

5/2005



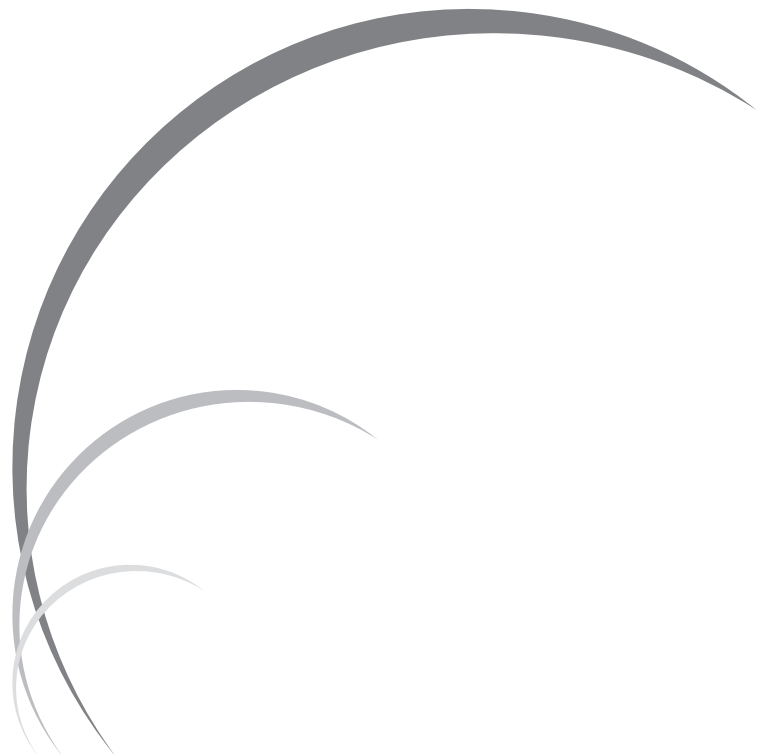
HELSINGIN KAUPUNGIN

YMPÄRISTÖKESKUKSEN MONISTEITA

Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan hyötykasvien ympäristömyrkkypitoisuudet

Elina Vaskelainen

Helsinki 2005



Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan hyötykasvien ympäristömyrkkypitoisuudet

Elina Vaskelainen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Sammandrag.....	3
Summary.....	4
1 Johdanto.....	5
1.1 Kasvien ja maaperän haitta-aineet.....	5
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	6
1.3 Tutkimushypoteesi.....	7
2 Aineisto ja menetelmät.....	7
2.1 Tutkimusalue	7
2.2 Kasvinäytteet.....	8
2.3 Maaperänäytteet.....	9
2.4 Pyyhkäisyelektronimikroskooppianalyysi	11
2.5 Tilastomenetelmät	11
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	12
3.1 Kasvinäytteiden raskasmetallipitoisuudet.....	12
3.1.1 Tilastoanalyysit	15
3.2 Kasvinäytteiden nitraattipitoisuudet.....	17
3.3 Näyteaineiston jakautuminen lyijy- ja nitraattipitoisuuksien suhteen.....	19
3.4 Kasvinäytteiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet	21
3.5 Raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet huuhtelemattomissa ja huuhdelluissa näytteissä	26
3.6 Maaperänäytteiden happamuus, alkuainepitoisuudet ja kationinvaihtokapasiteetti	28
3.7 Raskasmetallien kulkeutuminen maaperästä kasveihin	31
3.9 Yhteenveto	33
4 Kiitokset.....	34
5 Lähdeluettelo	35

LIITE I	
Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan kartta.....	38
LIITE II.	
Kumpulan puutarhalta 23.8. 2002 kerätyt kasvit.....	39
LIITE III	
Raskasmetallien ja nitraatin pitoisuudet kuivapainoa kohti kasvinäytteissä.....	40
LIITE IV	
Raskasmetallien ja nitraatin pitoisuudet tuorepainoa kohti kasvinäytteissä.....	41
LIITE V	
PAH-yhdisteiden pitoisuudet kuivapainoa kohti kasvinäytteissä.....	42
LIITE VI	
PAH-yhdisteiden pitoisuudet tuorepainoa kohti kasvinäytteissä.....	43
LIITE VII	
Mustavatuksen pinnan hiukkasen alkuainekoostumus.....	44

Tiivistelmä

Kaupunkialueilla kasvatettuihin kasveihin on havaittu kertyvän liikenteestä, teollisuudesta ja energiantuotannosta peräisin olevia haitta-aineita, joita voi kulkeutua eteenpäin ravintoketjussa ja jotka voivat uhata herkimpien ihmisryhmien terveyttä. Kasveja voidaan hyödyntää ympäristön tilan seuraamisessa, jolloin on tärkeää selvittää, miten eri kasvilajit tai -ryhmät keräävät erilaisia ympäristömyrkkyjä. Lisäksi erityisen tehokkaita raskasmetallien kerääjiä voitaisiin hyödyntää saastuneen maaperän puhdistuksessa. Kasvien ympäristömyrkyistä tavallisimpia ovat raskasmetallit. Polysykliset aromaattiset hiilivedyt, PAH-yhdisteet ovat kaupunkien tyypillisimpiä ilmansaasteita, joita erityisesti leveälehtiset kasvit keräävät tehokkaasti laskeumasta. Ravinnon nitraatista suurin osa saadaan kasviksista, joihin voi kertyä nitraattia liiallisen lannoituksen takia tai ilmalaskeumasta maaperään joutuneista typpiyhdisteistä.

Tutkimuksessa selvitettiin Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen hyötykasvien kadmium (Cd)-, lyijy (Pb)-, elohopea (Hg)-, nitraatti (NO_3^-)- ja 23 PAH-yhdisteen pitoisuuksia ja siten kasvien soveltumista hyötykäyttöön. Lisäksi mitattiin maaperänäytteistä kadmium-, lyijy-, elohopea- ja ravinnepitoisuuksia. Maaperän ja kasvien metallipitoisuuksia vertaamalla arvioitiin metallien kulkeutumista kasvualustasta kasveihin ja maaperän ominaisuuksien vaikutusta kulkeutumiseen. Tutkittiin myös, vähentääkö huuhteleminen kasvien metalli- tai PAH-yhdisteiden pitoisuuksia, jolloin voidaan arvioida ilmalaskeuman osuutta pitoisuuksissa. Lisäksi kerättiin lehtinäytteitä lehtien pinnan hiukkasten pyyhkäisyelektronimikroskooppi- eli SEM-analyysiä varten.

Raskasmetalleista vain lyijyn pitoisuudet olivat eräissä maustekasveissa, purjossa, ja kurkussa sekä lantun ja sokerijuurikkaan maanalaisissa osissa muihin tutkimuksiin tai ohjearvoihin nähden korkeita. Näyteryhmien tai -heimojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja raskasmetallipitoisuuksissa. Koiso-kasvit (Solanaceae) voivat kuitenkin olla muita tehokkaampia kadmiuminkerääjiä. PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat pääosin alle määritysrajojen mutta joistakin näytteistä mitattiin huomattavan korkeita bentso(e)pyreenin pitoisuuksia, jotka nostivat kokonaispitoisuuksia. Pääkoordinaattianalyysissä PAH-profiililtaan muista erottuivat lantun ja sokerijuurikkaan maanalaiset osat sekä salvia, jossa useiden yhdisteiden pitoisuudet olivat korkeita. Leveälehtiset kasvit eivät siis keränneet muita enemmän ilmalaskeumassa tyypillisiä aineita, esimerkiksi lyijyä tai PAH-yhdisteitä, kuten olisi voinut odottaa. Tässä tutkimuksessa huuhteleminen ei vaikuttanut selvästi kasvien metalli- tai PAH-pitoisuuksiin. Nitraattipitoisuudet olivat joissakin leveälehtisissä kasveissa korkeita. Ristikukkaiskasvit (Brassicaceae) keräsivät tilastollisesti merkitsevästi muita enemmän nitraattia, kun taas kasvien hedelmiin, erityisesti ruusukasveihin (Rosaceae) nitraattia kertyi suhteellisen vähän. Maaperän kokonaisraskasmetallipitoisuudet olivat alle raja-arvojen mutta liukoisten metallien pitoisuudet olivat hieman korkeampia kuin Suomen viljelymailla keskimäärin. Maaperän matala happamuus sekä korkea kationinvaihtokapasiteetti ja kalsiumpitoisuus voivat estää raskasmetallien kulkeutumista kasvualustasta kasveihin. SEM-analyysissä ei havaittu energiantuotannosta tai liikenteestä peräisin olevia hiukkasia lehtien pinnalla.

Sammandrag

Det har upptäckts att skadliga ämnen i stadsområden som härstammar från trafik och energiproduktion samlas i nyttoväxter och därifrån vidare i näringskedjan. Föroreningar kan hota de mest känsliga befolkningsgruppernas hälsa. Växterna kan utnyttjas till undersökning av miljöns tillstånd men då är det viktigt att klarlägga hur olika växtarter och växtgrupper ackumulerar miljögifter. Dessutom kan växter som särskilt effektivt ackumulerar tungmetaller utnyttjas till rengöring av orenad mark. Tungmetaller är de vanligaste miljögifterna i växter och i stadsområden samlar bredbladiga växter upp även polycykliska aromatiska kolväten (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH) från nedfallet. Grönsaker innehåller merparten av nitraten i vår föda. Omåttlig kvävegödsling eller kvävenedfall kan vara anledningen till att växter tar upp massor av nitrat från marken.

Nyttoväxter samlades i Helsingfors universitets botaniska trädgård i Gumtåkt 23.8. 2002 och växternas halter av kadmium (Cd), bly (Pb), kvicksilver (Hg), nitrat (NO_3^-) och 23 PAH-föreningar analyserades. Även markprov samlades och markens halter av kadmium, bly, kvicksilver och näringsämnen analyserades. Undersökningen hade som syfte att klarlägga om nyttoväxterna är ätbara och hur metaller transporteras från marken till växter samt hur markens egenskaper påverkar transporten. Några växtprov sköljades med vatten för att avgöra hur stor del av växternas metaller och PAH-föreningar kommer från luftnedfall. Härutöver samlades växtblad för att analysera partiklar på bladenas yta med ett svepelektronmikroskop (SEM).

Av tungmetallhalter var endast blyhalterna relativt höga i purjolök, gurka och några kryddörter samt i kålrots och sockerbetas underjordiska delar jämfört med andra undersökningar och riktvärden. Det fanns inga statistiskt signifikanta skillnader i tungmetallhalter mellan växtgrupper eller växtfamiljer. Det är ändå möjligt att potatisväxter (Solanaceae) ackumulerar kadmium effektivare än andra växter. Halter av PAH-föreningar var för det mesta under detektionsgränserna men halter av

benzo(e)pyrene i vissa växtprov var ansevärt höga. Bara salvia samt kålrots och sockerbetas underjordiska delars PAH-föreningsprofil skilde sig märkbart i multivariat analys (principle co-ordinate analysis) från andra växter. De bredbladiga växterna ackumulerade alltså inte mera ämnen som är typiska i nedfall, till exempel bly och PAH-föreningar, än andra växtgrupper. Sköljning med vatten inverkade inte heller på halterna av metaller eller PAH-föreningar i växtproven. Nitrathalterna var höga i några bredbladiga växter. Korsblommiga växter (Brassicaceae) ackumulerade statistiskt signifikant mera nitrat än alla andra, medan det fanns tämligen lite nitrat i fruktproven, särskilt i rosväxter (Rosaceae). Totaltungmetallhalter i markproven var mindre än gränsvärdena men halter av lösliga metaller var något högre än i medeltal i Finlands odlingsjordar. Låg surhet samt hög katjonbyteskapacitet och kalsiumhalt kan förhindra tungmetallernas transport från substrat till växter. Inga partiklar från motortrafik eller energiproduktion upptäcktes i SEM-analys på ytan av växtbladen.

Summary

There is evidence that in urban areas contaminants from traffic, industry and energy production accumulate in cultivated plants. These contaminants may be transported upward through the food chain and threaten the health of the more vulnerable part of the population. Plants can be used to monitor the condition of our environment and so it is imperative to determine how different plant species and groups of plants accumulate harmful substances. Moreover, those plants that appear to accumulate contaminants efficiently could be utilized to decontaminate soil. Heavy metals are common contaminants in plants, as are Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) which broad-leaved plants gather up efficiently from fall-out. Vegetables contribute the most of our dietary intake of nitrate, which accumulates in crop plants due to excess fertilization or because of nitrogen fall-out.

In this study concentrations of cadmium (Cd), lead (Pb), mercury (Hg), nitrate (NO_3^-) and 23 different PAHs were determined in plants collected 23.8. 2002 in the University of Helsinki Botanical Garden at Kumpula. In addition the concentrations of cadmium, lead, mercury and mineral nutrients in soil samples were measured. The purpose was to find out if these plants are edible and to estimate how metals are transported from the soil to the plants and if the properties of soil influence the transport. A few plant samples were rinsed with water to test how large a part of the metal and PAH concentrations were resulting from fall-out. Another set of plant samples was collected to analyze particles on the surface of plant leaves with a scanning electron microscope (SEM).

Of heavy metal concentrations only those of lead were fairly high in leek, cucumber and some aromatic herbs and in the underground parts of Swedish turnip and sugar beet compared with other surveys and guideline values. There was no statistically significant difference between sample groups or between plant families in metal concentrations. However, there is a possibility that the Solanaceae are more efficient cadmium accumulators than the rest. The PAH concentrations were mainly below the determination limit but in some samples benzo(e)pyrene concentrations were substantially high. Only the PAH profiles of sage and the underground parts of Swedish turnip and sugar beet differed from those of other samples in principle co-ordinate analysis. Thus the broad-leaved plants did not accumulate more substances typical in fall-out, e.g. lead and PAHs, than other sample groups. Rinsing with water did not either clearly affect the metal and PAH concentrations in plant samples. The nitrate concentrations were high in some broad-leaved plants. The Brassicaceae accumulated statistically significantly more nitrate than other groups, whereas in fruit samples nitrate concentrations were relatively low. Especially fruit samples of plants of the Rosaceae family had somewhat low nitrate concentrations. The total heavy metal concentrations in soil samples were below the recommended limit value but the soluble metal concentrations were slightly higher than the average values in Finnish agricultural lands. The low acidity, high Cation Exchange Capacity and high calcium concentration in the soil of the Botanical Garden may impede the transportation of heavy metals from soil to plants. Particles originating from energy production or traffic were not detected on the surface of the plant leaves in SEM analysis.

1 Johdanto

1.1 Kasvien ja maaperän haitta-aineet

Teollisuuden ja asutuksen keskittyminen samoille, melko pienialaisille alueille kaupungeissa on väestönkasvun kiihtyessä luonut yhä pahenevia saasteongelmia (Ramade 1987). Helsingin ilman- ja ympäristönlautuun vaikuttaa varsinkin liikenne mutta myös energiantuotannon ja teollisuuden päästöt (Aarnio ym. 2001). Kasvien ympäristömyrkkypitoisuudet kertovat bioindikaattoreina ympäristön yleisestä saastuneisuudesta (Berthelsen ym. 1995) ja kaupungeissa kasvatettujen ravintokasvien ympäristömyrkyt voivat mahdollisesti uhata herkimpien ihmisryhmien terveyttä (Hough ym. 2004). Ympäristön tilan seuraamisessa on siis tärkeää tutkia, miten eri kasvilajit tai -ryhmät keräävät erilaisia ympäristömyrkyjä ja mitä kautta myrkyt päätyvät kasveihin ja edelleen ravintoketjuihin.

Kasvit ovat merkittäviä ravinnon raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden lähteitä; 81 % kadmiumista, 39 % lyijystä ja 14 % elohopeasta suomalaisessa ravinnossa tulee kasviksista, viljasta, hedelmistä ja marjoista (Kärenlampi 1997) ja myös suurin osa ravinnon nitraatista, n. 75 - 80 %, saadaan kasviksista (Niemi & Hallikainen 1993). Leveälehtiset vihannekset keräävät tehokkaasti ilmasta polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä ja ovat siten tärkeitä PAH-yhdisteiden lähteitä ravinnossa (Baird 1999, Kipopoulou ym. 1999).

Raskasmetallipäästöjä syntyy energiantuotannosta ja metalliteollisuuden prosesseista kuten metallisulatoista sekä sementti- ja kloorialkaliteollisuudesta. Energiantuotannon savukaasuissa raskasmetalleja on sitoutuneena hiukkasiin (Ekqvist 1999). Liikenteen pakokaasuista teiden lähiympäristöön leviää polttoaineesta ja katalysaattoreista peräisin olevia raskasmetalleja, joita irtoaa myös teiden päällysteestä pölynä (Salla 2000). Raskasmetalleista yleisesti käytettyjä ja laajimmalle levinneitä ovat elohopea (Hg), lyijy (Pb) ja kadmium (Cd) (Wild 1995, Baird 1999). 1990-luvulla metallipäästöt ovat vähentyneet Suomessa tehostuneiden puhdistus- ja polttotekniikoiden myötä. Etenkin lyijypäästöt ovat vähentyneet romahdusmaisesti lyijyllisen bensiinin käytön loputtua (Melanen ym. 1999). Elimistössä raskasmetallit vaurioittavat erityisesti keskushermostoa, luustoa ja munuaisia (Baird 1999).

PAH-yhdisteitä syntyy puun ja hiilen epätäydellisen palamisen tuloksena mm. fossiilipolttoaineiden käytöstä ja ne ovat kaupunkien tyypillisiä ilmansaasteita. Etenkin moottoriliikenne on suuri PAH-yhdisteiden synnyttäjä. Monet PAH-yhdisteistä ovat karsinogeenisia (Baird 1999).

Typpiyhdisteitä pääsee ilmaan ja edelleen laskeutumaan maahan varsinkin tieliikenteestä mutta myös energiantuotannosta ja teollisuudesta. Etenkin vilkasliikenteisten väylien lähellä typen oksidien pitoisuudet kohoavat välillä korkeiksi (Aarnio ym. 2001). Nitraatti on kasveille maaperässä epäorgaanisen typen lähde. Typen saannin parantuessa kasveihin alkaa kertyä liukoista typpeä, erityisesti nitraattia (Heinonen ym. 1992). Nitraattia pidetään haitallisena, sillä se muuttuu elimistössä nitriitiksi, joka mm. haittaa hapenkuljetusta (Niemi & Hallikainen 1993).

Kaupunki-ilman hiukkaset ovat osatekijöinä erilaisissa ympäristöongelmissa, kuten ilmastomuutoksessa, happamoitumisessa ja ilmansaasteiden terveysvaikutuksissa. Hiukkaset koostuvat mm. sulfaateista, nitraateista, raskasmetalleista ja erilaisista hiilivedyistä. Katupölystä peräisin olevissa hiukkasissa on lisäksi monia maaperän yleisiä alkuaineita (Al, Ca, Fe, Si, Mg). Kaupunki-ilmaan aerosolihiukkasia tuottaa pääasiassa liikenne, energian tuotanto ja katupöly, luontainen lähde on esimerkiksi merisuola. Aerosoleja poistuu ilmakehästä märkä- tai kuivalaskeumana maahan tai kasvien pinnalle (Kulmala ym. 1999, Pakkanen ym. 2001).

Luontaisen taustapitoisuuden lisäksi kaupungeissa maaperän pintakerrokseen päätyy ilmalaskeumana ympäristömyrkkyjä. Haitta-aineet, kuten alkuaineet ja PAH-yhdisteet, leviävät teiden lähialueiden maaperään laajalle alueelle. Lyijyn ja myös muiden raskasmetallien pitoisuuksien on havaittu olevan Helsingin vilkasliikenteisten teiden lähellä hieman tavallista korkeampia. Lyijyn pitoisuus saattaa olla paikoin yli ohjearvon. Raskasmetallit ovatkin tyypillisimpiä maaperän haitta-aineita. Helsingin maaperän haitta-aineiden taustapitoisuustutkimuksessa havaittiin elohopean ja lyijyn pitoisuuksien olevan keskimäärin hieman yli ohjearvojen (Salla 1999, 2000). Maaperän ohjearvopitoisuus eli aineen hyväksyttävä pitoisuus on lyijylle 60 mg/kg, kadmiumille 0,5 mg/kg ja elohopealle 0,2 mg/kg. Raja-arvo maan lyijypitoisuudelle on 300 mg/kg, kadmiumille 10 mg/kg ja elohopealle 5 mg/kg. Ohjearvo on haitta-aineen pitoisuus, joka ei ole ihmisille tai ympäristölle vaarallinen. Raja-arvo on ohjearvoa väljempi kriteeri, jonka ylittyessä on yleensä ryhdyttävä alueen kunnostukseen ja maankäyttöä rajoitetaan. Tällaisia väljennettyjä kriteereitä sovelletaan tavallisesti alueilla, joilla haitta-aineiden taustapitoisuudet ovat kohonneet (Jeltsch & Pyy 1994).

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tässä tutkimuksessa määritettiin Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan hyötykasveista eräiden tavallisimpien haitta-aineiden – kadmiumin, lyijyn, elohopean, polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen ja nitraatin – pitoisuuksia ja selvitettiin siten kasvien, mauste- ja rehuksien sekä hedelmien ja marjojen soveltumista hyötykäyttöön. Maaperän ja kasvien raskasmetallipitoisuuksia vertaamalla arvioitiin metallien kulkeutumista kasvualustasta kasveihin. Lisäksi arvioitiin maaperän ominaisuuksien, kuten happamuuden ja kationinvaihtokapasiteetin, vaikutusta kulkeutumiseen. Tutkittiin myös, kertyvätkö ympäristömyrkyt eri kasveihin eri tavoin ja indikoivatko eri kasvit tai kasviryhmät selkeästi eri myrkkyjen kertymistä ympäristöstä. Muutamista kasvinäytteistä vertailtiin raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia huuhdelluista ja huuhtelemattomista näytteistä ja arvioitiin siten ilman kautta tulevaa kuormitusta. Lisäksi kerättiin lehtinäytteitä kasvien pinnalla olevien hiukkasten alkuaineanalyysejä varten.

Kumpulan kasvitieteellinen puutarha sijaitsee vilkasliikenteisen ajoväylän vieressä, joten tutkimuksessa keskityttiin erityisesti liikenteen päästöistä peräisin olevien ympäristömyrkkyjen tutkimiseen. Läheisten Hanasaaren kivihiilivoimalaitoksen ja Kyläsaaren toimineen jätteenpolttolaitoksen päästöillä lienee kuitenkin myös vaikutusta tutkittujen ympäristömyrkkyjen pitoisuuksiin. Tutkimus on tärkeä myös kasvitieteellisen puutarhan lähellä olevan siirtolaputar-

han kannalta; ympäristömyrkkypitoisuudet kasviksissa lienevät vierekkäisillä alueilla suunnilleen samaa luokkaa.

