

## Raskasmetallit ravintokasveissa ja maassa

J. E. HÄRDH

Helsingin yliopiston puutarhatieteen laitos

### The heavy metals in alimentary crops and in soils

J. E. HÄRDH

Institute of Horticulture, University of Helsinki, Viik, Helsinki 71, Finland

**Abstract.** The contents of Pb, Cd, Hg, Cu, Zn, Mn, V, As and S were studied on three vegetables cultivated at different distances from polluting sources and in «clean» background areas without industry, housing or heavy traffic. The plants were lettuce, spinach and carrot. The usual forest-grown native alimentary berries of *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, and mushrooms of the genera *Boletus* and *Cantharellus*, not far from the test plots, were likewise studied. At the same points ley grass and soil analyses were performed. Fertilizing experiments, and rinsing tests on the contents of lettuce, spinach and carrot were also made.

The test plots were on known distances from polluting industrial plants, the soil types, the soil pH/CaCl<sub>2</sub>, and the distances from the sources are given. The heavy metals were extracted with HNO<sub>3</sub> conc., As was analyzed using colorimetric determination, and S gravimetrically.

The background level of lead contents in soil was from 2.5 to 8.9 mg/kg of dry matter. The contents of lettuce, spinach, and of carrot grown at same soils were 0.15–3.58, 0.75–2.19, and 0.31–1.74 mg/kg d-m. The highest contents on soil, lettuce, spinach, and carrot were correspondingly, 187.1–999.7, 5.50–198.75, 3.65–52.60 and 0.25–0.65 mg/kg d-m. The lead on mushrooms in polluted localities was abundant, max. 149.9 mg/kg d-m.

It is evident that the soils with high organic matter contents had higher levels of Pb than soils of the same locality with lower organic matter contents. The soil pH did not markedly affect the contents of crops.

The cadmium content of the soil varied from 0.01 to 0.69 mg/kg d-m., and the zinc content from 8.4 to 1301.3 mg/kg d-m. The highest levels were seen in the city areas. The background levels of Cd were 0.01–0.05, and of Zn 21.3–40.2 mg/kg d-m. Lettuce had the highest metal contents of the vegetables tested, as had mushrooms of the native plants. Liming diminished the Cd content of lettuce, K and Mg fertilization did not have any effect. The rinsing of lettuce by dipping it five times in water reduced the Cd content by 44 %. The zinc level of grass was high, 23.7–211.6 mg/kg d-m.

The mercury contents of the cultivated soils varied from 0.03 to 0.86 mg/kg d-m., of forest soils from 0.04 to 0.09 mg/kg d-m. No marked differences could be seen in the Hg contents of the different plant species studied. The highest levels were in the polluting areas.

The background level of *copper* in the soil was 4.6–17.7 mg/kg. The highest levels were noted in the vicinity of a copper mine and in the immission areas. Lettuce and spinach had higher contents than carrot, mushrooms the highest of all the plants studied.

The highest *arsenic* levels in the soil were close to industrial sources and alongside main roads, the contents varied from 0.47 to 10.80 mg/kg d-m. The As content of lettuce was 0.11–2.68, of spinach 0.95–1.75, of carrots 0.09–2.90, of berries 0.15–0.61 and of mushrooms 0.20–0.95 mg/kg d-m. Grass contained high As in some areas.

The contents of total *sulphur* are given. The Mn and V contents were also studied in some localities.

Maahan ja kasveihin voi joutua raskaita metalleja ja niiden kaltaisia aineita 1. epäpuhtauksina lannoitteiden mukana, 2. hivenravinneseoksissa, 3. karjanlannassa, johon karjan ravintoon lisätyt hivenmetallit ovat keräytyneet, 4. kasvinsuojeluaineissa, 5. viemäriletteen mukana, sekä 6. teollisuudesta, taajamista ja moottoriliikenteestä peräisin olevina laskeumina. Lisäksi on osa näistä aineista peräisin peruskallion ja maan »luontaisesta» pitoisuudesta sekä globaalista saastunnasta. Kun monien raskasmetallien ja niiden yhteydessä leviävien ja vaikuttavien ei-metallien määrät ympäristössä näyttävät ihmisen toiminnan ansiosta lisääntyvän, on tarpeen tehdä tutkimusta ja seuranta saastepitoisuuksien kartoittamiseksi.

Ravintokasvien saastepitoisuuksista on Suomessa olemassa yksittäistietoja, ja muista maista tietoja eräiden tutkimuslaitosten alueellaan suorittamien selvitysten tai kansainvälisten työryhmien kokoamien lukujen perusteella (DISSING 1972, KLOKE 1972, VETTER et al. 1973, BOUQUIAUX 1973, ØDELIEN 1974, McLEAN 1976 etc.) Maan metallipitoisuuksia on Pohjoismaissa selvitetty useilla paikkakunnilla (LÅG 1972, HVATUM 1972, ERVIÖ & LAKANEN 1973, RAUTAPÄÄ 1973 etc.), mutta alueellista vertailevaa tutkimusta ravintokasvien ja niiden kasvualustan pitoisuuksista ei maassamme ole tähän mennessä olemassa. Tämän selvityksen tarkoituksena on määrittää eräiden teollisuuskeskusten, asutustaajamien ja liikenneväylien vaikutusta ravintokasvien ja niiden kasvupaikan raskasmetallien ja niiden tavoin esiintyvien aineiden pitoisuuksiin. Lisäksi oli vertailukohteina vastaavia määrityksiä »puhtaiksi» oletetuilta alueilta eri osissa Suomea. Tutkimus suoritettiin vuosina 1974–1976 osittain Suomen Akatemian myöntämin määrärahoihin. Koeruutujen hoidosta sekä näytteiden otosta ja lähettämisestä huolehtivat Suomen 4H-liiton ja Finlands Svenska 4H:n toimihenkilöt sekä kokeidenhoitajat. Analyysityö tapahtui Viljavuuspalvelu Oy:ssä Helsingissä.

