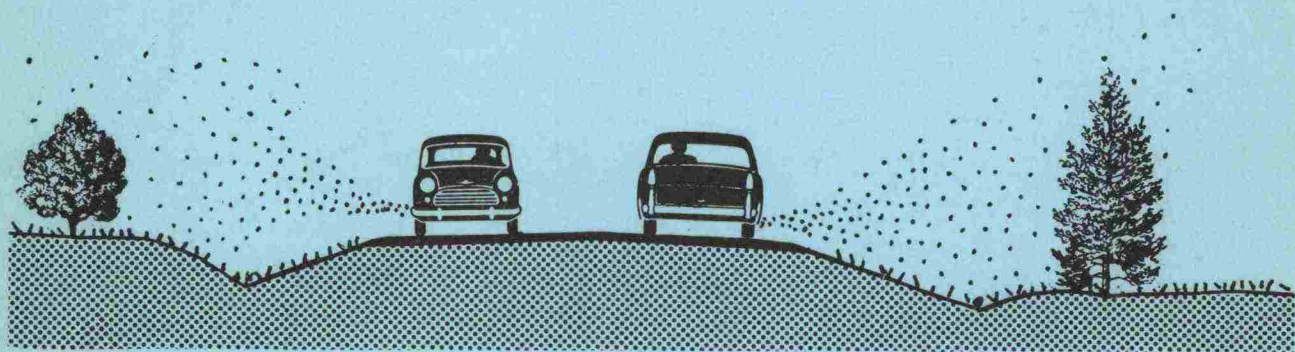


3



# LIIKENNEPERÄINEN LYIJY

## KIRJALLISUUSTUTKIMUS

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
TYÖTERVEYSLAITOS

TVH 2.625

HELSINKI 1.10.1974

20236

IXC

08  
TIE  
LIKENNE



LIIKENNEPERÄINEN LYIJY  
Kirjallisuustutkimus

Hannu Vornamo

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
TYÖTERVEYSLAITOS  
Helsinki 1.10.1974

ISBN 951-46-0808-9

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUKSEN KIRJASTO

20236

## Alkusanat

TVH:ssa on mm. teiden suunnittelun ja normien laatimisen yhteydessä tullut esiin kysymys, millaisia haittavaikutuksia yleisten teiden liikenteellä on ympäristöönsä ja miten nämä haittavaikutukset tulisi ottaa huomioon teitä suunniteltaessa.

Bensiinikäyttöisten moottoriajoneuvojen liikenneväylien ympäristöön levittämä lyijy on julkisuudessa herättänyt paljon keskustelua ja on esitetty hyvin erilaisia käsityksiä leviävistä lyijymääristä ja niiden aiheuttamista haittavaikutuksista. Asian selvittämiseksi TVH tilasi Työterveyslaitokselta kirjallisuustutkimuksen "Liikenneperäinen lyijy".

Tutkimuksen Työterveyslaitoksella on tehnyt apul.tutkija Hannu Vornamo ja toimeksiannon valvojana TVH:n puolesta on ollut dipl.ins. Mikko Ojajärvi tiesuunnitteluosaston teknillis-taloudellisesta toimistosta.

Dipl.ins. Teppo Miikkulainen

## SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
I LYIJYN OMINAISUUDET	1
II LYIJYN ESIINTYMINEN LUONNOSSA	2
III LYIJYN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA	4
IV LIIKENNE LYIJYN LÄHTENÄ	6
V LYIJY ILMASSA	9
VI LYIJY MAAPERÄSSÄ	13
VII LYIJY KASVEISSA	15
VIII LYIJYN LEVIÄMINEN TIEN YMPÄRISTÖÖN	20
IX LYIJY IHMISESSÄ	21
X LIIKENNEPERÄISEN LYIJYN ELIMINOINTI	26
KIRJALLISUUSVIITTEET	36
LIITTEET	43

## JOHDANTO

Työterveyslaitoksella on suoritettu Tie- ja vesirakennus- hallituksen toimeksiannosta kirjallisuustutkimus aiheesta "Liikenneperäinen lyijy".

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa on selvitetty lyijyn yleisiä ominaisuuksia alkuaineena ja ympäristömyrkkynä, sen esiintymistä maapallolla eri kohteissa ja käyttöä teollisuuden raaka-aineena. Toisessa osassa on erityisesti selvitetty liikenneperäisen lyijyn luonnetta, sen ominaisuuksia, kulkeutumista ja joutumista eri vaikutuskohteisiin. Kolmas osa käsittelee mahdollisuuksia vähentää liikenneperäistä lyijyä, sekä tähän tähtäävien toimenpiteiden teknistä toteutusta. Lisäksi on käsitelty vähentämisen tai eliminoinnin haittavaikutuksia ja niiden toteutuksen aiheuttamia vaikeuksia eri puolilla.

Tutkimuksen liitteenä on koottuna eri maissa käytössä olevat suositukset lyijyn enimmäismäärille bensiinissä, ilmassa, vedessä ja teollisuuden emissioissa.

Tutkimuksen tarkoituksena on antaa mahdollisimman laaja ja seikkaperäinen kuva eri maissa tehdyistä tutkimuksista lyijyn ja erityisesti liikenneperäisen lyijyn esiintymisestä ja käyttäytymisestä ympäristön saastuttajana ja siitä mitkä ovat olleet sen aiheuttamat haitat, jos niitä on ollut, ja mitä voidaan tehdä tulevaisuudessa mahdollisten ongelmien poistamiseksi.

## I LYIJYN OMINAISUUDET

Lyijy on epäjalo, raskas metalli, jonka atomipaino on 207,2. Sen sulamispiste on 327,4°C ja kiehumispiste 1620°C normaali-ilmanpaineessa. Metallia voimakkaasti kuumennettaessa siitä lähtee höyryjä noin 500 °C:sta lähtien ja haihtuminen voimistuu edelleen lämpötilan kasvaessa.

Lyijyä esiintyy luonnossa +2 ja +4 arvoisena, joista ensiksi mainittu valenssi on tärkein. Epäorgaanisista lyijy-yhdisteistä mainittakoon asetaatti ja nitraatti, joiden liukoisuus kylmään veteen on hyvä (44,3 ja 37,7 g/100 ml) sekä kloridi ja kromaatti, joiden liukoisuus veteen on selvästi vähäisempi (1 g/100 ml ja 0,1 g/100 ml). Muut epäorgaaniset yhdisteet, kuten karbonaatti, fosfaatti, sulfaatti ja sulfidi ovat jo erittäin niukkaliukoisia veteen. Alkuainelyijy ei myöskään ole vesiliukoinen, mutta liukenee kylläkin typpihappoon, etikkahappoon ja kuumaan rikkihappoon.

Lyijyn orgaanisista yhdisteistä tärkeimpiä ovat lyijytetraetyyli (TEL) ja -metyyli (TML), jotka ovat myös veteen käytännöllisesti katsoen liukenemattomia, mutta liukenevat orgaanisiin liuottimiin, kuten metylisobutylketoniin (MIBK), rasvoihin ja lipideihin.

Ihmiselle lyijy, kuten kaikki sen yhdisteetkin, on myrkyllinen ja se tunnetaan erityisesti kumuloituvana myrkkynä.



## II LYIJYN ESIINTYMINEN LUONNOSSA

Lyijyä esiintyy luonnossa pääasiassa kahden isotooppinsa Pb-206 ja Pb-208 seoksena sekä ilmassa lisäksi Pb-210 muodossa.

Maaperässä lyijyn keskimääräinen pitoisuus on 12 mo (miljoonasosa) aina n. 30 km:n syvyydelle asti (1). Kuitenkin alueelliset ja paikalliset erot saattavat olla hyvinkin suuria (2-200 mo) maksimien ollessa yleensä lähellä lyijykaivoksia (2, 3, 4, 5). Maaperässä lyijyä esiintyy yleensä rikkiin sitoutuneena lyijyhohtena (PbS), joka on myös tärkein lyijymineeraali. Muita mineraaleja ovat mm. karbonaatti, sulfaatti, klorofosfaatti, molybdaatti ja kloridi (6). Tärkeimmät lyijyn tuottajamaat ovat Kanada, USA, Meksiko, Peru, Islanti, Puola, Ruotsi, Espanja, Neuvostoliitto, Länsi-Saksa, Jugoslavia, Kiina, Japani, Pohjois-Korea ja Australia (6).

Luonnon vedet sisältävät lyijyä yleensä alle 0,1 mo ja merivesi 0,08-8 mo:a (2). Teollisen kehityksen ja liikenteen kasvun myötä ovat pitoisuudet kuitenkin nousseet voimakkaasti myös vesissä, jopa kaikkein syrjäisemmilläkin alueilla. On arvioitu, että merivesi ennen "teollista vallankumousta" sisälsi noin 0,02-0,04 µg Pb/kg vettä (7). Nyttemmin valtamerissä pitoisuudet pintavesissä ovat jopa 0,2-0,35 µg/kg. Vasta alle 1000 metrin syvyydessä ovat pitoisuudet pysyneet muuttumattomina (7). Makean veden alueilla on nousu ollut myös voimakasta ja esimerkiksi USA:ssa ovat lyijypitoisuudet järvissä ja joissa n. 1-10 µg/l (8).

Ilmassa esiintyy lyijyä sen luonnollisena komponenttina noin 0,0005 µg/m<sup>3</sup> (9). Tämä koostuu ilmaperäisestä pölyistä, joiden lyijypitoisuus on keskimäärin 10-15 mo:a (10) ja maanpinnalta erkanevista kaasuihin (11), jotka sisältävät lyijyn harvinaisempaa isotooppia Pb-210 vähäisiä määriä. Tätä isotooppia tulee saateen välityksellä myös maanpinnalle havaittavia määriä (12, 13, 14).

Lyijyn esiintymisestä maapallolla parhaan kuvan antaa eri aikakausilta olevien kerrostumien tutkiminen. Grönlannin ja Antarktisten jääkerrostumia tutkimalla on voitu tehdä havain- toja kehityspiirteistä eri aikakausina (15). Grönlannissa havaittiin selvästi, erityisesti kolmenkymmenen viimeisen vuo- den aikana, tapahtuneen erittäin voimakasta nousua lyijypi- toisuuksissa. Vuonna 800 eKr. oli lyijypitoisuus noin 0,0005 µg/kg jäätä ja vuonna 1965 jo yli 0,2 µg/kg jäätä (15). Varsinaisesti "lyijykäyrät" alkoivat kohota vasta 1700-luvul- la "teollisen vallankumouksen" myötä ja 1940-luvulla erityisen voimakkaasti liikenteen osuuden kasvaessa alettaessa käyttää bensiinin lisäaineina lyijy-yhdisteitä.

Biologisissa materiaaleissa esiintyvän lyijyn kehityspiirteitä on tutkittu mm. ruotsalaisissa soissa. Vuosien 1860 ja 1968 välisenä aikana havaitut kasvumaksimit kerrostumissa selitet- tiin vuosina 1875-1900 aiheutuneen kivihiilen lisääntyneestä poltosta ja vuosina 1950-1968 lyijypitoisen bensiinin käytöstä polttoaineena (16).

### III LYIJYN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

Lyijyä käytetään maapallolla vuosittain suuria määriä teollisuuden raaka-aineena. Metallisena lyijynä ilmaistuna kokonaisvuosituotanto on noin 2,5 miljoonaa tonnia. Merkittävää on vielä se, että todellinen kulutus ylittää tämänkin, sillä noin kolmannes kokonaismäärästä käsitellään uudelleen mm. romun jalostuksessa. Esimerkiksi USA:ssa kokonaistuotanto on pysynyt lähes samana viimeisten 20 vuoden ajan (6, 17). Merkittävää on myös, että uudelleenjalostuksessa saatu lyijymäärä on huomattavasti suurempi kuin malminjalostuksessa saatu (17).

Tärkeimmät teollisuuden haarat, jotka käyttävät lyijyä raaka-aineinaan, ovat akkuteollisuus (USA:ssa v. 1968 513 000 tonnia, joka on n. 40% koko kulutuksesta (18)), kupari-, väriaine- ja kemian teollisuus. Viimeksi mainittu käyttää sitä lähinnä orgaanisten yhdisteiden valmistukseen liikenteen tarpeisiin (USA:ssa v. 1968 n. 262 000 tonnia, joka on n. 20% koko kulutuksesta (18)). Ympäristönsuojelun kannalta merkittävää on, että n. 80% akku-ym. romulyijystä tulee uudelleen käyttöön sulattojen toimesta, kun taas liikenteen emittoima lyijy vapautuu pääasiassa ympäristöön.

Kaapeliteollisuus käyttää lyijyä yhdessä antimonin tai arseenin, tinan ja vismutin kanssa kaapelien päällystämiseen ja väriaineteollisuus mm. pigmenttien valmistamiseen. Lisäksi lyijyä käytetään mm. ammusten, painojen, painolaattojen yms. valmistukseen.