1.3 Tutkimushypoteesi

Kumpulan hyötykasveissa saattaa olla kohonneita raskasmetallien, PAH-aineiden ja nitraatin pitoisuuksia johtuen puutarhan sijainnista vilkkaan liikennereitin ja suuren energiantuotantolaitoksen läheisyydessä. Oletetaan lisäksi, että leveälehtisiin vihanneksiin, maustekasveihin, hedelmiin ja marjoihin kertyy erityisesti sellaisia ympäristömyrkkyjä, jotka kulkeutuvat pääasiassa ilman mukana kasvien pinnalle (lyijy, elohopea, PAH-yhdisteet). Kasvien maanalaiset osat sen sijaan keräävät etupäässä vain maaperästä sellaisia aineita, jotka ovat liikkuvia ja helposti kasvien saatavilla (kadmium, nitraatti). Huuhdelluissa näytteissä tulisi olla pienempiä määriä ilmalaskeumasta peräisin olevia aineita kuin vastaaavissa huuhtelemattomissa näytteissä.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusalue

Kasvitieteellisen puutarhan suunnittelu Kumpulan kartanon maille aloitettiin vuonna 1987 ja perustyöt saatiin valmiiksi 1994. Ennen puutarhan rakentamista Kumpulan kartanorakennuksessa eli nykyisessä puutarhan päärakennuksessa on toiminut vuosina 1905-1960 sukupuolitautilisairaala. Sairaalan ajoilta alueelta on löydetty maahan kaivettuna runsaasti jätettä, mm. lasitavaraa. Puutarha sijaitsee noin neljän kilometrin päässä Helsingin keskustasta näkyen hyvin vilkasliikenteiseltä Hämeentielle/Kustaa Vaasan tieltä. Puutarhan kuuden hehtaarin pinta-ala käsittää kasvimaantieteellisen osaston (Hortus geobotanicus), kartanopuiston ja kulttuurikasviosaston (Hortus ethnobotanicus). Noin 1,5 hehtaarin laajuiseen kulttuurikasviosastoon kuuluvat mauste- ja rohdoskasvimaa, hyötykasvimaa sekä marja- ja hedelmätarha. Kulttuurikasviosaston mauste-, väri-, öljy-, kuitu-, tuoksuaine-, hunaja-, vilja-, rehu- ja vihanneskasvit ovat tärkeää oppimateriaalia Helsingin yliopiston kasvitieteen opiskelijoille (liite I, Havas-Matilainen 1993, Kuivanen 1998, Fraktman 2002, Koponen & Koponen 2002).

Vuoden 2002 syyskuun keskimääräinen arkivuorokausiliikenne Hämeentiellä oli noin 13 000 ajoneuvoa ja Kustaa Vaasan tiellä jo lähes 30 000 ajoneuvoa (Helsingin kaupunki 2004). Kyläsaareissa toimi vuosina 1963-1983 jätteenpolttolaitos (Pyrylä & Kylä-Setälä 2001) noin kilometrin etäisyydellä puutarhasta. Hanasaaren kivihiilivoimalaitos sijaitsee noin kahden kilometrin etäisyydellä puutarhasta.

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnalla (YTV) on ilmanlaadun mittausasema Vallilassa, Hämeentien varrella (noin kilometrin etäisyydellä kasvitieteellisestä puutarhasta). Mittausasemalla tarkkaillaan mm. ilman hiukkasten ja typenoksidien pitoisuuksia. Vallilan mittausasema edustaa kaupunkikeskustan yleisiä olosuhteita; liikennemäärät ovat hieman pienempiä kuin kaikkein vilkasliikenteisimmissä kaupunginosissa. Vuonna 2002 loppukesällä hiukkasten pitoisuudet Helsingin ilmassa olivat melko korkeita kaukokulkeumaepisodien vuoksi. Myös typpidioksidipitoisuudet olivat ajoittain korkeita. Kokonaislei-

jumanäytteistä analysoitiin myös raskasmetallipitoisuuksia. Vallilan mittaus-
asemalla kadmiumin pitoisuuden keskiarvo ilmassa vuonna 2002 oli 0,1 ng/m³
ja lyijyn 5 ng/m³ (Haaparanta ym. 2003).

2.2 Kasvinäytteet

Keräsin Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta monivuotisia maustekasveja, yksivuotisia lehti-, palko- ja hedelmävihanneksia, juurikkaita, kaaleja, sipuleita, rehu- ja öljykasveja sekä marjoja ja hedelmiä (liite II). Keräsin kasvinäytteet 23.8.2002 ja punnitsin ja pakastin ne. Yritin saada mahdollisimman monipuolisen otoksen puutarhan hyötykasveista. Kasvien valintaan vaikutti kuitenkin sadon suuruus; näytettä oli saatava analyysieja varten riittävästi eli kuivattua näytettä suunnilleen 100 g. Kun suurin osa kerättävistä kasveista sisältää vettä lähes 90 %, tuoreita näytteitä oli kerättävä melkein 1 kg. PAH-yhdisteiden analyysi vaati näytteistä suurimman osan, sillä menetelmä oli vielä kehitteillä. Kaikista tavallisimmista hyötykasveista ei siten ollut mahdollista ottaa näytteitä, sillä Kumpulassa useaa kasvia viljellään vain pieniä määriä. Myöskään useamman rinnakkaisen näytteen ottaminen samasta lajista ei ollut mahdollista kuin muutamassa tapauksessa.

Kasvinäytteet olivat pääasiassa kokoomanäytteitä; siis jokaisesta lajista yksi näyte. Joistakin lajeista kerättiin kokonaisia versoja, kuten monivuotisista maustekasveista, palturitupakasta (*Nicotiana rustica*) ja lehtikaalista (*Brassica oleracea* var. *sabellica*), toisista vain osia kasvista (kasvin hedelmiä, juuria tai lehtiä). Minttuja, *Mentha* spp., kerättiin lisäksi usesta lajista kokoomanäyte. Lehtikaalista, auringonkukasta (*Helianthus annuus*), kevätrypsistä (*Brassica rapa* ssp. *oleifera*) ja kevätrypsistä (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) kerättiin kaksi rinnakkaista näytettä, joista toinen huuhdottiin. Mustavatuksen (*Rubus al-
leghehiensis*) lehtiä kerättiin pyyhkäisyelektronimikroskooppianalyysiä varten.

Esikäsittelin pakastetut kasvinäytteet syksyn 2002 ja kevään 2003 aikana Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa. Näytteet homogenisoitiin tehosekoittimella (suuret, paljon vettä sisältävät kasvikset sulatettiin ennen homogenisointia) ja näytteeseen lisättiin tislattua vettä. Seos siirrettiin pulloihin, jotka laitettiin pyörivään esijäädytinlaitteeseen; näytteseos jäättyi tasaiseksi kerrokseksi pullon seinämiin. Pullot kiinnitettiin noin vuorokaudeksi kylmäkuivauslaitteeseen, ja kuivunut näyte pakastettiin jatkokäsittelyä varten. Kylmäkuivaus oli välttämätöntä näytteiden säilyvyyden takaamiseksi. Nitraattitutkimuksia varten homogenisoitiin ja kylmäkuivattiin myös tuoreita kasvinäytteitä, jotta saataisiin vertailumateriaalia kylmäkuivatuille näytteille (kylmäkuivaus saattaa vaikuttaa näytteiden nitraattipitoisuuksiin).

Raskasmetalli-, nitraatti- ja PAH-analyysit teetettiin Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa vuosien 2003-2005 aikana: viimeisenä valmistuivat PAH-analyysit maaliskuun lopulla 2005. PAH-analyysien valmistumista hidasti menetelmän kehittäminen. Metallit uutettiin kasvinäytteistä polttamalla mikroaaltouunissa typpihapon ja vetyperoksidin seoksessa (Environmental Protection Agency 1994). Liuoksesta mitattiin lyijyn ja kadmiumin pitoisuudet ICP-MS-laitteella (induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometri) (International Organization for Standardization 2003) ja elohopean pitoisuus kylmähöyry-AAS-menetelmällä (atomiabsorptiospektrofo-

tometri) (T. Lukkarinen, suull.). Nitraatti uutettiin ensin näytteistä kuumalla vedellä, uute puhdistettiin asetonitriilillä ja pitoisuudet määritettiin nestekromatografisesti (European Committee for Standardization 1998). PAH-yhdisteiden määrittämisessä näyte uutettiin tolueenilla Soxhlet-laitteistolla. Uutteen konsentroitiin pieni osa typpipuhalluksella ja analysointi tehtiin kaasukromatografilla käyttäen massaselektiivistä detektoria. Kvantitointi suoritetaan ulkoista kalibrointisuoraa vasten sisäistä standardia hyväksi käyttäen. Näytteistä mitattiin 23:n eri PAH-yhdisteen pitoisuudet (H. Kontsas, suull.), jotka on lueteltu liitteessä V.

Kasvinäytteiden raskasmetalli-, nitraatti- ja PAH-pitoisuudet määritettiin pitoisuutena kuiva-ainetta kohti. Kasvien vesipitoisuus kuitenkin vaihtelee ja vertailtavuuden vuoksi pitoisuudet laskettiin myös tuorepainoa kohti. Kuivastusta näytteestä mitattu pitoisuus kerrottiin näytteen kuiva- ja tuorepainon suhteella ja saatiin näin pitoisuus tuorepainoa kohti.

2.3 Maaperänäytteet

Otin maaperänäytteitä maakairalla puutarhan hyötykasvimaalta ja maustekasvimaalta pintamaasta 22.8.2002 siten, että useampi osanäyte koottiin suuremmaksi kokoomanäytteeksi. Maaperänäytteistä analysoitiin kesällä 2002 happamuus ja johtokyky, näytteet pakastettiin ja niistä analysoitiin myöhemmin vaihtuvien kationien sekä lyijyn, elohopean ja kadmiumin pitoisuudet.

Molemmista kokoomanäytteistä tehtiin kaksi rinnakkaista happamuuden mittausta. 40 ml:aan maata lisättiin 100 ml tislattua vettä. Näytteet laitettiin ravistelijaan tunniksi, minkä jälkeen ne jätettiin saostumaan puoleksi tunniksi ennen mittausta. Raskasmetallien ja ravinnekationien analysoimiseksi molemmista kokoomanäytteistä otettiin niin ikään kaksi rinnakkaista näytettä. Lisäksi tehtiin yksi nollanäyte. Maanäytteet uutettiin happamalla 1 M ammoniumasetaatilla (pH 4,65): 20 ml maata 180 ml:aan ammoniumasetaatia. Näytteet laitettiin ravistelijaan tunniksi ja niiden annettiin saostua puoli tuntia, minkä jälkeen ne suodatettiin suodatinpaperin läpi (Mäkinen & Saarinen 1999). Näytteistä analysoitiin ravinnekationit (Ca, Mg, K ja Na) kationinvaihtokapasiteetin määrittämistä varten sekä lyijy ja kadmium atomiabsorptiospektrofotometrillä Viikin laitekeskuksen laboratoriossa. Kalium ja natrium määritettiin liekkifotometriksi, kalsium ja magnesium liekkiatomiabsorptiivisesti (Varian SpectrAA-400) sekä lyijy ja kadmium grafiittiuunimenetelmällä (Varian SpectrAA-400 varustettuna GTA-96-grafiittiuuniyksiköllä). Joidenkin alkuaineiden mittausta varten uutoksia piti laimentaa deionisoidulla vedellä.

Maanperänäytteiden kationien pitoisuudet ilmoitetaan milliekvivalentteina painoyksikössä kuivaa maata (mekv/100 g). Uuttonesteen vaihtuvia kationeja analysoitaessa millekvivalenttipitoisuus saadaan kaavasta (Maatalouden tutkimuskeskus 1986):

$$\text{Me}^+ / 100 \text{ g} = \frac{a \text{ mg/l} * (V/P)}{10 * E}$$

missä a = Aineen liuosväkevyys (mg/l eli ppm)
 P = Uutetun näytteen tuorepaino (g)
 V = Kokonaisnestetilavuus (ml)
 E = Tutkittavan alkuaineen ekvivalenttipaino

Maaperänäytteiden kationinvaihtokapasiteetti on vaihtuvien kationien yhteenlaskettu pitoisuus (Mäkinen & Saarinen 1999):

$$\text{KVK mekv/dm}^3 = (\text{H}^+ + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}) \text{ mekv/dm}^3$$

Maaperänäytteiden kationinvaihtokapasiteetin mittaamiseen tarvittiin lisäksi maanäytteen H^+ -ionipitoisuus. Tämän ns. vaihtohappamuuden määrittämistä varten titrattiin puhdasta ammoniumasetaattia (pH 7) 0,1 M HCl:lla ja piirrettiin titrauskäyrä. Maaperänäytteet uutettiin neutraalilla ammoniumasetaatilla, suodatettiin ja niiden pH mitattiin. pH muutettiin H^+ -konsentraatioksi titrauskäyrän avulla (Mäkinen & Saarinen 1999).

Elohopeapitoisuus mitattiin Viikin biokeskus 3:ssa bio- ja ympäristötieteiden laitoksen elohopea-analysaattorilla (DMA 80) suoraan käsittelemättömistä maanäytteistä. Myös ammoniumasetaattiuutoksista mitattiin elohopeaa. Käsittelemättömien maanäytteiden elohopeapitoisuudet kertovat maaperän kokonaiselohopean määrän. Lyijyn ja kadmiumin pitoisuuksien mittauksessa menetelmänä oli ammoniumasetaattiuutto, ns. heikkouutto (Räisänen ym. 2002), jonka tulokset paremmin kuvastavat kasvien saatavilla olevien metallien määrää (Ranta 1999).

Veden määrä maassa vaihtelee riippuen sadannan ja haihdunnan suhteesta sekä maan rakenteesta (Westman 1991). Tulosten vertailukelpoisuuden takia oli tarpeen laskea raskasmetallien ja kationien pitoisuus maanäytteiden kuiva-aineen pitoisuutta kohti. Kuiva-aineen pitoisuus määritettiin punnitsemalla pieniä määriä tuoretta maata ja kuivaamalla kyseisiä näytteitä noin vuorokauden ajan lämpökaapissa (110 °C). Kertomalla tuore- ja kuivapainon suhde alkuaineen pitoisuudella saatiin kunkin aineen pitoisuus painoyksikössä kuivaa maata.

Syksyllä 2004 uutettiin maanäytteistä vielä kadmium ja lyijy kuumentamalla mikroaaltouunissa väkevässä typpihapossa. Mikroaaltouunissa tehtävä maanäytteiden happohajotus on totaaliuuttomenetelmä, jonka avulla maanäytteistä voidaan mitata tutkittavan metallin kokonaismäärä. Mikroaaltouuniupokkaisiin punnittiin noin 500 mg lämpökaapissa kuivattua maata. Hyötykasvima- ja maustekasvimaanäyteistä otettiin molemmista neljä rinnaikkaisnäytettä, lisäksi kaksi upokasta varattiin nollanäytteiksi. Upokkaisiin lisättiin 10 ml väkevää typpihappoa ja ne kiinnitettiin roottorisegmentteihin. Segmentit asetettiin mikroaaltouuniin (Milestone Ethos 1600) ja näytteitä kuumennettiin ensin 10 minuuttia tehoilla 250 W, 700 W ja 400 W. Lämpötilan tuli nousta mahdollisimman nopesti 170–180 °C:een. Haluttua lämpötilaa ei saavutettu, joten näytteitä säteilytettiin uudelleen 20 minuuttia tehoilla 250 W ja 900 W, jolloin lämpötila nousi lähelle 180 °C. Näytteiden annettiin jäähtyä noin puoli tuntia ennen kuin segmenttien kiristysruuvit avattiin vetokaapissa. Näytteet suodatettiin suodatinpaperin läpi 50 ml:n mittapulloon. Upokkaat huuhdeltiin ja mittapullot täy-

tettiin merkkiin asti milli-Q -vedellä. Pitoisuusmäärittystä varten uutoksia piti laimentaa. Näytteistä analysoitiin kadmium ja lyijy atomiabsorptiospektrofotometrillä grafiittiunimenetelmällä (Varian SpectrAA-400 varustettuna GTA-96 -grafiittiuninyksiköllä) Viikin biokeskus 3:ssa bio- ja ympäristötieteiden laitoksen laboratoriossa (Environmental Protection Agency 1994, Hossner 1996).

2.4 Pyyhkäisyelektronimikroskooppianalyysi

Mustavatukan lehtiä kerättiin pyyhkäisyelektronimikroskooppianalyysiä varten. Analyysissä haluttiin tutkia lehtien pinnan hiukkasia ja niiden koostumusta tarkoituksena havaita esimerkiksi mahdollisia liikenteen tai energiantuotannon päästöistä peräisin olevia hiukkasia sekä raskasmetalleja (Cd, Pb) sisältäviä hiukkasia. Tutkin lehtinäytteitä pyyhkäisyelektronimikroskooppilla (Zeiss DSM 962) Helsingin yliopiston Biotekniikan instituutissa 18.5. 2004.

Pakastetut lehdet otettiin sulamaan ja kuivumaan eksikaattoriin. Kasviporalla leikattiin kuivista lehdistä neljä halkaisijaltaan noin 1 cm mittaista pyöreää näytettä (kaksi ylä- ja kaksi alapinnalta), jotka kiinnitettiin kaksipuoleisella teipillä alumiiniselle näytealustalle. Ennen mikroskopointia näytteiden päälle oli höyrystettävä kerros johtavaa ainetta, tässä tapauksessa hiiltä, jotta itse näyte ei mikroskopoitaessa varautuisi elektronisuihkussa. Näytteet hiilestettiin tyhjiöhöyrystyslaitteessa (CED 030 Carbon Evaporator). Pyyhkäisyelektronimikroskooppilla (Scanning electron microscope, SEM) voidaan tutkia kolmiulotteisesti solujen ja kudosten pintarakennetta ja pintojen koostumusta (Lounatmaa 1980). Lehtinäytteiden pinnalta valittiin pyyhkäisyelektronimikroskoopissa kohta, jonka hiukkasia haluttiin tutkia tarkemmin. Hiukkasia ei tutkittu systemaattisesti vaan tutkittava kohta valittiin satunnaisesti ja samasta elektronimikroskoopin kuvasta analysoitiin aina useita hiukkasia (halkaisijaltaan n. 2–20 µm). Lehtien yläpinnoilta otetut näytteet havaittiin tarkastelussa parhaimmiksi ja lopulta vain yläpinnan näytteitä analysoitiin. Hiukkasten alkuaineanalyysissä etäisyys näytteeseen oli 27 mm ja jännite 10 kV. Alkuaineanalyysissä käytettiin Link ISIS -tietokoneohjelmaa. Lehden pinnalta, tutkittua kohdasta otettiin valokuva.

2.5 Tilastomenetelmät

Eroja ympäristömyrkkypitoisuuksissa eri kasviryhmien ja -heimojen välillä tutkittiin SPSS v12 -tilasto-ohjelmalla. Erojen tilastollista merkitsevyyttä testattiin Kruskalin-Wallis testillä ja parittaisina vertailuina Mannin-Whitneyn U -testillä (Ranta ym. 1999). Ryhmien välillä suoritettiin kuusi erillistä parittaista vertailua, jolloin I-tyypin virheen (nollahypoteesi hylätään, vaikka se on oikea) mahdollisuus kasvaa. On tehtävä Bonferroni-korjaus jakamalla haluttu merkitsevä riskitaso testien lukumäärällä. 0,05-riskitaso jaetaan tässä tapauksessa siis kuudella ($0,05/6 = 0,0083$). Jos havaittu p-arvo on pienempi kuin 0,0083, testin tulos on tilastollisesti merkitsevä (Ranta ym. 1999, J. Vainio, suul.). Kasvinäytteiden PAH-yhdisteiden sekä raskasmetallien ja nitraatin pitoisuuksia analysoitiin pääkoordinaattianalyysillä (Principal Co-ordinates Analysis, PCO) eli moniulotteisella skaalauksella (Multidimensional scaling, MDS) MVSP 3.1 -ohjelmalla. Aineistoon tehtiin aluksi logaritimuunnos, $X' =$

$\log(X + 1)$. Analyysissä käytettiin samanlaisuusmittana Canberra-etäisyyttä (Ranta ym. 1999, Lawesson 2000).

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Kasvinäytteiden raskasmetallipitoisuudet

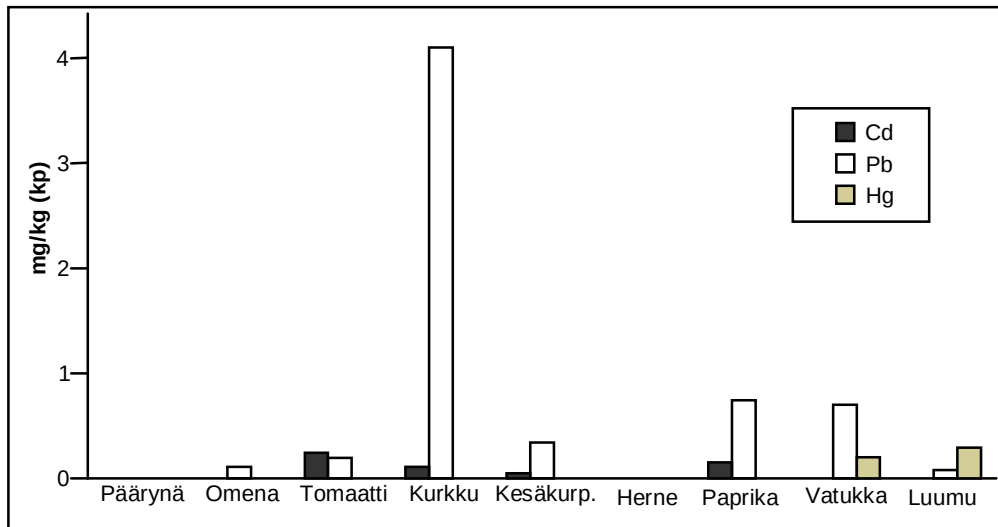
Kasvien hedelmistä korkeimmat kadmiumpitoisuudet mitattiin tomaattinäytteestä (*Lycopersicon esculentum*) (0,24 mg/kg kuivapainoa kohti), kun taas alle määritysrajan (0,05 mg/kg) kadmiumia oli päärynä- (*Pyrus communis*), omena- (*Malus domestica*), peltoherne- (*Pisum sativum* var.*arvense*), mustavatkka- ja luumunäytteessä (*Prunus domestica*). Lyijypitoisuudet vaihtelivat määritysrajan (0,05 mg/kg) alittavista pitoisuuksista päärynä- ja peltohernenäytteissä kurkun korkeimpaan lyijypitoisuuteen (4,10 mg/kg). Elohopeaa oli yli määritysrajan (0,10 mg/kg) vain mustavatkassa (0,20 mg/kg) ja luumussa (0,29 mg/kg) (kuva 1).