## Aineisto

Kaikkiaan 52:lle paikkakunnalle perustettiin 3 × 3 m koealat, jotka lannoitettiin tarkoin samalla tavalla (11–25–22 seosta 500 kg/ha + pintalannoitteena Oulun salpjetaria 70 kg/ha) ja kylvettiin niihin samaa lajiketta olevat kaistat salaattia cv 'Market Favorite', pinaattia cv 'Medania' ja porkkanaa cv 'Fancy'. Samalla annettiin avustaville henkilöille ohjeet ja pakkaukset näytteiden ottamista ja lähettämistä varten. Kutakin kasvia otettiin kaksi rinnakkaisnäytettä niidon tavanomaisessa korjuuvaiheessa, niiden ravintona käytettävät osat pestiin juoksevassa vedessä ja lähetettiin labora-

torioon. Kasvien kasvupaikalta otettiin kaksi maanäytettä ruokamultakerroksesta 0—15 cm:n syvyydestä. Lisäksi kerättiin kulloinkin läheisimmästä metsästä kaksi rinnakkaista puolukka-, mustikka-, sieni- ja metsämaanäytettä. Sienet olivat joko tatteja tai keltavahveroita. Eräillä koepaikoilla otettiin vielä kaksi rinnakkaista laidunruohonäytettä.

Tikkurilassa, Karlebyssä, Halkokarissa, Vihdissä, Orimattilassa ja Ilo-mantsissa järjestettiin lannoituskokeet tarkoituksena selvittää kalkituksen (6000 kg/ha), kaliumsulfaatti- (600 kg/ha) ja magnesiumsulfaattilannoituksen (1578 kg/ha) vaikutusta kasvien raskasmetallipitoisuuksiin. Lisäksi suoritettiin saasteisilla koepaikoilla Tikkurilassa ja Halkokarissa pesukokeet, joissa selvitettiin juoksevassa vedessä sekä viidesti upottamalla tapahtuvan pesun vaikutusta salaatin pitoisuuksiin. Mainituista paikkakunnista Ilo-mantsi oletettiin puhtaaksi »taustapaikkakunnaksi», muut teollisuuden tai liikenteen vaikutuksen alaisiksi. Lannoitus- ja pesukokeista, kuten muuallakin, otettiin kasveista ja maasta kaksi rinnakkaisnäytettä.

## Menetelmät

Maanäytteistä määritettiin maalaji, orgaanisen aineksen pitoisuus, pH  $\text{CaCl}_2$ -uutteesta,  $\text{HNO}_3$ :hon liukoiset ainepitoisuudet sekä lannoituskokeista maan johtoluku vesiuutteesta 1:2.5. Sekä maasta että kasveista ilmaistaan metalli- ja As-pitoisuudet mg/kg kuiva-aineesta, rikin pitoisuus g/kg k-a.

*Mn, Cu, Zn.* Maa- ja kasvinäytteet: 10 g:n näytteen kuivapoltto  $550^\circ$ :ssa, uutto 10 ml:ssa kiehuvaan 5 %  $\text{HNO}_3$  + 2 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$ , määrittäminen AAS Perkin Elmer 303:lla käyttäen liekki-ilmaisinta.

*Pb ja Cd.* Kuten edellä, mutta käyttäen AAS:ssa grafiittikyvetä (Statens Lantbrukskemiska Laboratorium 1974).

*V.*  $\text{HNO}_3$ -uutteen konsentroidi käyttäen pyrrolidini-ditiokarbamaatti-happoa, määrittäminen AAS:lla liekki-ilmaisinta käyttäen (LAKANEN 1966).

*As.* Kolorimetrinen määrittäminen, mikä perustuu hopeadietyliditiokarbamaatin värjäytymiseen  $\text{AsH}_3$ :lla (Official Methods of Analysis 1965: 356).

*Hg.* Uutto kylmänä  $\text{HNO}_3$  conc:  $\text{CrO}_3$  5 % (2:10), analyysi AAS:lla ilman liekki-ilmaisinta (BOUCHARD 1973).

*S* määritettiin gravimetrisesti  $\text{BaSO}_4$ -sakkana (Official Methods of Analysis 1965: 106).

## Tulokset

*Lyijy Pb.* Ravintokasvien lyijypitoisuuksista on eri maista lukuisia tietoja olemassa. OECD:n suorittaman kiertokyselyn mukaan (BOUQUIAUX 1973) on Saksan Liittotasavallassa havaittu lyijyä keräkaalissa 0.03—9.7 ( $\pm 1.2$ ) mg/kg tp., Belgiassa 0.12—0.14 ( $\pm 0.13$ ) ja Englannissa 0.01—0.51 ( $\pm 0.08$ ). Salaatissa on Saksassa mitattu 0.16—6.00 ( $\pm 1.04$ ), pinaatissa 0.01—0.95 ja porkkanassa 0.02—0.23 ( $\pm 0.07$ ) mg/kg tp. Paikkakuntaa tai etäisyyttä saastelähteestä ei näissä tapauksissa ole ilmoitettu. Nordenhamin alueella 70 vuotta paikkakunnalla toimineen lyijynjalostustehtaan lähellä on mitattu 1