Lyijyn epäorgaanisista yhdisteistä eniten käytetään lyijyoksidia (PbO) akkujen, pigmenttien ja maalien valmistuksessa. Kuitenkin on Suomessa lyijyvalkoisen (Pb CO<sub>3</sub>) käyttöä vähennetty selvästi väriaineteollisuudessa. USA:ssa oli vuosikulutus v. 1968 vielä 103 000 tonnia (19)). Sen sijaan lyijykarbonaattia-, sulfaattia

ja - silikaatteja käytetään ulkomaalien valmistuksessa edelleen. Metallien ruostesuojamaalina käytettiin ennen punaista lyijymönjää ( $Pb_3 O_4$ ), mutta nyttemmin pääasiassa erilaisia rautayhdisteitä. Nämä maalit sisältävät kuitenkin myös lyijyä erilaisia määriä.

Lyijyn epäorgaanisia ja orgaanisia yhdisteitä käytetään mm. PVC-muovien valmistukseen sekä oksideja ja silikaatteja esim. porsliinin, kristallien ja optisten lasien valmistukseen. Lyijyn orgaaniset alkylyyhdisteet, lyijytetraetyyli ja -metyyli ovat olleet jo pitkään (TEL v:sta 1923 ja TML v:sta 1959) käytössä bensiinin lisäaineina puristuskestävyyden lisäämiseksi moottoris-  
sa.

Ympäristönsuojelun kannalta hyvin tärkeänä teollisuudenhaarana voidaan pitää erityisesti lyijyromun uudelleenjalostustehtaita. Näiden raaka-aineena on useimmiten akkuromu, joiden sulatuksessa joutuu runsaasti lyijyhiukkasia ja -höyryjä ympäristöön. Myös romun käsittelypaikat ovat osoittautuneet suomalaisten tutkimusten mukaan merkittäviksi lyijyn saastelähteiksi.

Teollisuudesta lyijyn lähteenä mainittakoon esimerkkinä Suomessa Tikkurilassa suoritettut tutkimukset (20, 21). Alueella sijaitsevat Suomen suurimmat lyijysulatot sekä lisäksi useita muita lyijyä emittoivia toimintoja. Vuonna 1970 Työterveyslaitoksen suorittamassa tutkimuksessa todettiin korkeimpien lyijylaskeumien olleen n. 20 g/a.kk, sekä yleisen tason selvästi yli 1 g/a.kk, joka on Lääkintöhallituksen antama laskeumasuositusarvo lyijylle. Leijumatutkimuksissa, joita on suoritettu alueella vuoden 1970 jälkeen saatiin myös varsin korkeita tuloksia. Maksimit  $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  saatiin kahden valtavaikutteisen teollisuuslaitoksen ympäristössä. Yleinen leijumataso tehtaiden läheisyydessä oli yli  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kun vastaava Lääkintöhallituksen antama suositus on leijumalle  $4 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ . Tehtaiden vaikutusalueen ulkopuolella havaittiin selvä lyijymäärien lasku, johon paikallisten teiden ei myöskään voitu osoittaa aiheuttaneen huomattavaa nousua (22).

#### IV LIIKENNE LYIJYN LÄHTEENÄ

Liikenteen kautta lyijyä vapautuu ympäristöön bensiinikäyttöisten moottoriajoneuvojen välityksellä. Bensiinin lisäaineina käytetään orgaanisia lyijy-yhdisteitä, lyijytetraetyyliä ja -metyyliä. Lisäys suoritetaan moottorin nakutuksen poistamiseksi (bensiniin puristuskestävyyden lisäämiseksi) ja se on Suomessa lyijynä ilmaistuna keskimäärin 0,4 g/l bensiiniä. Vaihteluväli on 0,14 - 0,7 g/l, jolloin korkein arvo kuvaa maksimipitoisuutta korkeaoktaanisessa bensiinissä (100okt.). Eri maissa pitoisuudet kuitenkin vaihtelevat jonkin verran.

Lyijyä vapautuu moottorista pääasiassa pakoputken kautta erilaisina epäorgaanisina suoloina. Lisäksi lyijyä vapautuu kampikammion kautta sekä polttoainesäiliöstä vähäisiä määriä bensiinin haihtuessa. Pakokaasuemissiot ovat monimutkaisia suoloja, kuten halogeeneja, oksideja, nitraatteja ja fosfaatteja (23, 24). Muun muassa seuraavia lyijy-yhdisteitä on analysoitu pakokaasusta (24, 25):  $Pb Cl_2$ ,  $Pb Br_2$ ,  $Pb Br Cl$ ,  $Pb (OH) Cl$ ,  $Pb (OH) Br$ ,  $(Pb O)_2 Pb Cl_2$ ,  $(PbO)_2 Pb Br_2$ ,  $(PbO)_2 Pb Br Cl$ ,  $Pb_3 (PO_4)_2$  ja  $Pb SO_4$ . Eräiden tutkimusten mukaan (23, 24) moottoria korkeasti kuormitettaessa pääasiallinen yhdiste on  $Pb Cl Br$  (n. 2-10  $\mu m$  hiukkaskokoa) ja matalammalla kuormituksella mm. ammoniumhalogeenija, kuten  $Pb NH_4 Cl$  (<1  $\mu m$ :n kokoluokkaa). Merkittävä huomio on ollut se (25), että jo 18 tunnin kuluttua 75% Br-suoloista ja 30-40% Cl-suoloista oli hajonnut ja tärkeimmät tuotteet olivat lyijykarbonaatti, -oksikarbonaatti ja -oksidit. Näistä karbonaatti ( $Pb CO_3 \cdot 2 Pb (OH)_2$ ) on tärkein, mutta toisaalta siitä veden poistuttua muodostuu oksikarbonaattia.

Lyijyaerosolien kokojakaumaa on tutkittu myös laajalti. Lundgren (26) totesi USA:ssa Kalifornian yliopiston alueella tehdysä tutkimuksessa keskimääräisen partikkelihalkaisijan olevan noin 0,5  $\mu$ , (mikroni) vaihteluvälin ollessa 0,2 - 0,9  $\mu$ . Leen (27) mukaan keskimääräinen halkaisija Cincinnatiassa ja Fairfaxissa oli vastaavasti 0,18  $\mu$  ja 0,42  $\mu$ . Robinsonin ja Ludvigin

(28) mukaan keskimääräinen koko oli 0,25  $\mu$  maaseutu- ja tausta-alueilla USA:ssa. Japanilaisen tutkimuksen mukaan (29) yli 99% liikenneperäisestä lyijypölystä on  $<1 \mu$  kooltaan. Nämä hienoisimmat partikkelit saattavat yhtyä kuitenkin keskenään suuremmiksi hiukkasiksi ja loppujen lopuksi olla jopa muutamia millimetrejä halkaisijaltaan (24). Erityisesti moottorin kuormituksella on vaikutuksensa pakokaasuemissioihin, sillä matalammalla kuormituksella saattavat partikkelit tarttua eri puolille pakokaasun poistosysteemiin tai moottoriin, josta ne irtoavat moottoria kuormitettaessa voimakkaammin. Tästä syystä emissioiden mittamisessa on ollut erityisen tärkeätä ottaa käyttöön riittävän kuvaava testi. Esim. ECE-testissä (kaupunkiajoo, kiihdytystä, jarrutusta jne.) on pyritty mahdollisimman edustavaan näytteeseen. Tällöin todettiin noin 20% - 25%:a polttoaineeseen lisätystä lyijystä tulleen pakokaasujen mukana hiukkasjakoisina lyijy-yhdisteinä. Ns. USA-testissä, jossa moottorin kuormitus on suurempi, vapautui n. 50% lisätystä lyijystä pakokaasujen mukana (24).

Moottorin kylmäkäynnistyksessä emittoituu huomattavan paljon lyijy-yhdisteitä epätäydellisen palamisen seurauksena. Ruotsissa todettiin, että lämmitetyllä moottorilla saatiin kahdessa eri kokeessa 10% ja 60% vähemmän partikulaatteja kuin normaalissa ECE-testissä kylmäkäynnistyksen jälkeen (24).

Orgaanisten lyijy-yhdisteiden osuus koko lyijy-emissiosta on yleensä pieni. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan (30) menetelmät näiden määrittämiseksi ovat kuitenkin olleet yleensä hyvin epäluotettavia. Tästä syystä kehitettiin uusi tarkempi ja spesifisempi menetelmä alkyyli-lyijy-yhdisteiden määrittämiseen (30). Mittaukset koskivat seitsemää autoa eri olosuhteissa ja tuloksiksi saatiin seuraavaa:

Kylmäkäynnistys (+ 10°C-20°C) 1000-5000  $\mu\text{g}$  org. lyijyä/ $\text{m}^3$   
Ka. 2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tyhjäkäynti, lämmin  
moottori

50-1000  $\mu\text{g}$  org. Pb/ $\text{m}^3$   
Ka. 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ajo vakionopeudella

5-100  $\mu\text{g}$  org. Pb/ $\text{m}^3$   
Ka. 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Mikäli sytytyksessä tai kaasuttajassa on virheellisyyksiä voi kuitenkin tutkijoiden mukaan tapahtua näitäkin suurempia emissioita. Edelleen tutkijoiden arvelujen mukaan on orgaanisten lyijy-yhdisteiden osuus pakokaasuemissioista n. 5% normaalisti. Kampikammioemissiot olivat analyysien mukaan hieman suurempia, n.  $1900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mikä merkitsee sitä, että noin 20-80% orgaanisista lyijy-yhdisteistä vapautuu kampikammioista. Näiden lisäksi on vielä mainittava bensiinitankista haihtuvat emissiot, joiden määrät ovat yleensä kuitenkin pienehköjä. Kuitenkin bensiiniasemilla, joilla suoritettiin mittauksia samaisessa tutkimuksessa, saatiin korkeita TML- ja TEL-pitoisuuksia.

Ter Haar (25) tutki autojen partikulaattiemissioita. Lyijypitoisen bensiinin kohdalla emissiot olivat noin  $0,34 \text{ g/partikulaatteja}/\text{maili}$ . Tästä 17,4% oli lyijyä ja 39,9% hiiltä. Hiilen ja lyijyn halogeeniyhdisteet yhdessä muodostivat yli 61% koko partikulaattien määrästä. lopun ollessa rautaoksidia ym. metalliyhdisteitä. Lyijytöntä bensiiniä käytettäessä oli emissio  $0,19 \text{ g}/\text{maili}$ , josta 67,5% oli hiiltä.

Habibin (31) mukaan emittoitujen lyijypartikkelien koko kasvoi ajatun kilometrimäärän mukaan  $1,2 \mu$ :sta 3000 mailin kohdalla  $4,7 \mu$ :n 21 500:n mailin kohdalla. Edelleen tutkija totesi, että kylmäkäynnistyksessä keskimääräinen partikulaattiemissio oli lyijytöntä bensiiniä käytettäessä  $0,42 \text{ g}/\text{maili}$  ja lyijyetyllä bensiinillä  $0,38 \text{ g}/\text{maili}$ . Habitin mukaan siirtyminen lyijyttömään bensiiniin vähentäisi näkyvyyttä erityisesti kaupunkialueella.

Japanilaisessa tutkimuksessa (29) mitattiin lyijypitoisuuksia autojen pakokaasuista (ajonopeus 10-70 km/t). Lyijypitoisuus oli  $6300-6500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  suuremmilla nopeuksilla. Lyijypölyn suhde kokonaispölyyn oli 23% alhaisilla nopeuksilla ja 83% suuremmilla. Kaikki näytteet otettiin suoraan pakoputkesta.

Liikenneperäisen lyijyn osuus koko lyijyemissioista on erittäin suuri, niinpä vuonna 1968 USA:ssa arvioitu lyijyemissio liikenteestä oli n. 181 000 t, ja kaikista muista lähteistä yhteensä vain 3300 t (19). Suomessa lyijyemissio liikenteestä oli v. 1969 846 tonnia, josta Helsingin osuus 95 t (72).

## V LYIJY ILMASSA

Lyijyn käyttäytyminen ilmassa riippuu suuresti sen fysikaalisista ominaisuuksista. Esimerkiksi suuret lyijyä sisältävät hiukkaset tai lyijypartikkelit putoavat painovoiman vaikutuksesta maahan jo lähteen välittömässä läheisyydessä. Tätä osaa kuvaa parhaiten laskeuma (määritellään g/a.kk), joka tarkoittaa  $10\text{ }\mu\text{:n}$  kokoluokkaa olevia hiukkasia mitattuna jollakin alueella kuukauden keräysaikana. Hienoimmilla hiukkasilla ei ole yleensä selvästi määriteltävää putoamisnopeutta, mistä syystä ne saattavat kulkeutua hyvinkin etäälle lähteistä. Pienemmillä hiukkasilla katsotaan olevan myös terveydellisesti merkittävä osuus, sillä ne saattavat kulkeutua keuhkorakkuloihin saakka. Näitä hiukkasiakuvamaan käytetään leijumaa, joka määritellään yleensä  $\mu\text{g/m}^3$ .