Leveälehtisissä kasveissa kadmiumia oli alle määritysrajan kerä- (*Brassica oleracea* var. *capitata*) ja lehtikaalissa, lantun lehdissä (*Brassica napus* ssp. *napus*) sekä purjossa (*Allium porrum*). Eniten kadmiumia oli tupakkanäytteessä (0,32 mg/kg). Pienimmät lyijypitoisuudet olivat lehtikaalissa (0,22 mg/kg) ja korkeimmat lantun lehdissä (1,8 mg/kg). Elohopeaa oli yli määritysrajan vain lehtikaalinäytteessä (0,35 mg/kg) (kuva 2).

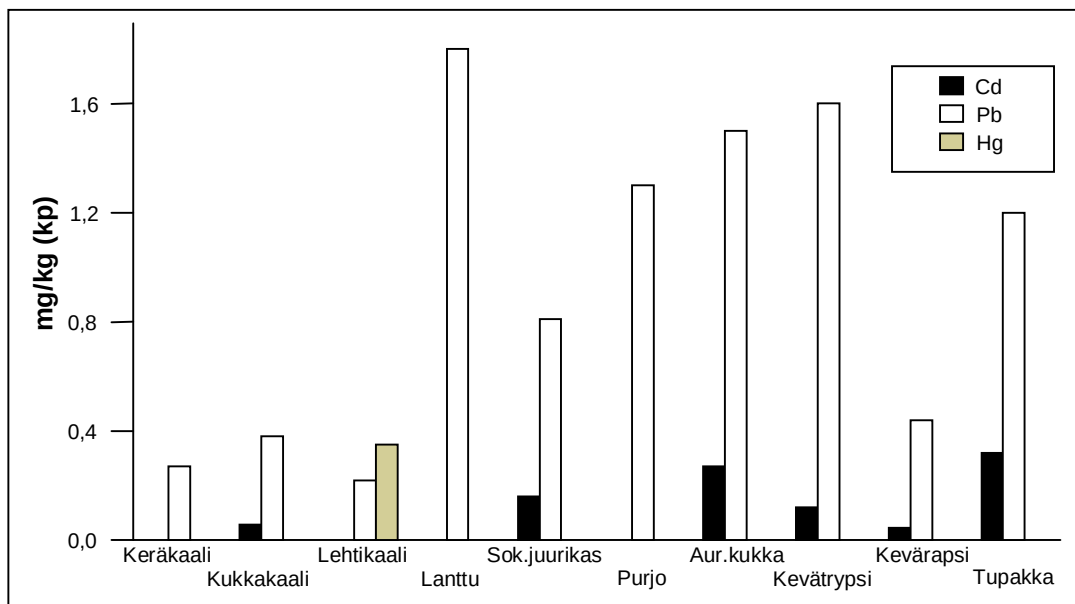
Tässä tutkimuksessa lyijypitoisuudet leveälehtisissä kasvinäytteissä olivat korkeampia kuin Elintarvikeviraston kotimaisissa salaatti- (*Lactuca sativa*) ja kiinankaalinäytteissä (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) havaitsemat pitoisuudet (Niemi & Hallikainen 1993, liite IV). Näistä ihmisravinnoksi käytettävistä kasviksista lehtikaalinäytteen lyijypitoisuus kuitenkin alitti kauppa- ja teollisuusministeriön ja EU:n asettaman suurimman sallitun lyijypitoisuuden, joka kaa-leissa ja leveälehtisissä vihanneksissa on 0,3 mg/kg. Myös auringonkukka-, kevätrypsi- ja kevätrapsinäytteissä pitoisuudet alittivat tämän rajan mutta sen sijaan palturitupakkanäytteessä lyijyä oli yli 0,3 mg/kg tuorepainoa kohti. Vastaava ohjearvo muille vihanneksille, hedelmille ja palkokasveille, 0,1 mg/kg, alittui lähes kaikissa näytteissä mutta ylittyi lavakurkun (*Cucumis sativus*) ja myös purjon kohdalla, jos jälkimmäiseen sovelletaan alemmaa ohjearvoa (kauppa- ja teollisuusministeriö 1996, EY-komissio 2001, liite IV). Lavakurkun korkeahko lyijypitoisuus voi johtua siitä, että tämäkin näyte lienee sisältänyt hieman maata ja huuhdeltuna lavakurkun lyijypitoisuus lienee pienempi.

Leveälehtisten kasvien elohopeapitoisuudet eivät olleet siis muiden ryhmien pitoisuuksia korkeampia, vaikka voisi olettaa niiden keräävän suurella lehtipinta-alallaan tehokkaasti ilmalaskeumasta elohopeaa. Kesä 2002 oli poikkeuksellisen lämmin (Ilmatieteen laitos 2004), mikä saattoi vaikuttaa kasvien elohopeapitoisuuksiin. Elohopeaa nimittäin haihtuu runsaasti jo alhaisissakin lämpötiloissa ja se on metalleista kaikkein helpoimmin haihtuva (Baird 1999). Myös näytteiden käsittely, pakastettujen näytteiden sulattaminen ja uudelleen jäädyttäminen kylmäkuivauksen yhteydessä saattoi saada aikaan elohopean haihtumista ja pienentää näytteiden pitoisuuksia. Elohopealle ei ole määritetty enimmäismääriä kasviksissa.

Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta kerättyjen leveälehtisten kasvien kadmiumpitoisuudet ovat suunnilleen samaa luokkaa kuin Elintarvikeviraston tutkimien salaatin ja kiinankaalin pitoisuudet (Niemi & Hallikainen 1993, liite IV). Kauppa- ja teollisuusministeriö on asettanut vihannesten kadmiumpitoisuuksille suurimman sallitun pitoisuuden 0,1 mg/kg (kauppa- ja teollisuusministeriö 1996). EU-asetuksen ohjearvo vihanneksille ja hedelmille on tiukempi eli 0,05 mg/kg tuorepainoa kohti, toisaalta leveälehtisille vihanneksille sallitaan asetuksessa korkeampi pitoisuus, 0,2 mg/kg. Kaikkien näytteiden kadmiumpitoisuudet alittivat kuitenkin tämän matalammankin ohjearvon (EY-komissio 2001, liite IV).

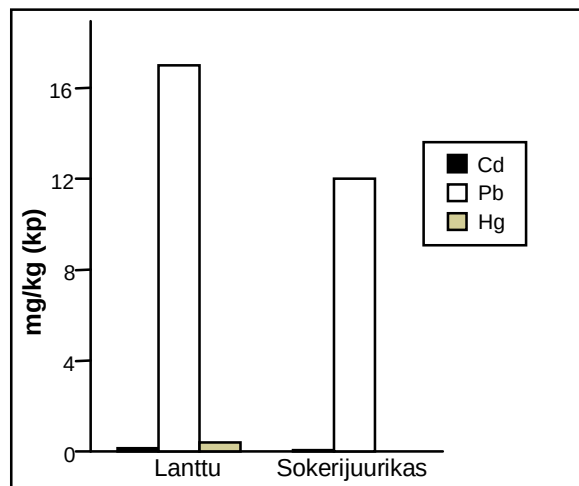


Kuva 1. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. 2002 kerättyjen hedelmänäytteiden raskasmetallipitoisuudet kuivapainoa kohti.



Kuva 2. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. 2002 kerättyjen leveälehtisten kasvinäytteiden raskasmetallipitoisuudet kuivapainoa kohti.

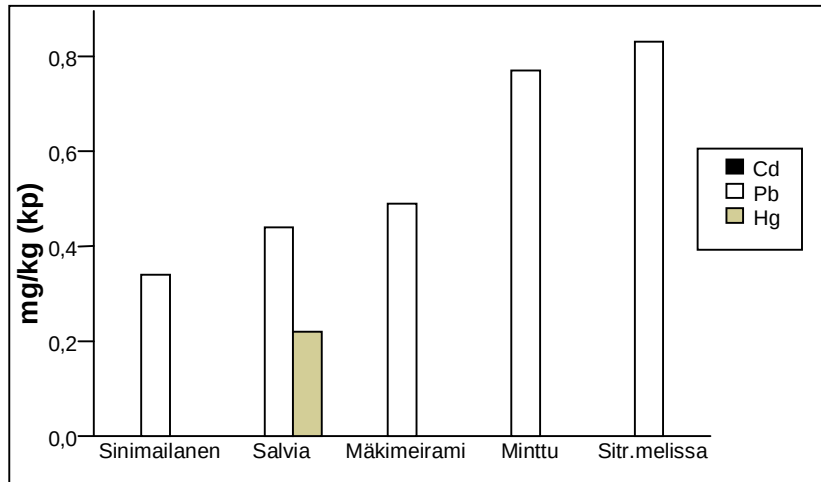
Lantusta ja sokerijuurikkaasta (*Beta vulgaris* var. *altissima*) analysoitiin erikseen maanalaiset ja maanpäälliset osat (lehdet). Lantun maanalaisissa osissa elohopeaa oli 0,39 mg/kg (kuivapainoa kohti) ja sokerijuurikkaassa alle määrittysrajan. Maanalaisten osien lyijypitoisuus oli lantussa 17 mg/kg ja sokerijuurikkaassa 12 mg/kg. Maanalaisten osien lyijypitoisuudet olivat huomattavan korkeita, mikä johtunee näytteiden mukaan joutuneesta pienestä määrästä maata. Maaperänäytteissä lyijyä oli selvästi enemmän kuin kadmiumia tai elohopeaa (taulukko 3), mikä on normaalia pintamaan metallipitoisuuksille (Salla 1999). Yleensä maanalaisten kasviosien lyijypitoisuudet ovat alhaisempia kuin verson pitoisuudet. Kasveihin tulisikin kerääntyä lyijyä pääosin ilmasaskeuman kautta ja korkeimpia pitoisuuksia todetaankin usein juuri leveälehtisistä kasveista (Sillanpää ym. 1988). Myös kadmiumia oli lantussa enemmän (0,15 mg/kg) kuin sokerijuurikkaassa (0,08 mg/kg) (kuva 3). Lantun ja sokerijuurikkaan maanalaisten osien kadmiumpitoisuudet eivät juurikaan poikenneet muiden näytteiden pitoisuuksista kuten selvästi lyijyn ja hieman myös elohopean kohdalla (liite III). Kadmiumin pitoisuudet olivat maaperänäytteissäkin muita metalleja alhaisemmat (taulukko 3), mikä siis suoraan näkyy maanalaisten osien kadmiumpitoisuuksissakin. Lantun ja sokerijuurikkaan kadmiumpitoisuudet alittivat EU-asetuksen ohjearvon 0,1 mg/kg (EY-komissio 2001, liite IV).



Kuva 3. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. kerättyjen lantun ja sokerijuurikkaan maanalaisten osien raskasmetallipitoisuudet kuivapainoa kohti.

Monivuotisten maustekasvien ja sinimailasen (*Medicago sativa*) kadmiumpitoisuudet olivat alle määrittysrajan ja elohopeaakin oli yli määrittysrajan vain ryytisalviassa (*Salvia officinalis*) (0,22 mg/kg kuivapainoa kohti). Pidempi kerääntymisaika ei siis näytä lisänneen kadmiumin tai elohopean määrää näissä näytteissä. Pienin lyijypitoisuus oli sinimailasnäytteessä (0,34 mg/kg) ja suurin sitruunamelissassa (*Melissa officinalis*) (0,83 mg/kg) (kuva 4). Monivuotisissa maustekasveissa oli yli määrittysrajan raskasmetalleista siis lähes yksinomaan lyijyä ja jos maustekasveihin sovelletaan muille vihanneksille tarkoitettua lyijyn ohjearvopitoisuutta 0,1 mg/kg tuorepainoa kohti, suurin sallittu pitoisuus ylittyi kaikissa näytteissä, jos sinimailasta ei tässä lasketa maustekasvien mukaan. Mauste- ja rohdoskasveille voidaan toisaalta soveltaa myös lehtivihannesten ohjearvopitoisuutta lyijylle, 0,3 mg/kg, ja tällöin Kumpulan maustekasvinäytteiden pitoisuudet ovat muuten sallituissa rajoissa paitsi, että sitruunamelissassa lyijyä oli tuorepainoa kohti yli tämänkin rajan (kauppa- ja teollisuus-

ministeriö 1996, EY-komissio 2001, liite IV). Galambosin ym. (2004) tutkimuksessa kotimaisten salvia-, sitruunamelissa-, oregano- (eli mäkimeirami *Origanum vulgare* ssp. *vulgare*) ja piparminttunäytteiden (*Mentha x piperita*) keskimääräinen lyijypitoisuus oli hieman yli 0,5 mg/kg tuorepainoa kohti. Kumpulan puutarhalla kerätyissä vastaavissa kasvinäytteissä lyijypitoisuudet ovat pienempiä, selvästi alle 0,5 mg/kg tuoreapainoa kohti (liite IV). Kaikkien Kumpulan puutarhan monivuotisten maustekasvien kadmiumpitoisuudet olivat alle määritysrajan, 0,05 mg/kg ja pitoisuudet alittivat siten selvästi EU-asetuksen suurimman sallitun kadmiumpitoisuudet tuoreille yrteille 0,2 mg/kg tuorepainoa kohti (EY-komissio 2001, liite IV).



Kuva 4. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen monivuotisten kasvinäytteiden raskasmetallipitoisuudet kuivapainoa kohti.

3.1.1 Tilastanalyysit

Eri näyteryhmien keskiarvoja verrattaessa eniten lyijyä (14,50 mg/kg kuivapainoa kohti) ja elohopeaa (0,22 mg/kg) oli kasvien maanalaisissa osissa. Korkein keskimääräinen kadmiumpitoisuus (0,11 mg/kg) mitattiin sekä leveälehtisistä kasveista että kasvien maanalaisista osista (taulukko 1). Tutkimuksessa parhaiten edustettujen kasviheimojen (ristikukka-, koiso-, kurkku-, herne-, ruusu- ja huulikukka-kasviheimot) raskasmetallien keskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Suurin keskimääräinen kadmiumpitoisuus (0,24 mg/kg) oli koiso-kasveissa, suurin lyijypitoisuus (3,10 mg/kg) ristikukka-kasveissa ja suurin elohopeapitoisuus (0,15 mg/kg) ruusukasveissa.

Kruskalin-Wallis -testillä testattiin kadmiumin, lyijyn ja elohopean pitoisuuksien eroja eri näyteryhmien välillä. Nollahypoteesin mukaan ryhmien pitoisuuksien keskiarvojen välillä ei ole eroa. Vain lyijyn kohdalla ero pitoisuuksissa oli tilastollisesti merkitsevä (df 2, $p = 0,025^*$). Kruskalin-Wallis -testi ei itsessään vielä kerro, mitkä ryhmät erosivat lyijypitoisuuksien keskiarvojen suhteen toisistaan merkitsevästi; tätä testattiin edelleen parittaisilla vertailuilla Mannin-Whitneyn U -testillä. Yksikään näistä parittaisista vertailuista ei antanut tilastollisesti merkitsevää tulosta eli alittanut I-tyypin virheen suhteen korjattua riskitasoa 0,0083. Muissa tutkimuksissa *Brassica*-suvun kasvien on havaittu keräävän poikkeuksellisen tehokkaasti lyijyä juuriinsa ja myös versoonsa (Kumar ym. 1995). Tässä tutkimuksessa ristikukka-kasvit (*Brassicaceae*, sat-

tumalta vain *Brassica*-suvun lajeja) olivat keränneet keskimäärin eniten lyijyä (taulukko 2), mutta tilastollisesti *Brassica*-lajit eivät siis eronneet merkitsevästi muista.

Kruskalin-Wallis -testillä testattiin myös raskasmetallipitoisuuksien eroja niissä kasviheimoissa, joissa näytteiden lukumäärä oli suurempi kuin kaksi: ristikukkais-, koiso-, ruusu- ja huulikukkaiskasvit. Kurkkukasvien (*Cucurbitaceae*), kurkun ja kesäkurpitsan (*Cucurbita pepo*) sekä hernekasvien (*Fabaceae*), peltoherneen ja sinimailasen elohopeapitoisuudet olivat alle määritysrajan. Myös de Temmermanin ym. (1986) tutkimuksessa kloorialkalitehtaan lähellä kasvatetuista kasveista hernekasvit keräsivät muita kasveja vähemmän elohopeaa ja samoin kasvien hedelmissä elohopeapitoisuudet olivat pieniä. Muissakin tutkimuksissa kasvien hedelmiin on havaittu kertyneen elohopeaa vain vähän muihin kasvinosiin verrattuna (Elsokkary 1982, Lenka ym. 1992). Tässä tutkimuksessa keskimäärin eniten elohopeaa keräsivät kuitenkin ruusukasvit (*Rosaceae*), joista kaikki sattuiivat olemaan hedelmänäytteitä (taulukko 2). Ruusukasvit eivät keränneet kuitenkaan elohopeaa tilastollisesti enempää kuin muutkaan kasviheimot; eri kasviheimojen elohopeapitoisuuksilla ei ollut merkitsevää eroa. Vain kadmiumpitoisuuksien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ($df\ 3, p = 0,007^{**}$). Kadmiumpitoisuuksia vertailtiin edelleen pareittain Mannin-Whitneyn *U* -testillä. Parittaisissa vertailuissa ei kuitenkaan heimojen välillä ollut merkitseviä, 0,0083-riskitason alittavia eroja.

Kadmiumin kertymistä eri kasvilajeihin ja kasvinosiin on tutkittu paljon (mm. Pettersson 1977, Sillanpää & Jansson 1991). On huomattu, että taksinomia (kasvin heimo) on eräs määräävä tekijä kadmiumin kerääntymisessä, tärkeämpi kuin esimerkiksi maaperän happamuus (Kuboi ym. 1987). Hernekasvit (*Leguminosae* eli *Fabaceae*) keräävät usein muita kasveja vähemmän kadmiumia, kun taas keskinertaisia kadmiumin kerääjiä ovat mm. kurkkukasvit (*Cucurbitaceae*). Savikka- (*Chenopodiaceae*), ristikukkais- (*Crusiferae* eli *Brassicaceae*), koiso- (*Solanaceae*) ja asterikasveihin (*Compositae* eli *Asteraceae*) kertyy sitä vastoin usein runsaammin kadmiumia kuin muiden heimojen lajeihin (Kuboi ym. 1986). Tässä tutkimuksessa hernekasvinäytteiden (peltoherneen ja sinimailasen) kadmiumpitoisuudet olivat alle määritysrajan, samoin kaikkien huulikukkais- (*Lamiaceae*) ja ruusukasvinäytteiden (*Rosaceae*). Keskimäärin eniten kadmiumia keräsivät koisokasvit (taulukko 2). Useita heimoja edusti tutkimuksessa vain yksi kasvilaji eikä niitä ole otettu tässä tarkasteluun. Pitää myös ottaa huomioon, että esimerkiksi kaikki ruusukasvinäytteet ovat hedelmiä, kun taas ristikukkaiskasveista näytteiksi kerättiin kokonaisia versoja. Kaikki huulikukkaiskasvit olivat puolestaan monivuotisia maustekasveja. Kruskalin-Wallis -testillä saatiin merkitsevä ero eri kasviheimojen kadmiumpitoisuuksien välille. Koisokasvit erosivat eniten muista: ristikukkaisiin verrattaessa $U = 0,5; p = 0,021$, huulikukkaisiin verrattaessa $U = 0,0; p = 0,019$ ja ruusukasveihin verrattaessa samoin $U = 0,0; p = 0,019$. Erot eivät olleet aivan merkitseviä mutta saattavat kertoa jotakin koisokasvien kadmiuminkeräämistäpumuksista. Etenkin vertailussa ruusukasveihin saatu tulos on kiinnostava, sillä molemmissa heimoissa näytteet ovat enimmäkseen tai kaikki hedelmiä, joiden voisi olettaa keräävän kadmiumia samantapaisesti.

Tutkimushypoteesin mukaisia kohonneita raskasmetallipitoisuuksia ei juurikaan löydetty kasvien maanpäällisistä osista, lukuunottamatta ehkä lavakurk-

kua ja joitakin monivuotisia maustekasveja, joiden lyijypitoisuudet olivat melko korkeita. Lantun ja sokerijuurikkaan maanlaisten osien korkeat lyijypitoisuudet ovat hypoteesin vastaisia, sillä lyijyä päätyy kasveihin yleensä nimenomaan ilmalaskeuman kautta, ei maaperästä. Maanalaisten osien kadmiumpitoisuudet eivät olleet korkeampia kuin muissa näytteissä, kuten hypoteesissa oletettiin

3.2 Kasvinäytteiden nitraattipitoisuudet

Hedelmien nitraattipitoisuudet olivat alle määritysrajan (25 mg/kg kuivapainoa kohti) päärynä-, omena- ja luumunäytteessä. Korkein nitraattipitoisuus mitattiin kesäkurpitsasta: 11 000 mg/kg (kuva 5). Leveälehtisissä kasveissa pienin nitraattipitoisuus mitattiin purjonäytteestä (500 mg/kg) ja suurin kevätrypsistä (49 000 mg/kg) (kuva 6). Monivuotisissa kasvinäytteissä vain ryytisalviassa (240 mg/kg) ja mäkimeiramissa (720 mg/kg) nitraattipitoisuus oli yli määritysrajan. Lantun maanalaisissa osissa oli nitraattia 1 100 mg/kg ja sokerijuurikkaassa puolestaan 1 700 mg/kg. Keskimäärin eniten nitraattia oli ristikukkaiskasveissa (taulukko 2).