km:n etäisyydellä tehtaasta salaatissa 27–198, keräkaalissa 12–41 ja viljelymaassa 729–3410 mg/kg k-a., 3 km:n etäisyydellä tehtaasta länteen, pääasiallisen tuulen suuntaan, vastaavasti 12–25, 11–20 ja 175–190 mg/kg k-a. Salaatin pesu vähensi lyijypitoisuutta 38–63 %:lla (VETTER et al. 1973). Maailman terveysjärjestön WHO:n ehdottama enimmäisraja lyijylle ihmisellä on 3–4 mg/vk. Suomessa ovat ERVIÖ ja LAKANEN (1973) todenneet Tikkurilassa 0–490 m:n päässä lyijytehtaasta liukoista Pb maassa 53–985 mg/l ja 8–33 km:n päässä 2–10 mg/l. Suomessa on todettu peltomaiden keskimääräiseksi kokonaislyijypitoisuudeksi 16 mg/kg, kivennäismailla 6–60 ja eloperäisillä mailla 0–40 mg/kg. WARNUSZ (1973) totesi Saksassa maassa ruokamultakerroksessa lyijyä 65 m:n päässä vilkkaasti liikennöidystä moottoritiestä (75000 autoa/vrk) 67 mg/kg ik. painoa, 120 m:n päässä siitä 17 mg/kg. PURVES (1972) havaitsi Skotlannissa kaupunkitarhamaassa 11.2 mg/kg ik. Pb ja maaseudulla peltomaassa 0.65 mg/kg ik. Dano-kompostissa siellä oli 215 mg/kg Pb. Norjassa on alueita, joilla korkean luontaisen lyijypitoisuuden (2.5 %) vuoksi ei ole mitään kasvillisuutta (LÅG 1972). Myös lukuisia muita tutkimuksia on julkaistu teollisuuslaitosten, taajamien sekä moottoriajoneuvoliikenteen levittämän Pb-saasteen määristä.

Tämän tutkimuksen puitteissa todettiin koepisteissä eri puolilla maata suuria eroja happoliukoisien lyijyn pitoisuuksissa. »Puhtaina» tausta-alueina pidetyillä paikkakunnilla Pertunmaan Laukkalan kylässä (koepaikka n:o 8), Punkasalmella (n:o 9), Puumalassa (n:o 10), Kaustisissa (n:o 27), Sallassa (n:o 29), Inarissa (n:o 31), Ilomantsissa (n:o 32), Rovaniemen mlk:ssa (n:o 45), Saarijärvellä (n:o 48) ja Maaningalla (n:o 51) olivat viljelymaan pitoisuudet 2.5–8.9 mg/kg k-a. Salaatin pitoisuuksina oli vastaavilla alueilla 0.15–3.58, pinaatin 0.75–2.19 ja porkkanan 0.31–1.74 mg/kg k-a.

Korkeimpia lyijypitoisuuksia havaittiin Tikkurilassa (n:o 2), Tuirassa (n:o 16) ja Viikinmäessä (n:o 44). Näissä kohdissa olivat viljelymaan pitoisuudet kolmen vuoden keskiarvolukuina 187.1–583.7 mg/kg, salaatin vastaavilla kohdilla 5.50–198.75, pinaatin 3.65–52.60 ja porkkanan 0.25–0.65. Todeetaan, että harvoja saastuneita kohtia lukuunottamatta, jotka sijaitsevat lähempänä kuin 5 km:n säteellä saastuttavasta teollisuuslaitoksesta tai välittömästi vilkasliikenteisen moottoritien varressa (n:o 44), olivat pitoisuudet maassamme keskimäärin alhaisempia kuin useat julkaistut tiedot Keski-Euroopasta. Luvut eri maista ovat kuitenkin vaikeasti toisiinsa verrattavissa saastuntaolosuhteiden ja analyysimenetelmien erilaisuudesta johtuen. Metsästä kerätyistä ravintokasveista olivat puolukan Pb-pitoisuudet hieman mustikan pitoisuuksia alhaisemmat, sienten korkeimmat, jopa 149.9 mg/kg k-a (n:o 2). Viljelykasveista salaatin pitoisuudet olivat korkeimmat. Vaikka pitoisuudet eri koelajoilla vaihtelivat suuresti, näyttivät ravintokasvien ja niiden kasvualustan lyijypitoisuudet olevan toisiinsa vuorosuhteessa.

Lannoituskokeiden tulokset kahden kerranteen keskiarvoina esitetään taulukossa 1. Milloin lannoittamattoman maan pH ylitti 6.0:n, ei kalkituksella ollut sanottavaa vaikutusta kasvien Pb-pitoisuuksiin, happamemmassa maassa Tikkurilassa sen sijaan oli. Pesukokeessa (taulukko 2) voitiin viidesti upottamalla veteen vähentää salaatin Pb-pitoisuutta 38 %:lla. Maan Pb-pitoisuuksissa eri etäisyyksillä Turun ja Lahden moottoriteistä ei ollut selvää liiken-

Taulukko 1. Viljelykasvien ja maan pitoisuudet lannoituskoikeissa v. 1974, mg/kg k-a, paitsi S g/kg k-a.  
 Table 1. The contents in plants and soil, in fertilizing tests in 1974, mg/kg d.m. except S in g/kg d.m.

Koe- ala No.	Paikka- kunta Locality	Koe- jäsen Treat- ment	Maan pH Jl and conduct- ivity of soil	Maan pitoisuudet — Soil							Pinaatti — Spinach							Porkkana — Carrot						
				Cd	Pb	Hg	As	S	Cu	S	Cd	Pb	Hg	As	S	Cu	S	Cd	Pb	Hg	As	S	Cu	
2	Tikkurila	0	5.1	1.3	.04	600.8	.07	1.04	19.1	.42	22.50	.18	2.28	13.0	.58	52.60	.04	3.52	6.0	.23	11.95	.14	.62	4.0
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5.0	2.9	—	—	—	—	1.09	17.11	—	—	2.42	8.7	.51	71.00	.06	4.14	2.5	.23	12.75	.15	.62	4.6
		MgSO <sub>4</sub>	4.7	7.6	—	—	—	—	.16	22.35	.07	—	2.35	13.1	.60	45.40	.08	5.73	3.3	.21	14.75	—	.73	4.2
25	Säka	0	6.9	5.4	.02	—	.20	2.3	—	.47	14.10	.15	2.24	13.2	.49	18.40	.05	4.42	10.8	.30	10.67	.13	.59	3.1
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	.39	—	.10	1.4	.33	—	.07	1.3	—	.07	—	.10	—	—
		MgSO <sub>4</sub>	—	—	—	—	—	—	—	.56	—	.08	2.0	—	.19	—	.12	0.8	—	.07	—	.10	0.8	—
32	Ilomantsi	0	6.0	1.4	—	7.1	.11	.20	8.5	.49	2.90	.08	1.83	7.1	.29	2.19	.06	4.42	6.6	.06	.51	.12	.62	3.1
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.5	1.4	—	—	—	—	—	—	3.54	.12	1.42	6.3	—	1.03	.05	4.31	6.1	—	.24	.10	.69	2.8
		MgSO <sub>4</sub>	6.2	1.6	—	—	—	—	—	—	1.40	.06	2.21	5.1	—	1.35	.06	4.59	5.6	—	.24	.06	.97	2.9
		CaCO <sub>3</sub>	6.5	1.8	—	—	—	—	—	3.11	.08	2.14	7.3	—	1.67	.06	5.56	4.7	—	.35	.13	.90	3.7	

