (30 kpl) saama keskiarvo 1.75 mekv Al/100 g maata, mikä vastaa n. 158 mg Al/l maata, jää alle tämän aineiston pintamaiden keskiarvoa 196 mg.

Paitsi rautaa ja alumiinia totesi Pohjois-Ruotsin alunamaita jo 1920-luvulla tutkinut HANNERZ (1934) niiden sisältävän runsaasti myös mangaania. SILLANPÄÄN ja LAKASEN (1966) aineiston suomalaisissa maissa oli liukoista mangaania keskimäärin 24.7 mg/l, mitä tasoa tässäkin tutkimuksessa saadut pintamaan arvot edustavat. Sen sijaan pohjamaiden todetaan sisältäneen HANNERZIN väitteen mukaisesti varsin runsaasti mangaania.

Tiivistelmä

Kyrönjoen valuma-alueelta kartoitettiin n. 26 000 ha viljelymaata sulfaattimaiksi, mikä on 19 % koko viljelyalasta. Pääosa (80 %) todetuista sulfaattimaista sijoittui korkeustasolle 15–45 m merenpinnasta.

Yli 600 maanäytteestä, jotka oli otettu muokkauskerroksesta, 50–70 cm:n kerroksesta ja pohjavedenpinnan alapuolelta tutkittiin rikki-, kalsium-, magnesium-, kalium-, rauta-, alumiini- ja mangaanipitoisuudet sekä pH-arvo ja johtoluku. Paitsi rikkiä todettiin maiden sisältävän rautaa, alumiinia ja pohjamaakerroksessa myös mangaania runsaammin kuin suomalaisissa maissa yleensä. Näiden maiden pH-arvo oli normaalia alhaisempi ja johtoluku taas tavanomaista korkeampi.

Aerobisen keskikerroksen (50–70 cm) korkeimmat keskimääräiset rikki-, rauta- ja alumiinipitoisuudet sekä korkein johtoluku ja alhaisin pH-arvo todettiin lieju- ja liejusaviryhmien maissa. Keskimääräiset mangaanipitoisuudet olivat korkeimmat anaerobisissa pohjamaanäytteissä.

Maan keskikerroksen pH-arvo oli sitä alhaisempi mitä enemmän maa sisälsi rikkiä, rautaa tai alumiinia. Rauta ja alumiini olivat selvässä positiivisessa vuorosuhteessa keskenään. Maan johtoluku nousi rikki-, rauta- tai alumiinipitoisuuden kasvaessa. Johtoluvun kasvaessa maan pH-luku aleni.

Kiitokset. MML Sylvi Soini suoritti maanäytteiden oton ja sulfaattimaiden rajaukset kartoille ja FM Tauno Tares tarkisti sulfaattirikin määrittymenetelmän sekä valvoi analyysien suoritukset Maantutkimuslaitoksella. Heidän osuudestaan tutkimuksessa lausun parhaat kiitokseni.

- AARNIO, B. 1924. Über Salzböden (Alaunböden) des humiden Klimas in Finnland. *Comptes Rendus Conf. Extraordinaire Agropédologique à Prague 1922*. p. 186–192. Prague.
- » — 1927. Etelä-Pohjanmaa. *Agrogeologia karttoja* N:o 5. 83 p. Helsinki.
- ANON. 1973. Selvitys Kyrönjoen edustan merialueen kalakuolemien syistä. *Vesihallitus, Vaasan vesipiiri*. 101 p.
- BRINKMAN, R. & PONS, L. J. 1973. Recognition and prediction of acid sulphate soil condition. *Intern. Inst. Land Reclamation Improvement. Publ. 18. Vol. 1: 169–203*.
- FROSTERUS, B. 1914. Zur Frage nach der Einteilung der Böden in Nordwest-Europas Moränen-gebieten V. *Geol. Komm. Finland Geotekn. Medd.* 14: 1–124.
- HANNERZ, E. 1934. Om så kallade alunajordar. 25 p. Luleå.
- KAWALEC, A. 1973. World distribution of acid sulphate soils. *References and Map. Intern. Inst. Land Reclamation Improvement. Publ. 18. Vol. 1: 292–295*.
- KEVIE, W. van der. 1973. Physiography, classification, and mapping of acid sulphate soils. *Intern. Inst. Land Reclamation Improvement. Publ. 18. Vol. 1: 204–221*.
- KIVINEN, E. 1938. Untersuchungen über die Eigenschaften der Gytjtjeböden. *Agrogeol. Julk.* 48: 1–36.
- » — 1944. Aluna- eli sulfaattimaista. *Maatal. tiet. Aikak.* 16: 147–160.
- KORKMAN, J. 1973. Sulphur Status in Finnish cultivated soils. *Selostus: Suomen viljelysmaiden rikkitiä. Maatal.tiet. Aikak.* 45: 121–215.
- LAAKSONEN, R. 1970. Vesistöjen veden laatu. *Summary: Water quality in the water systems. Soil and Hydrotechn. Inv.* 17: 1–132.
- MÄKITIE, O. 1968. Aluminium, extractable from soil samples by the acid acetate soil testing method. *Selostus: Maan alumiinin liukenemisesta viljavuusanalyysin happamaan ammoniasetaattiliuokseen. Maatal.tiet. Aikak.* 16: 147–160.
- OKKO, M. 1967. The relation between raised shores and present land uplift in Finland during the past 8 000 years. *Ann. Acad. Sci. Fenn. A III. Geologica-Geographica* 93: 1–59.
- PUROKOSKI, P. 1956. Förekomst och föreningar av svavel in gytjtjalera. *Nord. Jordbruksforsk.* 38: 263–266.
- » — 1958. Die schwefelhaltigen Tonsedimente in dem Flachlandgebiet von Liminka im Lichte chemischer Forschung. *Selostus: Limingan tasankoalueen rikkipitoiset savisedimentit kemiallisen tutkimuksen valossa. Agrog. Publ.* 70: 1–88.
- » — 1959. Rannikkoseudun rikkipitoisista maista. *Referat: Über die schwefelhaltigen Böden an der Küste Finnlands. Agrog. Publ.* 74: 1–27.
- RASMUSSEN, K. 1961. Uorganiske svovlforbindelsers omsætninger i jordbunden. *Summary: Transformations of inorganic sulphur compounds in soil.* 175 p. København.
- RICKARD, D. T. 1973. Sedimentary iron sulphide formation. *Intern. Inst. Land Reclamation Improvement. Publ. 18. Vol. 1: 28–63*.
- SILLANPÄÄ, M. & LAKANEN, E. 1966. Readily soluble trace elements in Finnish soils. *Selostus: Liukoisista hivenaineista Suomen maalajeissa. Ann. Agric. Fenn.* 5: 298–304.
- WIKLANDER, L., HALLGREN, G. & JONSSON, E. 1950. Studies on gytjtja soils. III. Rate of sulfur oxidation. *Kungl. Lantbr.högsk. Ann.* 17: 425–440.
- VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Selostus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmästä. Agrogeol. Publ.* 63: 1–44.