Lyijyaerosolit saattavat esiintyä ilmassa pölyinä, huuruina, utuina ja höyryinä riippuen lähteestä.

Pölyt ovat kooltaan  $1\text{--}150\text{ }\mu\text{:n}$  kokoluokkaa ja niitä vapautuu ympäristöön lyijyä mekaanisesti käsiteltäessä tai kuljetettaessa esimerkiksi teollisissa toiminnoissa. Ne voivat olla myös pienempien hiukkasten agglomeraatteja.

Huuruja muodostuu kemiallisissa reaktioissa, kuten palamisessa ja fysikaalisissa prosesseissa kuten tislauksessa. Partikkelien koot ovat  $0,2\text{--}1\text{ }\mu$ .

Udut syntyvät vesihöyryn tiivistyttyä hyvin hienojen hiukkasten tai kaasumaisten ionien ympärille. Näistä tärkein on lyijyasettaatti, jota käytetään myös hyönteismyrkkinä.

Höyryt muodostuvat nesteistä lämpötilan noustessa, mutta toisaalta tiivistyttyään lämpötilan laskiessa ne muodostavat utuja ja huuruja. Tyypillinen esimerkki on alkyylilyijy-yhdisteiden haihtuminen bensiinistä.



Tärkeimpänä lyijyn käyttäytymistä ilmassa kuvaavana suureena voidaan pitää juuri hiukkaskokoa.

Ilmasta lyijy (luonnollinen tai epäpuhtaus) poistuu pääasias-  
sa sateen välityksellä sitouduttuaan nestehiukkasiin. Raskaam-  
mat hiukkaset puolestaan laskeutuvat aglomeroiduttuaan paino-  
voiman vaikutuksesta maahan. Tutkittaessa Pb-210 isotooppia  
sadevedestä, todettiin sen pysyvän ilmassa 7-30 vrk. riippuen  
olosuhteista (32, 33).

Ter Haar'in (33) mukaan pysyvä lyijy ja Pb-210 ovat ilmassa  
sekoittuneet toisiinsa hyvin. Edelleen kirjoittajan mukaan,  
arvioitaessa liikennepärisen lyijyn pysyvyys ilmassa n. 1-4  
viikoksi, näiden aineiden kohdalla vallitsi pysyvä taso ilma-  
kehässä.

USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa Lazrus et al (34) totesi sel-  
vän korrelaation bensinin kulutuksen ja sadeveden lyijypitoi-  
suuden välillä. Keskimääräiset pitoisuudet olivat n. 34  $\mu\text{g}/$   
litra sadevettä ja maksimi 310  $\mu\text{g}/$ litra. Edelleen tutkimukses-  
sa todettiin, että sadevesi sisältää selvästi enemmän lyijyä  
kuin pintavedet.

Venäläisen tutkimuksen (35) mukaan lyijyllä on taipumus ke-  
rääntyä kiinteään aineeseen ja lisäksi sen todettiin olevan  
liukenematon pintavesiin ja poistuvan sieltä sedimentoitumisen  
tai suodatuksen kautta.

Kaupunkialueilla ovat lyijypitoisuudet ilmassa olleet keskimää-  
rin korkeampia kuin muualla, liikenteen tiheydestä ja kaupungin  
topografiasta riippuen.

Työterveyslaitoksen suorittamissa tutkimuksissa todettiin maa-  
setuilmassa Pertunmaalla vv. 1971-1972 leijuman lyijypitoisuu-  
den olevan keskimäärin 0,03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja laskeuma-arvojen noin  
20  $\mu\text{g}/\text{a.kk.}$  Vastaavana aikana Helsingissä saatiin leijumatulok-

siksi Rautatientorilla  $1,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Aleksiskivenkadulla  $0,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Haagassa  $0,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Todettakoon, että korkein leijuman lyijypitoisuus Pertunmaalla oli  $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Helsingissä Rautatientorilla  $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Laskeumatutkimuksissa Helsingissä saatiin vv. 1969-1970 keskiarvoksi Rautatientorilla  $1,9 \text{ g/a.kk}$ , Aleksiskivenkadulla  $1,1 \text{ g/a.kk}$ , ja Pohjois-Haagassa  $0,5 \text{ g/a.kk}$ . Maksimi  $7,2 \text{ g/a.kk}$  saatiin Rautatientorilla. Helsingin tausta-alueella Otaniemessä oli leijumakeskiarvo  $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vv. 1971-1972 ja laskeumakeskiarvo vv. 1969-1970  $0,08 \text{ g/a.kk}$  (22).

USA:ssa vuosina 1953-66 suoritetussa tutkimuksessa (NASN) olivat pitoisuudet kaupunki-ilmassa keskimäärin  $1-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (36, 37, 38). Vuosina 1966-67 217:n kaupunkitutkimusaseman keskiarvotulos oli  $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vaihteluvälin ollessa  $0,02-19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kaupunkeja lähinnä olevilla alueilla oli keskiarvo  $0,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja tausta-alueilla  $0,022 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (39).

Vuosina 1961-62 suoritettiin tutkimuksia Cincinnatiassa, Los Angelesissa ja Philadephiassa vuosittaisten, vuodenaikaisten ja kuukausittaisten leijuman lyijypitoisuusvaihtelujen selvittämiseksi. Tulossarja oli seuraavanlainen (40):

Lyijypitoisuus ilmassa  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	<u>Cincinnati</u>	<u>Los Angeles</u>	<u>Philadelphia</u>
Vuosikeskiarvo	1,4	2,5	1,6
vuosivaihtelut:			
kesä	1,3	1,9	1,4
syksy	1,7	2,8	1,9
talvi	1,3	3,1	1,9
kevät	1,3	2,1	1,4

Korkeimmat yksittäiset tulokset jotka saatiin, olivat  $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Cincinnatiassa,  $11,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Los Angelesissa ja  $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Philadephiassa.

Useimmissa kaupungeissa ovat lyijypitoisuudet ilmassa olleet keskimäärin  $2-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (41), joka mm. selvästi alittaa esim. USA:ssa lyijylle annetun TLV-arvon (korkein sallittu pitoisuus työpaikkailmassa)  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  8 tunnin aikana. Kuitenkin on katu-ilmassa mitattu erittäin korkeitakin lyhytaikaispitoisuuksia eri kaupungeissa. Palo Altossa USA:ssa saatiin 5 minuutin keräyksen maksimiksi  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (42). Vastaavasti Los Angelesissa mitattiin aamupäivän ja iltapäivän ruuhkatunteina lyhytaikaisnäytteissä jopa  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja kolmen tunnin keskiarvoksikin on saatu  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (40).

Merkittävää on kuitenkin eri analyysimenetelmien ja näytteenkeräysmenetelmien väliset eroavaisuudet. Esimerkiksi ilman lyijypitoisuuksia määritettäessä on USA:ssa käytössä keräinmalli, joka lyhytaikaisnäytteissä antaa hiukkaskooltaan jopa  $> 50 \mu$ :n partikkeleita. Tämä ei siis vastaa esim. suomalaista keräinmallia, jolla hiukkaskoko pitkäaikaiskeräyksissä on enintään  $20 \mu$ :a. Myös laskeuman keräyksessä on keräimen valinta oleellista ja eri mallien väliset menetelmäerot saattavat olla useita kymmeniä prosentteja. Analytiikan kohdalla taas eri määrittämenetelmien väliset erot ovat hyvinkin merkittäviä. Esimerkiksi havaitsemisraja, standardointi ja laskennalliset eroavaisuudet vaikuttavat tuloksiin. Näistä seikoista on esitetty kritiikkiä mm. WHO:n toimesta (107).

VI LYIJY MAAPERÄSSÄ

On arvioitu, että maahan joutuu lyijyä ilmasta sateen välityksellä n.  $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  vuoden aikana ja  $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  vuodessa pölyn muodossa. Edelleen Ter Haar'in mukaan (33) vuotuinen kasvu on noin  $0,04-4 \mu\text{g}/\text{g}$  maata.

Lyijyn käyttäytyminen maassa on osoittautunut varsin erikoislaatuiseksi, sillä sen on todettu useassa tutkimuksessa kerääntyvän maan pintakerrokseen ja kulkeutuvan alemmista maakerroksista ylöspäin. Swaine ja Mitchell (43) totesivat Skotlannissa tekemissään tutkimuksissa maan lyijypitoisuuden vähentyneen puoleen metäessä  $1,25 \text{ m:n}$  syvyydelle. Wright (5) totesi Kanadassa saman ilmiön puhtailla alueilla. Muita samoihin tuloksiin päätyneitä ovat olleet mm. Goldshmidt ja Hibbard (45, 46).

Lyijyn esiintymisestä maaperässä liikenneväylien ympäristössä on tehty lukuisia tutkimuksia. Kaikissa näissä on havaittu lyijypitoisuuden maassa vähentyneen suhteessa etäisyyteen tiestä. Lehikoinen (47) totesi Turussa luonnonsuojelualueella 30-50 kertaisia lyijypitoisuuksia maaperässä aina 60 metrin etäisyydelle tiestä verrattuna luonnontilaisiin metsiin. Lagerwerff ja Specht (48) havaitsivat n. 65-75% laskun lyijypitoisuuksissa 5 cm:n pintakerroksessa metäessä 8 m:stä 32 metriin tiestä, jonka liikennemäärä oli n. 7500 - 48000 autoa/vrk. Myös syvemältä tutkittaessa todettiin lyijypitoisuuden laskeneen selvästi Ko. tutkimuksessa USA:ssa saatiin seuraavanlainen tulossarja:

<u>Lyijypitoisuus <math>\mu\text{g}/\text{g}</math> maata</u>	<u>Syvyys</u>		
	<u>0-5 cm</u>	<u>5-10 cm</u>	<u>10-15 cm</u>
<u>etäisyys tiestä</u>			
8 m	540 $\mu\text{g}/\text{g}$	300 $\mu\text{g}/\text{g}$	98 $\mu\text{g}/\text{g}$
16 m	202 $\mu\text{g}/\text{g}$	105 $\mu\text{g}/\text{g}$	60 $\mu\text{g}/\text{g}$
32 m	140 $\mu\text{g}/\text{g}$	60 $\mu\text{g}/\text{g}$	38 $\mu\text{g}/\text{g}$

USA:ssa on isotooppitutkimuksilla voitu osoittaa, että maan pintakerrosten lyijy on valtaosin peräisin autoista (49). Maanteiden pölyssä ja suurkaupunkien maan pintakerroksissa ovat esim. USA:ssa lyijypitoisuudet olleet paikoin erittäin korkeita. 77 kaupungissa, joiden asukasluku vaihteli 100 000 ja 1 000 000 välillä, olivat lyijypitoisuudet maaperässä asutuilta alueilla keskimäärin  $1636 \mu\text{g/g}$  maata ja liikekortteleissa vastaavasti  $2413 \mu\text{g/g}$  (50). Myös puistoissa ovat maan lyijypitoisuudet olleet korkeita, esim. Los Angelesissa eräästä puistosta otetussa näytteessä jopa  $3357 \mu\text{g/g}$  maapölyä (51).

## VII LYIJY KASVEISSA

Kasvit sisältävät maaperästä riippuen aina vähäisiä määriä lyijyä. Ne kuvaavat myös tavallaan ympäristönsä hivenainesisältöä. Kuitenkin hivenaineen ominaisuudet, maaperän pH ja fysikaalinen tila sekä useat muut tekijät vaikuttavat niiden kulkeutumiseen kasveihin. Näistä useista muuttujista johtuu tämä kuvaavuus ei siis ole mitenkään yksiselitteinen (52). Lyijyn ei myöskään katsota olevan välttämätön hivenaine kasvien elintoimintojen kannalta (44). Liikenneperäisen lyijyn joutuminen kasveihin voi tapahtua kolmea tietä: ilman ja maaperän kautta tai epäsuorasti vesien kautta.

Ilmassa olevat lyijyaerosolit laskeutuvat joko painovoiman vaikutuksesta tai sateen välityksellä kasvin maanpäällisten osien pinnalle. Lyijyn absorboituminen tästä edelleen itse kasviin on hyvin spesifistä eri kasveilla. Esimerkiksi sammaleet absorboivat itseensä metalli-ioneja varsin tehokkaasti. Ruotsissa Rühling ja Tyler (53) totesivat useiden satojen miljoonanosien pitoisuuksia sammalissa ja Suomessa Lehikoinen (47) Turun kaupungin alueella lähes vastaavia määriä. Koska tausta-alueillakin Ruotsissa mitattiin 5-12 mg:n pitoisuuksia, väittivät ruotsalaiset tutkijat, ettei koko Ruotsissa esiintyisi lyijytöntä kasvillisuutta.

