

# Raskasmetallit

– päästöt ja pitoisuudet ilmassa/vesistöissä ja niiden vaikutukset ympäristöön Suomessa

Ympäristöongelmat, fysiikka ja kemia

Seminaariesitelmä

Reija Salminen

Terhi Uusitalo

Helsinki 19.3.2004

## SISÄLLYS

1 Johdanto .....	2
2 Raskasmetallit ja niiden ympäristövaikutukset.....	2
<b>2.1 Ympäristövaikutuksista</b> .....	3
<b>2.2 Elohopea (Hg)</b> .....	4
<b>2.3 Lyijy (Pb)</b> .....	4
<b>2.4 Kadmium (Cd)</b> .....	5
<b>2.5 Muut raskasmetallit</b> .....	6
3 Raskasmetallit ilmassa.....	7
<b>3.1 Päästöt</b> .....	7
3.1.1 Elohopea .....	9
3.1.2 Lyijy.....	9
3.1.3 Kadmium .....	10
<b>3.2 Pitoisuudet</b> .....	10
3.2.1 Elohopea .....	11
3.2.2 Lyijy ja kadmium.....	11
4 Raskasmetallit vesissä.....	11
<b>4.1 Päästöt</b> .....	12
<b>4.2 Pitoisuudet</b> .....	13
4.2.1 Pitoisuudet Itämeressä.....	14
4.2.2 Pitoisuudet järvissä.....	14
5 Johtopäätökset.....	15

## LÄHTEET

# 1 Johdanto

Suuronnettomuudet saavat ihmiset huomaamaan, miten tuhoisia ympäristölle kemikaalit ja radioaktiivinen säteily voivat olla. Helposti unohdetaan jokapäiväiset, ympäristöä hitaasti pilaavat päästöt. Jatkuva kuormitus saattaa kuitenkin olla ympäristölle usein vaarallisempaa kuin äkilliset onnettomuudet.

Energiatuotannon ja teollisuuden voimakas kasvu viimeisen sadan vuoden aikana on aiheuttanut raskasmetallien normaalia suurempaa vapautumista luonnonkiertoihin ja kertymistä ympäristöön. Metalleja on luonnollisesti kaikkialla maankuoressamme sekä ympäristön kierroissa. Pienissä määrin suuri osa niistä onkin tarpeellisia, mutta suurissa pitoisuuksissa ne ovat aina haitallisia.[1]

## 2 Raskasmetallit ja niiden ympäristövaikutukset

Yleisesti raskasmetalliksi on luokiteltu metallit, joiden tiheys on suurempi kuin  $5 \text{ g/cm}^3$ . [2] Termiä kuitenkin käytetään usein väärin kuvaamaan kaikkia ympäristölle myrkyllisiä metalleja, kuten alumiinia. Puolimetalli Arseeni luetaan usein raskasmetalleihin tiheydensä ja myrkyllisyytensä vuoksi. Raskasmetalleja esiintyy luontaisesti maa- ja kallioperässä, mutta ne ovat jakautuneet epätasaisesti.[1, 2]

Raskasmetallit voivat esiintyä eri muodoissa. Ne muodostavat yhdisteitä hapen, typen ja rikin kanssa, kuten malmeissa, ja voivat esiintyä suoloina, kaasuina, veteen liuenneina ioneina tai mineraaleina. Metallit myös sitoutuvat orgaanisiin tai epäorgaanisiin molekyyleihin ja adsorboituvat ilmassa leijuviin hiukkasiin. Metallisuolat ovat vesiliukoisia, jolloin kasvit voivat ottaa niitä maaperästä ja ihmiset sekä eläimet saavat niitä kasviravinnostaan tai ilmasta ja vedestä. Orgaaniset raskasmetalliyhdisteet ovat yleensä pysyviä ja myrkyllisiä. Rasvaliukoisina ne kertyvät rasvakudokseen ja ovat siis bioakkumuloituvia.[1, 3]

Koska metallit ovat alkuaineita, ne eivät häviä, vaan voivat vain muuttaa muotoaan. Ihmisen toiminta on siirtänyt raskasmetalleja elottomasta luonnosta elollisen luonnon kiertoihin jo vuosituhansia.[2, 3] Raskasmetalleja vapautuu kuitenkin myös luonnollisista lähteistä, kuten

maaperän mineraaleista ja tulivuorenpurkauksista. Raskasmetallit ovat merkittävä epäorgaanisten saasteiden luokka.[4] Eliöille haitallisimpia raskasmetalleja ovat elohopea, lyijy ja kadmium.[2]

Kaikki raskasmetallit eivät ole ainoastaan haitallisia. Esimerkiksi kupari ja sinkki ovat pieninä määrinä tarpeellisia, mutta suurina annoksina myrkyllisiä.[5] Raskasmetallit ovat tarpeellisia toimiessaan katalysaattoreina ja osallistuessaan fotosynteesiin ja typen aineenvaihduntaan. Ne voivat myös toimia entsyymien rakennusaineina sitoutuessaan proteiineihin. Myrkyvaikutukset aiheutuvat, kun raskasmetallit sitoutuvat proteiineihin estäen niiden toimintaa.[1]