Taulukko 2. Salaatin pitoisuudet pesukokeissa v. 1974, mg/kg k-a, paitsi S g/kg k-a.  
 Table 2. The contents of lettuce in tests on washing in 1974, mg/kg d.m. except S in g/kg d.m.

Koeala Plot No.	Paikkakunta Locality	Käsittely Treatment	Salaatti — Lettuce					
			Cd	Pb	As	Cu	Hg	S
3	Tikkurila	ei pesty <i>unwashed</i>	.35	5.3		13.0		2.4
		upotuspesu <i>dipped</i>	.19	3.3		15.2		2.1
		juokseva vesi <i>running water</i>	.23	4.9		32.5		2.5
21	Halkokari	ei pesty <i>unwashed</i>	.83		2.8		.099	
		upotuspesu <i>dipped</i>	.48		2.0		.081	
		juokseva vesi <i>running water</i>	.89		0.6		.257	

teen vaikutusta, sen sijaan lehtivihannesten pitoisuudet näyttivät olevan toisinaan korkeimmat tien reunasta 5 m:n päässä (taulukko 3).

Kadmium Cd ja sinkki Zn on viime vuosina todettu terveydelle haitalliseksi raskasmetalleiksi. Niiden määrät maassa saattavat lisääntyä teollisuuden ja moottoriliikenteen päästöjen johdosta sekä viemäriletteen ja lannoitteiden mukana. Fosfaattilannoitteiden Cd-pitoisuus johtuu raakafosfaatista, jossa sitä on 5–100 ppm (WILLIAMS & DAVID 1976). Suomessa on RAUTAPÄÄ (1973) todennut superfosfaatin Cd-pitoisuudeksi noin 1.9 ppm, mutta tämä saattaa vaihdella raakafosfaattilähteiden muuttuessa. Kun kasvien kadmiuminotto lisää myös niiden sinkinottoa, on näiden metallien yhteisvaikutus terveydelle haitallisena otettava huomioon (MCLEAN 1976).

Maan keskimääräinen taustapitoisuus Kanadassa on ollut 0.56 ppm Cd ja 53.5 ppm Zn sekä Saksassa 0.34 Cd ja 35.0 Zn (KLOKE 1972). Saksassa on 1 km:n etäisyydellä lyijytehtaasta todettu maassa ruokamultakerroksessa 40 ppm Cd ja 3000 ppm Zn sekä 6 km:n päässä tehtaasta 1.0 ppm Cd ja 90 ppm Zn (VETTER et al. 1973). Viemäriletteessä on Saksassa todettu 950 ppm k-a. kadmiumia (WARNUSZ 1973), Suomessa 2.4–710 ppm k-a. Suomessa on todettu maassa 0.01–0.7 ppm k-a. Cd ja viljakasveissa 0.01–1.0 ppm k-a. (Nylands sv. lantbr. sällsk. 1973).

Kadmiumin oletetaan korvaavan ihmisen luustossa kalsiumia ja siten akkumuloituvan ruumiiseen, sen sijaan sinkki erittyy nopeasti elimistöstä. WHO:n suosittelema toleranssiraja Cd:lle ravinnossa on 0.4–0.5 mg/viikko. Ihminen saa ravinnossaan sinkkiä esim. Norjassa 12–15 mg/pv, mutta huomattavan suuret määrät aiheuttavat akuutin myrkytystilan (ØDELIEN 1974). Saksassa on vihanneksissa todettu 0.03–0.32 ppm tp. Cd, salaatisissa Englannissa 0.04–5.70 ppm tp. Sinkkiä on vastaavasti Saksassa havaittu 3.70–17.25 ja Belgiassa vihanneksissa 0.70–6.50 ppm tp. (BOUQUIAUX 1973). Suomessa on jäkälässä todettu kadmiumia Ykspihlajassa 1.10 ppm k-a., Kokkolassa 0.94–1.06, Kaamasessa 0.43 ja Hetassa 0.05–0.38 ppm k-a. (JAAKKOLA et al. 1973).

Taulukko 3. Maan ja kasvien Pb- ja S-pitoisuudet moottoriteiden varrella.

Table 3. The contents of Pb and S on soil and plants alongside main roads.

Koela Plot No.	Koepaikka Locality	Etäisyys tien reunasta m Distance from road m	Salaatti— <i>Lettuce</i>		Pinaatti— <i>Spinach</i>		Porkkana— <i>Carrot</i>		Maa— <i>Soil</i>	
			Pb mg/kg	S g/kg	Pb mg/kg	S g/kg	Pb mg/kg	S g/kg	Pb mg/kg	S g/kg
	Lahdentie, Orimattila									
34		5	5.28	2.11	2.82	3.45	0.35	0.93	12.2	0.20
35		30	3.69	1.90	1.34	3.07	0.55	0.77	13.5	0.21
36		100	2.13	2.04	1.99	1.62	0.31	0.70	12.9	0.18
37		150	3.16	2.11	2.96	2.31	0.39	0.66	13.1	0.24
	Turuntie, Vihti									
38		5	8.02	2.66	3.42	2.80	0.39	0.53	11.2	0.32
39		30	1.24	3.31	1.15	3.24	0.26	0.42	6.4	0.07
40		100	1.52	1.52	1.45	3.49	0.18	0.51	6.5	0.38
41		150	1.12	2.38	1.74	1.80	0.15	0.41	15.2	0.42