Lehdille laskeutunut lyijy voidaan kuitenkin poistaa huuhtelemalla n. 80%:sti tunnin liotuksella ja kahden vrk:den jälkeen vielä n. 20-40% (54). Kloke'in ja Leh'in (54) mukaan lyijy siirtyy vain vähäisessä määrin lehdistä kasvin muihin osiin. Täten esim. perunaa sekä viljaa, joilla jyvän suojuslehdet toimivat suojana, voitaisiin kirjoittajien mukaan viljellä teiden ympäristössä ilman haittaa. Sitävastoin esim. salaatti ja marjat saattavat sisältää lyijyä runsaammin.

Maaperästä juuriin absorboituva lyijy ei useiden tutkijoiden mukaan (55, 56, 57) ole merkittävää suuruusluokkaa. Wilsonin ja Cline'n (58) mukaan maaperän lyijystä vain noin 0,003-0,005% olisi siinä muodossa, että kasvit saattaisivat sen absorboida. Tso'n (59) mukaan määrä olisi suurempi mutta hänen mukaansa vain harvat kasvit absorboivat sitä. Hemphill'iin (52) mukaan eri kasvien absorbointikykyä ei ole kylliksi selvitetty. Sitä absorboivatko kasvit enemmän lyijyä juuristoonsa vai maanpäällisiin osiin on olemassa ristiriitaisia tutkimustuloksia. Eräänä syynä tähän on se, että kaikissa tutkimuksissa ei ole esim. kasvin maanpäällisiä osia huuhdeltu ennen analyysiä.

Ter Haar (60) ja Dedolph (61) tutkivat ilmaperäisen lyijyn vaikutusta eri kasveihin kasvihuoneilmassa ja tien ympäristössä.

Tulokset olivat seuraavanlaisia:

Lyijypitoisuus kasveissa  $\mu\text{g/g}$  (kuivapaino)

	<u>Kasvihuone</u>		<u>Etäisyys tiestä</u>		
	<u>suodattamaton</u>	<u>suodatettu</u>	<u>9 m</u>	<u>37 m</u>	<u>158 m</u>
ilma $\mu\text{g/m}^3$	1,45	0,09	2,3	1,7	1,1
maa $\mu\text{g/g}$	17,1	17,1	65	40	25
salaatti	6,6	3,2	6,5	5,0	4,8
kaali (pää)	1,0	1,1	0,56	0,86	0,83
tomaatti	0,59	0,72	1,3	1,2	1,6
papu (papu)	1,4	1,2	1,9	1,2	0,9
(lehdet)	20,9	7,9	-	-	-
soija (papu)	-	-	0,28	0,12	0,10
(kuori)	-	-	15,9	8,0	5,3
kaura (jyvä)	-	-	0,47	-	0,53
(akanat)	-	-	31,4	15,5	12,8
vehnä (jyvä)	-	-	0,62	0,42	0,48
(akanat)	-	-	17-8	9,8	6,2
porkkana	1,7	2,1	1,6	-	1,5
peruna	0,3	0,33	0,48	0,64	0,40

Taulukon mukaan maaperän lyijypitoisuuden vaihtelulla ei ole suurta vaikutusta, mutta niillä kasvin osilla jotka ovat olleet kosketuksissa ilman lyijyyn on voitu todeta korkeampia pitoisuuksia. Vain harvoissa tapauksissa syötävät osat sisälsivät ilmaperäistä lyijyä (esim. papu ja salaatti).

Kloke (62) havaitsi Länsi-Saksassa ruohossa selvää lyijypitoisuuksien nousua teiden ympäristössä. 1-2m tiestä oli pitoisuus 65  $\mu\text{g/g}$ . 5 metrin etäisyydellä 34  $\mu\text{g/g}$  ja kaukana tiestä 8,2  $\mu\text{g/g}$ . Rameau (63) analysoi tien keskikaistalla ruohosta 100-500  $\mu\text{g/g}$  pitoisuuksia ja 5  $\mu\text{g/g}$  etäällä tiestä.

Webster (64) tutki Englannissa mm. salaatin ja kaalin lyijypitoisuuksia suhteessa etäisyyteen tiestä. Etäisyydet olivat 5-15, 20, 50 ja 150 jaardia ja tuloksiksi saatiin elokuussa salaatin uloimmissa lehdissä 19,4; 15,8; 6,4 ja 3,8 mo:a ja kaalilla vastaavissa osissa heinäkuussa 5,0; 3,0; 2,6 ja 1,0 mo:a. Sisemmässä osissa kasveissa olivat pitoisuudet selvästi alhaisempia, salaatilla 3,1; 2,8; 1,5 ja 0,5 mo:a ja kaalilla 1,0; 0,4; 0,5 ja 0,4 mo:a.

Zuber et al (65) mukaan kasveissa, jotka kasvavat teiden varsilla, voidaan löytää jopa 100 mo:n lyijypitoisuuksia kuiva-aineessa. Tämä pitoisuus laskee voimakkaasti etäisyyden funktiona ja on 200-300 metrin päässä jo 4-5 mo:n luokkaa. Lyijyn leviäminen on tutkijoiden mukaan kuitenkin riippuvainen mm. tuulen suunnasta ja sateisuudesta. Tuulet saattavat paikallisesti lisätä leviämistä johonkin tiettyyn suuntaan. Runsaat sateet taas puhdistavat selvästi kasveja. Tutkijoiden mukaan kasvit, joilla on suuret litteät lehdet tai rosoiset lehden reunat tai joiden lehtien pinta on karkea tai untuvainen, keräävät suurempia määriä lyijyä kuin sileät, hennot tai pystysuorat kasvin osat. Edelleen juurikasvien ei todettu keräävän itseensä merkittävästi lyijyä teiden varsilla.



Keller (66) tutki Sveitsissä havun neulasten lyijypitoisuuksia erilaisten teiden ympäristössä. Hän totesi liikennemäärän vaikuttavan neulasten lyijypitoisuuteen selvästi. Määrän ollessa 200 ajoneuvoa/t pitoisuudet olivat 20-25 mo:a, 600 ajoneuvoa/t vastaavasti 50-250 mo:a, 800 ajoneuvoa/t 75-450 mo:a, 1000 ajoneuvoa/t 100-750 mo:a riippuen tuulesta ja tien kaltevuudesta ja puiden etäisyydestä tiestä. Uusien neulasten kasvuaikana tutkija totesi niissä voimakkaan lyijypitoisuuksien nousun 2,5 mo:sta toukokuussa, 750 mo:aa marraskuussa. Samanaikaisesti syväällä metsässä neulasten pitoisuus oli vastaavasti muuttunut 2,5 mo:sta - 3 mo:aan. Vanhoissa neulasissa ei havaittu pitoisuuksien muutosta tänä aikana. Merkittävä havainto oli myös lyijypitoisuuksien selvä lasku puiden latva-osiin mentäessä. Pitoisuudet laskivat 400 mo:sta 5 metrin korkeudella 30 mo:aan 28 metrin korkeudella liikennemäärän ollessa 965 ajoneuvoa/t, ja 300 mo:sta 2 metrin korkeudella 12 mo:aan 30 metrin korkeudella liikennemäärän ollessa 770 ajoneuvoa/t.

Yhteenvetona lyijystä kasveissa tehdyistä tutkimuksista voidaan todeta seuraavaa: (67)

- kasvit voivat absorboida liukoista lyijyä juuriensa kautta ja myös kulkeutumista ylempiin osiin on todettu. Kasvien luonnollinen lyijypitoisuus aiheutuu maaperässä olevasta lyijystä.
- maaperän lyijypitoisuudella ja sen vaihteluilla on hyvin vähän vaikutusta kasvien lyijypitoisuuteen. Maaperässä esiintyvä lyijy sekä liikenneperäinen maahan joutunut lyijy on pääosin kasveille käyttökelvottomassa muodossa.
- ilmassa oleva lyijy ei merkittävästi lisää kasvin syötävien osien lyijypitoisuutta

- kasvien maanpäälliset osat sisältävät lyijyä selvästi enemmän teiden lähiympäristössä (<100 m) kuin etäämpänä tiestä. Tämän lyijyn kulkeutumisesta juuriin ei ole selviä tai ollenkaan osoituksia.
- pääosa kasvien maanpäällisten osien lyijystä saadaan pesemällä pois, koska lyijy on pääasiassa kasvien lehtien pinnalla. Lyijypartikkelien kulkeutumisesta lehtien sisäosiin ilmarakojen kautta ei ole osoituksia.
- sadevesi ei ole osoittautunut merkittäväksi lyijyn lähteeksi hedelmissä tai jyvissä ym.
- vaikka ilmassa ei olisikaan lyijyä, lehtiosat sisältävät enemmän lyijyä kuin muut osat
- lyijyn toksisuudesta kasveille luonnollisissa määrin ei ole todisteita. Kuitenkin tutkittaessa erittäin korkeiden lyijypitoisuuksien vaikutusta kasvien juuriin on lyijyn todettu kasautuvan solun seinämiin ja solutumaan, joka on mitoosissa. Sen ei ole kuitenkaan todettu esim. estäneen solun kasvua. Kuitenkin lyijykloridilla on todettu olevan joitakin mahdollisesti haitallisia vaikutuksia, kasvien eräisiin elintoihin.
- vanheneminen tai muut vastaavat tapahtumat voivat lisätä kasvien lyijypitoisuutta

### VIII LYIJYN LEVIÄMINEN TIEN YMPÄRISTÖÖN

Edellä on jo esitetty tutkimustuloksia lyijyn leviämisestä tien ympäristöön kasveja ja maanäytteitä analysoimalla.

Ilmanäytteiden avulla ovat lyijyn leviämistä teiden varsilla tutkineet mm. Kobayashi et al (68) Japanissa. He totesivat lyijykonsentraatioiden ilmassa olleen 50 m:n etäisyydellä tiestä  $0,1-3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pb-pitoisuus väheni selvästi 150 m:n etäisyydelle asti ja pysyi sen jälkeen lähes vakiona. Vertikaalisesti ei todettu mitään variaatioita 20 metrin korkeudelle. 25-100 m:n korkeudella tiestä mitattiin  $0,7-0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pitoisuuksia.

Saman ryhmän mukaan (69), tutkittaessa lyijyä vertikaalisti ja horisontaalisesti Yokohamassa katuilmassa, saatiin jalkakäytävän yläpuolella pitoisuuksiksi  $2-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 100 m:n päässä tiestä vuosikeskiarvo oli  $1,1-1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vertikaalisesti todettiin pitoisuuksien pysyneen vakiona 20 metrin korkeudelle asti. 100 metrin etäisyydellä tiestä lyijypitoisuuksien todettiin olevan korkeimmillaan talvella ja alhaisimmillaan kesällä.

Suomessa tutkivat Lakanen ja Erviö (70) ympäristön lyijypitoisuutta Tikkurilassa luminäytteiden avulla. 4 kk. vanhan lumen lyijypitoisuus analysoitiin eri etäisyyksillä tiestä, ja laskeutuva lyijy määritettiin kg/ha. Lyijymäärät laskivat selvästi etäisyyden funktiona tiestä. Kuriiritiellä Tikkurilassa laskeumat pienenevät 1 kg/ha:sta 20 metrin etäisyydellä, 0,6 kg/ha:een 100 metrin etäisyydellä (korkea tausta aiheutui lähellä olevasta lyijysulatosta). Puhtaasti liikenteen vaikutusalueella Helsingin itäväylällä laskivat määrät n. 0,2 kg/ha 20 m:ssä, 0,1 kg/ha 110 m:ssä.

## IX LYIJY IHMISESSÄ

Lyijyä esiintyy kaikissa ihmisen kudoksissa vähäisiä määriä myös alueilla, jotka ovat kaukana kaikista asutuskeskuksista ja varsinaisista lyijylähteistä. Lyijyn myrkyllisyys ihmiselle on selvästi osoitettu ja sen erityispiirteisiin kuuluu kerääntyminen kudoksiin pitkinä ajanjaksoina. Tällaisia kudoksia ovat esim. luut, jotka sisältävät yli 90 % koko ihmisen lyijymäärästä, sekä sellaiset pehmeät kudokset kuten maksa, munuaiset, aivot ja veren erät ainekset (71).

Tärkeimmät lyijyn lähteet ihmisellä ovat ravinto, vesi ja ilma. Näistä merkittävin on ravinto, jonka kautta ihmiseen on arvioitu saavan 100-500  $\mu\text{g}/\text{Pb}/\text{vrk}$ . Veden kautta on arvioitu määrän olevan n. 30  $\mu\text{g}/\text{vrk}$  ja "saastuneen" kaupunkiuilman (1-4  $\mu\text{g}/\text{Pb m}^3$ ) kautta n. 5-24  $\mu\text{g}/\text{vrk}$ . (73). Yleisen käsityksen mukaan (19, 74, 107) noin 35-40 % ilmaperäisestä, 5-10 % ravinnon ja 10 % veden lyijystä absorboituisi ihmisiin ruoansulatuksen tai keuhkojen kautta, eli kokonaismäärät olisivat vedestä 3  $\mu\text{g}$ , ruoasta 10-50  $\mu\text{g}$  ja ilmasta 2-60  $\mu\text{g}/\text{vrk}$ .