## **2.1 Ympäristövaikutuksista**

Koska metallit ovat alkuaineita, joita luonto ei pysty hajottamaan, kasvattaa jokainen metallipäästö ympäristön metallikertymää. Myrkyvaikutus voi siis kasvaa, vaikka metallipäästöt vähenisivätkin.[5] Ilman raskasmetallipitoisuuksien kasvu on lisännyt ihmisen altistumista niille hengitysteitse, mutta laskeuma ja tämän jälkeinen rikastuminen ravintoketjussa ovat raskasmetallien tärkeimmät haittavaikutukset.[6] Alkuainemuodossaan raskasmetallit eivät yleensä, elohopeaa lukuun ottamatta, ole myrkyllisiä, mutta ne voivat muuttua ioniseen muotoon ja muodostaa suoloja ja orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat myrkyllisiä.[1]

Raskasmetallit ovat yleensä myrkyllisiä bakteereille ja muille pieneliöille sekä kasveille ja eläimille. Ne ovat usein myös biokertyviä. Sekä maa- että vesiekosysteemeissä raskasmetallit haittaavat hajottajamikrobien toimintaa.[4, 5] Niiden on lisäksi havaittu vaikuttavan eliöiden kasvuun, lisääntymiseen sekä aktiivisuuteen.[7]

Metalleja myös poistuu biologisesta kierrosta. Ne voivat sitoutua maahiukkasiin tai vesien pohjasedimenttiin. Olosuhteiden muuttuessa nämä sitoutuneet raskasmetallit voivat kuitenkin palata takaisin kiertoon.[5] Raskasmetalleja vapautuu esimerkiksi rapautumisessa. Myös happamoituminen sekä turvesoiden ojitus voivat lisätä raskasmetallien vapautumista kiertoon.[1]

## 2.2 Elohopea (Hg)

Elohopea on ainoa normaalioloissa nestemäinen metalli. Se on ympäristön kannalta ongelmallinen, sillä se muodostaa helposti erilaisia yhdisteitä ja siirtyy elementistä toiseen. Elohopea höyrystyy helposti (sen kiehumispiste on metallille hyvin alhainen 357 °C)[8] ja sen vuoksi se voi kulkea pitkiäkin matkoja ilmavirtojen mukana.[5]

Elohopea ei ole nestemäisenä kovin myrkyllinen, mutta elohopeahöyryt ovat hengitettynä vaarallisia. Toksisuus riippuu myös siitä, onko elohopea orgaanisessa, epäorgaanisessa vai alkuainemuodossa. Luonnossa elohopea muodostaa lähinnä mikrobitoiminnan johdosta myrkyllistä orgaanista metyylielohopeaa ( $\text{CH}_3\text{Hg}$ ), joka on pysyvää ja rikastuu ravintoketjussa, erityisesti vesiekosysteemeissä. Rasvaliukoisena se läpäisee hyvin veriaivoesteen ja istukan. Elohopeakaasun puoliintumisaika elimistössä on 40-70 päivää ja metyylielohopean 70 päivää.[1, 6] Tämän hetkisen tiedon mukaan elohopealla ei ole biologista funktiota. Kasveissa elohopea aiheuttaa häiriöitä muun muassa juurten kasvussa ja fotosynteesissä.

Antropogeenisistä lähteistä elohopeaa joutuu luontoon eniten teollisuudesta, lähinnä puunjalostus- ja klooritehtaista. Muita päästölähteitä ovat fossiilisten polttoaineiden, erityisesti kivihiilen, poltto, jätteiden poltto, hammaslääkärin vastaanotot sekä kotitalouksien kulutustavarat, mm. paristot ja kuume- ja lämpömittarit.[2, 5] Varsinkin kehitysmaissa elohopeaa käytetään myös kullin erotteluun kaivoksissa.[2] Elohopeaa on myös käytetty muun muassa limantorjunta-aineena puunjalostusteollisuudessa ja viljan peittäysaineena. Nämä molemmat on kuitenkin nykyään kielletty.[5] Antropogeeniset päästöt ovat kuitenkin luonnonpäästöjä pienempiä, mutta siitä huolimatta niillä on suuri, varsinkin paikallinen, merkitys.

## 2.3 Lyijy (Pb)

Myös lyijy kulkeutuu ilmassa pitkiä matkoja. Se sitoutuu tehokkaasti humukseen eikä helposti kulkeudu maaperässä. Siksi Suomen humusperäisen maan lyijypitoisuudet säilyvät pitkään ennallaan, vaikka lyijykuorma onkin vähenemässä.[2, 5]

Lyijyä esiintyy yli 200 mineraalissa. Sille ei tunneta biologista funktiota. Se aiheuttaa sekä akuutteja myrkytysoireita että neurologisia vaikutuksia, esimerkiksi linnut voivat halvaantua syömistään lyijyhauleista.[1, 2, 8] Lyijyn toksisuus on monia muita raskasmetalleja, esimerkiksi elohopeaa ja kadmiumia pienempi, mutta se on suurien pitoisuuksiensa vuoksi ongelma. Lyijy kertyy maksaan, munuaisiin, luihin ja hampaisiin ja sen biologinen puoliintumisaika on luiden aineenvaihdunnan hitauden vuoksi pitkä 5-20 vuotta. Epäorgaaninen lyijy jää elimistöön koko eliniäksi.[6]