Tuloksista havaitaan (liitteet 2 ja 4), että viljelymaan Cd-pitoisuudet vaihtelivat 0.01–0.69 ja Zn-pitoisuudet 8.4–1301.3 mg/kg k-a., korkeimmat pitoisuudet olivat koalueilla Helsingin (n:o 44), Tampereen (n:o 11), Oulun (n:o 16 ja 18) ja Raision (n:o 47) seuduilla. Korkeimmat salaatin, porkkanan ja sienten pitoisuudet olivat Helsingin (n:o 44), Tikkurilan (n:o 2–3) ja Oulun (n:o 16–18) koalueilla. Myös Tampereen pohjoispuolella (n:o 12 ja 13) oli korkeita sienten Cd-pitoisuuksia. Lannoituskokeissa (taulukko 1) näytti kalkitus vähentävän salaatin Cd:n ottoa, muilla kasveilla ei eroa ollut eikä K- tai Mg-lannoituksella ollut selvää vaikutusta kasvien Cd-pitoisuuksiin. Pesukokeissa (taulukko 2) upotuspesu vähensi salaatin Cd-pitoisuutta 44 %:lla, juoksevassa vedessä suoritettu pesu ei vaikuttanut pitoisuuksiin.

*Elohopea Hg.* Tuontitavarana maahan tulevasta elohopeasta n. 90 % käytetään teollisuudessa, tästä määrästä Norjassa 7 % hammaslääketieteessä ja 2.5 % maataloudessa. Suomessa käytetään elohopeapitoisia kasvinsuojelua-aineita vielä siementen peittauksessa, karpästoukkien torjunnassa ristikkaiskasveilla sekä puun haavojen suojaamisessa. Peittaus- ja maankäsittely-aineista on Kanadassa todettu jääneen elohopeaa viljelymaahan, sen pitoisuudet ovat siellä olleet 0.01–1.14 ppm k-a. ja korkeimmat pitoisuudet on havaittu orgaanisessa maassa (FRANK et al. 1976). Vihannesten pitoisuudet olivat Kanadassa saman tutkimuksen mukaan 0.02–1.11 ppm k-a., Englannissa lehtivihanneksissa 0.03–0.9 ppm k-a. ja Saksassa vihanneksissa vähemmän kuin 0.03 ppm (BOUQUIAUX 1973). Ihminen saa elohopeaa pääasiassa ravinnon mukana, Englannissa 10 µg/pv ja Norjassa 5–20 µg/pv. WHO:n suositus enimmäismäärästä on täysikäiselle ihmiselle 0.3 mg/viikko, mistä enintään 0.2 mg metylielohopeana.

Tuloksia Suomesta esitetään liitteessä 5, mistä ilmenee, että viljelymaan pitoisuudet olivat 0.03–0.86 ppm k-a., korkeimmat pitoisuudet Helsingin (n:o 44), Kokkolan (n:o 24–26) ja Oulun koalueilla (n:o 16). Korkeimmat

metsämaan pitoisuudet olivat 0.06—0.09, salaatin 0.12—0.13, pinaatin 0.08 ja metsämarjojen 0.04 ppm. Sienten Hg-pitoisuudet tutkituissa tapauksissa olivat alhaisia.

*Kupari Cu.* Kupari, samoin kuin sinkki, ovat kasvien, eläinten ja ihmisen tarvitsemia mineraaleja. Kuparimyrkytyksiä tunnetaan kuitenkin kotieläimillä tapauksissa, missä maan HNO<sub>3</sub>-liukaisen kuparin pitoisuus on ollut yli 34.6 mg/kg k-a. ja ruohon 14.0 mg/kg k-a. (HEMKES & HARTMANS 1974). Kanadassa havaittiin orgaanisen maan sisältävän 29.5—111.0 ja hiekkamaan 2.1—123.0 ppm k-a. HNO<sub>3</sub>-liukoista Cu. Vastaavasti oli vihanneksissa 29.5—111.0 ja 3.1—144.0 ppm k-a. (FRANK et al. 1976). Saksassa on havaittu maan pintakerroksessa 0—5 cm:n syvyydessä 1 km:n päässä lyijysulattamosta 70 mg/kg ilma-kuivaa ainetta ja 6 km:n päässä siitä 8 mg/kg (VETTER et al. 1973). Vastaavasti havaittiin salaatisissa 9.3—15.0 ja 6.6—9.4, porkkanassa 6.8—8.6 ja 6.0—6.2 sekä mansikoissa 0.63—0.41 ppm k-a. Baijerissa on todettu lehti-vihanneksissa 3.7—17.2 ppm k-a. Cu.

Tuloksia tästä tutkimuksesta esitetään liitteessä 3. Havaitaan, että viljelymaan pitoisuudet vaihtelivat 4.6—69.9 ppm, korkeimmat pitoisuudet havaittiin Oulun (n:o 16), Tampereen (n:o 11), Tikkurilan (n:o 6) ja Raision alueilla (n:o 47). Salaatin pitoisuudet olivat korkeimmat Tikkurilassa (n:o 3—6) sekä Outokummun kaupungin alueella (n:o 49 ja 50). Sienten pitoisuudet olivat korkeimmat Outokummun (n:o 49 ja 50) alueella, Oulun pohjoispuolella (n:o 16—19) ja Punkasalmella (n:o 9). Metsämarjojen, porkkanan ja laidunruohon pitoisuudet olivat alhaiset.

*Arseeni As.* Maan arseenipitoisuutta saattavat lisätä kasvinsuojeluaineiden käyttö, lannoitteissa olevat epäpuhtaudet sekä teollisuudesta peräisin oleva laskeuma. Maassamme ei nykyisin käytetä arseenipitoisia kasvinsuojeluaineita, mutta jäämiä aikaisemmasta käytöstä saattaa vielä maassa olla.