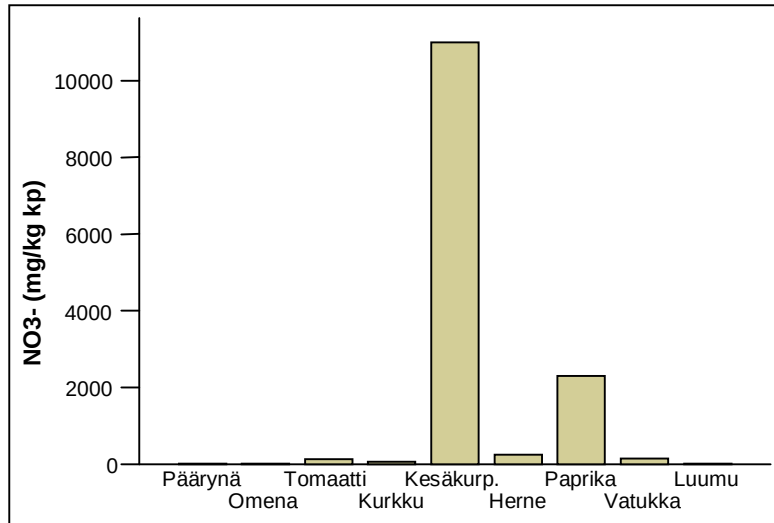
Elintarvikeviraston (Niemi & Hallikainen 1993) tutkimiin kasvisten nitraattipitoisuuksiin verrattuna joidenkin Kumpulan puutarhalta kerättyjen leveälehtisten kasvinäytteiden pitoisuudet ovat korkeita. Näistä ihmisravinnoksi käytettävässä (huuhtelemattomassa) lehtikaalissa nitraattia oli kuitenkin vähemmän kuin esimerkiksi Elintarvikeviraston kiinankaali-, ruukkusalaatti- ja keräsalaatinäytteissä. Myös Kumpulan lavakurkku- ja tomaatinäytteissä nitraattia on selvästi vähemmän kuin Elintarvikeviraston näytteissä. Samoin keräkaalin (valkokaalin) nitraattipitoisuus on pienempi kuin Elintarvikeviraston näytteessä mutta kukkakaalin (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) kohdalla tilanne on päinvastainen (Niemi & Hallikainen 1993, liite IV). Kumpulasta kerätyn kukkakaalinäytteen suhteellisen suuri pitoisuus selittyy luultavasti sillä, että näytteessä oli mukana lehtiä, joiden on havaittu keräävän yleensä huomattavasti enemmän nitraattia kuin kukinnon osien (Lorenz 1978). Vain pinaatilla (*Spinacia oleracea*) ja salaatile on määrätty suurin sallittu nitraattipitoisuus (EY-komissio 2001). Virossa asetetuihin tarkkoihin nitraatin enimmäispitoisuuksiin voidaan kuitenkin verrata tämän tutkimuksen näytteiden pitoisuuksia. Kumpulasta kerättyjen lavakurkun, tomaatin ja keräkaalin (valkokaalin) pitoisuudet alittivat selvästi nämä enimmäismäärät mutta kukkakaalista nitraattia mitattiin 405 mg/kg tuorepainoa kohti eli yli Virossa asetetun ohjearvon, 300 mg/kg (Niemi & Hallikainen 1993, liite IV). Ravinnoksi käytettävän kukkakaalin kukinnon suojuslehdet kannattaa siis poistaa, jolloin nitraatin määrä syötävässä osassa on luultavasti pienempi.

Kruskalin-Wallis -testin mukaan näyteryhmien nitraattipitoisuuksien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero (df 3, $p = 0,004^{**}$). Parittaisissa vertailuissa Mannin-Whitneyn U -testillä saatiin 0,0083-riskitason alittava, tilastollisesti merkitsevä ero hedelmänäytteiden ja leveälehtisten kasvinäytteiden välille (U = 8,0; $p = 0,004$) sekä leveälehtisten ja monivuotisten kasvinäytteiden välille (U = 2,0; $p = 0,003$). Muissa ryhmien välisissä vertailuissa ei saatu tilastollisesti merkitseviä eroja. Kruskalin-Wallis -testillä saatiin merkitsevä ero myös em. kasviheimojen nitraattipitoisuuksien keskiarvojen välille (df 3, $p = 0,005^{**}$). Mannin-Whitneyn U -testin parittaisissa vertailuissa merkitsevä ero oli ruusu- ja ristikukkaisheimojen (U = 0,0; $p = 0,008$) sekä ristikukkais- ja huulikukkais-

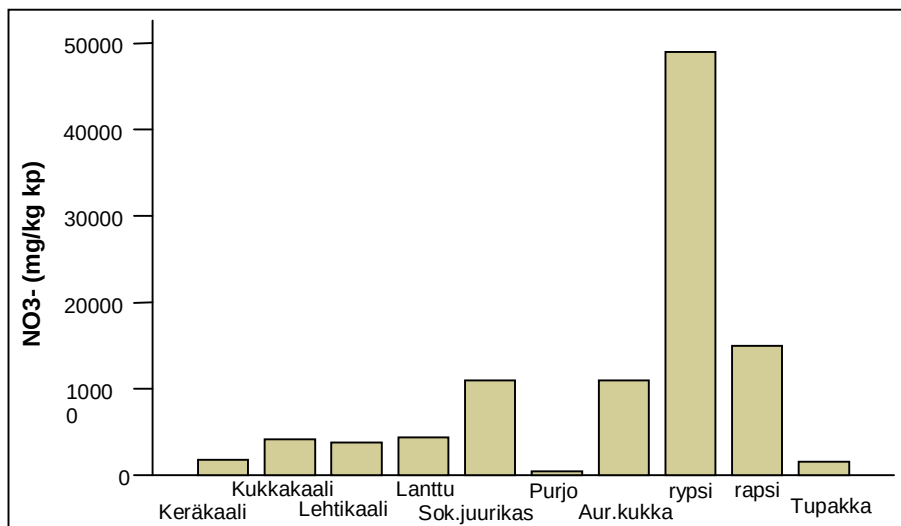
heimojen välillä ($U = 0,0$; $p = 0,008$). Käytännössä tämä kuvastaa samoja tilastollisia eroja kuin näyteryhmienkin välisissä vertailuissa saadut erot, sillä ruusukasvit olivat kaikki sattumalta hedelmänäytteitä ja huulikukkaiskasvit monivuotisia maustekasveja.

Kasvisten nitraattipitoisuuksissa on yleensä suuria eroja johtuen mm. kasvin iästä, kasvutiheydestä, kasvupaikan valoisuudesta, kastelusta, lämpötilasta ja kasvualustan nitraattipitoisuudesta. Eri kasvilajit ja lajikkeet keräävät yleensä hyvin eri tavoin nitraattia ja myös eri kasvinosiin nitraattia kertyy erilaisesti (Lorenz 1978, Blomberg 1997). Vihanneksissa ja rehukasveissa (esimerkiksi sinimailasessa) havaitaan usein korkeita nitraattipitoisuuksia, kun taas kasvien hedelmiin ei yleensä juuri kerry nitraattia. Nitraatin määrän erot eri kasvinosisa tulevat ilmi esimerkiksi kaalinkerän uloimpien, vanhimpien lehtien yli kolminkertaisissa pitoisuuksissa muihin lehtiin verrattuna. Yleisesti useimpien ristikukkaiskasvien versoihin on huomattu kertyvän suhteellisen paljon nitraattia (Lorenz 1978). Taksonomialla on merkitystä siis myös nitraatin kertymisen suhteen. Ristikukkaiskasvien lisäksi myös mm. savikka-, koiso- ja mykerökukkaiskasvien on havaittu keräävän suhteellisen runsaasti nitraattia (Schrader 1978). Lajikohtaisesti mm. juurikkaat (*Beta* spp.), salaatti, pinaatti ja useat *Brassica*-lajit, kuten lehtikaali, keräävät tavallisesti muita lajeja enemmän nitraattia versoonsa. Herneen siemeniin kertyy huomattavasti vähemmän nitraattia kuin kasvullisiin versonosiin (Maynard ym. 1976).

Tässä tutkimuksessa selvästi suurimpia nitraattipitoisuuksia mitattiin kevätrypsistä ja -rapsista, jotka ovat ristikukkaiskasveja. Yleensä suuria pitoisuuksia mitattiin useimmista leveälehtisistä kasveista mutta myös kesäkurpitsanäytteen nitraattipitoisuus oli huomattavan korkea, eräiden muiden hedelmänäytteiden pitoisuuksiin verrattuna jopa monisatakertainen. Monivuotiset maustekasvit näyttivät kaikki keräävän suhteellisen vähän nitraattia versoonsa ja ne erottuivatkin tilastollisesti merkitsevästi paljon nitraattia keränneistä ristikukkaikasveista. Hernekasveihin kuuluvan sinimailasan nitraattipitoisuus oli alle määritysrajan (liite III). Nitraattipitoisuudet erosivat merkitsevästi myös eri näyteryhmissä ja leveälehtiset erottuivat muista. Käytännössä tämä ero kuvastaa samaa tulosta, joka saatiin heimojen tilastollisessa vertailussa, sillä leveälehtiset näytteet ovat pääosin ristikukkaiskasveja. Suuren lehtipinta-alan ei tulisi periaatteessa vaikuttaa nitraatin määrään versossa, sillä kasvit ottavat nitraattia pääasiassa maaperästä (Lambers ym. 1998). Monet ristikukkaiskasvilajit esiintyvät tyyppillisesti sukkession alkuvaiheen kasviyhteisöissä (Judd ym. 1999). Esimerkiksi kaalit, rapsi ja lanttu sekä rypsi ovat kehittyneet rikkakasvimaisista tai merenrannoilla kasvavista kantalajeista (Rousi 1997). Tällaiset pioneeri- ja ruderaalilajit keräävät yleensä tehokkaasti ravinteita, kasvavat nopeasti ja niillä on nopea elinkierto sekä suuri lehtipinta-ala. Pioneerilajit ovat opportunisteja, joiden täytyy nopeasti vallata kasvutilaa ja hyödyntää lyhytaikaisen kasvupaikan resursseja (Lambers ym. 1998). Mitä korkeampi kasvin suhteellinen kasvunopeus on sitä tehokkaammin kasvi ottaa nitraattia maaperästä (Ter Steege ym. 1999), mikä voi syynä juuri ristikukkaisten ja ehkä myös muiden leveälehtisten kasvien korkeisiin nitraattipitoisuuksiin.



Kuva 5. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. 2002 kerättyjen hedelmänäytteiden nitraattipitoisuudet kuivapainoa kohti.



Kuva 6. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. 2002 kerättyjen leveälehtisten kasvinäytteiden nitraattipitoisuudet kuivapainoa kohti.

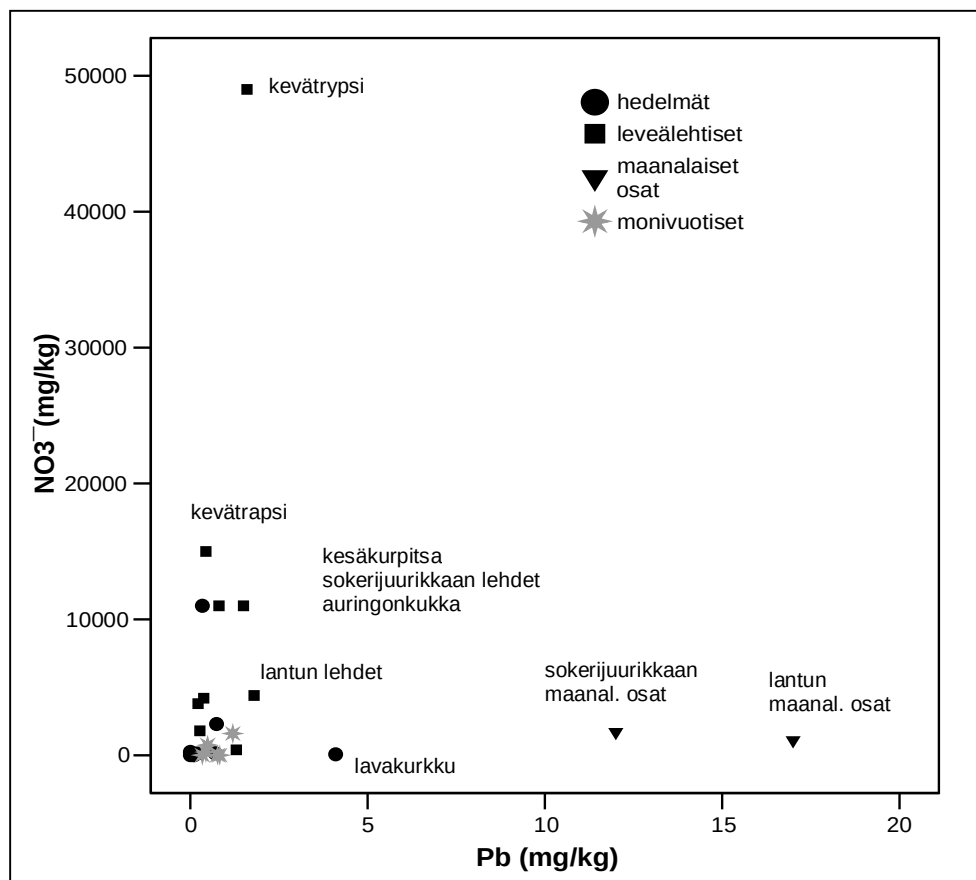
3.3 Näyteaineiston jakautuminen lyijy- ja nitraattipitoisuuksien suhteen

Kasvinäytteiden nitraatti- ja metallipitoisuuksia tutkittiin lisäksi pääkoordinaattianalyysillä, mutta kaikki aineistossa havaittu vaihtelu johtui lopulta vain lyijy- ja nitraattipitoisuuksista. Tällöin paras ratkaisu on havainnollistaa vaihtelua aineistossa yksinkertaisella hajontakuviolla vain nitraatin ja lyijyn suhteen. Kuvassa erottuvat lantun ja sokerijuurikkaan maanlaiset osat, joista mitattiin korkeita lyijypitoisuuksia ja vastaavasti runsaasti nitraattia sisältänyt kevättrypsi (kuva 7).

Lyijyn ja nitraatin pitoisuudet ovat tärkeimpiä näyteaineistossa havaittua vaihtelua selittävät tekijät. Lyijyn pitoisuudet maaperässä ovat korkeita, mikä näkyy puhdistamattomien lantun ja sokerijuurikkaan maanalaisten osien korkeina

pitoisuuksina (taulukko 3, liite III). Kasvit ottavat myös nitraattia lähinnä vain maaperästä (Lambers ym. 1998). Kuitenkaan mihinkään näytteeseen ei ollut kertynyt molempia aineita runsaasti vaan korkeita nitraattipitoisuuksia sisältäneissä näytteissä lyijypitoisuudet olivat matalia ja päinvastoin. Lyijy selvästikään ei siis liiku maaperästä kasveihin vaan jää maanalaisten osien pinnalle; lantun ja sokerijuurikkaan maanpäällisissä osissa ei havaittu korkeita lyijypitoisuuksia (kuva 7, liite III).

Kun typpeä on maaperässä runsaasti saatavilla, kasvit allokoivat maanpäälliseen biomassaan, fotosynteesitehokkuus kasvaa eikä nitraattia kuljeteta versosta juuriin kuten silloin, kun tuestä on pulaa (Lambers ym. 1998). Lannoitetuilla viljelyalueilla typpeä voi olla maaperässä liikaakin ja kasveihin alkaa kertyä nitraattia (Ramade 1987, Heinonen ym. 1992). Toisaalta, kun maaperässä on runsaasti raskasmetalleja, kuten lyijyä tai kadmiumia, kasvien maanpäällisten osien nitraattipitoisuuksien on havaittu olevan matalia. Maaperän metallit voivat siis hidastaa nitraatin ottoa maaperästä ja haitata sen kuljetusta versoon, mikä vaikuttaa edelleen kasvuun ja biomassan tuottoon (Kevresan ym. 2001). Äärimmäisissä tapauksissa tämä voi olla syynä siihen, että korkeita nitraattipitoisuuksia ei havaita niissä kasveissa, joiden kasvualustassa on runsaasti raskasmetalleja ja jotka keräävät niitä versoonsa. Tämän tutkimuksen näytekasvit kasvoivat kuitenkin lähekkäin eikä niiden kasvualustan metallipitoisuuksissa oletettavasti ollut vaihtelua, jolloin tämänkaltaisia johtopäätöksiä ei voida tehdä.



Kuva 7. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta kerättyjen huuhtelemattomien kasvinäytteiden nitraatti- ja lyijypitoisuudet kuivapainoa kohti.

3.4 Kasvinäytteiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet

Kasvinäytteistä mitattiin 23:n eri PAH-yhdisteen pitoisuuksia (liite V), joista on laskettu kokonais-PAH -pitoisuudet. Määritysraja yhdisteille oli 0,01 mg/kg paitsi asenaftyleenille, fluoreenille, bentso(a)pyreenille ja peryleenille 0,02 mg/kg sekä asenaftenille, 2,3,5-trimetyylinaftaleenille, bentso(e)pyreenille ja bentso(b+k)fluoranteenille 0,04 mg/kg. Kokonaispitoisuudet on laskettu siten, että alle määritysrajan olevat pitoisuudet on käsitelty keskiarvoina 0,005 mg/kg, 0,01 mg/kg tai 0,02 mg/kg. Muutamissa näytteissä bentso(e)pyreenin kromatografinen piikki on niin suuri, että se peittää naapuriyhdisteet alleen. Ionisoitumisen perusteella niitä ei voida laitteistolla erottaa toisistaan (H. Kontsas, suul.). Pääsääntöisesti Kumpulasta kerättyjen kasvien korkeat PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet muodostuvat juuri bentso(e)pyreenistä, mutta muista näytteistä poiketen purjossa korkea kokonaispitoisuus (193,42 mg/kg) johtui dibents(a,h)antraseenistä (liite V).

Kasvien hedelmissä suurimmat PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat päärynänäytteessä (15,52 mg/kg kuivapainoa kohti). Päärynän bentso(e)pyreenin pitoisuus oli korkea (14,82 mg/kg) ja lähes kaikkien muiden yhdisteiden pitoisuudet ovat alle määritysrajan. Hedelmissä pienin kokonais-PAH -pitoisuus mitattiin luumunäytteestä (0,210 mg/kg) (kuva 8, liite V). Kumpulän kasvitieteellisen puutarhan kasvinäytteistä korkeimpia kokonais-PAH -pitoisuuksia mitattiin odotetusti leveälehtisistä kasveista, joissa pitoisuudet olivat kuitenkin melko vaihtelevia. Leveälehtisistä kasvinäytteistä korkeimmat kokonais-PAH -pitoisuudet mitattiin kevättrypsistä (406,41 mg/kg): tässäkin tapauksessa bentso(e)pyreeni muodosti kokonaispitoisuudesta suurimman osan (403,50 mg/kg). Muihin leveälehtisiin näytteisiin nähden sokerijuurikkaan lehtien (0,39 mg/kg), auringonkukan (0,33 mg/kg) ja tupakan (0,53 mg/kg) kokonais-PAH -pitoisuudet olivat pieniä ja bentso(e)pyreenin pitoisuus olikin näissä näytteissä alle määritysrajan (kuva 9, liite V). Lantun maanalaisten osien PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli 1,18 mg/kg ja sokerijuurikkaan 0,47 mg/kg. Monivuotisista kasveista salviassa kokonais-PAH -pitoisuudet olivat monisatakertaiset (347,79 mg/kg) sinimailaseen, mäkimeiramiin, minttuihin ja sitruunamelissaan verrattuna. Useiden yhdisteiden pitoisuudet olivat salvinäytteessä korkeita, mm. fluoranteenin (132,9 mg/kg), bents(a)antraseenin (56,9 mg/kg) ja kryseenin (125,3 mg/kg) pitoisuudet. Salviasta mitattiin lisäksi muita näytteitä selvästi korkeampi indeno(1,2,3-cd)pyreenin pitoisuus (9,36 mg/kg) ja se oli ainoa näyte, jossa havaittiin bentso(ghi)peryleeniä yli määritysrajan (3,39 mg/kg) (liite V). Korkeimpia kokonais-PAH pitoisuuksia mitattiin keskimäärin ristikukkaikasveista (taulukko 2). Tutkimushypoteesin mukaisesti leveälehtiset kasvit keräsivät keskimäärin eniten PAH-yhdisteitä (taulukko 1).

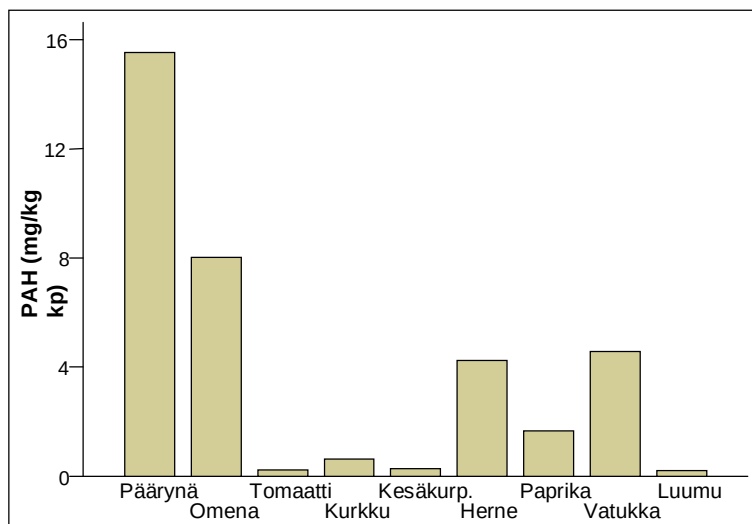
Kumpulän kasvitieteelliseltä puutarhalla kerätyistä kasvinäytteistä mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat pääosin alle määritysrajojen. Tuorepainoa kohti pitoisuudet ovat luonnollisesti vielä pienempiä kuin kuivapainoa kohti mitattuna; useassa tapauksessa pitoisuudet ovat alle 0,01 mg/kg. Joukossa on kuitenkin huomattavan korkeita mm. bentso(e)pyreenin pitoisuuksia, jotka nostavat kokonaispitoisuuksia. Yli 20 mg bentso(e)pyreeniä kilossa tuorepainoa

kohti mitattiin lantun lehdistä (23,09 mg/kg), lehtikaalista (huuhdellussa näytteessä 85,45 mg/kg), kevätrapsista (56,02 mg/kg) ja kevätrypsistä (50,49 mg/kg) (liite VI). Muiden tutkimusten tuloksiin verrattuna Kumpulan näytteiden pitoisuudet ovat korkeita, mutta vertailua vaikeuttaa se, että tässä tutkimuksessa yhdisteiden määritysrajat ovat paljon korkeammat kuin esimerkiksi Elinatarvikeviraston tutkimuksessa, jossa kasvien ja hedelmien kokonais-PAH -pitoisuudet vaihtelevat välillä 0,00004 - 0,004 mg/kg tuorepainoa kohti. Elintarvikeviraston tutkimissa näytteissä ei yhdessäkään kasvi- tai hedelmänäytteessä ollut korkeita bentso(e)pyreenin tai muunkaan yksittäisen yhdisteen pitoisuuksia. Korkeimmat pitoisuudet löytyivät odotetusti savustetuista elintarvikkeista; talkkunajauhojen kokonais-PAH -pitoisuus oli noin 13,86 mg/kg, mikä sekin on selvästi pienempi kuin joidenkin Kumpulasta kerättyjen näytteiden pitoisuudet (Hietaniemi ym. 1999, liite VI).