## **2.4 Kadmium (Cd)**

Kadmium on raskasmetalleista liikkuvimmin. Se kertyy munuaisiin ja sen puoliintumisaika elimistössä on 19-38 vuotta.[1] Kadmiumilla ei ole biologista funktiota, mutta se häiritsee entsyymitoimintaa. Se on mahdollinen karsinogeeni ja vaarallinen jo alhaisissa konsentraatioissa, jo yksi gramma aiheuttaa akuuttia toksisuutta.[8]

Kadmiumia käytetään muun muassa nikkeli-kadmium-akuissa, teräksen pintakäsittelyssä, väripigmenteissä ja PVC-muoveissa. Myös fosforilannoitteista ja muiden metallien kaivoksista ja valmistuksesta pääsee kadmiumia luontoon. Suomalaisen fosforilannoitteen kadmiumpitoisuudet ovat maailman alhaisimmat raaka-aineensa puhtauden vuoksi.[2, 5]

Kadmiumia joutuu Suomessa luontoon eniten akuista ja romuautoista ja maahan joutuu kadmiumia moninkertaisesti verrattuna vesistöjen kuormitukseen. Maan kontaminoituminen on vakava riski terveydelle, peltomaahan ja pellosto satoihin ja ihmiseen joutuva kadmium on ihmisen kannalta merkittävintä.[5] Ongelmana on, että sadot eivät välttämättä pienene, vaikka kasveihin kertyisi kadmiumia. Tästä esimerkkinä on Japanin 50- ja 60-lukujen itai-itai-tauti, jossa kadmiumia päätyi ihmisiin riisistä ja aiheutti kovia kipuja, luuston haurastumista ja munuaisvaurioita.[1]

Kadmiumpäästöt ovat vähentyneet, mutta eliöiden kadmiumpitoisuudet ovat yleisesti nousseet. Yksi syy tähän voisi olla happamoitumisen aiheuttama kadmiumin mobilisointi maaperässä.[5]

## 2.5 Muut raskasmetallit

Arseeni (As) on puolimetalli, mutta se luetaan usein raskasmetalliksi tiheydensä ja ympäristövaikutustensa vuoksi. Arseenin myrkyllisyys riippuu sen valenssista, kolmen arvoiset arseniyhdisteet ovat myrkyllisimpiä. Se on karsinogeeni ja aiheuttaa toksisuusoireita myös kasveilla.[1] Sitä esiintyy lukuisissa mineraaleissa ja käytetään muun muassa puunkäsittelyssä, metalliseoksissa ja puolijohteissa.[8] Arseenia on myös käytetty väriaineissa ja pestisideissä, mutta näistä on nykyisin osittain luovuttu. Lannoitteissa arseenia on epäpuhtautena ja sitä vapautuu myös hiilenpoltosta ja malmien louhinnassa.[1]

Sinkki (Zn) on väriltään harmaa, pehmeä, epäjalo metalli. Sillä on alhainen sulamis- ja kiehumispiste. Se on ihmisen elimistölle ja kasveille tärkeä alkuaine, mutta suurissa pitoisuuksissa se on toksinen, sillä se kilpailee muiden metallien kanssa sitoutumispaikoista entsyymeissä.[1, 9] Sinkkiä käytetään terästen korroosiosuojaukseen, seosmetallina messingissä, maalien pigmenttinä, lääke- ja kumiteollisuudessa sekä lannoitteissa.[10]

Kromi (Cr) on sinertävänvalkoinen kova metalli. Sen sulamispiste on erittäin korkea, mutta se on haurasta matalissa lämpötiloissa. Kuudenarvoisessa muodossa kromi on sekä ihmisille, eläimille että kasveille myrkyllistä, hengitetty kromi kertyy keuhkoihin. Kromia käytetään usein metalliseoksissa, lähinnä teräksessä ja muiden metallien pinnoittamisessa. Se lisää huomattavasti teräksen karkenevuutta sekä päästön- ja syöpymiskestävyyttä. Se muodostaa kromaatteja jotka ovat muun muassa tärkeitä maaliteollisuuden pigmenttejä. Dikromaatteja käytetään vahvoina hapettimina sekä valokuvauksessa ja painatuksessa.[1, 6, 11]

Kupari (Cu) on puhtaana punertavan väristä. Kuparia esiintyy luonnossa sekä puhtaana että yhdisteinä. Sen kiertokulku on pitkä ja sillä on erinomaiset kierrätysmahdollisuudet. Kuparilla on korkea lämmön- ja sähkönjohtavuus. Myös sen vastustuskyky korroosiota vastaan on hyvä vaativissakin olosuhteissa. Kupari on elimistölle elintärkeää ja sitä tarvitaan kaikissa elävissä organismeissa. Suurissa pitoisuuksissa sekin on myrkyllistä sekä ihmisille että kasveille. Kupari häiritsee kasvien kasvua, juurten muodostusta ja sinilevien typensidontaa.[1, 12]