Liikenneperäisen lyijyn voidaan katsoa pääsevän ihmisen elimistöön joko suoraan ilman kautta tai epäsuorasti ravinnon ja veden kautta.

Ilmaperäisen lyijyn joutumista ihmisen ravintoon on tutkinut mm. Rameau (63). Hän totesi, että maidon lyijypitoisuus lehmillä, jotka söivät ruohoa teiden varsilla, ei ollut käytännöllisesti katsoen lainkaan korkeampi kuin muualta saadussa maidossa (0,033 mg/l ja 0,026 mg/l).

Lewis'n mukaan (75) maidon lyijypitoisuus on hieman noussut viimeisten 20-30 vuoden aikana (0,02-0,04 mg/l ; 0,04-0,05 mg/l), mutta keskimääräinen ravinnosta saatu lyijymäärä ei ole muuttunut viimeisten 30 vuoden aikana.

Ettinger'in mukaan (75) ilmaperäisen lyijyn vaikutus "vesivarastojen" lyijypitoisuuteen on vähäinen, vaikkakin sadeveden lyijypitoisuus on paikoin todettu erittäinkin korkeaksi. Mm. Cincinnatiassa hyvin vilkkaasti liikennöidyillä alueilla jopa 0,10 mg/l - 0,49 mg/l. (Todettakoon, että suositusarvo juomaveden lyijypitoisuudelle on 0,15 mg/l esim. USA:ssa ja Suomessa).

Patterson (76) arvioi, että ruoan luonnollinen taustapitoisuus on 0,01 mg/kg (USA:ssa taso kaupungeissa on 0,17 mg/kg) ja vedessä 0,0005 mg/l (USA:ssa taso kaupungeissa on 0,01 mg/l).

Ihmisen ilman kautta saama lyijyannos riippuu luonnollisesti ilman lyijypitoisuudesta ja lyijypartikkelien koosta, jotka vaikuttavat absorboitumiseen keuhkoissa. Yleensä katsotaan, että leijuvat 0,1-5  $\mu$ n kokoluokkaa olevat partikkelit olisivat merkittävimpiä, koska ne voivat tunkeutua aina keuhkorakkuloihin saakka (19).

Alla olevassa taulukossa on esitetty arvio keskiarvoihmisen päivittäisestä lyijyannoksesta hengityksen kautta eri pitoisuuksilla (19).

<u>toiminta</u>	<u>x) ilmamäärä (m<sup>3</sup>)</u>	<u>Lyijyannos <math>\mu</math>g</u>		
		<u>pitoisuus</u>		
		<u>0,1 <math>\mu</math>g/m<sup>3</sup></u>	<u>0,5 <math>\mu</math>g/m<sup>3</sup></u>	<u>2,5 <math>\mu</math>g/m<sup>3</sup></u>
8 t (kevyttä työtä)	9,6 m <sup>3</sup>	0,96	4,8	24,0
8 t (vapaa aika)	9,6 m <sup>3</sup>	0,96	4,8	24,0
8 t (lepoa)	<u>3,6</u>	<u>0,36</u>	<u>1,8</u>	<u>9,0</u>
<u>yhteensä:</u>	22,8 m <sup>3</sup>	2,28	11,4	57,0

Sisäänhengityksessä suuremmat partikkelit saattavat tarttua josierainaukkojen karvoitukseen tai myöhemmin hengitysteiden limakalvoille. Limakalvoilta ne kulkeutuvat edelleen värekarvaliikkeen ansiosta kurkkuun ja tulevat niellyksi. Osa partikkeleista

x) (77)

saattaa joutua myös ulos yskimisen kautta. Pienemmät partikkelit tarttuvat limakalvoille tai keuhkorakkuloihin tai kuleutuvat ulos uloshengityksen mukana. Näistä keuhkorakkuloihin takertuneet ovat merkittäviä sillä näistä osa absorboituu ihmisen verenkiertoon (108).

Siitä, missä määrin lyijyhiukkaset jäävät hengityselimiin on tehty muutamia tutkimuksia (108). Mehanin (78) mukaan eräässä tutkimuksessa 37% lyijystä jäi hengityselimiin miehillä, jotka eivät olleet teollisuuden altistamia. Vastaavat luvut kahdelle ryhmälle teollisuuden altistamia miehiä olivat 39% ja 47%.

Kehoe (79) tutki tetraetyylilyijyn poltossa vapautuvan lyijyn joutumista hengityselimiin. Hän käytti kahta eri hiukkaskokoluokkaa: n. 0,05  $\mu$ , josta 30% oli 0,02 - 0,09  $\mu$  ja n. 0,09  $\mu$ , josta 90% oli  $< 2 \mu$ . Pitoisuudet kummassakin kokeessa olivat 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tutkimuksessa todettiin, että pienemmällä kokoluokalla 36% joutui hengityselimiin ja suuremmalla 46 %, eli tulos oli lähes sama kuin edellisessä tutkimuksessa.

Ihmisen lyijyaltistusta kuvaamaan käytetty veren lyijypitoisuus on paras indikaattori, joskin pitoisuudet eri ihmisissä saattavat vaihdella jonkin verran samoissa olosuhteissa. Sen sijaan veren lyijypitoisuus ei ole hyvä elimistön lyijykuorman kuvaaja, sillä tapa millä se heijastaa esim. luihin saostunutta lyijyä on hyvin monimutkainen ja toistaiseksi selvittämättä.

Nykyisin on todettu, että jo hyvin alhaisilla veren lyijypitoisuuksilla (n. 15-20  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) voidaan havaita ALA-D entsyymin aktiiviteetinlaskua. ALA-D ( $\delta$  - aminolevuliinihappo dehydrataasi) aktiiviteetin on todettu korreloituvan myös veren lyijymäärien positiivisiin ja negatiivisiin muutoksiin. Vähäisten aktiiviteettimuutosten terveydellisestä merkityksestä ei useiden tutkijoiden mukaan ole sitävastoin selvää osoitusta (109).

Kehoe (81) analysoi keskimäärin 20  $\mu\text{g}/100$  ml meksikolaisten intiaanien verestä.

Suomalaisissa tutkimuksissa Työterveyslaitoksella todettiin, ettei Pertunmaalla ja Helsingissä asuvilla ihmisillä ollut selvästi havaittavaa eroa veren lyijypitoisuuksissa (82), vaikka ilmassa olevan lyijyn määrässä olikin erittäin selvä ero. Kummankin väestöryhmän keskiarvo oli 10-12  $\mu\text{g}/100$  ml luokkaa. Sitävastoin Tikkurilan teollisuusalueella oli jo havaittavissa n. 50 % nousu edellä oleviin verrattuna (83). Nämä arvot ovat ulkomaisiin arvoihin nähden erittäin alhaisia, joskin tässä on otettava huomioon eri laboratoriomenetelmien aiheuttamat keino-tekkoiset virheet. Tämän virhelähteen eliminoimiseksi Euroopan Talousyhteisön Neuvosto suoritti talvella 1974 yli 30 eri Euroopan kaupunkia koskevan vertailun, missä verinäytteet analysoitiin neljässä referenssilaboratoriossa. Tämän mukaan Helsingin asukkaiden veren lyijypitoisuus oli Lundin ja Kööpenhaminan jälkeen mukana olleista kaupungeista alhaisin (106).

Normaalisti lyijy poistuu ihmisestä eritteiden mukana (virtsa, ulosteet), mutta kun ihmisen saama lyijymäärä kasvaa, erityis nopeutuu vastaavasti. Tasapainon saavuttaminen tässä saattaa kestää vuosiakin, jolloin tapahtuu ylimääräisen aineksen kumuloitumista esim. luustoon. Mikäli tämäkään ei tapahdu kyllin nopeasti, kasautuu lyijyä pehmeisiin kudoksiin ja lyijymyrkytyksen oireita voidaan jo havaita (84). Selviä oireita ilmaantuu yleensä vasta yli 70-80  $\mu\text{g}/100$  ml:a lyijypitoisuuksilla veressä (53). Tässäkin on suurta eroavaisuutta havaittavissa eri ihmisten välillä.

Ensimmäisenä lyijyn haittavaikutuksena pidetään häiriötä hemoglobiinisynteesissä. Tämä aiheutuu eräiden entsyymien aktiviteetin muutoksista ja voidaan hieman myöhemmin havaita lisääntyneenä ALA:n ( $\delta$ -aminolevuliinihappo) ja koproporfyriniin erityksenä virtsasta. Itse lyijymyrkytyksen oireet ovat alussa lähinnä subkliinisiä (hermostuneisuus, väsymys jne.) ja tulevat vasta myöhemmin vakavammiksi (anemia, hermostovauriot, vatsakivut jne.) (85).

Lob ja Desbaumes (86) tutkivat veren ja virtsan lyijypitoisuutta kahdella ryhmällä, joista toiset asuivat moottoritien varrella ja toiset maaseudulla. Ryhmien A (43 henkilöä, 19-79 vuotta) ja B (35 henkeä, 35-76 vuotta) välillä ei havaittu veren lyijypitoisuuksissa merkittävää eroa, mutta virtsan lyijypitoisuuksissa sitävastoin selvä ero 35,5 mg/l (21-61) ja 28,8  $\mu\text{g}/\text{l}$  (10-55), tästä kirjoittajat päättelivät, että liikenne oli aiheuttanut merkittävää nousua virtsan lyijypitoisuuksissa.

Vaikkakaan kaupunki-ilman lyijypitoisuuksien ei katsota olevan uhkana koko väestön terveydelle, on kuitenkin useita ryhmiä, jotka ovat jatkuvasti epäpuhtausellisen suurten lyijypitoisuuksien altistamina. (Esim. liikennepoliisit, kadunlakaisijat jne.) Näillä on myös eräissä tapauksissa, lähinnä USA:ssa ja Japanissa, mitattu yli 40  $\mu\text{g}$  Pb/100 g verta pitoisuuksia. Näissäkään tapauksissa ei kuitenkaan ole ollut havaittavissa mitään selviä haittoja. Useimpien tutkijoiden mielestä ei olla täysin varmoja siitä edustavatko ilmassa esiintyvät lyijymäärät terveydellistä riskitekijää. Tästä syystä ei esim. lyijymäärille ilmassa ole voitu antaa terveydellisiin kriteereihin perustuvia absoluuttisia suositusarvoja.



X LIIKENNEPERÄISEN LYIJYN ELIMINOINTI

Orgaanisia lyijy-yhdisteitä, tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyä, alettiin käyttää alunperin estämään moottorissa tapahtuvia ylimääräisiä ilma/ polttoaineseoksen räjähdyksiä, jotka aiheuttivat mm. tehon laskua ja vahinkoa koneelle. Puristusuhde oli lyijyttömällä bensiinillä ainoastaan 4:1, mutta lyijytetyllä bensiinillä se saatiin jopa 11:1.

Syyt lyijytetyn bensiinin käyttöön ovat lähinnä seuraavat (87):

- lyijy-yhdisteet ovat halvin keino korkeaktaanisen bensiinin valmistamiseksi. Lisäksi oktaaniluvun kohottaminen muilla keinoilla, esim. prosessiteknisesti, saattaisi olla jopa mahdotonta eräille jalostamoille ja joka tapauksessa mutkistaisi prosessia ja korottaisi polttoaineen hintaa selvästi.
- korkeaktaaniset bensiinit ovat aina eri fraktioiden seoksia, joiden laadun stabiliteetti voidaan taata lyijy-yhdisteiden avulla. Jalostuksessa osalla fraktioista on hyvin alhainen oktaaniluku (jopa 60) ja osalla taas hyvinkin korkea (> 90). Tärkein prosessimenetelmä korkeaktaanisen bensiinin valmistukseen on reformointi. Tämän käyttö alhaisen oktaaniluvun omaavien fraktioiden oktaaniluvun lisäämiseen on huomattavan epätaloudellista ja eräissä tapauksissa jopa mahdotonta.
- lyijyn käyttö helpottaa huomattavasti jalostamoiden työtä polttoaineen valmistuksessa.

Syyt lyijyn vähentämiseen tai poistamiseen kokonaan bensiinistä johtuvat lähinnä eri maissa annetuista tiukennetuista pakokaasu- ja ilmanormeista. Normien avulla pyritään vähentämään jyrkästi liikenteen haitallisia emissioita, perustuen niiden ympäristölle ja ihmisen terveydelle aiheuttamiin mahdollisiin haittoihin.