Teollisuuden vaikutusta maan ja kasvien arseenipitoisuuteen osoittavat luvut mm. Saksassa Nordenhamin alueella. Siellä oli pesemättömässä lehtikaalissa 1 km:n päässä tehtaasta 1.96, 2 km:n päässä 1.73 ja 3 km:n etäisyydellä 0.60 As mg/kg k-a. Vastaavasti oli pestyssä lehtikaalissa 1.12, 1.15 ja 0.34 mg/kg k-a. Hollannissa on todettu arseenia pinaatissa 0.1, porkkanassa 0.01 ja keräkaalissa 0.45 mg/kg tp. (BOUQUIAUX 1973).

Viljelymaan, metsämaan sekä näillä kasvaneiden ravintokasvien As-pitoisuuksia Suomessa esitetään liitteessä 6. Maan pitoisuudet vaihtelivat 0.47—10.80 ppm k-a., korkeimmat pitoisuudet olivat teollisuuden ja moottoriajoneuvoliikenteen välittömässä vaikutuspiirissä (n:ot 2, 16, 44). Salaatin (0.11—2.68 ppm), pinaatin (0.95—1.75 ppm), porkkanan (0.09—2.90 ppm), metsämarjojen (0.15—0.61 ppm) ja sienien (0.20—0.95 ppm) pitoisuudet vaihtelivat verrattain paljon ja olivat korkeimmat samoilla seuduilla kuin maan korkeimmat lukemat. Kalkituksella tai kali- ja magnesiumlannoituksella ei näyttänyt olevan vaikutusta kasvien As-pitoisuuteen.

*Rikki S.* Maassa ja kasveissa oleva rikki on laskeumaa teollisuudesta ja moottoriajoneuvojen pakokaasuista sekä lannoitteiden, viemäriletteen tai kompostin mukana maahan tullutta sulfaattia tai muuta rikkiyhdistettä. Niinpä Pertunmaan perustasoasemaksi valitussa Laukkalan kylässä on suurin mitattu laskeuma ollut 150 mg S/100 m<sup>2</sup>. kk, Kokkolassa saastuttavan



metalliteollisuuden läheisyydessä 24.500 mg S/100 m<sup>2</sup>. kk (LAAMANEN 1973). Alueellisesti suurimmat sadeveden sisältämät SO<sub>4</sub>-määrät, 250 mg/m<sup>2</sup>. kk on samassa tutkimuksessa todettu Varsinais-Suomessa, Etelä-Karjalassa, Satakunnassa ja Oulun eteläpuolella. Todetut rikkipitoisuudet eivät nykyisellään ole laajoja alueita tarkasteltaessa haitallisia, mutta laskeuman sekä sadeveden sisältämän SO<sub>4</sub>:n määrät ovat kasvamassa ja vaikuttavat maan happamuutta lisäävästi.

Tässä tutkimuksessa (liite 7) todetut kokonaisrikkimäärät vihanneskasveissa vaihtelivat 0.42–4.59 g/kg k-a., suurimmat määrät olivat keskimäärin pinaatissa Helsingin (n:o 1), Oulun (n:o 16, 17) ja Outokummun (n:o 49 ja 50) alueilla sekä Tikkurilassa (n:o 2 ja 3). Sienten pitoisuudet olivat korkeimmat Outokummun ja Oulun alueella, metsämarjojen pitoisuudet sen sijaan alhaisimmat, 0.50–1.75 g/kg k-a. Mustikassa eli kokonaisrikin määrä hieman suurempi kuin sitä happoisemmassa puolukassa. Lannoituskokeissa kalkitus näytti silloin, kun maan pH oli > 6.0 (n:o 32), lisäävän salaatin, pinaatin ja porkkanan S-pitoisuutta, muulloin ei. Moottoritien vaikutus näiden kasvien S-pitoisuuteen eri etäisyyksillä ei ollut merkitsevää.

*Vanadiini V.* Määritysten yhteydessä selvitettiin myös HNO<sub>3</sub>-liukoisen V:n pitoisuuksia ravintokasveissa ja maassa. Salaatin V-pitoisuudet vaihtelivat 0.05–0.50 ppm k-a., pinaatin 0.08–0.53 ja porkkanan 0–0.52. Vastaavissa kohdin oli viljelymaassa 12.4–50.7 ppm k-a. Korkeimmat pitoisuudet havaittiin Tikkurilassa (n:o 3–6), Messukylässä (n:o 11) ja Oulun alueella (n:o 16–20) (taulukko 4).

*Mangaani Mn.* Viikissä sekä Tikkurilassa lyijynjalostustehtaiden läheisyydessä tehtiin myös happoliukoisen mangaanin määrittäksiä. Suomessa esit-

Taulukko 4. Maan ja vihannesten V- ja Mn-pitoisuuksia, mg/kg k-a.

Table 4. Contents of V and Mn in soil and vegetables, in mg/kg d.m.

Koeala Plot No.	Paikkakunta Locality	Maa — Soil		Salaatti — Lettuce		Pinaatti — Spinach		Porkkana — Carrot	
		V	Mn	V	Mn	V	Mn	V	Mn
1	Viikki	17.4	188.0	0.23	32.6	0.22	54.1	0.13	9.4
2	Tikkurila	12.4	112.0	0.20	250.0	0.56	467.0	0	47.7
3	Tikkurila	45.5	250.0	0.42	69.5	0.27	362.0	0.52	15.4
4	Tikkurila	50.7	436.0	0.31	165.6	0.18	163.0	0.05	35.6
5	Tikkurila	44.2	260.0	0.27	118.0	0.38	268.0	0.22	38.4
6	Tikkurila	49.4	414.0	0.27	69.4	0.09	61.4	0.32	10.2
11	Messukylä	41.8		0.50		0.37		0.29	
12	Aitolahti	43.6		0.05		0.19		0.19	
13	Säynäjärvi	42.8		0.33		0.24		0.03	
14	Orivesi	47.8		0.17		0.45		0.06	
16	Tuira	23.3		0.12		0.12		0.18	
17	Kello	17.4		0.12		0.11		0.22	
18	Haukipudas	13.2		0.36		0.31		0.03	
19	Ii	22.9		0.26		0.29		0.06	
20	Olhava	20.4		0.38		0.17		0.03	
29	Salla	36.1		0.15		0.31		0.03	
30	Kemijärvi	20.6		0.17		0.19		0.05	
31	Kaamanen	16.9		—		—		—	
32	Ilomantsi	15.0		0.23		0.14		0	