Nikkeli (Ni) on kova, raudan tavoin ferromagneettinen metalli. Se on väriltään hopean valkoinen. Luonnossa se esiintyy lähinnä sulfideina, oksideina tai silikaattimineraaleina. Nikkelin kierrätys on vaikeaa. Nikkeliä käytetään seosmetalleissa, koska ne ovat tällöin erinomaisia korroosionkestävyydeltään. Suurille määrille altistuttaessa nikkelisulfidikaasu ja -pöly ovat karsinogeenisiä. Iholla nikkeli aiheuttaa monille allergiaa.[6, 13]

### **3 Raskasmetallit ilmassa**

Ilmakehän antropogeenisistä eli ihmisen toiminnasta johtuvista lähteistä peräisin olevien raskasmetallihiukkasten koko on yleensä alle 2  $\mu\text{m}$ . Suuremmat hiukkaset ovat usein miten luonnollista alkuperää. Raskasmetalleja sisältävien aerosolien viipymä ilmakehässä riippuu hiukkasten koosta. Pienimpien partikkelien viipymä on alle tunnin, suurimpien minuuteista päiviin ja keskikokoisten (0,08-1,0  $\mu\text{m}$ ) päivistä viikkoihin. Pitkien viipymäaikaisten raskasmetalliaerosolit voivat kulkea ilmassa jopa tuhannen kilometrin päähän.[8]

#### **3.1 Päästöt**

Raskasmetalleja pääsee ilmakehään sekä luonnollisista että antropogeenisistä lähteistä. Luonnollisia lähteitä ovat muun muassa tulivuorten purkaukset, metsäpalot, pärskeet ja meteoriitit. Näistä tulivuoren purkauksilla on suurin vaikutus. Antropogeenisistä lähteistä yleisimmät ovat fossiilisten polttoaineiden käyttö, muiden kuin rautametallien tuotanto ja jätteiden poltto.[3, 8] Teollisuuden päästöjen raskasmetallit voivat olla joko suoloina tai partikkeleina alkuaikainmuodossa.[1] Raskasmetalleja pääsee ilmaan huomattavasti enemmän kuin vesistöihin.[2]

Jätteenpoltossa syntyvien raskasmetallipäästöjen arviointi on hyvin hankalaa ja monille metalleille niiden osuus on luultavasti arvioitua suurempi, sillä jätteen raskasmetallipitoisuuksia ei tunneta hyvin ja polttotapahtuma ja polton jälkeiset kemialliset reaktiot vaikuttavat myös päästöihin. Kadmiumilla ja elohopealla on suuri taipumus rikastua savukaasuihin ja tämän sekä niiden myrkyllisyyden vuoksi ne ovat jätteenpolton merkittävimmät raskasmetallipäästöongelmat.[3, 6]

Maailmanlaajuisten päästöarvioiden mukaan noin kaksi kolmasosaa kromin ja elohopean päästöistä ilmakehään aiheutuu hiilenpoltosta. Arseenin, kadmiumin, kuparin ja sinkin päästöistä kaksi kolmasosaa syntyy muiden kuin rautametallien tuotannosta.[3]

Päästömäärän mukaisessa järjestyksessä Suomessa joutuu eniten ilmaan sinkkiä, lyijyä, kromia, nikkeliä ja kuparia, mikä nähdään myös taulukosta 1. Arseni ja elohopea ovat hyvin merkittäviä, kun huomioidaan myös metallin toksisuus ja höyrystyminen.[6, 14] Taulukosta voidaan nähdä myös päästöjen huomattava väheneminen. Huippuvuosien 1965-1975 jälkeen raskasmetallipäästöt päästöinä ilmaan mitattuina ovat laskeneet kaikkialla Euroopassa.[1]

Taulukko 1 (Lähde: Suomen ympäristökeskus) [14]

	<b>Raskasmetallien päästöt Suomessa (tonnia)</b>							
	Lyijy (Pb)	Kadmium (Cd)	Elohopea (Hg)	Arseni (As)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Nikkeli (Ni)	Sinkki (Zn)
1990	326,1	6,3	1,1	33,2	31,6	94,4	67,0	570,5
1991	247,7	3,4	0,9	22,1	41,4	90,7	45,1	381,4
1992	174,7	2,9	0,8	16,0	31,2	65,5	37,1	283,7
1993	99,7	2,9	0,6	14,3	20,5	54,1	25,9	259,6
1994	60,1	2,4	0,7	9,3	19,6	48,9	33,6	315,6
1995	56,6	1,7	0,7	3,5	21,7	26,7	33,8	321,7
1996	35,0	1,5	0,8	7,2	21,2	54,5	25,0	191,3
1997	18,5	1,1	0,6	12,3	20,5	72,3	27,8	70,2
1998	20,3	1,3	0,5	12,4	18,2	27,4	20,8	71,2
1999	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	37,5	1,4	0,6	4,6	28,0	18,7	33,3	70,7
2001	37,5	1,6	0,7	5,2	26,1	19,3	33,0	69,1
2002	39,6	1,3	0,7	3,7	37,6	28,1	35,9	87,8

Hiukkaspäästöjen määrää voidaan vähentää parantamalla polttoprosessien tehokkuutta, käyttämällä laadukkaampaa polttoainetta ja ottamalla partikkelit mahdollisimman hyvin

talteen ennen kaasujen päästämistä ilmakehään. Aerosolit voidaan kerätä erilaisten suodattimien, elektrostaattisten saostajien tai syklonien avulla.[15]