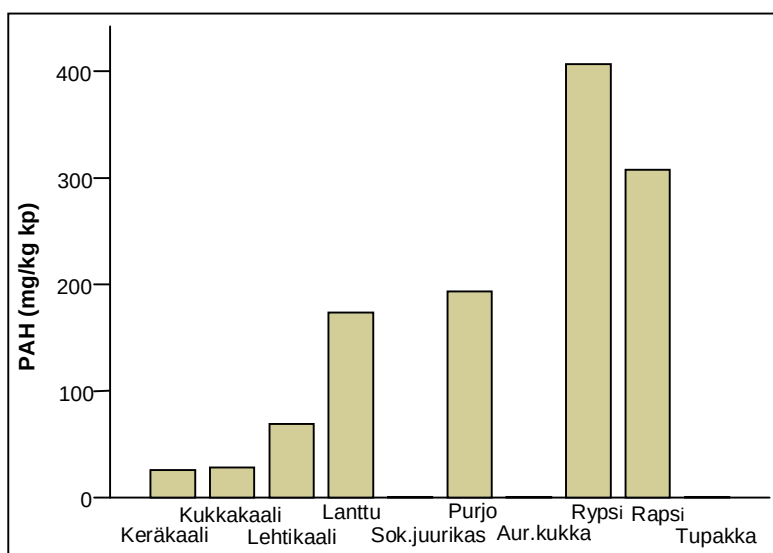
Bentso(e)pyreenin karsinogeenisuudesta ei ole täyttä varmuutta. Kumpulasta kerättyssä salvianäytteessä havaittiin sen sijaan korkea pitoisuus bents(a)antraseenia ja kryseeniä, jotka ovat tutkitusti syöpää aiheuttavia yhdisteitä. Myös erityisesti purjonäytteessä havaittu bents(a,h)antraseeni on karsinogeeni. PAH-yhdisteistä kaikkein tunnetuin karsinogeeni on bentso(a)pyreeni, jota löytyi Kumpulän näytteistä verrattain vähän: yli määritysrajan sitä mitattiin vain lantun (0,014 mg/kg tuorepainoa kohti) ja sokerijuurikkaan (0,007 mg/kg) maanalaisista osista. Nämä suhteessa pienet pitoisuudet ovat kuitenkin muihin tutkimuksiin ja suosituksiin nähden korkeita. Esimerkiksi Saksa sallii bentso(a)pyreeniä savustetuissa valmisteissa vain 0,001 mg/kg (Hietaniemi ym. 1999, liite VI).

Kumpulän kasvitieteellisen puutarhan kasvien korkeat PAH-pitoisuudet voivat olla peräisin liikenteestä ja energiantuotannosta, vaikka muissa tutkimuksissa ei tällaisia pitoisuuksia olekaan havaittu. Toinen selitys korkeille pitoisuuksille on näytteiden kontaminaatio esikäsittelyn aikana. Näytteitä, joissa oli suuria määriä bentso(e)pyreeniä, ei kuitenkaan esimerkiksi kuljetettu tai kylmäkuivatettu samaan aikaan ja mahdollisen kontaminaation lähdettä on vaikea arvioida. Kontaminaatiosta voi merkinä sekin, ettei korkeita pitoisuuksia havaittu merkitsevästi enemmän mistään tietystä näyteryhmästä tai -heimosta.

Kruskalin-Wallis -testin mukaan ei näyteryhmien eikä myöskään kasviheimojen välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kokonais-PAH -pitoisuuksien keskiarvoissa. Myös bentso(e)pyreenin pitoisuuksien eroja eri näyteryhmien välillä tarkasteltiin Kruskalin-Wallis -testillä mutta merkitseviä eroja ei tässä tapauksessa löytynyt. Korkeissa bentso(e)pyreenin pitoisuuspiikeissä ei siis ole tilastollista säännönmukaisuutta näyteryhmittäin.



Kuva 8. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. 2002 kerättyjen hedelmänäytteiden PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet kuivapainoa kohti.



Kuva 9. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalta 23.8. 2002 kerättyjen leveälehtisten kasvinäytteiden PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet kuivapainoa kohti.

Taulukko 1. Pitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat* eri näyteryhmissä kuivapainoa kohti (huuhtelemattomat näytteet).

Näyteryhmä	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	ΣPAH (mg/kg)
Hedelmät	0,70 ± 1,30	0,07 ± 0,08	0,09 ± 0,09	1550 ± 3620	3,9 ± 5,1
Leveälehtiset	0,95 ± 0,60	0,11 ± 0,11	0,08 ± 0,09	10230 ± 14449	120,5 ± 144,7
Maanalaiset osat	14,50 ± 3,54	0,11 ± 0,05	0,22 ± 0,24	1400 ± 424	0,8 ± 0,5
Monivuotiset	0,57 ± 0,21	0,03 ± 0,00	0,08 ± 0,08	206 ± 320	70,2 ± 155,2

*

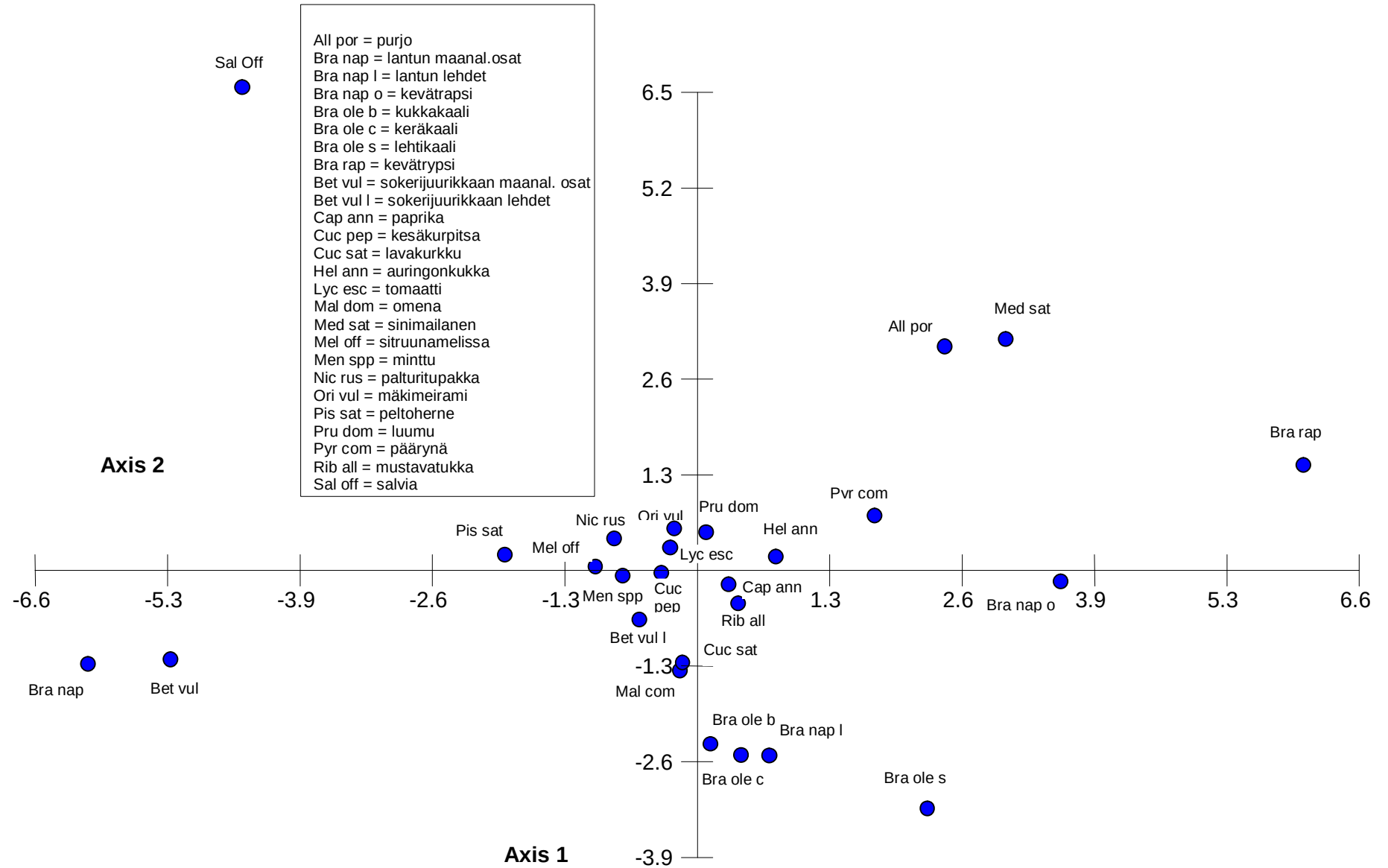
Alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet on käsitelty lyijyn ja kadmiumin kohdalla arvoina 0,025 mg/kg (määrittäysraja 0,05 mg/kg) sekä elohopean kohdalla arvoina 0,05 mg/kg (määrittäysraja 0,10 mg/kg).

Taulukko 2. Pitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat eräissä kasviheimoissa kuivapainoa kohti (huuhtelemattomat näytteet).

Heimo	n	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	ΣPAH(mg/kg)
Brassicaceae	6	0,06 ± 0,05	3,10 ± 6,16	0,14 ± 0,16	11329 ± 17241	144,5 ± 158,1
Solanaceae	3	0,24 ± 0,09	0,71 ± 0,51	0,05 ± 0,00	1343 ± 1108	0,8 ± 0,8
Cucurbitaceae	2	0,08 ± 0,05	2,22 ± 2,66	0,05 ± 0,00	5535 ± 7729	0,5 ± 0,3
Fabaceae	2	0,03 ± 0,00	0,18 ± 0,22	0,05 ± 0,00	131 ± 168	3,3 ± 1,3
Rosaceae	4	0,03 ± 0,00	0,23 ± 0,32	0,15 ± 0,12	47 ± 69	7,1 ± 6,5
Lamiaceae	4	0,03 ± 0,00	0,63 ± 0,20	0,09 ± 0,09	248 ± 354	87,2 ± 173,7

* Alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet on käsitelty lyijyn ja kadmiumin kohdalla arvoina 0,025 mg/kg (määrittäysraja 0,05 mg/kg) sekä elohopean kohdalla arvoina 0,05 mg/kg (määrittäysraja 0,10 mg/kg).

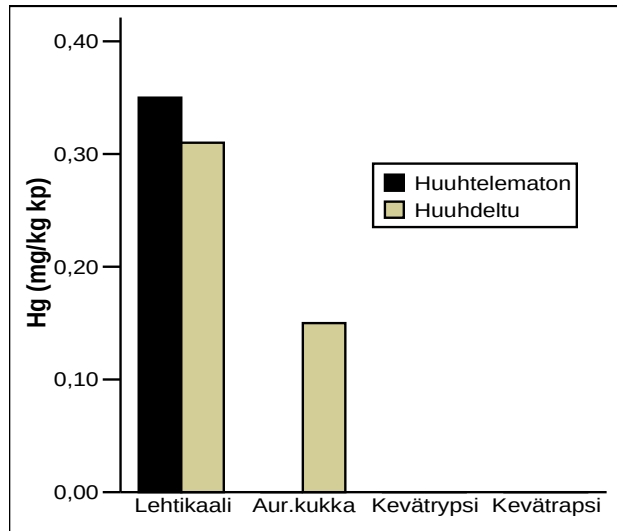
Pääkoordinaattianalyysissä erottuivat akselilla 1 selvästi muista runsaasti bentso(e)pyreeniä keränneet kevättrypsi ja -rapsi. Bentso(e)pyreeni ei kuitenkaan yksinään riitä selittämään kaikkea vaihtelua akselilla 1, vaan kasvien jakautumiseen vaikuttavat ilmeisesti myös 2,6-dimetyyli-naftaleenin pitoisuudet, jotka olivat hieman muita korkeampia sinimailasessa, kevättrypsisä ja -rapsissa, purjossa sekä lehtikaalissa. Bentso(e)pyreenin pitoisuudet olivat sitävastoin matalia lantun ja sokerijuurikkaan maanalaisissa osissa, joissa lisäksi 2,6-dimetyyli-naftaleenin pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan. Akselilla 2 eräs määrävistä yhdisteistä on todennäköisesti dibents(a,h)antraseeni, jonka pitoisuus on erittäin korkea purjossa, korkea salviassa ja hieman kohonnut sinimailasessa. Salviasta mitattiin lisäksi useiden muiden yhdisteiden korkeita pitoisuuksia ja toisaalta bentso(e)pyreenin pitoisuus on siinä alle määrittäysrajan; salvia erotuikin selvästi kaikista muista näytteistä. Akselilla 2 matalia arvoja saaneessa lehtikaalissa, kukkakaalissa, keräkaalissa ja lantun lehdistä kaikkien salvia-näytteessä runsaiden yhdisteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajojen. Hedelmänäytteistä erottui päärynä, jossa oli muista hedelmistä poiketen sekä korkea bentso(e)pyreenin että korkeahko dibents(a,h)antraseenin pitoisuus. Lantun ja sokerijuurikkaan maanalaiset osat erottuivat siis muista näytteistä mutta muuten analyysin tuloksena ei saatu selviä näyteryhmiin perustuvia ryhmittymiä. Suurin osa näytteistä sijoittuu kuvassa lähelle origoa eli niitä ei voida erottaa PAH-yhdisteiden pitoisuuksien perusteella (kuva 10, liite V).



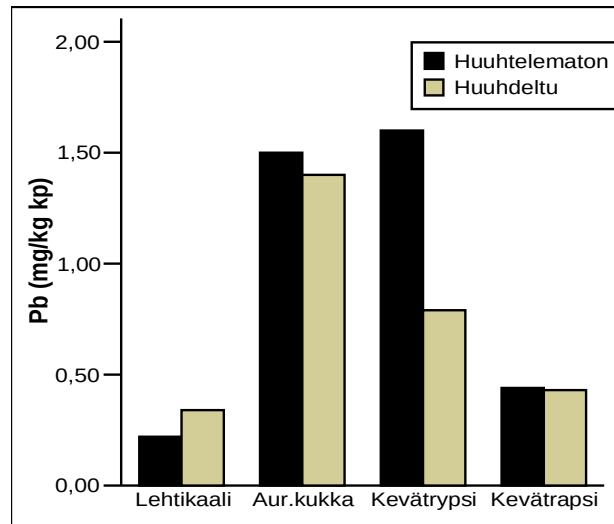
Kuva 10. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen huuhtelemattomien kasvinäytteiden PAH-yhdisteiden pitoisuuksien

3.5 Raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet huuhtelemattomissa ja huuhdelluissa näytteissä

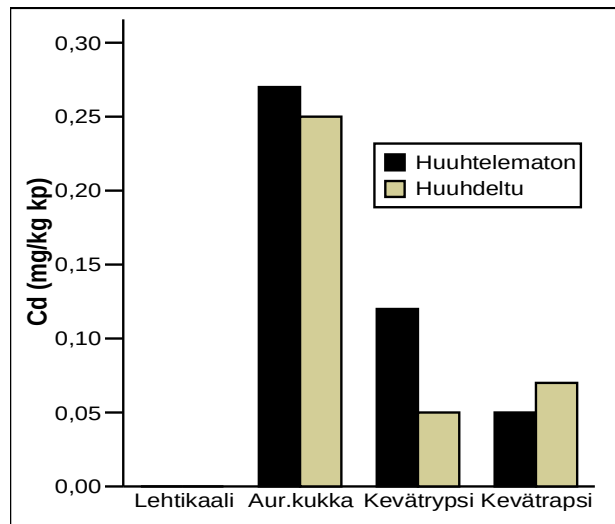
Elohopeaa oli sekä huuhdelluissa että huuhtelemattomissa kevätropsi- ja kevät-rypsinäytteissä alle määrittäysrajan, samoin kuin huuhtelemattomassa auringonkukkanäytteessä. Huuhtelemattoman lehtikaalinäytteen elohopeapitoisuus oli 0,35 mg/kg kuivapainoa kohti ja huuhdellun näytteen 0,31 mg/kg (kuva 11). Lyijyn pitoisuudet olivat huuhtelemattomassa auringonkukassa (1,5 mg/kg), kevätrypsissä (1,6 mg/kg) ja kevätropsissa (0,44 mg/kg) korkeammat kuin vastaavissa huuhdelluissa näytteissä (1,4 mg/kg, 0,79 mg/kg, 0,43 mg/kg). Lehtikaalinäytteissä lyijypitoisuudet olivat päinvastoin suuremmat huuhdellussa (0,34 mg/kg) kuin huuhtelemattomassa näytteessä (0,22 mg/kg) (kuva 12). Kadmiumia oli alle määrittäysrajan molemmissa lehtikaalinäytteissä. Kevätropsissa huuhdellun näytteen kadmiumpitoisuus (0,07 mg/kg) oli huuhtelemattoman pitoisuutta (0,05 mg/kg) suurempi. Auringonkukassa taas huuhtelemattomassa näytteessä (0,27 mg/kg) oli enemmän kadmiumia kuin huuhdellussa (0,25 mg/kg), samoin kevätrypsinäytteissä (huuhtelematon 0,12 mg/kg, huuhdeltu 0,05 mg/kg) (kuva 13).



Kuva 11. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen huuhdeltujen ja huuhtelemattomien kasvinäytteiden elohopeapitoisuudet kuivapainoa kohti.

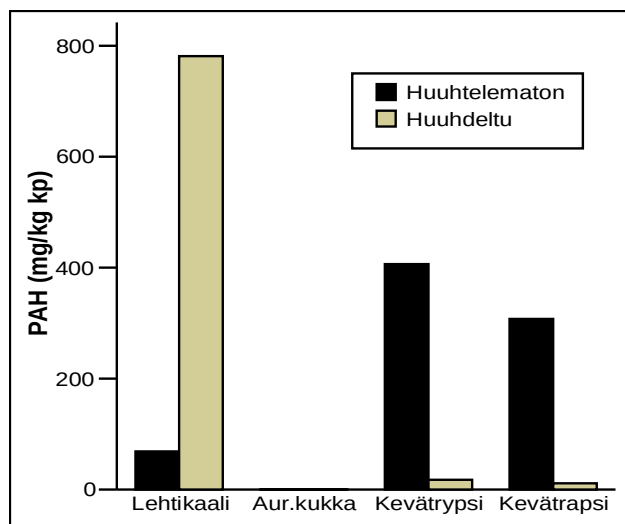


Kuva 12. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen huuhdeltujen ja huuhtelemattomien kasvinäytteiden lyijypitoisuudet kuivapainoa kohti.



Kuva 13. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen huuhdeltujen ja huuhtelemattomien kasvinäytteiden kadmiumpitoisuudet kuivapainoa kohti.

PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat selvästi pienemmät huuhdelluissa (17,64 mg/kg ja 11,32 mg/kg kuivapainoa kohti) kuin huuhtelemattomissa (406,41 mg/kg ja 307,61 mg/kg) kevätrypsi- ja kevätropsinäytteissä. Auringonkukanäytteiden kokonais-PAH -pitoisuudet olivat paljon muita pienemmät, eivätkä näy kuvassa; huuhdellun näytteen pitoisuus oli 0,31 mg/kg ja huuhtelemattoman 0,33 mg/kg. Huuhdellun lehtikaalinäytteen kokonais-PAH -pitoisuus (781,24 mg/kg) oli yli 11-kertainen huuhtelemattoman näytteen pitoisuuteen (68,73 mg/kg) verrattuna (kuva 14).



Kuva 14. Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla 23.8. 2002 kerättyjen huuhdeltujen ja huuhtelemattomien kasvinäytteiden PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet kuivapainoa kohti.

Tutkimuksessani huuhteleminen ei pienentänyt esimerkiksi lyijypitoisuuksia selvästi, kuten eräissä lähteissä on arveltu tai havaittu (Sinervo & Ahonen 1990, Deu & Kreeb 1993, Ranta 1999). Huuhtelemisen on havaittu myös poistavan suunnilleen 25 % PAH-yhdisteistä kasvin pinnalta (Edwards 1983), mutta tämänkaltaisia tuloksia ei aineistosta voi havaita. Näytemäärä (kaksi kokoomänäytettä) oli kuitenkin liian pieni, jotta mitään lopullista voisi päätellä näistä tuloksista. Kaiken kaikkiaan pitoisuuksien erot huuhdeltujen ja huuhtelemattomien näytteiden pitoisuuksissa ovat todella pieniä eivätkä välttämättä merkittäviä. Huuhtelemisen vaikutusta kasvien ympäristömyrkkypitoisuuksiin tulisiikin tutkia tarkemmin suuremmalla näytemäärällä ja useammalla eri kasvilajilla, mihin tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollisuuksia. Tutkimushypoteesissa oletettiin, että huuhdeltujen kasvinäytteiden ilmalaskeumasta peräisin olevien raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet olisivat pienempiä kuin vastaavissa huuhtelemattomissa näytteissä. Selviä eroja huuhtelemattomien ja huuhdeltujen näytteiden välille ei kuitenkaan syntynyt ja joissakin tapauksissa tulokset ovat jopa päinvastaisia kuin hypoteesin oletus. Kerätty aineisto on kuitenkin liian pieni, jotta hypoteesi voitaisiin varmuudella hylätä tai hyväksyä.

3.6 Maaperänäytteiden happamuus, alkuainepitoisuudet ja kationinvaihtokapasiteetti

Hyötykasvimaan happamuus (7,28) oli maustekasvimaan happamuutta (7,10) hieman korkeampi. Liukoisen lyijyn (25,04 mg/kg kuivaa maata) ja kadmiumin (0,34 mg/kg) pitoisuudet olivat hyötykasvimaassa suuremmat kuin maustekasvimaassa (lyijyä 11,88 mg/kg ja kadmiumia 0,20 mg/kg). Happamalla ammoniumasetaatilla uutettujen näytteiden elohopeapitoisuudet olivat alle määritysrajan (1 µg/kg). Kokonaiselohopean (1,39 mg/kg), -lyijyn (226,5 mg/kg) ja -kadmiumin (0,80 mg/kg) pitoisuudet olivat niin ikään hyötykasvimaassa korkeampia kuin maustekasvimaassa (vastaavasti 0,77 mg/kg, 132,1 mg/kg ja 0,66 mg/kg). Samoin vaihtuvien kationien pitoisuudet olivat magnesiumia lukuunottamatta hyötykasvimaassa maustekasvimaan pitoisuuksia korkeampia ja siten edelleen kationinvaihtokapasiteetti oli hyötykasvimaassa hieman korkeampi (26,35 milliekvivalenttia/100 g kuivaa maata) kuin maustekas-

vimaassa (25,69 mekv/100 g). Näytteiden H^+ -pitoisuuksia ei voitu mitata, sillä emäksisissä oloissa pitoisuudet ovat häviävän pieniä ja näin ollen maaperänäytteiden kationinvaihtokapasiteetti sisältää vain emäksisten kationien pitoisuudet (taulukko 3).

Taulukko 3. Maaperänäytteiden pH sekä liukoisten raskasmetallien pitoisuudet, raskasmetallien kokonaispitoisuudet, vaihtuvien kationien pitoisuudet ja kationinvaihtokapasiteetti (KVK) maan kuivapainoa kohti.