tää KURKI (1972) viljelymaan vaihtuvan mangaanin pitcisuuksiksi 3.4—52.5 mg/l. Korkeimmat pitoisuudet hän totesi maissa, missä orgaanisen aineksen määrät ovat suurimmat. Tässä tutkimuksessa havaittuja happoliukoisien mangaanin pitoisuuksia esitetään taulukossa 4. Korkeimmat pitoisuudet olivat lähinnä lyijynsulattamoja (n:o 2, 4), maassa 112.0—436.0 mg/kg k-a, salaattissa 165.6—250.0, pinaatissa 268.0—467.0 ja porkkanassa 38.4—47.7 mg/kg k-a.

## Tulosten tarkastelu

Määritettäessä raskasmetallien ja eräiden näiden kaltaisten aineiden pitoisuuksia ravintokasveissa lähdettiin niistä tutkimuksista, joita on julkaistu laskeumista eri paikkakunnilla (LAAMANEN 1973). Vertailua varten valittiin perustasopaikkakunniksi Pertunmaan Laukkalan kylä sekä Punkasalmi, jossa laskeumista on olemassa tietoja, lisäksi oletettiin »puhtaiksi» paikkakunniksi Puumala, Maaninka, Saarijärvi, Salla, Rovaniemen maalaiskunta sekä Inari. Näillä paikkakunnilla ei ole teollisuutta, ja koealat sijoitettiin niissä vähintään 300 metrin päähän kaikista liikenneväylistä. Mainituilla paikkakunnilla todettiin tutkimuksissa raskasmetallipitoisuuksia sekä ravintokasveissa että viljely- ja metsämaassa, mikä johtunee ilman mukana kauempaa kulkeutuvista hiukkasista tai maa- ja kallioperän luontaisista pitoisuuksista. Pertunmaan Laukkalan kylässä on LAAMANEN (1973) todennut suurimmaksi lyijyn kuukausilaskeumaksi kesäkuussa 70 mg/100 m<sup>2</sup>, kun se Tikkurilassa lyijytehtaan läheisyydessä oli keskimäärin 20000 mg/100 m<sup>2</sup>. kk. Vastaavilla kohdilla olivat tämän tutkimuksen mukaan maan lyijypitoisuudet 8.9 ja 583.7 mg/kg k-a. Teollisuuden vaikutusta elohopean esiintymiseen kuvaavat LAAMASEN (1973) esittämät Hg-laskeumat Oulussa, jossa 600 m:n päässä tehtaasta oli laskeuman määrä keskim. 3 mg ja tehtaasta 2500 m:n päässä koilliseen 0.5 mg/100 m<sup>2</sup>. kk. Saman matkan päässä tehtaasta, Tuirassa oli tässä tutkimuksessa viljelymaan Hg-pitoisuus keskimäärin 0.17 mg/kg k-a., 5 km:n päässä Kellossa 0.12 ja 10 km:n päässä Haukiputaalla 0.10 mg/kg.

Teollisuuslaitosten ja asutustaajaman vaikutukset maan ja ravintokasvien pitoisuuteen näkyvät lyijyn, kadmiumin, sinkin ja arseenin pitoisuuksien osalta selvimmin 0—5 km:n etäisyydellä saastelähteestä. Moottoriteiden saastuttava vaikutus sen sijaan ei ollut selvä Lahden, Turun ja Naantalin moottoriteiden varrella. Tämä saattaa johtua suhteellisen pienestä ajoneuvomäärästä näillä tieosuuksilla. USA:ssa pidetään alle 1000:a ajoneuvoa vuorokaudessa »puhtaana» määränä, sen sijaan yli 70000:n ajoneuvon lukumäärää jo pahoin saastuttavana (ERVING et al. 1974). Moottoriajoneuvojen poistamat raskaat metallit, joista lyijy ja kadmium ovat tärkeimmät, saattavat sekä USA:ssa että Saksassa (VETTER et al. 1973) suoritettujen tutkimusten mukaan levitä 150 m:n etäisyydelle molemmin puolin maantien reunasta lukien.

Tutkimukseen otetut salaatti-, pinaatti- ja porkkananäytteet pestiin välittömästi näytteenoton jälkeen. Pesemällä voidaan suoritettujen kokeiden mukaan vähentää lehtivihannesten Pb-, Cd-, Cu-, Mn-, S- ja As-pitoisuuksia 12—45 %:lla. Kahdesta pesutavasta tehokkaampi näissä kokeissa oli upotus veteen viidesti. Kuta kauemmin hiukkaset ovat olleet kasvin pinnalla sitä

vähäisempi osa siitä on pesemällä poistettavissa. Myös jatkuvien sateiden on todettu vähentävän lehtivihannesten raskasmetallipitoisuuksia (HORAK et al. 1974).

Tutkituista ravintokasveista sisälsivät saastuneessa maassa kasvaneet salaatti ja sienet eniten raskasmetalleja. Tästä syystä on niiden kelpoisuus ravinnoksi kyseenalaista niillä paikkakunnilla, missä maan Cd-pitoisuudet ovat enemmän kuin 0.50 ppm k-a. ja Pb-pitoisuudet yli 50 ppm k-a. Porkkanan pitoisuudet ovat verraten alhaiset saastuneessa maassa, samoin metsämarjojen. Viimeksi mainituista mustikan pitoisuudet ovat hieman korkeammat kuin puolukan. Laidunruoho oli tutkituilla alueilla varsin puhdasta. Koska koealojen lukumäärä kaikkiaan oli vain 52, ei päätelmiä raskasmetallien alueellisista pitoisuuksista Suomessa voida tehdä. Koealat valittiin kuitenkin vain saastelähteiden vaikutuksien sekä toisaalta »puhtaiden» alueiden tausta-arvojen selvittämiseksi. Kansanterveyden kannalta olisi kuitenkin koko maan kattava jatkuva seurantatutkimus välttämätön.