### 3.1.1 Elohopea

Suomen teollisuuden elohopeapäästöt ilmaan ovat noin viisi kerta suuremmat kuin Suomen maaperästä ja vesistöistä luonnollisesti höyrystyvän elohopean määrä.[5] Ihmisten aiheuttamat elohopeapäästöt ovat erityisen haitallisia sen vuoksi, että ne keskittyvät maapallon asutuille alueille.[2]

Suomen suurimmat elohopeapäästöt aiheutuvat sinkkitehtaista ja energian tuotannosta. Vuonna 1994 suurin yksittäinen elohopealähde oli PVO-Lämpövoima Oy, mutta noin kymmenkunta muuta voimalaitosta ja tehdasta oli sen kanssa samoissa päästölukuissa.[5]

1990-luvun alussa on arvioitu, että Suomeen laskeutuu elohopeaa ilmakehästä suunnilleen yhtä paljon kuin Suomen päästöt ovat. Laskeuma on pienentynyt aikaisemmasta ja syynä on todennäköisesti Itä-Saksan suurten kuormittajien toiminnan lopettaminen.[5] Suomen elohopeapäästöt ovat pienentyneet hieman, mutta kuten taulukosta 1 nähdään on päästöjen väheneminen ollut muita raskasmetallipäästöjä hitaampaa.

### 3.1.2 Lyijy

Lyijypäästöt ilmaan ovat suurimmalta osin peräisin (muusta kuin rautametalli)teollisuudesta ja liikenteestä. Suomessa liikenteen lyijypäästöt on tosin saatu loppumaan ja kuten taulukosta 1 nähdään, lyijyn kokonaispäästöt ovat vähentyneet huomattavasti.[2] Tänne kuitenkin kulkeutuu lyijyä muun muassa Venäjältä, jossa lyijytettyä bensiiniä edelleen käytetään. Vuonna 1994 suurimmat lyijypäästöt Suomessa aiheutti Imatra Steel Oy. Tehtaalta pääsi ilmaan enemmän lyijyä kuin muista Suomen päästölähteistä yhteensä.[5]

Muita päästölähteitä ovat lyijyakut ja muut kulutustavarat, kuten maalit sekä lyijyhaulit. Lyijypitoisuudet Pohjoismaissa ovat sedimenttianalyyysien mukaan kasvaneet jo ennen ajan laskun alkua, sillä muinaiset kreikkalaiset ja roomalaiset louhivat lyijyä ja ilmavirtojen mukana sitä kulkeutui Pohjolaan asti.[5]

### 3.1.3 Kadmium

1990-luvun vaihteessa Suomen kadmiumpäästöt ilmaan olivat reilut kolme tonnia vuodessa. Tästä kolmasosa oli peräisin sinkkitehtaista ja loput pienemmistä päästölähteistä. Imatra Steel Oy ja Outokumpu Harjavalta Metals Oy olivat vuonna 1994 suurimmat kadmiumpäästöjen aiheuttajat.[5] Myös kadmiumpäästöt ovat vähentyneet huomattavasti.

## 3.2 Pitoisuudet

Raskasmetallien pitoisuudet ilmakehässä vaihtelevat olosuhteiden ja ympäristön mukaan. Suurin osa kaupunki-ilman raskasmetalleista on peräisin lähialueilta. Maaseudulla pitoisuudet ovat pienempiä ja usein peräisin urbaanialueilta. Kaukaisten alueiden raskasmetallipitoisuudet ilmassa ovat usein edellisiä vieläkin pienemmät, mutta vaihtelevat suuresti riippuen kaupunkien, teollisuuden tai luonnollisten päästölähteiden läheisyydestä. Eri tutkimuksissa saatujen pitoisuuksien vertailu voi olla hankalaa, sillä tuloksiin vaikuttavat lukuista tekijät säästä keräysastian asentoon.[8]

Ilmakehän raskasmetallipitoisuuksia voidaan myös arvioida erilaisten mallien avulla. Niissä huomioidaan esimerkiksi vuodenaika, lämpötila, etäisyys päästölähteestä, tuulen suunta tai topografia. Raskasmetallipitoisuudet ilmassa pienenevät tuulen nopeuden kasvaessa, mikä johtuu siitä, että tuuli kuljettaa hiukkaset nopeammin päästölähteen luota pois. Raskasmetallit poistuvat ilmasta märkälaskeumana eli lumen tai sateen mukana tai kuivalaskeumana. [8]

Ilman raskasmetallit voivat osallistua kemiallisiin reaktioihin, mutta näistä ei juurikaan ole tietoa, sillä alhaiset konsentraatiot tekevät tutkimuksen vaikeaksi. Raskasmetallien liukoisuus ilmakehän veteen vaikuttaa niiden reaktiivisuuteen.[8]

Aerosolien raskasmetallien lähteitä voidaan myös yrittää selvittää. Yksi tapa on suorat mittaukset. Vuodenaikaisvaihtelut ja hyvin pitkän aikavälin muutokset auttavat päättämään aerosolien lähteet. Toinen tapa selvittää aerosolin alkuperä on vertailla oletetun lähteen ja kerätyn näytteen alkuainekoostumusta.[8]