Mitattu muuttuja	Hyötykasvima	Maustekasvima
pH	7,28	7,10
Cd (mg/kg)		
Liukoinen	0,34	0,20
Kokonaispitoisuus	0,80	0,66
Pb (mg/kg)		
Liukoinen	25,04	11,88
Kokonaispitoisuus	226,46	132,06
Hg (mg/kg)		
Liukoinen	<0,001	<0,001
Kokonaispitoisuus	1,39	0,77
Mg²⁺ (mg/kg)	162,59	164,15
K⁺ (mg/kg)	345,16	156,90
Na⁺ (mg/kg)	44,38	32,52
Ca²⁺ (mg/kg)	4796,25	4767,79
KVK (mekv./100g)	26,35	25,69

Heikkouuttomenetelmin (esimerkiksi EDTA-uutto) voidaan määrittää näytteestä liukoisten, kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevien aineiden pitoisuuksia (Ranta 1999). Liukoisten metallien osuus kuvaa siis kasvien välitöntä metallien saantia mutta kokonaismetallipitoisuuksien mittaaminen on kuitenkin usein tarpeen, jotta voidaan arvioida maaperän metallien pitkäaikaisvaikutuksia: olosuhteiden muuttuessa maaperässä liukoisten metallien määräkin saattaa muuttua (Williams 1983). Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maaperästä mitatut kadmiumin, lyijyn ja elohopean kokonaispitoisuudet ovat vastaaviin ohjearvoihin verrattuna näennäisesti korkeita mutta eivät kuitenkaan ylitä asetettuja raja-arvoja (Jeltsch & Pyy 1994, taulukko 3) Vertailussa on kuitenkin otettava huomioon erilaiset uuttomenetelmät. Kuumentaminen mikroaaltouunissa typpihapossa hajottaa näytteitä paljon tehokkaammin kuin tavanomainen kuumentaminen muissa happouuttomenetelmissä, esimerkiksi kuningasvesiuutossa (Hossner 1996). Helsingin viljelypalsta-alueiden kokonaismetallipitoisuudet mitattiin kuningasvesiuutoksista ja kadmiumin (0,33 mg/kg) ja lyijyn (52 mg/kg) keskimääräiset pitoisuudet olivat alle ohjearvojen, kokonaiselohopean keskiarvopitoisuus oli tutkimuksessa yli ohjearvon (0,31 mg/kg) (Ranta 1999) mutta sekin selvästi alhaisempi kuin Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maaperästä mitattu arvo. Vaikka vertailu ohjearvoihin ei olekaan suoraviivaista, antaa metallien kokonaispitoisuuksien mittaaminen kuitenkin

hyödyllistä tietoa liukoisten metallien osuudesta maaperässä ja siten metallien kulkeutumisesta maaperästä kasveihin.

Kokonaisraskasmetallipitoisuuksia on mitattu myös Helsingin alueella toimineiden entisten kauppapuutarhojen maaperästä. Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan koillispuolella toimi 1970-luvulle saakka kauppapuutarha, jonka maaperään haitta-aineita on voinut joutua mm. talous- ja kaatopaikkajätteen kompostoinnista, torjunta-aineista, metallijätteestä ja lämmitykseen käytetyn jäteöljyn poltosta. Tutkimuksessa raskasmetallit uutettiin maanäytteistä happohajotuksella mikroaaltouunissa. Elohopea määritettiin atomiabsortiospektrofotometrisesti elohopea-analysaattorilla. Pintamaassa elohopeaa oli keskimäärin 3,8 mg/kg, kadmiumia 2,0 mg/kg ja lyijyä 462,8 mg/kg (Fraktman 2002). Näihin pitoisuuksiin verrattuna Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maaperän raskasmetallien kokonaispitoisuudet ovat alhaisia (taulukko 3).

Viljelymaiden helppoliukoisille raskasmetalleille ei ole virallisia ohjearvoja tai luokituksia Suomessa eikä ulkomailla (Mäkelä-Kurtto ym. 2002). Helsingin viljelypalsta-alueiden raskasmetallitutkimuksessa määritettiin kuitenkin kokonaismetallipitoisuuksien lisäksi liukoisten metallien pitoisuuksia EDTA-heikkouutolla. Liukoisen elohopean pitoisuudet olivat kaikkien palsta-alueiden maaperässä alle määritysrajan, samoin kuin Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maaperässäkin. Liukoista kadmiumia oli viljelypalsta-alueiden maanäytteissä keskimäärin 0,22 mg/kg ja lyijyä 24 mg/kg (Ranta 1999) eli suunnillen saman verran kuin Kumpulan näytteissäkin. Maustekasvimaan lyijypitoisuus (keskimäärin 11,88 mg/kg) oli kuitenkin sekä hyötykasvimaan että Helsingin viljelypalsta-alueiden keskiarvoa alempi (taulukko 3).

Suomen viljelymaiden tilaa tutkittiin vuonna 1998 määrittämällä peltojen ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksia. Näytteitä otettiin alueilta, jotka sijaitsevat mahdollisimman kaukana saastelähteistä, kuten teollisuuslaitoksista ja teistä ja jotka ovat siten oletettavasti puhtaampia kuin kaupunkien viljelyalueet (Mäkelä-Kurtto ym. 2002). Helsingin puutarhapalstoilta on mitattu jopa 20 kertaa suurempia lyijypitoisuuksia ja lähes viisi kertaa suurempia kadmiumpitoisuuksia kuin Suomen viljelymailta keskimäärin (Mäkelä-Kurtto ym. 2002, Sinervo & Ahonen 1990). Liukoisten metallien pitoisuudet myös Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maaperässä ovat korkeahkoja: kadmiumia on suunnilleen 3 – 1,5 kertaa ja lyijyä 7,5 – 3,5 kertaa niin paljon kuin Suomen viljelymailla keskimäärin. Samoin kalsiumin pitoisuus on korkea, noin kaksi kertaa niin suuri kuin Suomen viljelymailla keskimäärin. Tulosten vertailussa on tässäkin tapauksessa otettava huomioon erot uuttomenetelmissä. Vaikka molemmissa tutkimuksissa maaperän alkuaineita on analysoitu heikkouuttomenetelmin, erilaiset uuttonesteet voivat antaa mittauksessa erilaisia tuloksia. Mäkelä-Kurton ym. (2002) tutkimuksessa raskasmetallit uutettiin happaman ammoniumasetatin ja Na₂EDTA:n seoksella. EDTA toimii kelaattina, jolloin maanäytteistä voidaan tehokkaammin uuttaa orgaaniseen ainekseen sitoutuneita metalleja (Lakanen & Erviö 1971).

3.7 Raskasmetallien kulkeutuminen maaperästä kasveihin

Kasvien raskasmetallien otto maaperästä vähenee selvästi, kun maan happamuutta lasketaan esimerkiksi kalkituksella tai kationinvaihtokapasiteettia kasvatetaan lisäämällä maahan savea tai orgaanista ainesta (Kiekens & Cottenie 1983). Maaperän ominaisuuksien, etenkin happamuuden vaikutusta kadmiumin kulkeutumiseen on tutkittu paljon, sillä kadmium on muihin metalleihin, esimerkiksi lyijyyn ja elohopeaan verrattuna maaperässä hyvin liikkuva metalli (Kabata-Pendias 2001). Kasvien kadmiumin oton on havaittu pienenevän 20–40 %, kun happamuus laskee 0,5 yksikköä. Kadmiumin kulkeutuminen kasveihin on selvästi vähäisempää, kun happamuus muuttuu 5,5:stä 6,5:teen mutta vielä selkeämmin vaikuttaa maan rakenne; savimaalla, jossa kationinvaihtokapasiteetti on korkea, kulkeutuminen samassa happamuudessa on selvästi pienempää kuin hiekkaisella maalla (Hansen & Tjell 1983). Kun maan happamuus on yli 7, kahdenarvoinen kadmium (Cd^{2+}) saostuu sulfidina, karbonaattina tai fosfaattina eikä tällöin ole maaperässä kasvien käytettävissä (Baird 1999). Happamuuden on havaittu vaikuttavan jonkin verran myös lyijyn liikkuvuuteen maaperässä (Kiekens & Cottenie 1983). Esimerkiksi lyijysulfidin (PbS) tai -karbonaatin (PbCO_3) liukoisuus kasvaa lineaarisesti H^+ -konsentraation kasvassa; yhdiste hajoaa ja maanesteeseen vapautuu Pb^{2+} -ioneja (Baird 1999). Metallien kulkeutumisen vähentämiseksi maan happamuuden tulisi olla vähintään 6,5 (Williams 1983, Baird 1999).

Vuonna 2001 Suomen viljelymaiden keskimääräisen happamuuden on arvoitu olevan noin 6,1 (Mäntylähti 2002). Helsingin viljelypalsta-alueilla maan happamuus vaihtelee välillä 4,4–7,0 ja keskimääräinen happamuus on 5,4 (Ranta 1999). Näihin arvoihin verrattuna Kumpulan puutarhalla otettujen maanäytteiden happamuus on matala: sekä hyöty- että maustekasvimaalla pH on yli 7,0 (taulukko 3). Matala happamuus Kumpulan puutarhan maaperässä vähentänee selvästi raskasmetallien kulkeutumista maaperästä kasveihin. Metallien kertymistä kasveihin säätelee myös maan kationinvaihtokapasiteetti. Yhdysvalloissa maaperän kadmiumkuormitukselle on asetettu rajoja sen mukaan, kuinka suuri kyseisen maan kationinvaihtokapasiteetti on: 5,5 kg Cd/ha kun KVK < 5 mekv/100 g maata, 11 kg Cd/ha kun KVK 5–15 mekv/100 g maata ja 22 kg Cd/ha kun KVK > 15 mekv/100 g maata (Ross 1994). Tyypillisten savimineeraalien kationinvaihtokapasiteetin arvo voi vaihdella välillä 1 cmol/kg–150 cmol/kg, kun taas orgaanisen aineksen kationinvaihtokapasiteetti voi olla jopa 400 cmol/kg¹. Useimmiten maaperän kationinvaihtokapasiteetti on alempi kuin 30 mekv/100 g¹ (Baird 1999, Kabata-Pendias 2001).

Helsingissä toimineiden kauppapuutarhojen maaperän torjunta-aine- ja raskasmetallipitoisuuksia käsittelevässä tutkimuksessa mitattiin maaperänäytteistä myös kationinvaihtokapasiteetti. Kumpulassa entisen kauppapuutarhan pinta-maan kationinvaihtokapasiteetti vaihteli mittauksissa välillä 16,3 cmol/kg–22,7 cmol/kg (keskimäärin 20,05 cmol/kg). Munkkiniemessä toimineen kauppapu-

1) Yksikkö cmol/kg vastaa yksikköä mekv/100 g.

tarhan alueella pintamaassa kationinvaihtokapasiteetti oli keskimäärin 19,7 cmol/kg ja Vartioharjussa vastaavasti 11,63 cmol/kg (Fraktman 2002). Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maassa keskiarvot 26,35 meq/100 g ja 25,69 meq/100 g ovat hieman kauppapuutarhojen maasta mitattuja arvoja korkeampia (taulukko 3). Suhteellisesti korkea kationinvaihtokapasiteetti voi kuvastaa maaperän korkeaa orgaanisen aineksen määrää ja siten suurempaa raskasmetallien adsorptiota ja edelleen vähäisempää metallien biosaataavuutta (Rieuwerts ym. 2000).

Metalleista etenkin lyijy ja myös elohopea sitoutuvat tiukasti maaperässä orgaanisiin yhdisteisiin (Kabata-Pendias 2001). Mitä korkeampi kationinvaihtokapasiteetti on sitä enemmän raskasmetalli-ioneja pidättyy maahiukkasten pintaan, jolloin ne toki edelleen ovat kasvien käytettävissä. Tällöin raskasmetalleille tarjoutuu siis enemmän sitoutumispaikkoja maahiukkasten pinnoilta eli savimineraalit tai lisäksi maan orgaaninen aines pidättävät metalleja maassa (Heikkinen 2000). Myös muut maaperän alkuaineet voivat vaikuttaa raskasmetallien kulkeutumiseen. Esimerkiksi Ca^{2+} -ionit syrjäyttävät Cd^{2+} -ionit kuljetusmekanismeissa ja siten maan korkea Ca^{2+} -pitoisuus ehkäisee kasvien kadmiumin ottoa (Kabata-Pendias 2001). Maan korkea kalsiumpitoisuus Kumpulan kasvitieteellisessä puutarhassa voi siis vähentää kadmiumin kulkeumista kasveihin.

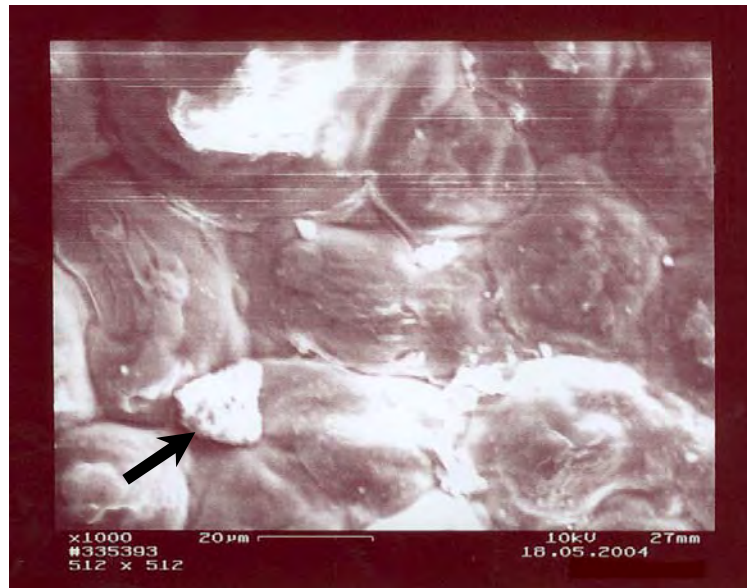
Liukoisten metallien osuus kasvitieteellisen puutarhan maaperässä vaikuttaa suhteellisen pieneltä verrattuna metallien kokonaispitoisuuksiin, mikä voi kertoa metallien pidättymisestä esimerkiksi maan orgaaniseen ainekseen tai saostumisesta vaihtumattomaan muotoon korkeassa pH:ssa. Tällöin metalleista vain pieni osa on kasvien käytettävissä ja tästäkin edelleen vain osa kulkeutuu kasveissa juurista versoon ja hedelmiin. Kokonaismetallipitoisuus maaperässä voi siis olla korkeakin, mutta metallien pitoisuudet kasveissa pysyvät silti taivotearvojen alapuolella.

3.8 Mustavatukan lehtien pinnan hiukkasten koostumus

Lehtinäytteiden yläpinnan hiukkaset koosta riippumatta koostuivat enimmäkseen hapestasta (O), alumiinista (Al) ja piistä (Si). Muita, lähes jokaisesta hiukkasesta havaittuja alkuaineita olivat natrium (Na), magnesium (Mg), fosfori (P), rikki (S), kalium (K), kalsium (Ca) ja rauta (Fe). Kuvassa 15 vasemmalla alhaalla (nuoli) on tyypillinen analysoitu kookas (läpimitaltaan n. 20 μm) hiukanen, jonka alkuainekoostumusta liitteen VII kuvaaja esittää. Muita harvemmin ja yleensä hyvin pieniä määriä havaittuja alkuaineita olivat mm. hiili (C), kupari (Cu), sinkki (Zn) ja fluori (F). Eräissä hiukkasissa hiiltä oli selvästi runsaammin ja mm. alumiinia ja piitä normaalia vähemmän.

Hiukkasissa tavallisimmin havaitut alkuaineet (O, Al, Si, Mg, Ca, Fe) ovat maaperässä yleisimpiä ja päätyneet lehtien pinnalle siis katupölystä. Lehtien pinnan natrium on joko suoraan tai katupölyn kautta peräisin merisuolasta. Tutkitut kookkaat, halkaisijaltaan noin 20 μm hiukkaset olivat myös muodoltaan tyypillisiä kulmikkaita, kiteisiä maaperähiukkasia (Freer-Smith ym. 1997, kuva 15, liite VII). Kasvitieteilisen puutarhan marja- ja hedelmätarha sijaitsee lähellä hiekkaista pyörätietä, josta maahiukkasia on voinut leijailta runsaastikin marjapensaiden lehdille.

Pääkaupunkiseudun aerosolihiukkastutkimuksessa havaittiin Vallilan alueella erityisesti liikenteestä ja raskaan polttoöljyn käytöstä syntyneitä hiukkaspäästöjä (Pakkanen ym. 2001). Fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyneet hiukaset ovat muodostaan pyöreitä ja onttoja (Freer-Smith ym. 1997). Tällaisia hiukkasia ei elektronimikroskooppianalyysissä mustavatukan lehdistä kuitenkaan löytynyt. Hanasaaren kivihiihivoimalasta ja liikenteestä olisi teoriassa voinut lehtien pinnoille kertyä arseenia, kadmiumia, lyijyä tai antimonia mutta näitä raskasmetalleja ei analysoiduissa hiukkasissa ollut. Joissakin harvoissa hiukkasissa havaitut erittäin pienet pitoisuudet sinkkiä, kuparia ja hiiltä voivat olla peräisin öljynpoltosta ja liikenteestä.



Kuva 15. Mustavatukan pinnan hiukkanen.

3.9 Yhteenveto

Raskasmetallien pitoisuudet Kumpulán kasvitieteelliseltä puutarhalta kerätyissä kasvinäytteissä olivat alhaisia saastelähteen vierestä kerättyjen kasvien pitoisuuksiin verrattuna ja suunnilleen samaa tasoa kuin Elintarvikeviraston tutkimien kotimaisten kasvien pitoisuudet (de Temmerman ym. 1986, Niemi & Hallikainen 1993). Vain lyijyn kohdalla pitoisuudet olivat osittain hieman korkeampia kuin esimerkiksi Elintarvikeviraston tutkimuksessa (Niemi & Hallikainen 1993) havaitut pitoisuudet. Alempia ohjearvoja (kauppa- ja teollisuusministeriö 1996, EY-komissio 2001) sovellettaessa lyijypitoisuudet ylittivät suositukset ihmisravinnoksi käytettävistä kasviksista lavakurkussa ja purjossa sekä monivuotisissa maustekasveissa, erityisesti sitruunamelissassa. Lantun ja sokerijuurikkaan maanalaisten osien lyijypitoisuudet olivat huomattavan korkeita, mikä kuitenkin johtunee näytteiden mukana tulleesta maasta. Näyteryhmien välillä ei ollut juurikaan tilastollisesti merkitseviä eroja raskasmetallipitoisuuksissa. Mikään kasviheimo ei myöskään tilastollisesti eronnut merkittävästi muista. Koisokasvit voivat kuitenkin olla mahdollisia tehokkaita kadmiuminkerääjiä.

Nitraatin pitoisuudet olivat joissakin leveälehtisissä näytteissä korkeita mutta ihmisravinnoksi käytettävien kasvien pitoisuudet olivat kuitenkin pääsääntöisesti alempia kuin esimerkiksi Elintarvikeviraston tutkimien (Niemi & Hallikainen 1993) näytteiden. Kukkakaalin nitraattipitoisuus oli kuitenkin suhteessa muita korkeampi ja ylitti Virossa tälle asetetun enimmäismäärän (Niemi & Hallikainen 1993). Ristikukkaiskasvit keräävät nitraattia tilastollisesti merkitsevästi enemmän kuin muiden heimojen edustajat. Suhteessa vähän nitraattia mitattiin hedelmänäytteistä, erityisesti ruusukasveista.

PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat kasvinäytteissä pääosin alle määritysrajojen mutta useissa näytteissä huomattavan korkeat bentso(e)pyreenin pitoisuudet nostivat kokonaispitoisuuksia. Myös muista yhdisteistä mitattiin yksittäisistä näytteistä hyvin korkeita pitoisuuksia. Muissa tutkimuksissa (Edwards 1983, Hietaniemi ym. 1999) ei tällaista ole havaittu, vaan kasvien PAH-pitoisuudet ovat yleensä alhaisia. Korkeita pitoisuuksia voi selittää tuntematon kontaminaatiokin. Eri näyteryhmät tai -heimot eivät eronneet merkitsevästi toisistaan kokonais-PAH -pitoisuuksien tai pelkän bentso(e)pyreeninkään suhteen. Pääkoordinaattianalyysissä lantun ja sokerijuurikkaan maanalaiset osat erottuivat selvästi muista näytteistä eli niiden PAH-profiili on poikkeava lähinnä bentso(e)pyreenin ja 2,6-dimetyylinaftaleenin suhteen.

Erilaisista uuttomenetelmistä johtuen Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan hyötykasvimaan ja maustekasvimaan raskasmetallien pitoisuuksien suora vertaaminen muihin tutkimuksiin ja ohjearvoihin on hankalaa. Näennäisesti korkeat raskasmetallien kokonaispitoisuudet maaperässä alittavat kuitenkin pitoisuuksille asetetut raja-arvot (Jeltsch & Pyy 1994) ja olivat selvästi alempia kuin Helsingin entisten kauppapuutarhojen maaperässä (Fraktman 2002). Liuukoisten metallien pitoisuudet ovat hieman korkeampia kuin Suomen viljelymailla keskimäärin (Mäkelä-Kurto ym. 2002) mutta samanlaisia tai alempia kuin muilla Helsingin viljelypalsta-alueilla (Ranta 1999). Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan maaperänäytteiden happamuus oli selvästi pienempi kuin Suomen viljelymailla tai Helsingin viljelypalsta-alueilla keskimäärin (Ranta 1999, Mäntylähti 2002) ja kationinvaihtokapasiteetti hieman korkeampi kuin Helsingin entisten kauppapuutarhojen maaperässä (Fraktman 2002). Myös kalsiumin pitoisuus oli korkeampi Kumpulan maaperässä kuin Suomen viljelymailla keskimäärin (Mäkelä-Kurto ym. 2002). Matala happamuus sekä korkea kationinvaihtokapasiteetti ja kalsiumpitoisuus voivat vähentää raskasmetallien kulkeutumista maaperästä kasveihin.

Kumpulan kasvitieteelliseltä puutarhalla kerättyjen mustavatuken lehtien pinnalta ei havaittu energiantuotannosta tai liikenteestä peräisin olevia hiukkasia. Pyyhkäisyelektronimikroskooppianalyysissä lehtien pinnalta tutkittujen hiukkasten alkuainekoostumus oli samanlainen kuin maaperähiukkasissa. Pääosa hiukkasista oli peräisin siis katupölystä.