Kuten edellä on jo todettu, liikenne on lyijyn suhteen tärkein saastelähteistä maapallolla. Tämän lisäksi se on myös tärkein hiilimonoksidin lähde (n. 90% koko maapallon emissioista) ja se tuottaa lisäksi ympäristöön huomattavia määriä hiilivetyjä ja mm. USA:ssa ja Japanissa on asetettu ko. komponenteille pakokaasunormit. Normien noudattaminen mahdollistuu ainoastaan erilaisia teknisiä menetelmiä käyttämällä ja niitä kombinoimalla pakokaasujen puhdistamiseksi.

Hiramatzun (88) mukaan mahdolliset kombinaatiot käytettäväksi pakokaasujen puhdistamiseksi vuodelle 1975 Japanissa annettujen emissiorajojen noudattamiseksi ovat seuraavat:

1. Katalyyttinen pakokaasujen puhdistus (hapetus).  
Moottorin rakenteen parannukset.  
Muutokset polttoaineessa (lyijyn poistaminen).  
Partikkelien puhdistus pakokaasuista.
2. Katalyyttinen pakokaasujen puhdistus (hapetus).  
Pakokaasun kierto.  
Moottorin rakenteen parannukset.  
Muutokset polttoaineessa (lyijyn poistaminen).  
Partikkelien puhdistus pakokaasuista.
3. Pakokaasujen puhdistus jälkipolttimilla.  
Pakokaasun kierto.  
Moottorin rakenteen parannukset.  
Muutokset polttoaineessa (lyijyn poistaminen).
4. Polttoaineen suihkutusjärjestelmä.  
Pakokaasun kierto.  
Moottorin rakenteen parannukset.  
Muutokset polttoaineessa.  
Partikkelien puhdistus pakokaasuista.

Mahdollisuudet liikenneperäisen lyijyn eliminoimiseksi ovat karkeasti jaoteltuna seuraavat:

- lyijyn poisto polttoaineesta ja
- lyijyn poisto pakokaasuista.

Lyijyn poisto polttoaineesta ei sinänsä ole mahdotonta, mutta nykyisellä teknologialla ei Dabelstein'in (89) mukaan tällä vuosikymmenellä ole mahdollista valmistaa 100-oktaanista bensiiniä käyttämättä lyijyä. Lisäksi autojen moottorit on suunniteltu nykyisin käytettävän polttoaineen mukaan, ja niin pitkään kuin näitä autoja on käytössä on myös jonkinlaista lyijytettyä bensiiniä oltava saatavana. Tässä tapauksessa on lähinnä moottorien suunnittelijoiden löydettävä ratkaisuja lyijyttömän bensiinin käyttämiseksi niissä.

Tärkein ongelma tällä hetkellä auto- ja öljyteollisuudessa on lyijymäärien vähentäminen polttoaineesta ja sen seuraukset. Esimerkiksi Länsi-Saksassa on annettu laki, jonka mukaan bensiinin lyijypitoisuus lasketaan v. 1976 0,15 g/l:aan, nykyiseltä tasolta 0,4 g/l (vuodelta 1971).

Mikäli lyijypitoisuutta jyrkästi vähennetään on auto- ja öljyteollisuudella kaksi tärkeätä kohtaa avoinna (87):

- alennetaan bensiinin oktaanilukua ja vähennetään moottorien puristussuhdetta
- säilytetään nykyiset oktaaniluvut jalostusprosessin avulla.

Näistä enimmäinen strategia on toteutettavana lähinnä USA:ssa, jossa uusien lyijyttömien normaalibensiinien oktaaniluku on noin 91 ja superbensiinin 98 (ennen 94 ja 100). Tällä hetkellä

käytössä olevista autoista USA:ssa 60% käyttää 94- oktaanista bensiiniä ja 40% 100- oktaanista (87).

Useimmat eurooppalaiset jalostamot, jotka ovat tislauk/refor-  
mointi tyyppisiä, voisivat valmistaa enintään 91- oktaanista  
bensiiniä, jos aromaattisten hiilivetyjen määrä rajoitetaan  
40 til. %:iin, ja 94- oktaanista, jos aromaattisten hiilivetyjen  
määrä rajoitettaisiin 45 til. %:iin lyijymäärän ollessa 0,15g/l.  
Lyijyn täydellinen eliminointi lisää myös aromaattisten hiili-  
vetyjen määrää n. 10 % oktaaniluvun laskiessa samalla 99:een  
verrattuna bensiiniin, jossa lyijyä on 0,64 g/l (90).

Lyijyn eliminointiin pakokaasuista on kehitetty mm. erilaisia  
partikkelisuodattimia, Tehokkaimmat näistä sisältävät sekä  
suodattavat filtteriä, että sykloneja. Tällaisia ovat rakenta-  
neet mm. Ethyl Corporation ja Du Pont.

Du Pont'in laboratorio on valmistellut autoon erityisen emissio-  
valvontasysteemin, jolla katsotaan olevan mahdollisuuksia pi-  
tää auton emissiot annettujen EPA:n normien rajoissa USA:ssa.  
Eräänä osana tähän kuuluu lyijysuodatin, joka asetetaan norma-  
alisti äänenvaimentajan paikalle. Suodatin käsittää alumiinikuu-  
lia sisältävän osan, jossa hienot lyijypartikkelit agglomeroi-  
tuvat suuremmiksi. Nämä poistetaan edelleen pakokaasuista si-  
säänrakennettujen syklonien avulla. Nämä partikkelit kerätään  
erityisiin sisäisiin kammioihin, jotka on mitoitettu 100 000  
mailin ajoa varten, käytettäessä normaalisti lyijytettyä ben-  
siiniä. Testiajoissa on keskimääräinen lyijyemissio pienenty-  
nyt noin 84 % käytettäessä ko. suodinta (91).

Texaco Oil Company'n alunperin kehittämä The Associated Octel  
Company Limited'in suodinsysteemi on myös suunniteltu korvaamaan  
normaalit äänenvaimentajat. Käytettäessä koeajossa kahta suo-  
dinta edessä alumiini ja jäljempänä lasikuitusuodinta saa-  
tiin lyijyn kokonaisemissiot pienentymään noin 85-95%.

25 000 mailin aikana suotimella ei todettu olevan mitään kielteisiä vaikutuksia auton tehoon tai polttoaineenkulutukseen (92).

USA:ssa on kehitetty myös erilaisia alhaisen emission omaavia autoja, joissa on mm. lämpöreaktorit, pakokaasun uudelleenkiertojärjestelmät, katalyytit jne. ja joilla on päästy annettujen emissiosuosituksen tasolle. Näiden käytössä on kuitenkin ilmennyt eräitä hankaluuksia juuri lyijyn suhteen, sillä sen on todettu olevan erityisen haitallinen aine katalyyteille. Yolles ja Wise (93) tutkivat katalyyttien vaikutusta auton pakokaasuemissioihin. He totesivat mm, että hiilivetyjen ja hiilimonoksidin tehokas muuntaminen katalyyteillä heikkeni käytettäessä lyijytettyä bensiiniä. Typen oksideihin sillä ei kuitenkaan todettu olevan mitään vaikutusta. Eri katalyyttejä tutkittaessa ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) todettiin, että lähes puolet polttoaineeseen lisätystä lyijystä kiinnittyi katalyytteihin ja heikensi niiden tehoa huomattavasti.

Pt- ja vanadiini-pentoksidikatalyyttien teho heikkeni myös lyijyn vaikutuksesta, ja näistä ensiksi mainitulla enemmän.

Megonnell'in mukaan (94) hiilivetyemissiot ovat suuremmat lyijytettyä bensiiniä käytettäessä verrattuna lyijyttömään. Lisäksi lyijytetty bensiini lyhentää kirjoittajan mukaan sytytystulppien ikää, ja halogeeneit, joita lisätään juuri lyijyn tähden, pakoputkien ja äänenvaimentajien ikää.

Doelling et al (95) havaitsivat myös lyijytetyllä bensiinillä selvästi korkeampia hiilivetypitoisuuksia kuin lyijyttömällä. Jopa hyvin pienilläkin lyijypitoisuuksilla todettiin hiilivety-määrien kasvavan. Nelsonin (96) mukaan lyijyn poistaminen polttoaineesta vähentäisi selvästi hiilivetyemissiota ja yhdessä moottoriin tehtävien muutosten kanssa (mm. puristusasteen alen-

taminen, muutokset kaasuttajassa ja sytytyksessä) alentaisivat niitä n. 20-35% verrattuna vuoden 1970 mallia oleviin GM-autoihin.

Eri tutkimusten mukaan (97, 98, 99) lyijytetyn bensiinin hiilivety-emissiot ovat kuitenkin vähemmän aktiivisia fotokemiallisesti kuin lyijyttömällä bensiinillä. Samoissa tutkimuksissa todettiin, että lyijyn läsnäololla bensiinissä ei ollut mitään vaikutusta typen oksidien ja hiilimonoksidin emissioihin.

Lyijyn eliminoinnin aiheuttamat haitat ovat jo osaksi tulleet esille eräissä esitetyissä tutkimuksissa. Tärkeimpinä haittoina pidetään seuraavia seikkoja: (100)

- valmistuskustannusten nousu
- polttoaineen valmistuksessa esiintyvät hankaluudet
- aromaattisten hiilivetyjen lisääntynyt käyttö
- muutokset ja haitat moottorissa
- raakaöljyn kulutuksen kasvu

Kustannusten kasvu tarkoittaa paitsi valmistuksessa tapahtuvaa jalostuskustannusten nousua, jotka heijastuvat edelleen kuluttajaan, myös polttoaineen lisääntynyttä epätaloudellisuutta, joka liittyy moottorin alentuneeseen puristussuhteeseen (100).

Mm. " Bonner & Moore Associates Inc " ja "Ethyl Corporation" ovat suorittaneet kustannuslaskelmia vuoden 1980 hintatasosta verrattuna v. 1971 tasoon. Nousua (huomioimatta yleistä energian hinnannousua) oli n. 20-25% (101). Tästä lähes puolet aiheutui lyijyn poistamisesta bensiinistä aiheutuneista kustannuksista.

Aromaattiset hiilivedyt ovat tunnetusti hyvin haitallisia epäpuhtauksia yhdyskuntailmassa. Osalla niistä (esim. 3,4-pentsyreeni) on oletettu olevan osuutta mm. syövän syntyyn. Eräiden

tutkimusten mukaan (102, 103) aromaattisten hiilivetyjen lisääminen bensiiniin lisääsi aromaattisten aldehydien, fenolien ja monirengashiilivetyjen määriä. Näillä on edelleen, Bureau of Mines'in tutkijoiden (104), mukaan suuri vaikutus ns. smogilmiön muodostumiseen. Myös Dimitriades et al (105), väittävät, että aromaattien lisääminen bensiiniin lisää smogia. (Smogilla tarkoitetaan ilmassa tapahtuvia hiilivetyjen ja typen oksidien välisiä reaktioita, jotka saavat energiansa auringonvalosta. Ilmiötä esiintyy erityisesti vilkkaasti liikennöidyissä suurkaupungeissa kuten Los Angelesissa ja Tokiossa, joissa se on aiheuttanut haittaa mm. ihmisille ja kasveille.)

Berlin et al (110) puolestaan eivät pidä aromaattien lisäämisen vaikutusta ilman saastumiseen kovinkaan merkittävänä. Heidän mukaansa vaikutus fotokemialliseen aktiviteettiin on kokonaisuudessaan varsin vähäinen ja lisäksi karsinogeenisten yhdisteiden määrä, vaikka kasvaisikin, on pieni verrattuna muiden tekijöiden aiheuttamaan emissioon. Heidän mukaansa käyttökelpoisimmat keinot autojen emissioiden vähentämiseksi ovat parannukset moottorissa ja pakokaasujen kontrollijärjestelmät.

EPA:n teettämän tutkimuksen mukaan (103) raakaöljyn kulutus lisääntyisi n. 3 % vuoden 1980 tasolla, johtuen mm. polttoaineen lisääntyneestä kulutuksesta ja jalostusteknisistä syistä, mikäli lyijy poistetaan tai sen määrää selvästi alennetaan polttoaineissa.