Suomessa ei ole mitattu ulkoilman raskasmetallipitoisuuksia systemaattisesti ja pitkällä aikavälillä ja ilmanlaatonormeja on toistaiseksi vain harvoilla raskasmetalleilla [6]

### 3.2.1 Elohopea

Yleisesti yli 95 % ilmakehän elohopeasta on atomaarisessa muodossa. Elohopea muuntuu helposti ioniseen muotoon, jolloin se adsorboituu ilmakehän partikkeleihin ja vesipisaroihin ja laskeutuu sateen mukana maahan. Partikkeleihin adsorboituneen elohopean viipymä ilmakehässä on muutamista päivistä viikkoihin. Atomaarisessa muodossa elohopea voi viipyä ilmakehässä jopa kaksi vuotta.[1]

Elohopean jakautuminen ympäristössä on hyvin monimutkaista. Ilmakehässä se kulkeutuu sekä liukoisessa että liukenemattomassa muodossa ja esiintyy usein seoksina muiden metallien kanssa. Toksisuuden lisäksi elohopean esiintymismuoto vaikuttaa sen jakautumiseen ja liukoisuuteen.[1]

### 3.2.2 Lyijy ja kadmium

Vaikka lyijy kulkeutuu helposti ilmakehässä, on sen todettu konsentroituvan päästölähteiden lähelle.[1] Lyijyn viipymä ilmakehässä on 7-30 päivää ja se poistuu laskeuman mukana.

Kadmium pysyy ilmakehässä 7 päivää ja poistuu laskeuman mukana [16]

## 4 Raskasmetallit vesissä

Raskasmetallit kulkeutuvat Itämereen pääasiallisesti jokien ja ilman kautta. Kuitenkin esimerkiksi ilman kautta tuleva lyijy- ja kadmiumkuormitus on Suomenlahdella arviolta 20-30-kertainen verrattuna jokien tuomaan kuormitukseen. Teollisuuden ja yhdyskuntien aiheuttaman pistekuormituksen merkitys on huomattavasti vähäisempi.[17] Suurin osa jokikuormasta on peräisin maaperän huuhtoumasta, jossa metallit ovat pääosin sitoutuneena kiintoaineseen tai suurimolekyylisiin orgaanisiin yhdisteisiin (humus).[18]

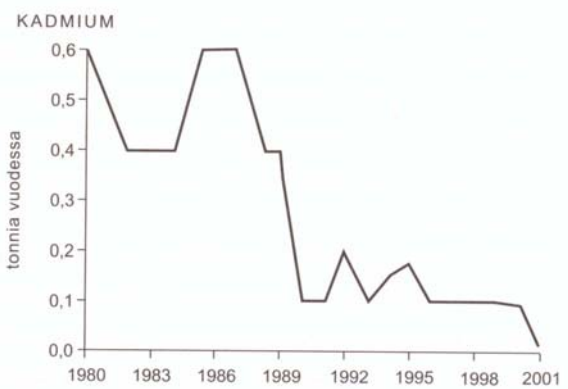
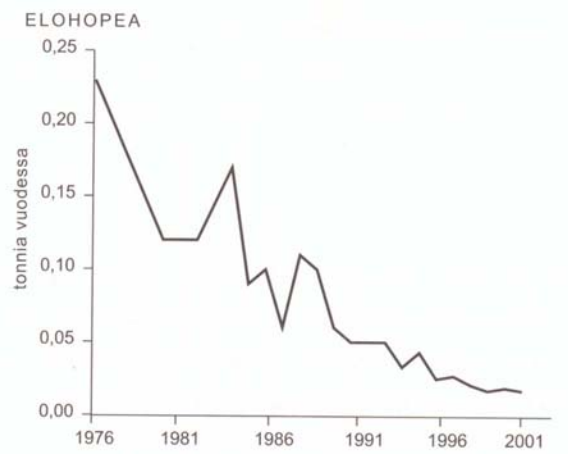
Metallien pitoisuudet vedessä ovat hyvin pieniä verrattuna pohjasedimentteihin ja eliöihin kertyneisiin metallimääriin. Sedimentissä metallipitoisuudet voivat olla tuhansia kertoja suuremmat kuin vedessä. Sedimentin tuoreissa pintakerroksissa on yleensä paljon enemmän raskasmetalleja kuin vanhemmissa kerroksissa. Vaikka pistekuormitus onkin vähentynyt tuntuvasti, on suuria määriä arseenia, sinkkiä, kuparia ja rautaa jo varastoitunut mm. Pohjanlahden pohjakerrostumiin. Tämän vuoksi vuosivaikutukset ekosysteemiin eivät välttämättä vähene.[17] Pohjan muuttuessa hapettomaksi voi myös osa sitoutuneista metalliyhdisteistä muuttua liukoiseen muotoon, vapautua veteen ja siirtyä takaisin ravintoketjuun.[19]