4 Kiitokset

Kiitos ohjaajalleni yliopistonlehtori Sirkku Manniselle, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen ja auttoi suuresti myös laboriotöiden tekemisessä. Ohjaajani lisäksi tätä työtä alunperin ideoimassa oli Helsingin yliopiston kasvitieteellisen puutarhan intendentti Leif Schulman ja haluan kiittää häntä kannus-

tuksesta. Suomen Biologian Seura Vanamo ry. stipendin myöntäjänä tuki tämän työn tekemistä. Kiitän Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratorion päällikköä Seppo Ahosta, joka mahdollisti yhteistyön ympäristökeskuksen kanssa. Erityiskiitos kuuluu kemisti Timo Lukkariselle, joka neuvoi ja auttoi näytteiden esikäsittelyssä ja huolsi väsymättä temppuilevaa kylmäkuivuria. Kylmäkuivurin käytössä minua opasti tutkimuslaborantti Tuula Kaukiainen, kiitos myös hänelle! Ympäristölaboratoriossa analyyseistä vastasivat kemistit Timo Lukkarinen, Asta Ekman ja Helena Kontsas, joita kiitän niin tehdystä työstä ja kuin kysymyksiin vastaamisestakin. Haluan kiittää lämpimästi koko Kumpulän kasvitieteellisen puutarhan henkilökuntaa. Korvaamattomasta avusta haluan kiittää Bio- ja ympäristötieteiden laitokselta yliteknikko Esa Tulisaloa, joka auttoi minua maaperäanalyyysien teossa. En olisi selviytynyt myöskään ilman Pekka Pakarisen tilastotiedeapua. Arvokkaita tietoja sain niinkään Jouni Vainiolta ja Hannu Pietiäiseltä. Professori Heikki Hänninen ehdotti tärkeitä korjauksia työhöni. Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitoksen assistentti Kimmo Rasa neuvoi minua maaperän analyysimenetelmien valinnassa. Kiitos vielä teknikko Mervi Lindmanille Biotekniikan instituutissa oivallista ohjauksesta pyyhkäisyelektronimikroskoopin käytössä. Lopuksi haluan kiittää vanhempiani ja Kristian Lindqvistiä kaikesta.

5 Lähdeluettelo

Aarnio, P., Myllynen, M. & Koskentalo, T. 2001. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2000. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:8, Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. 30 s. ISSN 0357-5454.

Baird, C. 1999. Environmental chemistry. 2. painos. W.H. Freeman and Company, New York. 557 p. ISBN 0-7167-3153-3.

Berthelsen, B.O., Steinnes, E., Solberg, W. & Jingsen, L. 1995. Heavy metal concentrations in plants in relation to atmospheric heavy metal deposition. Journal of Environmental Quality 24, pp. 1018-1026. ISSN 0047-2425.

Blomberg, K. 1997. Kasvien nitraattipitoisuudet ja mahdollisuudet vaikuttaa niihin. Ympäristö ja terveys 7-8, s. 34-38. ISSN 0358-3333.

Deu, M. & Kreeb, K.H. 1993. Seasonal variations of foliar metal content in three fruit tree species. Teoksessa: Markert, B. (toim.), Plants as biomonitors, indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VCH, Weinheim. pp. 577-591. ISBN 1-56081-272-9

Edwards, N.T. 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) in the terrestrial environment – A review. Journal of Environmental Quality 12, pp. 427-441. ISSN 0047-2425.

Ekqvist, M. 1999. Raskasmetallipäästöt. Ympäristö 3, s. 18. ISSN 1237-0711

Elsokkary, I.H. 1982. Contamination of soils and plants by mercury as influenced by the proximity to industries in Alexandria, Egypt. The Science of the Total Environment 23, pp. 55-60. ISSN 0048-9697

Environmental Protection Agency 1994. EPA Method 3051 Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils.
<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051.pdf> 8.9.2004

European Committee for Standardization 1998. ENV 12014-4:1998 Foodstuffs - Determination of nitrate and/or nitrite content - Part 4: Ion-exchange chromatographic (IC) method for the determination of nitrate and nitrite content of meat products.

EY-komissio 2001. Asetus tiettyjen elintarvikkeissa olevien vieraiden aineiden enimmäismäärien vahvistamisesta. – Komission asetus 466/2001.

Fraktman, L. 2002. Torjunta-aineiden esiintyminen ja käyttäytyminen kauppuutarhojen maaperässä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 8/2002. 71 s. ISSN 1235-9718

Freer-Smith, P.H., Holloway, S. & Goodman A. 1997. The uptake of particulates by an urban woodland: site description and particulate composition. Environmental pollution 95, pp. 27-35. ISSN 0013-9327.

Galambosi, B., Roitto, M., Kumpulainen, J. & Lindstedt, L. 2004: Mauste- ja rohdoskasvien raskasmetallit. – Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote 19/2004.
<http://www.agronet.fi/maataloustieteellinenseura/julkaisut/posterit04/pt03.pdf>
 29.7. 2004

Haaparanta, S., Koskentalo, T. & Loukkola, K. 2003. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2002. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:11, Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. 92 s. ISSN 0357-5454.

Hansen, J.A. & Tjell, J.C. 1983. Sludge application to land – overview of the cadmium problem. Teoksessa: Davis, R.D., Hucker, G. ja L'Hermite, P. (toim.), Environmental effects of organic and inorganic contaminants in sewage sludge. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht. pp. 91-112. ISBN 91-620-3621-1.

Havas-Matilainen P. 1993. Kumpulan kartano sukupuolitautilisairaalana 1905-1960 – prof. Carl-Erik Sonck muistelee. Pimpinella 13, s. 23-24. ISSN 0359-4270.

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150, Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 74 s. ISBN 951-690-767-9.

Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 1992. Maa, viljely ja ympäristö. WSOY, Porvoo. 334 s. ISBN 951-0-17090-9.

Helsingin kaupunki 2004. Kaupunkisuunnitteluvirasto: Liikennemäärät Helsingin pääkatuverkossa syyskuu 2001.
http://www.hel.fi/ksv/Mita_suunnitellaan/Liikenne/tilastoja/lima2001.pdf
 13.01.2004

Hietaniemi, V. & Hallikainen, A 1997. PAH-yhdisteiden esiintyminen saannin kannalta tärkeimmissä elintarvikkeissa. Ympäristö ja terveys 7-8, s. 51-53. ISSN 0358-3333.

Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. Teoksessa: Sparks, D.L. (toim.), Methods of soil analysis Part 3: Chemical methods: Soil Science Society of America, Inc., Madison. pp. 49-64. ISBN 0-89118-825-8.

Hough, R.L., Breward, N., Young, S.D., Crout, N.M.J., Tye, A.M., Moir, A.M. & Thornton, I. 2004. Assessing potential risk of heavy metal exposure from consumption of home-produced vegetables by urban populations. Environmental Health Perspectives 112, pp. 215-221. ISSN 1078-0475.

Ilmatieteen laitos 2004: Kesän 2002 sääkooste. –
http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot_14.html 10.5.2004

International Organization for Standardization 2003. ISO 17294-2:2003 Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of 62 elements.

Jeltsch, U. & Pyy, O. 1994. Maan saastuneisuuden arvioinnissa käytettävät ohje- ja raja-arvot. Teoksessa: Puolanne, J., Pyy, O. & Jeltsch, U. (toim.), Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston muistio 5/1994, Painatuskeskus Oy, Helsinki. s. 53-62. ISBN 951-47-4823-9.

Judd, W.S., Campbell, C.S., Kellog, E.A. ja Stevens, P.F. 1999. Plant systematics, a phylogenetic approach. Sinauer Associates, Inc., Sunderland. 464 p. ISBN 0-8789-3404-9.

Kabata-Pendias, A. 2001. Trace elements in soils and plants. 3. painos. CRC Press, Boca Raton. 413 p. ISBN 0849315751.

Kauppa- ja teollisuusministeriö 1996. Eräiden tavallisimpien kontaminanttien enimmäismääriä elintarvikkeissa. Päätös nro.134.

Kevresan, S., Petrovic, N., Popovic, M. & Kandrac, J. 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead and molybdenum. Journal of Plant Nutrition 24, pp. 1633-1644. ISSN 0190-4167.

Kiekens, L. & Cottenie, A. 1983. Possibilities of reducing plant availability of heavy metals in a contaminated soil. Teoksessa: Davis, R.D., Hucker, G. ja L'Hermite, P. (toim.), Environmental effects of organic and inorganic contaminants in sewage sludge. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht. pp. 215-226. ISBN 91-620-3621-1.

Kipopoulou, A.M., Manoli, E. & Samara, C. 1999. Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables grown in an industrial area. Environmental Pollution 106, pp. 369-380. ISSN 0013-9327.

Koponen, T. & Koponen, A. 2002. Introduction to the new botanical garden at the University of Helsinki. 2. painos. Yliopistopaino, Helsinki. 74 s.

Kuboi, T., Noguchi, A. & Yazaki, J. 1986. Family-dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants. *Plant and Soil* 92, pp. 405-415. ISSN 0032-079X.

Kuboi, T., Noguchi, A. & Yazaki, J. 1987. Relationship between tolerance and accumulation characteristics of cadmium in higher plants. *Plant and Soil* 104, pp. 275-280. ISSN 0032-079X.

Kuivanen, K. 1998. Arboretumit ja muita puu- ja pensaslajistoltaan arvokkaita kohteita Uudenmaan liiton alueella. Uudenmaan liiton julkaisuja E 41, s. 12-13. ISSN 1236-679X.

Kulmala, M., Hienola, J., Hämeri, K., Pirjola, L. & Vesala, T. 1999. Fysiikka, kemia ja ympäristöongelmat. Report Series in Aerosol Science Part B N:o B3, Aerosolitutkimusseura ry, Helsinki. 196 s. ISSN 1456-226X.

Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Motto, H. ja Raskin, I. 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology* 29, pp. 1232-1238. ISSN 0013-936X.

Kärenlampi, S. 1997. Antaako geeniteknikka mahdollisuuden vähentää kasvien vierasainekuormitusta? *Ympäristö ja Terveys* 7-8, s. 31-33. ISSN 0358-3333.

Lakanen & Erviö 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agriculturae Fenniae* 123, pp. 223-232. ISSN 0570-1538.

Lambers, H., Chapin III, F.S. & Pons, T.L. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York. 540 pp. ISBN 0-387-98326-0.

Lawesson, J.E. (toim.) 2000. A concept for vegetation studies and monitoring in the Nordic countries. *TemaNord* 2000, p. 517. Nordic Council of Ministers, Copenhagen. 125 s. ISSN 0908-6692.

Lenka, M., Panda, K.K. & Panda, B.B. 1992. Monitoring and assesment of mercury pollution in vicinity of a chloralkali plant. IV. Bioconcentration of mercury in *in situ* aquatic and terrestrial plants at Ganjam, India. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 22, pp. 195-202. ISSN 0090-4341.

Lorenz, O.A. 1978. Potential nitrate levels in edible plant parts. Teoksessa: Nielsen, D.R. ja MacDonald, J.G. (toim.), *Nitrogen in the environment* vol. 2: Academic Press, Inc., New York. pp. 201-219. ISBN 0-12-518402-6.

Lounatmaa, K. 1980. Biologisen elektronimikroskopian perusteet. Oy Gaudeamus Ab, Huhmari. 112 s. ISBN 951-662-275-5.

Maatalouden tutkimuskeskus 1986. Methods of soil and plant analysis. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. 45 p. ISSN 0359-7652.

Maynard, D.N., Barker, A.V., Minotti, P.L. & Peck, N.H. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy* 28, pp. 71-118. ISSN 0065-2113.

Melanen, M., Ekqvist, M., Mukherjee, A.B., Aunela-Tapola, L., Verta, M. & Salmikangas, T. 1999. Raskasmetallien päästöt ilmaan Suomessa 1990-luvulla. *Suomen ympäristö* 329, Oy Edita Ab, Helsinki. 92 s. ISSN 1238-7312.

Mäkelä-Kurtto, R., Sippola, J. & Grék, K. 2002. Peltomaiden viljavuus ja helppoliukoiset raskasmetallit. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.), *Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet, viljavuustutkimus 50 vuotta -juhlaseminaari*, Jokioinen 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. s. 31-46. ISBN 951-729-694-0.

Mäkinen, A. & Saarinen, T. 1999. Maaperän ravinneanalytiikan kurssi, kasvien ja kasvualueen analyysimenetelmiä. Helsingin yliopiston kasvitieteen monistetta 171. 19 s. ISBN 951-45-8897-5.

Mäntylähti, V. 2002. Peltomaiden ravinnetilän kehitys 50 vuoden aikana. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.), *Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet, viljavuustutkimus 50 vuotta -juhlaseminaari*, Jokioinen 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. s. 5-13. ISBN 951-729-694-0.

Niemi, E. & Hallikainen, A. 1993. Kotimaisten ja ulkomaisten kasvien nitraatti- ja raskasmetallipitoisuudet. *Elintarvikeviraston tutkimuksia* 11/1993. 23 s. ISBN 951-47-8584-3.

Pakkanen, T., Loukkola, K., Hillamo, R., Aarnio, P. & Koskentalo, T. 2001. Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla – jatkotutkimukset. *Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C* 2001:14, Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. 50 s. ISSN 0357-5454.

Pettersson, O. 1977. Differences in cadmium uptake between plant species and cultivars. *Swedish Journal of Agricultural Research* 7, pp. 21-24. ISSN 0049-2701.

Pyrylä, R. & Kylä-Setälä A. 2001. Pilaantuneet maa-alueet kaavoitusprosessissa. *Suomen ympäristökeskuksen monistesarja* 235, Edita OYJ, Helsinki. 94 s. ISBN 952-11-1010-4.

Ramade, F. 1987. *Ecotoxicology*. 2.painos. John Wiley & Sons, Chichester. 262 p. ISBN 0-471-10445-0.

Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1999. *Biometria – tilastotiedettä ekologeille*. 7. painos. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s. ISBN 951-570-085-X.

Ranta, E.-L. 1999. Helsingin viljelypalsta-alueiden raskasmetallipitoisuudet. *Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu* 10/19. ISSN 1235-9718.

Rieuwerts, J.S., Farago, M.E., Cikrt, M. & Bencko, V. 2000. Differences in lead bioavailability between a smelting and a mining area. *Water, Air, and Soil Pollution* 122, pp. 203-229. ISSN 0049-6979.

Ross, S.M. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. Teoksessa: Ross, S.M. (toim.), *Toxic metals in soil-plant systems*. John Wiley & Sons, Chichester. pp. 3-25. ISBN 0-471-94279-0.

Rousi, A. 1997. *Auringonkukasta viiniköynnökseen*. WSOY, Porvoo. 390 s. ISBN 951-0-21295-4.

Räisänen, M.L., Nikkarinen, M., Lehto, O. & Aatos, S. 2002: Liukoisuustesti- ja heikkouuttomenetelmät kaivannaisteollisuuden sivutuotteiden ympäristö- ja kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. – Geologian tutkimuskeskus Kuopion yksikkö, Raportti S44/0000/1/2002. 20 s.
<http://www.gsf.fi/tutkimus/ymparistogeo/liukoisu.pdf> 20.10.2004

Salla, A. 1999. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 15/1999. ISSN 1235-9718.

Salla, A. 2000. Haitta-aineiden taustapitoisuudet ja laskeumat Helsingin maaperässä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2000. ISSN 1235-9718.

Schrader, L.E. 1978. Uptake, accumulation, assimilation and transport of nitrogen in higher plants. Teoksessa: Nielsen, D.R. ja MacDonald, J.G. (toim.), *Nitrogen in the environment* vol. 2. Academic Press, Inc., New York. pp. 101-141. ISBN 0-12-518402-6.

Sillanpää, T. & Jansson, H. 1991. Cadmium and sulphur contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 30, pp. 407-413. ISSN 0570-1538.

Sillanpää, T., Ylärinta, T. & Jansson, H. 1988. Lead contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 27, pp. 39-43. ISSN 0570-1538.

Sinervo, T. & Ahonen, S. 1990. Viljelymaan ja kasvien raskasmetallipitoisuudet Helsingin alueella 1985. Helsingin kaupungin terveysviraston raportteja 49/1990 sarja B. ISSN 0782-3428.

de Temmerman, L., Vandepitte, R. & Guns, M. 1986. Biological monitoring and accumulation of airborne mercury in vegetables. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological* 41, pp. 139-151. ISSN 0143-1471.

Ter Steege, M.W., Stulen, I., Wiersema, P.K., Posthumus, F. & Vaalburg, W. 1999. Efficiency of nitrate uptake in spinach: impact of external nitrate concentration and relative growth rate on nitrate influx and efflux. *Plant and Soil* 208, pp. 125-134. ISSN 0032-079X.

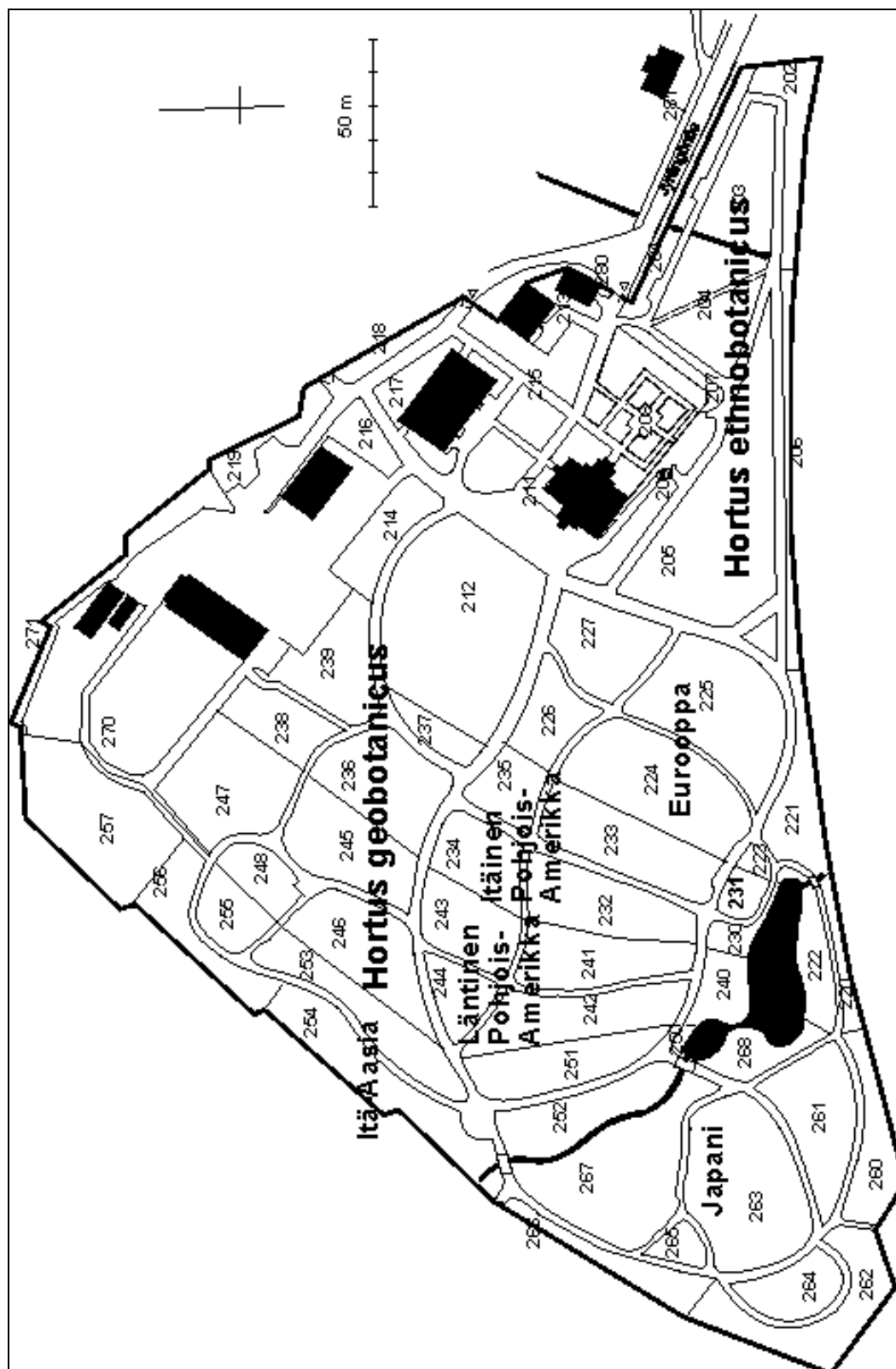
Westman, C.J. 1991. Maaperä ja sen toiminta kasvualustana. Helsingin yliopiston Metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja N:o.67, Helsinki. 33 s. <http://honeybee.helsinki.fi/mmeko/KURSSIT/ME102/Maapera.PDF> 20.10.2004

Wild, A. 1995. Soils and the environment: an introduction. Cambridge University Press, Cambridge. 287 p. ISBN 0-521-43280-4.

Williams, J.H. 1983. Zinc, copper and nickel – suggested safe limits in sewage sludge treated soils. Teoksessa: Davis, R.D., Hucker, G. ja L'Hermite, P. (toim.), Environmental effects of organic and inorganic contaminants in sewage sludge. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht. pp. 82-90. ISBN 91-620-3621-1.