### YHTEENVETO

Tehdystä selvityksestä voidaan todeta yhteenvedona seuraavaa:

- lyijyä esiintyy nykyisin kasvavassa määrin kaikkialla maapallolla ilmakehän kuljetuksen vaikutuksesta
- lyijypitoisuudet maan pintakerroksissa ovat selvästi korkeammat kuin syvemmällä, myös ns. puhtailla alueilla. Lyijypitoisuudet maassa ovat suurimmillaan lyijymalmialueilla, mutta myös eräiden teollisuuslaitosten ympäristössä ja suurkaupunkien puistoissa ovat pitoisuudet olleet poikkeuksellisen korkeita.
- ravinto on tärkein lyijyn lähde ihmisellä; sen osuus on moninkertainen verrattuna "kaupunki-ilman" kautta saatuun annokseen
- lyijypitoisuudet ovat kaupunki-ilmassa keskimäärin selvästi korkeammat kuin muualla (paitsi teolliset lähteet)
- lyijyä käsittelevät teollisuuslaitokset ovat eräissä tapauksissa osoittautuneet erittäin suuriksi paikallisiksi saastutuslähteiksi. Näiden ympäristössä on myös voitu havaita ihmisten veren lyijypitoisuuden korreloivan esim. etäisyyteen tehtaasta. Muita paikallisia lyijylähteitä ovat mm. jätteenpolttolaitokset ja romusulatot. Liikenneperäisen lyijyn vaikutuksesta ei esim. Suomessa ole todettu veren lyijypitoisuuden nousua millään tutkitulla alueella.
- kevyt bensiinikäyttöinen moottoriajoneuvoliikenne on selvästi suurin lyijyn lähde maapallolla
- lyijy on alkuaineena ja yhdisteinään ihmiselle toksinen aine, joka tunnetaan erityisesti kumuloituvana myrkkynä



- ilmaperäisen lyijyn ei ole todettu aiheuttaneen normaalisti esiintyvissä määrissä kaupungeissa tai muualla asutuskeskuksissa terveydellistä haittaa ihmisille
- ihmiselle aiheutetun terveydellisen haitan arvioinnista on olemassa hyvin ristiriitaisia mielipiteitä. Kuitenkin useiden tutkijoiden mukaan ALA-dehydrataasin aktiviteetin lasku veressä on jo selvä altistuksen osoitus<sup>x)</sup>.
- lyijyn haittavaikutuksista kasveille (yhteenvedo sivuilla 18 ja 19) ei ole osoituksia
- liikenneperäisen lyijyn leviäminen teiden ympäristöön rajoittuu suurimmalta osin alle 100 metrin etäisyydelle
- liikenneperäinen lyijy voidaan eliminoida, joko lopettamalla kokonaan lyijy-yhdisteiden käyttö bensiinin lisäaineena tai alentamalla lyijy-yhdisteiden määrä ja käyttämällä erilaisia hiukkaspuhdistimia pakokaasujen puhdistamiseksi
- eliminointi on totaalisisena kuitenkin, ainakin toistaiseksi, mahdotonta, sillä nykyisten oktaanilukujen saavuttaminen jalostusteknisesti on, paitsi useissa tapauksissa täysin mahdotonta, myös taloudellisesti täysin kannattamatonta
- lyijyn korvaaminen muilla aineilla on toistaiseksi osoittautunut myös vaikeaksi ongelmaksi. Esimerkiksi alkoholeja käytettäessä lisäaineina olisi pelkästään Suomessa vuotuinen kulutus Neste Oy:n mukaan ainakin 200 000 tonnia.
- lyijymäärien voimakas alentaminen bensiinissä lisää aromaattisten hiilivetyjen määrä pakokaasuissa ja näillä on puolestaan osoitettu olevan hyvin kielteisiä vaikutuksia ympäristöönsä

---

<sup>x)</sup> sen sijaan lievä lasku on terveyden kannalta todennäköisesti merkityksetön

- lyijyemissioiden pienentämiseksi tärkeimmät ensisijaiset menetelmät ovat lyijymäärien vähentäminen, oktaaniluvun alentaminen, moottorin puristussuhteen alentaminen, moottorin rakennemuutokset ja pakokaasujen kontrollijärjestelmä

## KIRJALLISUUSVIITTEET

1. CHOW, T.J. and PATTERSON, C.C. The occurrence and significance of lead isotopes in pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 26; 263 (1962).
2. Proceedings of a working group on the hazards to health of persistent substances in water, convened by the Regional Office for Europe of WHO, Helsinki (1972). Working paper on lead prepared by Hernberg, S., and Nordman, C-H.
3. HUFF, L.C. Abnormal copper, lead and zinc content of soil near metalliferous veins. *Econ. Geol.* 47: 517-542 (1952).
4. MOTTO, H.L., DAINES, R.H., CHILKO, D.M. and MOTTO, C.K. Lead in soils and plants: Its relationship to traffic volume and proximity to highways. *Environ. Sci. and Tech.* 4; 231-238 (1970).
5. WRIGHT, J.R., LEVICK, R. and ATKINSON, H.J. Trace element distribution in virgin profiles representing four great soil groups. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19; 340-344 (1955)
6. U.S. Department of the Interior. Mineral Yearbook for 1967, vol. I-II. (Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1968)
7. CHOW, T.J. Isotope analysis of seawater by mass spektrometry. *J. Water Pollut. Control Fed.* 40, 399-411 (1968)
8. LIVINGSTONE, D.A. Chemical composition of rivers and lakes, pp. G1-G64. Geological Survey Professional Paper 440-G. In M. Fleischer, Ed. *Data of Geochemistry* (6th ed.) Washington, D.C., U.S. Government Printing Office (1963)
9. PATTERSON, C.C. Contaminated and natural lead environments of man. *Arch. Environ. Health* 11: 344-363 (1965)
10. CHOW, T.J. and PATTERSON, C.C. The occurrence and significance of lead isotopes in pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 26: 263-308 (1962)
11. BLANCHARD, R.L. Relationship between polonium - 210 and lead - 210 in man and his environment, pp. 281-294. In B. Aberg and F.P. Hungate, Eds. *Proc. of the Int. Symp. on Radioec. Concentr. Proc.* (1966)
12. FRANCIS, C.W., CHESTERS, G. and HASKIN, L.A. Determinations of 210 Pb mean residence time in atmosphere. *Environ. Sci. and Tech.* 4: 586-589 (1970)
13. HILL, C.R. Lead - 210 and polonium - 210 in grass. *Nature* 187: 211 - 212 (1960)
14. LAGERWERFF, J.V. Heavy metal contamination of soils, pp. 343 -364. In N.C. Brady, Ed. *Agriculture and the Quality of our Environment*. Washington, D.C. American Association for the Advancement of Science (1967)
15. MUROZUMI, M., CHOW, T.J. and PATTERSON, C.C. Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts

- in Greenland and Antarctic snow strata. *Geochim. Cosmochim. Acta* 33: 1247-1294 (1969)
16. RUHLING, A. and TYLER, G. An ecological approach to the lead problem. *Bot. Notiser.* 121: 321-342 (1968)
  17. U.S. Bureau of the Census. *Statistical Abstract of the United States* p. 682. (90th ed.) Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office (1969)
  18. U.S. Bureau of Mines. *Minerals Yearbook: Metals, Minerals and Fuels*, Vol. 1-2. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office (1969)
  19. Committee on Biologic Effects of Atmospheric Pollutants Division of Medical Sciences. National Research Council: Lead. Airborne lead in perspective. Washington, D.C., National Academy of Sciences (1972)
  20. LAAMANEN, A. and RYHÄNEN, A. Areal distribution of dustfall lead in the neighbourhood of some lead emitters. *Suomen Kemistilehti* B 44. 367-371 (1971)
  21. VORNAMO, H. Lyijysaasteselvitys Tikkurilan yhdyskuntailmassa I-VII/73 Ympäristö ja terveyst, 8/73, 731-742 (1973)
  22. VORNAMO, H. julkaisemattomia tuloksia
  23. BRUNNER, M. Die Zusammensetzung der Auspuffgase bei Benzinmotoren. *2. Präventivmed.* 11, 77-103 (1966)
  24. HIRSCHLER, P. et al. Nature of lead in automobile exhaust gas. *Archives of Environmental Health* vol. 8, 109-124 (1964)
  25. TER HAAR, G. L., and BAYARD, M.A. Composition of airborne lead particles. *Nature* 232, 553-554 (1971)
  26. LUNGREN, D.A. Atmospheric Aerosol composition and concentration as a function of particle size and of time. *J. Air Pollution Control Assoc.*, 20:603-608 (1970)
  27. LEE, R.F., PATTERSON, R.K. and WAGMAN, J., Particle-size distribution of metal components in urban air, *Environ. Sci. and Tech.*, 2, 288-290 (1968)
  28. ROBINSON, E. and LUDWIG, F.L. Particle size distribution of urban lead aerosols. *J. Air Pollution Contr. Assoc.* 17, 664-669 (1967)
  29. HASEGAWA, T., SUGIMAE, A. and FUJII, J. Determination of lead contents in automobile. *J. Japan Soc. Air Poll.* 5, No 1, 253 (1970)
  30. LAVESKOG, A. Organiska blyföreningar i bilavgaser och gatuluft. Rapport från Institutionen för analytisk kemi, Stockholms universitet 20.7.1970.
  31. HABIBI, K., Characterization of particulate lead in vehicle exhaust - experimental techniques. *Environ. Sci. and Tech.*, 4, 239-248 (1970)
  32. BURTON, W.M. and STEWARD, N.G. Use of longlived natural radioactivity

- as an atmospheric tracer. *Nature* 186, 584-589 (1960)
33. TER HAAR, G.L., HOLZMANN, R.B. and LUCAS, H.F. Jr. Lead and lead-210 in rainwater. *Nature* 216, 353-355 (1967)
  34. IAZRUS, A.L., LORANGE, E. and LODGE, J.P. Jr. Lead and other metal ions in United States precipitation. *Environ. Sci. and Tech.* 4 55-58 (1970)
  35. KONOVALOV, G.S., IVANOVA, A.A. and KOLESNIKOVA, T.K. Rare and trace elements in water and in suspended substance of the European U.S.S.R. rivers. *Gidrokhim. Mater.* 42, 94-111 (1966)
  36. U.S. Dep. of Health, Ed. and Welfare, Public Health Service, Publ. Health Service Drinking Water Standards. Publ. H. Service Publication 956 (Revised) Washington, D.C.: U.S. Dep. of Health Ed. and Welfare 61 pp. (1962)
  37. U.S. Dep. of H., Ed. and Welfare, Publ. H. Service, Division of Air Pollution. Air Quality Data of the National Air Sampling Networks; Analyses of Suspended Particulates, 1957-1961. Publ. H. Service Publication 978. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 217 pp. (1962)
  38. U.S. Dep. of H., Ed. and Welfare. Publ. H. Service, Div. of Air Poll. Air Quality Data of the National Air Sampling Networks, 1962. Cincinnati, Ohio: U.S. Dep. of H., Ed. and Welfare, 50 pp. (1964)
  39. McMULLEN, T.B., FAORO, R.B. and MORGAN, G.B. Profile of pollutant fractions in nonurban suspended particulate matter. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 20, 369-372 (1970)
  40. U.S. Dep. of H., Ed. and Welfare, Publ. H. Service, Div. of Air Pollut. Survey of Lead in the Atmosphere of Three Urban Communities. Public Health Service Publication 999 - AP - 12. Cincinnati: Public Health Service, 94 pp. (1965)
  41. SHERWOOD, P.T. and BOWERS, P.H. Air pollution from road traffic - a review of the present position. U.S. National Technical Information Service, Rept. PB - 196 744, 33 pp. (1970)
  42. ATKINS, P.R. Lead in a suburban environment. *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* 19, 591-594 (1969)
  43. SWAINE, D.J. and MITCHELL, R.L. Trace-element distribution in soil profiles. *J. Soil Sci.* 11: 347-368 (1960)
  44. CHOW, T.J. Our daily lead. *Chemistry in Britain* 9, 258-263 (1973)
  45. GOLDSCHMIDT, V.M. The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. *J. Chem. Soc.* 655-673 (1937)
  46. HIBBARD, P.L. Accumulation of zinc on soil under long-persistent vegetation. *Soil Scie.* 50, 53-55 (1940)
  47. LEHIKONEN, M. Lyijy, kupari, sinkki, mangaani, vanadiini, barium ja rikki Turun seudun sammalissa. Pro gradu. Turun Yliopiston Kasvitieteen laitos (1973)