## 4.1 Päästöt

Massa- ja paperiteollisuuden lisäksi Suomessa aiheutuu merkittävää vesistökuormitusta erityisesti kemianteollisuudesta sekä metallien valmistuksesta ja jalostuksesta, vaikkakin vuoden 1995 jälkeen näiden teollisuudenalojen vesistökuormitus on vähentynyt merkittävästi. Teollisuudesta rannikkovesiin johdettu raskasmetallikuorma keskittyy Tornion, Raahen, Kokkolan sekä Pohjois-Kokemäenjoen edustoille. Jokien mukana mereen tulevien raskasmetallien määrä on monikymmenkertainen pistemäisiin päästöihin verrattuna.[18, 20]

Perämerellä Outokumpu Oy:n Tornion terästehtaasta aiheutuvat päästöt rasittavat merta kromilla, arseenilla, kadmiumilla, kuparilla ja sinkillä. Kemiran Porissa sijaitseva Vuorikemian tehdas puolestaan kuormittaa huomattavasti arkaa Selkämerta rauta-, rikkihappo-, titaani-, alumiini-, mangaani-, vanadiini-, sinkki- ja kromipäästöillään. Tehtaan vuoksi merenpohja on käytännössä kuollut 18 km<sup>2</sup>:n alueella sen jätevesien purkuputken päässä. Pohjaa peittää rautahydroksidikerros ja normaalia pohjaeliöstöä tavataan vasta 15-30km:n etäisyydellä purkuaukosta.[17] Kuvassa 1 on esitetty Suomen teollisuuden raskasmetallipäästöt vesistöihin ja päästömäärien kehitys. Kuvasta nähdään, että päästöt ovat selvästi pienentyneet, erityisesti viimeisen kymmenen, viidentoista vuoden aikana.

Raskasmetalleja päätyy vesistöihin myös tavallisille kaatopaikoille viedyistä kulutustavaroista sekä teollisuuden ja yhdyskuntien jätevesistä.[5]



Kuva 1. Teollisuuden raskasmetallipäästöt vesistöihin Suomessa. [2]

## 4.2 Pitoisuudet

#### 4.2.1 Pitoisuudet Itämeressä

Itämeren kupari-, kadmium-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat kuin esimerkiksi Pohjanmerellä ja Atlantilla.[1]

Meriympäristössä elohopea esiintyy pääasiassa liuenneena ionina, joka kuitenkin saostuu adsorboiduttuaan voimakkaasti meriveden orgaaniseen hiukkasainekseen.[21] Elohopeapitoisuudet silakan ja turskan lihaksessa ovat yleensä hyvin pieniä, mutta kadmiumpitoisuudet saattavat olla moninkertaisia verrattuna luonnontilaisiin pitoisuuksiin. Kalojen raskasmetallipitoisuuksien kehityksessä ei ole havaittu yhtenäistä suuntaa. Elohopeapitoisuudet kaloissa ovat merialueella kuitenkin yleisesti matalammat kuin järvikalojen pitoisuudet.[18]

Eliöstön ja veden lyijypitoisuudet ovat laskeneet viime vuosina, koska lyijyn käyttö bensiinin lisäaineena on kielletty.[17] Lyijyn kulkeutumista ja pitoisuuksia vesistöissä vähentää myös lyijy-yhdisteiden niukkaliukoisuus. Jokilietteen mukana vastaanottaviin vesistöihin kertyy lyijyä, mutta tämä sedimentoituu nopeasti esimerkiksi karbonaattina  $PbCO_3$ . [21]

Hylkeiden raskasmetallipitoisuuksien on huomattu riippuvan hylkeen iästä, koska elohopea, kadmium ja lyijy kertyvät elimistöön.[17]

Kupari on simpukoiden nuoruusvaiheille ja leville erittäin myrkyllistä, vaikka se ei olekaan esimerkiksi kaloille ja ihmisille läheskään yhtä haitallista. Yksi kuparin lähde ovat olleet veneet, joiden pohjia on aiemmin suojattu kuparipitoisella maalilla.[17]

#### 4.2.2 Pitoisuudet järvissä

Rikastumiskerroin kuvaa järven pohjasedimentin ylimpien kerrosten (1-5 cm) ja alempien kerrosten (18-30 cm) metallipitoisuuksien suhdetta. Ylimpiin kerroksiin ovat kertyneet nyky-yhteiskunnan metallilasteumat ja alempiin esiteollisen ajan laskeuma. Rikastumiskertoimen suuruus kuvaa ihmisten järviin päästämän metallin määrää.[17]

Veden happamuus estää metallien liukenemistä, jolloin ne voivat kertyä vesieliöihin. Happamien järvien pohjaeläimistöä, vesikasveja ja kaloista onkin löydetty keskimääräistä suurempia alumiinin, mangaanin, sinkin, lyijyn, kadmiumin ja elohopean pitoisuuksia. Tällaisissa järvissä elävien kalojen luustosta on tavattu jopa satakertaisia lyijypitoisuuksia verrattuna luonnontilaisten järvien kaloihin.[17]

Kalojen elohopeasaastuneisuutta mitataan kilon kokoisista hauista. Hauki on vesiekosysteemin ravintoketjun loppupäässä, joten elohopeaa kertyy sen elimistöön. Etelä- ja Keski-Suomessa hauen elohopeapitoisuus on nykyään yleensä kaksin- tai kolminkertainen verrattuna oletettuun luontaiseen pitoisuuteen. Ilmasta tulevat laskeumat ovat kohottaneet kalan elohopeapitoisuutta täysin koskemattomissakin järvissä. Monessa maassa myyntikalan korkein sallittu elohopeapitoisuus on 0,5 mg/kg. Suomessa kalat ovat myynti- ja syömäkelvottomia vasta kun arvo 1 mg/kg ylittyy. Näin on käynyt Etelä- ja Keski-Suomessa arviolta noin 3000:ssa järvessä.[17]