## Yhteenveto

Ravintokasvien ja niiden kasvupaikassa maan raskasmetallipitoisuuksia tutkittiin 52:lla koealalla eri puolilla Suomea. Samalla tutkittiin Ca-, K- ja Mg-lannoituksen vaikutusta salaatin, pinaatin ja porkkanan pitoisuuksiin sekä korjuun jälkeen tapahtuvan pesun puhdistavaa tehoa salaatin pitoisuuksissa.

Keskimäärin ovat ravintokasvien, salaatin, pinaatin, porkkanan, puolukan, mustikan ja sienien pitoisuudet meillä alhaisempia kuin Keski-Euroopan maissa. Myös viljely- ja metsämaan raskasmetallipitoisuudet olivat alhaisempia.

Teollisuuslaitosten, asutustaajamien ja vilkkaiden liikenneväylien välittömässä läheisyydessä oli kasveissa ja maassa tausta-arvoja korkeampia pitoisuuksia. Suuren teollisuuslaitoksen vaikutus näkyi 10 km:n päähän, ja lähempänä kuin 5 km:n päässä voivat raskasmetallipitoisuudet olla varteenotettavan korkeita.

Kalkitus vähensi vihannesten Pb- ja Cd-pitoisuutta, upottamalla salaatti veteen viidesti vähenivät pitoisuudet 38–44 %:lla. Vihanneskasveista salaatti ja metsäkasveista sienet ottavat maasta eniten raskasmetalleja.

Turun ja Lahden moottoriteiden varrella olivat lehtivihannesten raskasmetallipitoisuudet korkeimmat 5 m:n etäisyydellä tien reunasta. Maan pitoisuuksissa ei liikenteen vaikutusta ollut havaittavissa.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

- BOUCHARD, A. 1973. Determination of mercury after room temperature digestion by flameless atomic absorption. AAS-newsletter 12,5: 115.
- BOUQUIAUX, J. 1973. Non-organic micro-pollutants of the environment I. 34 p. Brussels.
- DISSING, J. 1972. Cadmium i jord og planter. Ugeskrift for agronomer og hortonomer 1: 953–954.
- ERVIÖ, R. & LAKANEN, E. 1973. Maan lyijyasaastuminen sulattamon ympäristössä Tikkurilassa. Ann. Agr. Fenn. 12: 200–206.

- EWING, B. B. & PEARSON, J. E. 1974. Lead in the environment. *Advances in environmental science and technology* 3: 1–126.
- FRANK, R., ISHIDA, K. & SUDA, P. 1976. Metals in agricultural soils of Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 56: 181–196.
- HEMKES, O. J. & HARTMANS, J. 1974. Copper content in grass and soil under high-voltage lines in industrial and rural areas. *Trace Substances in Environmental Health* 7: 167–174.
- HORAK, O. & HUBER, I. 1974. Verunreinigung von Pflanzen und Böden durch Bleirückstände aus Benzinmotoren. *Die Bodenkultur* 25: 34–47.
- HVATUM, O. Ø. 1972. Fordeling av bly og endel andre tungmetaller i ombrogen torv. *Symp. om tungmetallforurensninger* 1972: 59–70.
- JAAKKOLA, T., TAKAHASHI, H. & MIETTINEN, J. 1973. Cadmium content in sea water, bottom sediment, fish, lichen, and elk in Finland. *Environmental Quality and Safety*: 230–237. Stuttgart.
- KLOKE, A. 1972. Zur Anreicherung von Cadmium in Böden und Pflanzen. *Landw. Forsch. Sonderh.* 27/1: 200–206.
- KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. 182 s. Helsinki.
- LAAMANEN, A. 1972. Ilmämpäristösaasteet maataloustuotannon kannalta. 41 s. Moniste.
- LAKANEN, E. 1966. Separation and concentration of trace metals by means of pyrrolidine dithiocarbamic acid. *AAS-newsletter* 5, 2: 17.
- LÄG, J. 1972. Norsk jordbunnforskning i relasjon til problemer om naturforurensning med tungmetaller. *Symp. om tungmetallforurensninger* 1972: 52–57.
- MCLEAN, A. J. 1976. Cadmium in different plant species and its availability in soils as influenced by organic matter and additions of lime, P, Cd and Zn. *Can. Jour. Soil Sci.* 56,3: 129–138.
- Nylands svenska lantbrukssällskap 1973. En undersökning av jorden och växtligheten kring Ingå kraftverk. 5 s. Stencil.
- Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 965 p. Washington.
- PURVES, D. 1972. Consequences of trace-element contamination of soils. *Environ. Pollut.* 3: 17–24.
- RAUTAPÄÄ, J. 1973. Cadmium: production, use and residues in the environment in Finland. *Kemian teollisuus* 10: 465–467.
- Statens Lantbrukskemiska Laboratorium 1974. Metoder för tungmetallanalyser utom kvicksilver. 2 s. Stencil.
- WARNUSZ, J. 1973. Feldversuche zur Nachwirkung von Blei-, Chrom-, Kupfer- und Zinkhaltigen Abwasserklärslämmen bei Grünland und Getreide sowie Gefässversuche zur Aufnahme von Cadmium und Zinn. *Diss.*, 117 S. Bonn.
- VETTER, H., MÄHLHOP, R. & FRÜCHTENICHT, K. 1973. Immissionsbelastung im Raum Nordenham. *Landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalt der Landw. Kammer Weser-Ems.* 30 S. Oldenburg.
- WILLIAMS, C. H. & DAVID, D. J. 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Science* 121,2: 86–93.
- ØDELIEN, M. 1974. Spørsmål omkring noen tungmetaller i jord, kulturvekster, husdyr og mennesker. *Ny jord* 61,1: 22–33.

---

Käsikirjoitus saapunut 2. 5. 1977.