48. LAGERWERFF, J.V. and SPECHT, A.W. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environ. Sci. and Tech.* 4, 583-586 (1970)
49. CHOW, T.J. Lead accumulation in roadside soil and grass. *Nature* 225, 235-236 (1970)
50. HUNT, W.F. Jr., PINKERTON, C., McNULTY, O. and CREASON, J.R. A study in trace element pollution of air in seventy-seven mid-western cities, pp. 56-68. In D.D. Hemphill, Ed. *Trace substances in Environmental Health. IV.* Columbia: University of Missouri Press (1970)
51. CHOW, T.J. Environmental pollution from industrial lead. In Y. Miyake. Ed. *Proceedings of the International Symposium on Biogeochemistry and Hydrogeochemistry*, held in Tokyo, Sept. (1970)
52. HEMPHILL, D.D. Availability of trace elements to plants with respect to soil-plant interaction. *Annals of the New York Academy of Sciences* 199, 46-61 (1972)
53. RUHLING, A. and TYLER, G. An Ecological Approach to the Lead Problem. *Bot. Notiser* 121, 321-342 (1968)
54. KLOKE, A. and LEH, H.O. Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. *Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*, 259-268 Wageningen (1968)
55. FRANCIS, C.W., CHESTERS, G. and ERHARDT, W. H. <sup>210</sup>Polonium entry into plants. *Environ. Sci. and Tech.* 2, 690-695 (1968)
56. HILL, A.B. The environment and disease: Association or Causation? *Proc. Roy. Soc. Med.* 58, 295-300 (1965)
57. MAYNEORD, W.V., TURNER, R.C. and RADLEY, J.M. Alpha activity of certain botanical materials. *Nature* 187, 208-211 (1960)
58. WILSON, P.O. and CLINE, J.F. Removal of plutonium - 239, tungsten-185 and lead -210 from soils. *Nature* 209, 941-942 (1966)
59. TSO, T.C., HARLEY, N. and ALEXANDER, L.T. Source of lead - 210 and polonium - 210 in tobacco. *Science* 153, 880-882 (1966)
60. TER HAAR, G. Air as a source of lead in edible crops. Presented at Spring Nat. Meeting of the Am. Chem. Soc. (1969)
61. DEDOLPH, R., TER HAAR, G., HOLZMANN, R. and LUCAS, H. The sources of lead in perennial rye grass and radishes. Presented at Spring Nat. Meeting of the Am. Chem. Soc. (1969)
62. KLOKE, A., RIEBARTSCH, K. and LEH, H. Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. *Sonderheft Ztschr. Landw. Forschung*, 20, 119-123 (1966)
63. RAMEAU, J. Th. L.B. Ernstige loodverontreiniging langs autowegen. *TNO Nieuws*, 23, 54-57 (1968)

64. WEBSTER, C.C. The effects of air pollution on plants and soil. Agricultural Research Council, London 53 pp. (1967)
65. ZUBER, R., BOVAY, E., TSCHANNEN, W. and QUINCHE, J.-P. Lead as a factor of atmospheric pollution and its accumulation on the vegetation along the roads with high traffic density. Recherche Agronomique en Suisse 9, 1, 83-96 (1970)
66. KELLER, Th. The present lead content of vegetation in the vicinity of highways in Switzerland. Zeitschrift für Präventivmedizin 15, 235-243 (1970)
67. BLAIRBELL, W. and PATTERSON, J. The effects of metallic ions on the growth of hyacinths. Ann. Biol. 13. 157-159 (1926)
68. KOBAYASHI, Y., HORI, M. and TSUCHIYA, K. Distribution of lead in the air near city roads. Keio J. Med. 19. No:4, 183-194 (1970)
69. KOBAYASHI, Y., HORI, M. and TSUCHIYA, K. Horizontal and vertical distribution of lead particulates in the air around a busy road in Yokohama city. Japan J. Public Health 17, 307-312 (1970)
70. LAKANEN, E. ja ERVIÖ, R. Ympäristön lyijyasaastuminen Tikkurilassa. Ann. Agr. Fenn. 10, 114-118 (1971)
71. SCHROEDER, H.A. and TIPTON, I.H. The human body burden of lead. Arch. Environ. Health 17, 965-978 (1968)
72. LAAMANEN, A., RIEKKINEN, A-L. ja VORNAMO, H. Seutusunnittelun ilmansuojelunäkökohtia. Työterveyslaitoksen tutkimuksia No 78 (1972)
73. International lead and zinc study group. Lead in gasoline. A review of the current situation. pp. 37. United Nations, New York (1973)
74. State of California, Dept. of Public Health. Lead in the Environment and its Effects on Humans, March (1967)
75. U.S. Public Health Service. Symposium on Environmental Lead Contamination. Publication No 1440 (1966)
76. PATTERSON, C.C. Contaminated and Natural Lead Environments of Man. Arch. Environ. Health 8, p. 344-360 (1965)
77. SPECTOR, W.S. Ed. Handbook of Biological Data. p. 267. Philadelphia: W.B. Saunders Company (1956)
78. MEHANI, S. Lead retention by the lungs of lead-exposed workers. Ann. Occup. Hyg. 9, 165-171 (1966)
79. KEHOE, R.A. The metabolism of lead in man in health and disease. The Harben Lectures, 1960. J. Roy. Inst. Public Health Hyg. 24, 1-81, 101-120, 129-143, 177-203 (1961)
80. GOLDWATER, L.J. and HOOVER, A.W. An international study of "normal" levels of lead in blood and urine. Arch. Environ. Health 15, 60-63 (1967)

81. KEHOE, R.A. Contaminated and natural lead environments of man. Arch. Environ. Health 11, 736-739 (1965)
82. NORDMAN, C.H. julkaisemattomia tuloksia.
83. NORDMAN, C.H., HERNBERG, S., NIKKANEN, J. and RYHÄNEN, A. Blood lead levels and erythrocyte -aminolevulinic acid dehydratase activity in people living around a secondary lead smelter. W-env.-hlth 10, 19-25 (1973)
84. ANON. 1973. Reports prepared by the environmental secretariat. National research Council of Canada. Ottawa, Ontario 1.X. (1973)
85. CHISOLM, J.J. Jr. Lead poisoning. Scient. Am. 224, 15-23 (1971)
86. LOB, M. and DESBAUMES, P. Lead content of blood and urine in inmates of prisons situated in the country and near a highway. Schweizerische Medizinische Wochenschrift. 101, 357-361 (1971)
87. The Associated Ocel Company Limited, Motor gasoline, lead and air pollution. No OP 72/4 England (1972)
88. HIRAMATZU, K. och SMITH, E. Rapport från kommittén för bilavgaskontroll i Japan 13.8. (1970)
89. DABELSTEIN, W. Problems of gasoline lead content. Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie 24 No 1, 37-40 (1971)
90. Stichting CONCAWE. The problem of gasoline engine exhaust control. Report No 12/72 (1972)
91. Du Pont's Petroleum Laboratory: TECS (Du Pont Total Emission Control System) (esite) Wilmington, USA
92. The Associated Ocel Company Limited. The elimination of vehicle particulate emissions. No OP 7215 England (1972)
93. YOLLES, R.S. and WISE, H. Catalytic control of automobile exhaust emissions. Critical Reviews in Environmental Control, 2, 125-146 April (1971)
94. MEGONNELL, W.H. Proceedings of the second annual air pollution control conference: The automobile. Engineering Extension Series No 14 (1969)
95. DOELLING, R.P., GERBER, A.F. and WALSH, M.P. Effects of automotive emission requirements on gasoline characteristics. ASTM Special Technical Publication 487, 160 pp. (1971)
96. NELSON, E. Control of automotive air pollution. Journal of Environmental Health 34, 304-310 (Nov.-Dec.) (1971)
97. Co-ordinating Research Council, Inc. The effects of leaded and unleaded gasolines on exhaust emissions caused by combustion chamber deposits. CRC Report No 441, 101 pp. (1970)
98. FAUST, W.J. and STERBA, H.J. Effect of automotive emission requirements on gasoline characteristics. ASTM Special Technical Publication 487. 160 pp. (1971)



99. GARTENMANN, E. (FMTRI) The possibilities of decreasing the lead content in gasolines for motors. Bulletin des Eindg. Gesundheitsamtes, Supplement B. No. 3. (Mar 20) 1-130 (1971)
100. Ethyl Corporation. Lead in gasoline. Detailed background for executive summary E.C. publ. AC-21 March 1972
101. Bonner & Moore Associates, Inc. An Economic Analysis of Proposed Regulations for Removal of Lead Additives from Gasoline. Houston March 15 (1972)
102. Interim Report of the Commerce Technical Advisory Board Panel on Automotive Fuels and Air Pollution, June (1970)
103. Bonner & Moore Associates, Inc. An Economic Analysis of Proposed Schedules for Removal of Lead Additives from Gasoline. Prepared for EPA. Houston, Texas, June 25 (1971)
104. STURM, G.P.Jr. and DIMITRIADES, B. Reactivity of Emissions from Leaded and Lead-Free Fuels. Preprints of Division of Petroleum Chemistry, American Chemical Society, 16, No. 2 E 115-119, March (1971)
105. DIMITRIADES, B., ECCLESTON, B.H. and HURN, R.W. J. Air Pollution Contr. Ass. 20, 150 (1970)
106. HERNBERG, S. Henkilökohtainen tiedonanto.
107. HERNBERG, S. and NORDMAN, C-H. Chapter: Lead. Long-term programme in environmental pollution control in Europe. The hazards to health of persistent substances in water. Regional Office for Europe, World Health Organization, Copenhagen. (1972)
108. Task group on metal accumulation. Accumulation of Toxic Metals with Special Reference to Their Absorption, Excretion and Biological Half-Times. Environ. Physiol. Biochem. 3, 65-107 (1973)
109. HERNBERG, S. Biological Effects of Low Lead Doses. Reprinted from the Proceedings of the International Symposium Environmental Health Aspects of Lead. Amsterdam (Nederland), October 2-6 (1972)
110. BERLIN, M., GAGE, J. and JOHNSON, E. Increased aromatics in motor fuels: A review of the environmental and health effects. Work-environm.-hlth 11, 1-20 (1974)

BENSIININ MAKSIMILYTYYPITOISUUDET ERI MAISSA

<u>Maa</u>	<u>g Pb/Litra</u>	<u>Voimassa</u>	<u>Luonne</u>
Belgia	0,84	jatkuvasti	ohjeellinen
Tanska	0,70	-"-	-"-
Ranska	0,55	tammikuu -74	ehdotus
-"-	0,64	joulukuu -66	laki
Länsi-Saksa	0,40	tammikuu -72	-"-
-"-	0,15	-"- -76	-"-
Italia	0,635	huhtikuu -64	laki (tavallinen bensiini)
-"-	-"-	joulukuu -67	-"- (super -"- )
Hollanti	0,84	jatkuvasti	ohjeellinen
Englanti	0,64	tammikuu -73	-"-
-"-	0,55	-"- -74	-"-
-"-	0,45	-"- -76	-"-
EEC	0,40	tammikuu -76	laki (jos ratifioidaan)
-"-	0,15	-"- -78	-"-
Itävalta	0,40	-"- -72	laki
Suomi	0,70	jatkuvasti	öljynjalostusteollisuuden oma standardi
Kreikka	0,84	huhtikuu -66	laki
Norja	0,70	tammikuu -71	ohjeellinen
-"-	0,40	huhtikuu -74	-"-
Portugali	0,635	tammikuu -58	laki
Espanja	0,72	jatkuvasti	ohjeellinen (valvottu)
Ruotsi	0,40	tammikuu -73	laki
-"-	0,70	joulukuu -73	väliaikainen lievennys
-"-	0,40	maaliskuu-74	laki

Sveitsi	0,57	lokakuu -71	laki (tavallinen bensiini)
"-	0,54	"-	"- (super "- )
"-	0,40	tammikuu -74	"-
Jugoslavia	0,70	jatkuvasti	pakollinen
"-	0,60	tammikuu -76	"-
USA	1,12	jatkuvasti	ohjeellinen (vuodelta -53)
"-	0,013	heinäkuu -74	laki (lyijytön tavallinen bensiini 91 okt.)
"-	0,45	tammikuu -75	laki
"-	0,37	"- -76	"-
"-	0,26	"- -77	"-
"-	0,21	"- -78	"-
"-	0,13	"- -79	"-
Australia	0,84	1967	ohjeellinen (öljynjalostusteollisuus)
"-	0,84	tammikuu -74	ehdotus (W.H.M.R.C)
"-	0,60	"- -75	"-
Uusi-Seelanti	0,84	1967	ohjeellinen (öljynjalostusteollisuus)
Japani	0,31	heinäkuu -71	ohjeellinen
Etelä-Afrikka	0,836	jatkuvasti	"-
Kanada	1,06	"-	"-
"-	0,55	tammikuu -75	ehdotus

## ERI MAISSA VOIMASSA OLEVAT SUOSITUKSET LYIJYLLE

<u>Ilmassa</u>		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	(leijuma)
Suomi	4	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	(kk.ka)
Neuvostoliitto	0,7	"-	(24 t.ka)
Tsekkoslovakia	0,7	"-	( -" - )
Kanada	20	"-	
USA			
- Montana	5	"-	(kk.ka)
- Pennsylvania	5	"-	( -" - )
Israel	5	"-	(24 t.ka)
		<u>g/a.kk</u>	(laskeuma)
Suomi	1	g/a.kk	(vuosi ka.)

<u>Vedessä</u>		<u>mg/l</u>
Suomi	0,1	mg/l
WHO	0,05	"-
Ranska	0,1	mg/l

Emissioissa

(teolliset toiminnot)

Länsi-Saksa	400 - 100	$\text{mg}/\text{Nm}^3$
Englanti	115 - 12	$\text{mg}/\text{Nm}^3$
Tsekkoslovakia	7	g/tunti x)

x) Ylittävät emissiot ilmoitettava viranomaisille

ISBN 951-46-0808-9

74-2718/55