Latvajärvissä on keskimäärin korkeammat lyijy-, kadmium- ja sinkkipitoisuudet kuin pienjärvissä. Etelä-Suomen karuilla, happamilla ylänköalueilla sinkki- ja kadmiumpitoisuudet ovat korkeimmat. Yleisesti eliöille haitallisen rajan ylittäviä pitoisuuksia ei kuitenkaan esiinny laajemmilla alueilla.[22]

## **5 Johtopäätökset**

Koska raskasmetallit ovat alkuaineita, ne eivät luonnollisesti häviä ympäristöstä. Vaikka päästöt ovat rajoitusten ja lisääntyneen ympäristötietoisuuden vuoksi vähentyneet, ovat pitoisuudet monin paikoin pysyneet ennallaan tai niiden pieneneminen on ollut vähäistä. Metallien pysyvyyden vuoksi raskasmetalliongelman ratkaiseminen on hidasta ja tarvitsee edelleen uusia keinoja.

Myös metallien biokertyvyyden vuoksi niiden ympäristövaikutukset tulevat esiin hitaasti ja vaikutuksia voidaan nähdä vielä pitkään päästöjen lakattua.

Monien raskasmetallien myrkkyyvaikutusten ilmeneminen vasta suurissa pitoisuuksissa aiheuttaa sen, että ympäristön seuranta, joka perustuu vain toksisuuden havaitsemiseen eliöissä on riittämätöntä. Päästöihin ja ympäristön kemikalisoitumiseen olisi varmasti helpompi puuttua ennen kuin niistä tulee ongelmia.

## LÄHTEET

- [1] L. Rydén, P. Migula, M. Andersson (Editors), Environmental Science. The Baltic University Press, Uppsala, 2003, p. 824.
- [2] Hakala, H. Välimäki, J., Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Gaudeamus, Tampere, 2003, p. 446.
- [3] <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=39067&lan=FI>. Raskasmetallit. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi). Päivitetty: 22.12.2003.
- [4] I. Pepper, C. Gerba, M. Brusseau (Editors), Pollution Science. Academic Press, Kanada, 1996, p. 397.
- [5] Wahlström, E. Hallanaro, E-L. Manninen, S., Suomen ympäristön tulevaisuus. Edita, Helsinki, 1996, p. 272.
- [6] L. Aunela, K. Larjava, Raskasmetallipäästöt Suomessa. VTT:n tiedotteita 1181 (1990)
- [7] [http://www.wwf.fi/itameri/raskasmetallit\\_oljy.html](http://www.wwf.fi/itameri/raskasmetallit_oljy.html). Raskasmetallit ja öljy. WWF-Finland. Päivitetty: 16.7.2003
- [8] J. Fergusson, Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and health Effects. Pergamon Press, UK, 1990, p. 614.
- [9] <http://www.metallitieto.fi/alkuaine.php?jarjestys=30>. Sinkki. Metallitieto ry. Haettu: 11.3.2004
- [10] <http://www.kuumasinkitys.fi/kaytto.html>. Suomen kuumasinkitsijät ry. Haettu: 11.3.2004
- [11] <http://www.metallitieto.fi/alkuaine.php?jarjestys=24>. Kromi. Metallitieto ry. Haettu 11.3.2003
- [12] <http://www.metallitieto.fi/alkuaine.php?jarjestys=29>. Kupari. Metallitieto ry. Haettu: 11.3.2004
- [13] <http://www.metallitieto.fi/alkuaine.php?jarjestys=28>. Nikkeli. Metallitieto ry. Haettu: 11.3.2004
- [14] <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=42132&lan=FI#a1>. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi). Päivitetty: 8.3.2004
- [15] G. vanLoon, S. Duffy, Atmospheric Aerosols. Environmental Chemistry. Oxford University Press, USA, 2000, p. 115-133.

- [16] J. Seinfeld, S. Pandis, Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons, Inc, USA, 1998, p. 1326.
- [17] E. Wahlström, T. Reinikainen, E.-L. Hallanaro, Ympäristön tila Suomessa. Gaudeamus, 1992
- [18] <http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=61023&clan=fi>. Itämeren kuormitus, rehevöityminen ja haitalliset aineet. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi). Päivitetty: 12.2.2004
- [19] <http://www2.fimr.fi/fi/itamerikanta/bsds/154.html>. Merentutkimuslaitos, Itämeriportaali. Haettu 2.3.2004
- [20] <http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=45027&clan=fi>. Teollisuuden vesistökuormitus. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi). Päivitetty: 13.1.2004
- [21] <http://www2.fimr.fi/fi/itamerikanta/bsds/833.html>. Merentutkimuslaitos, Itämeriportaali. Haettu 2.3.2004
- [22] <http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=57538&clan=fi>. Järvien metallipitoisuus. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi). Päivitetty: 11.3.2004