Liite I

Kumpulan kasvitieteellinen puutarha



Liite II

Kumpulan puutarhalta 23.8. 2002 kerätyt kasvit

Hedelmät

Päärynä *Pyrus communis* 'Aunen Päärynä' (Rosaceae)
 Omena *Malus domestica* 'Anisovka' (Rosaceae)
 Tomaatti *Lycopersicon esculentum* 'Balkonstar' (Solanaceae)
 Lavakurkku *Cucumis sativus* 'Jazzer' (Cucurbitaceae)
 Kesäkurpitsa *Cucurbita pepo* 'Zucchini' (Cucurbitaceae)
 Peltokerho *Pisum sativum* var. *arvense* 'Julia' (Fabaceae)
 Mustavatuikka *Rubus allegheniensis* (Rosaceae)
 Luumu *Prunus domestica* ssp. *domestica* 'Sinikka' (Rosaceae)
 Vihannespaprika *Capsicum annum* 'Sweet Chocolate' (Solanaceae)

Leveälehtiset (kerättiin kokonaisia versoja)

Keräkaali *Brassica oleracea* var. *capitata* 'Erdeno' (Brassicaceae)
 Kukkakaali *Brassica oleracea* var. *botrytis* 'Dominant' (Brassicaceae)
 Lehtikaali *Brassica oleracea* var. *sabellica* 'Red Russian' (Brassicaceae)
 Lanttu *Brassica napus* ssp. *napus* 'Globus' (Brassicaceae)
 Sokerijuurikas *Beta vulgaris* var. *altissima* 'Univers' (Chenopodiaceae)
 Purjo *Allium porrum* 'Musselburgh' (Alliaceae)
 Auringonkukka *Helianthus annuus* 'Ex 81' (Asteraceae)
 Kevätrypsi *Brassica rapa* ssp. *oleifera* 'Kulta' (Brassicaceae)
 Kevätrypsi *Brassica napus* ssp. *oleifera* 'Hyola 38' (Brassicaceae)
 Palturitupakka *Nicotiana rustica* (Solanaceae)

Maanalaiset osat

Lanttu *Brassica napus* ssp. *napus* 'Globus' (Brassicaceae)
 Sokerijuurikas *Beta vulgaris* var. *altissima* 'Univers' (Chenopodiaceae)

Monivuotiset (kerättiin kokonaisia versoja)

Sinimailanen *Medicago sativa* 'Vertus' (Fabaceae)
 Ryytisalvia *Salvia officinalis* (Lamiaceae)
 Mäkimeirami *Origanum vulgare* ssp. *vulgare* (Lamiaceae)
 Mintut: piparminttu *Mentha x piperita* 'Mitchdam', viherminttu *M. Spicata* var. *spicata*,
 kähäräminttu *M. spicata* var. *crispa*, pyöröminttu *M. suaveolens* (Lamiaceae)
 Sitruunamelissa *Melissa officinalis* (Lamiaceae)

Liite III

Raskasmetallien ja nitraatin pitoisuudet kuivapainoa kohti kasvinäytteissä

Näyte	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)
Päärynä	<0,05	<0,05	<0,10	<25
Omena	<0,05	0,11	<0,10	<25
Tomaatti	0,24	0,19	<0,10	130
Lavakurkku	0,11	4,10	<0,10	69
Kesäkurpitsa	0,04	0,34	<0,10	11000
Peltoherne	<0,05	<0,05	<0,10	250
Vihannespaprika	0,15	0,74	<0,10	2300
Mustavatkka	<0,05	0,70	0,20	150
Luumu	<0,05	0,08	0,29	<25
Keräkaali	<0,05	0,27	<0,10	1800
Kukkakaali	0,06	0,38	<0,10	4200
Purjo	<0,05	1,30	<0,10	400
Palturitupakka	0,32	1,20	<0,10	1600
Lehtikaali, huuhtelematon	<0,05	0,22	0,35	3800
Lehtikaali, huuhdeltu	<0,05	0,34	0,31	11000
Auringonkukka, huuhtelematon	0,27	1,50	<0,10	11000
Auringonkukka, huuhdeltu	0,25	1,40	0,15	8200
Kevätrypsi, huuhtelematon	0,12	1,60	<0,10	49000
Kevätrypsi, huuhdeltu	0,05	0,79	<0,10	30000
Kevätrapsi, huuhtelematon	0,05	0,44	<0,10	15000
Kevätrapsi, huuhdeltu	0,07	0,43	<0,10	28000
Lanttu, maanalaiset osat	0,15	17,00	0,39	1100
Lanttu, maanpäälliset osat	<0,05	1,80	<0,10	4400
Sokerijuurikas, maanalaiset osat	0,08	12,00	<0,10	1700
Sokerijuurikas, maanpääll. osat	0,16	0,81	<0,10	11000
Sinimailanen	<0,05	0,34	<0,10	<25
Ryytisalvia	<0,05	0,44	0,22	240
Mäkimeirami	<0,05	0,49	<0,10	750
Minttu	<0,05	0,77	<0,10	<25
Sitruunamelissa	<0,05	0,83	<0,10	<25

Liite IV

Raskasmetallien ja nitraatin pitoisuudet tuorepainoa kohti kasvinäytteissä

Näyte	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)
Päärynä	<0,05	<0,05	<0,10	<25
Omena	<0,05	0,014	<0,10	<25
Tomaatti	0,014	0,011	<0,10	7
Lavakurkku	0,004	0,165	<0,10	3
Kesäkurpitsa	0,004	0,032	<0,10	1028
Peltoherne	<0,05	<0,05	<0,10	56
Vihannespaprika	0,011	0,053	<0,10	164
Mustavatkka	<0,05	0,127	0,036	27
Luumu	<0,05	0,009	0,035	<25
Keräkaali	<0,05	0,03	<0,10	199
Kukkakaali	0,005	0,037	<0,10	405
Purjo	<0,05	0,146	<0,10	45
Palturitupakka	0,09	0,336	<0,10	449
Lehtikaali, huuhtelematon	<0,05	0,025	0,040	432
Lehtikaali, huuhdeltu	<0,05	0,037	0,034	1205
Auringonkukka, huuhtelematon	0,027	0,152	<0,10	1116
Auringonkukka, huuhdeltu	0,019	0,104	0,011	608
Kevätrypsi, huuhtelematon	0,015	0,200	<0,10	6132
Kevätrypsi, huuhdeltu	0,007	0,111	<0,10	4221
Kevätrapsi, huuhtelematon	0,008	0,080	<0,10	2744
Kevätrapsi, huuhdeltu	0,009	0,054	<0,10	3507
Lanttu, maanalaiset osat	0,020	2,230	0,051	144
Lanttu, maanpäälliset osat	<0,05	0,241	<0,10	589
Sokerijuurikas, maanalaiset osat	0,017	2,699	<0,10	382
Sokerijuurikas, maanpääll. osat	0,016	0,083	<0,10	1128
Sinimailanen	<0,05	0,086	<0,10	<25
Ryytisalvia	<0,05	0,115	0,058	63
Mäkimeirami	<0,05	0,189	0,010	289
Minttu	<0,05	0,205	<0,10	<25
Sitruunamelissa	<0,05	0,345	<0,10	<25

PAH-yhdisteiden pitoisuudet mg/kg kuivapainoa kohti kasvinäytteissä.

LIITE V

Näyte	Naftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	2-metyylinaftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	1-metyylinaftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bifenyyli määr.raja 0,01 mg/kg	2,6-dimetyylinaftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	Asenaftyleeni määr.raja 0,02 mg/kg	Asenafteeni määr.raja 0,04 mg/kg	2,3,5-trimetyylinaftaleeni määr.raja 0,04 mg/kg	Fluoreeni määr.raja 0,02 mg/kg	Fenantreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Antraseeni määr.raja 0,01 mg/kg	1-metylfenantreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Fluoranteeni määr.raja 0,01 mg/kg	Pyreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bents(a)antraseeni määr.raja 0,01 mg/kg	Kryseeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bentso(b+k)fluoranteeni määr.raja 0,04 mg/kg	Bentso(e)pyreeni määr.raja 0,04 mg/kg	Bentso(a)pyreeni määr.raja 0,02 mg/kg	Peryleeni määr.raja 0,02 mg/kg	Indeno(1,2,3-cd)pyreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Dibents(a,h)antraseeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bentso(ghi)peryleeni määr.raja 0,01 mg/kg	ΣPAH	
Päärynä	0,01	0,01	-	-	-	-	-	0,08	-	0,02	-	0,02	-	-	-	-	-	14,82*	-	-	-	0,45	-	-	15,52
Omena	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-	-	7,83	-	-	-	-	-	-	8,03
Tomaatti	0,01	-	-	-	0,01	-	-	-	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,23
Lavakurkku	0,03	0,01	0,01	-	0,01	-	-	0,18	0,09	0,06	0,01	-	0,03	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64
Kesäkurpitsa	-	-	-	-	0,07	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27
Peltoherne	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	4,05	-	-	-	-	-	-	-	4,24
Paprika	0,02	0,01	-	-	0,04	-	-	-	0,02	0,01	-	-	-	1,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,65
Mustavatkka	0,01	0,01	-	-	-	4,23	-	-	-	0,01	0,13	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,56
Luumu	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21
Keräkaali	-	-	-	-	0,02	0,05	-	-	0,06	0,01	0,04	-	-	0,01	-	-	-	25,49	-	-	-	-	-	-	25,82
Kukkakaali	-	-	0,01	-	-	-	-	0,04	0,08	0,01	-	-	-	0,01	-	-	-	27,75	-	-	-	-	-	-	28,03
Purjo	0,03	0,02	0,01	-	0,42	-	-	0,05	0,01	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	193,42
Palturitupakka	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-	-	-	-	-	-	-	0,53
Lehtikaali	-	-	-	-	0,13	-	-	-	0,09	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	68,36*	-	-	-	-	-	-	68,73
Lehtikaali huuhd.	0,02	0,01	0,01	-	0,34	-	-	-	0,02	0,03	-	-	-	-	-	-	-	780**	-	0,48	0,21	-	-	-	781,24
Aur.gonkkei huuhd.	0,02	0,01	0,01	-	0,07	-	-	0,01	0,02	0,04	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
Aur.gonkk huuhd.	0,01	0,01	0,01	-	0,10	-	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31
Kevätrypsi ei huuht.	0,02	0,01	0,00	-	0,61	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	405,5**	-	1,41	0,64	0,05	-	-	406,41
Kevätrypsi huuhd.	0,01	0,01	-	-	0,47	-	-	-	-	0,01	-	-	-	0,01	-	-	-	17,00*	-	-	-	-	-	-	17,64
Kevätrapsi ei huuht.	0,02	0,01	0,01	-	0,61	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	306,3**	-	0,50	-	-	-	-	307,61
Kevätrapsi huuhd.	-	0,01	-	-	0,64	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	10,53*	-	-	-	-	-	-	11,32
Lanttu(maanal.)	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,02	0,08	-	-	0,14	0,13	0,13	0,08	0,22	0,12	0,11	-	0,04	-	-	-	1,18
Lanttu(maanjäl.)	-	-	-	-	0,22	-	-	-	0,03	0,05	-	-	0,01	0,02	0,01	-	-	172,44	-	0,79	-	-	-	-	173,69
Sokerij.(maanal.)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	-	-	0,05	0,05	0,06	0,03	0,08	-	0,03	-	-	-	-	-	0,47
Sokerij.(maanjäl.)	0,01	-	-	-	0,14	-	-	-	0,04	0,02	-	-	0,01	0,02	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,39
Sinimailanen	0,03	0,02	0,01	-	0,63	-	-	-	0,03	0,04	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	1,12	-	2,45
Ryytisalvia	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	0,02	-	-	132,9	-	59,9	125,3	5,27	-	-	-	-	9,36	14,4	3,39	347,79
Minttu	0,01	0,03	0,01	-	-	0,18	-	-	0,01	0,03	-	-	0,01	0,02	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,48
Mäkimeirami	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23
Sitruunamelissa	-	-	-	-	0,02	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23

- alle määritysrajan * SUMMA: peryleeni sekä bentso(e)- ja -(a)pyreeni ** SUMMA: bentso(e)- ja bentso(a)pyreeni

PAH-yhdisteiden pitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti kasvinäytteissä.

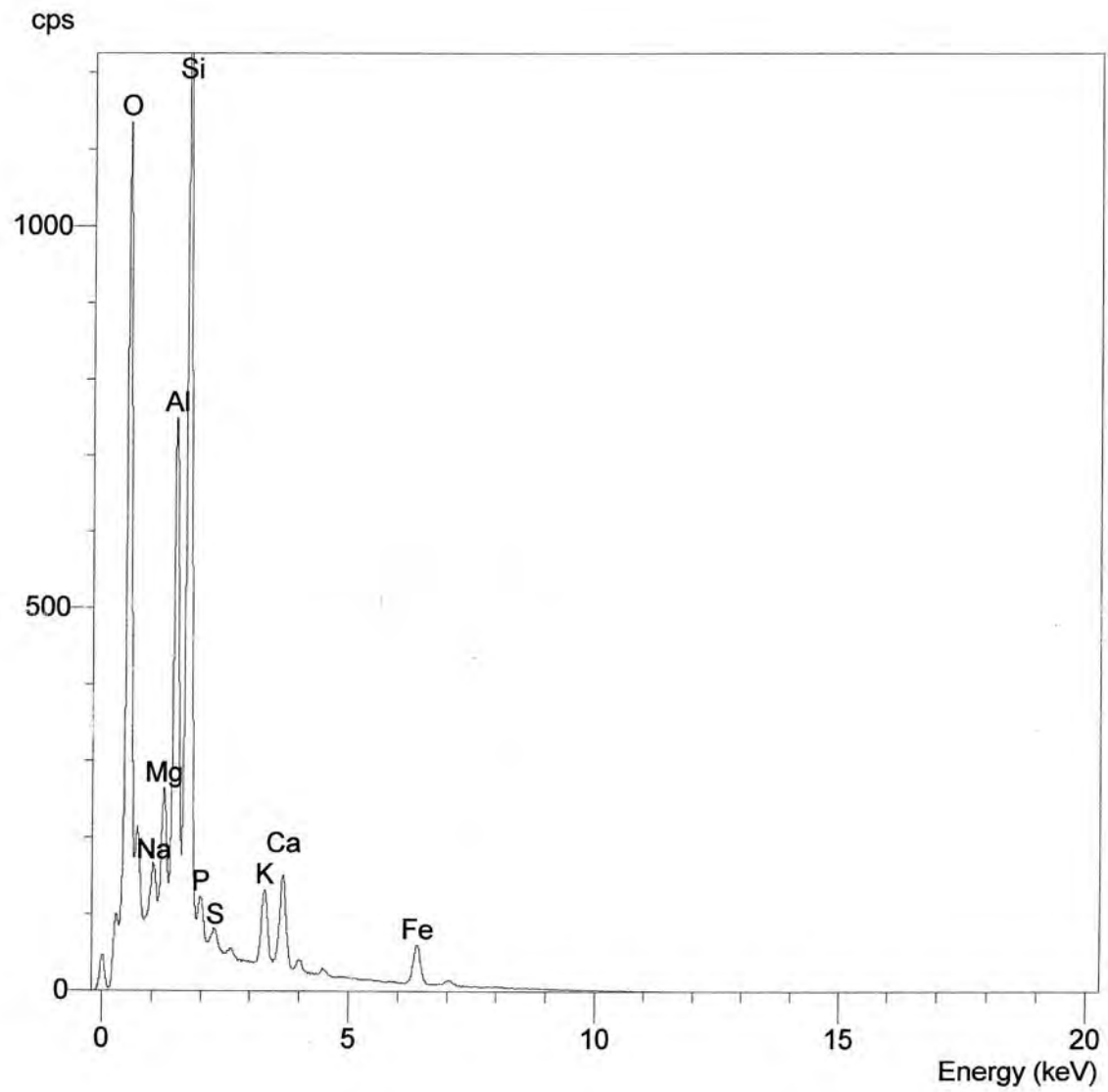
LIITE VI

Näyte	Naftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	2-metyylinaftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	1-metyylinaftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bifenyyli määr.raja 0,01 mg/kg	2,6-dimetyylinaftaleeni määr.raja 0,01 mg/kg	Asenaftaleeni määr.raja 0,02 mg/kg	Aseenaftaleeni määr.raja 0,04 mg/kg	2,3,5-trimetyylinaftaleeni määr.raja 0,04 mg/kg	Fluoreeni määr.raja 0,02 mg/kg	Fenantreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Antraseeni määr.raja 0,01 mg/kg	1-metylfenantreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Fluorantreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Pyreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bents(a)antraseeni määr.raja 0,01 mg/kg	Kryseeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bentso(b+k)fluoranteeni määr.raja 0,04 mg/kg	Bentso(e)pyreeni määr.raja 0,04 mg/kg	Bentso(a)pyreeni määr.raja 0,02 mg/kg	Peryleeni määr.raja 0,02 mg/kg	Indeno(1,2,3-cd)pyreeni määr.raja 0,01 mg/kg	Dibents(a,h)antraseeni määr.raja 0,01 mg/kg	Bentso(ghi)peryleeni määr.raja 0,01 mg/kg	ΣPAH
Päärynä	0,001	0,001	-	-	-	-	-	0,010	-	0,003	-	0,003	-	-	-	-	-	1,917*	-	-	-	-	-	2,008
Omena	-	-	-	-	0,001	-	-	-	0,004	0,001	-	-	-	-	-	-	-	0,988	-	-	-	-	-	1,013
Tomaatti	0,001	-	-	-	0,0004	-	-	-	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-	0,013
Lavakurkku	0,001	0,004	0,0004	-	0,007	-	-	0,007	0,004	0,002	0,0004	-	0,001	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,025
Kesäkurpitsa	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,025
Peltoherne	-	-	-	-	0,003	-	-	-	0,005	-	-	-	-	-	-	-	0,913	-	-	-	-	-	-	0,955
Vihannespaprika	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	0,001	0,001	-	-	-	0,099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,118
Mustavatkka	0,002	0,002	-	-	-	0,769	-	-	-	0,002	0,024	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,828
Luumu	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,025
Keräkaali	-	-	-	-	0,002	-	0,006	-	0,007	0,001	0,004	-	-	0,001	-	-	-	2,825	-	-	-	-	-	2,861
Kukkakaali	-	-	0,001	-	0,047	-	-	0,004	0,008	0,001	-	-	-	0,001	-	-	-	2,675	-	-	-	-	-	2,702
Purjo	0,003	0,002	0,001	-	0,042	-	-	0,006	0,001	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,649	-	21,729
Palturitupakka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,059	-	-	-	-	-	-	0,149
Lehtikaali, ei huuhd.	-	-	-	-	0,015	-	-	-	0,010	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	7,778*	-	-	-	-	-	7,819
Lehtikaali, huuhd.	0,002	0,001	0,001	-	0,037	-	-	-	0,002	0,003	-	-	-	-	-	-	-	85,45**	-	0,053	0,023	-	-	85,590
Aur.gonkk,ei huuhd.	0,002	0,001	0,001	-	0,007	-	-	0,001	0,002	0,004	-	-	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,033
Aur.gonkk, huuhd.	0,001	0,001	0,001	-	0,076	-	-	-	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,023
Kevätrypsi,ei huuhd.	0,003	0,001	0,000	-	0,066	-	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-	-	50,49**	-	0,176	0,080	0,006	-	50,858
Kevätrypsi, huuhd.	0,001	0,001	-	-	0,112	-	-	-	-	0,001	-	-	-	0,001	-	-	-	2,392*	-	-	-	-	-	2,482
Kevätrypsi,ei huuhd.	0,004	0,002	0,002	-	0,080	-	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-	-	56,02**	-	0,092	-	-	-	56,263
Kevätrypsi, huuhd.	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	1,319*	-	-	-	-	-	1,417
Lanttu,(maanal.)	-	-	0,001	-	0,030	-	-	-	0,003	0,011	-	-	0,018	0,017	0,017	0,012	0,029	0,016	0,014	-	0,005	-	-	0,155
Lanttu,(maantääl.)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,004	0,007	-	-	0,001	0,003	0,001	-	-	23,093	-	0,106	-	-	-	23,260
Sokerij.,(maanal.)	-	-	-	-	0,014	-	-	-	0,005	0,005	-	-	0,011	0,011	0,014	0,007	0,018	-	0,007	-	-	-	-	0,106
Sokerij.,(maantääl.)	0,001	-	-	-	-	-	-	-	0,004	0,002	-	-	0,001	0,002	-	-	0,001	-	-	-	-	-	-	0,040
Sinimailanen	-	-	-	-	0,159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ryytisalvia	0,008	0,005	0,003	-	0,005	-	-	-	0,008	0,010	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,081	0,282	0,615
Minttu	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	-	-	34,846	-	14,909	32,831	1,381	-	-	-	-	2,453	3,773	0,888
Mäkimeirami	-	0,008	0,003	-	0,015	0,048	-	-	0,003	0,008	-	-	0,003	0,005	-	-	0,013	-	-	-	-	-	-	0,127
Sitruunamelissa	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,087
	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	-	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	0,093

- alle määrittäysrajan * SUMMA: peryleeni sekä bentso(e)- ja -(a)pyreeni ** SUMMA: bentso(e)- ja bentso(a)pyreeni

Liite VII

Mustavatukan pinnan hiukkasen alkuainekoostumus



HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN MONISTEITA 2003

1. **Helsingin kaupungin ympäristöohjelma 1999 - 2002. Seurannan loppuraportti 2002.** Camilla v. Bonsdorff, Johanna Vilkuna, Kaarina Heikkonen, Eeva Pitkänen, Paula Nurmi, Markku Viinikka ja Antti Pönkä
2. **Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 2002.** Katja Pellikka (toim.)
3. **Suunnitelma katupölyhaittojen ehkäisemiseksi.** Jari Viinanen (toim.)
4. **Luonnonvarojen kulutuksen vähentäminen ja jätteiden synnyn ennaltaehkäisy Helsingin asuntotuotantotoiminnassa – muistio ja kehittämisehdotuksia.** Erja Heino
5. **Stadin kompostikampanja III.** Viveca Backström
6. **Leikkipuistojen kahluualtaiden veden hygieeninen laatu Helsingissä 1998–2003.** Seija Kalso, Juhani Airo, Antti Pönkä ja Stina Laine
7. **Kallahdenharjun hoito- ja käyttösuunnitelma v. 2003–2012.** Ympäristösuunnittelu Enviro Oy
8. **Yleisten uimarantojen hygieeninen taso Helsingissä vuonna 2003.** Marjo-Kaisa Matilainen, Kari Laine ja Antti Pönkä
9. **Katsaus Helsingin ympäristön tilaan 2003.** Liisa Autio (toim.)

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN MONISTEITA 2004

1. **Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 2003.** Katja Pellikka (toim.)
2. **TBT- ja raskasmetallikartoitus telakoiden ja venesatamien edustoilta Helsingissä vuonna 2003.** Liisa Autio
3. **Kaupungin ympäristöongelmat kuntalaisten ja ympäristökeskuksen kohtaamisissa.** Risto Haverinen
4. **Liha-alan laitosten tuotantohygienia ja patogeenisten bakteerien esiintyminen tuotantotiloissa vuosina 2001–2003.** Sanna Viitanen, Tuula Koimäki, Aimo Kuhmonen ja Riikka Åberg
5. **Haltialan metsäalueen seurantaohjelma 2004–2025.** Jarmo Honkanen
6. **Helsingin sisäampumaradat. Raportti vuonna 2004 tehdyistä ympäristötarkastuksista.** Pauli Lindfors ja Olavi Lyly
7. **Yleisten uimarantojen hygieeninen taso Helsingissä vuonna 2004.** Marjo-Kaisa Matilainen, Kari Laine ja Antti Pönkä

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN MONISTEITA 2005

1. **Muistio Helsingin kaupungin tytäryhteisöjen ympäristövaikutuksista ja kaupungin mahdollisuudet niiden ohjaukseen.** Marjut Sinivuo
2. **Kalsiumkloridin käyttö katupölyn sidontaan pääkaupunkiseudulla keväällä 2004.** Heikki Tervahattu
3. **Helsingin kaupungin valmiussuunnitelma koskien varautumista liikenteen aiheuttaman tyyppidioksidipitoisuuden kohoamiseen.** Jari Viinanen
4. **Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2004. Jätevesien vaikutusten velvoitetarkkailu.** Liisa Autio, Ilppo Kajaste, Jyrki Muurinen, Katja Pellikka ja Marjut Räsänen
5. **Kumpulan kasvitieteellisen puutarhan hyötykasvien ympäristömyrkkypitoisuudet.** Elina Vaskelainen

Julkaisuluettelo: <http://www.hel.fi/ymk/julkaisut/monisteet.html>

Julkaisujen tilaukset: Helsingin kaupungin ympäristökeskus, neuvonta

PL 500, 00099 Helsingin kaupunki, puh. 7312 2730, faksi 7312 2235, sähköposti ymk@hel.fi
