

## TYÖTURVALLISUUSSÄÄNNÖKSIÄ VALMISTELEVA NEUVOTTELUKUNTA

22.8.2014

**Kadmium ja sen yhdisteet****HTP-ARVON PERUSTELUMUISTIO****Yksilöinti ja ominaisuudet**

<i>CAS No:</i>	7440-43-9
<i>Indeksi No:</i>	231-152-8
<i>EINECS No:</i>	231-847-6
<i>Kaava:</i>	Cd
<i>Molekyylipaino:</i>	112,4
<i>Sulamispiste:</i>	320,9 °C (101,3 kPa)
<i>Kiehumispiste:</i>	765 °C (101,3 kPa)
<i>Tiheys:</i>	8,65 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
<i>Muuntokerroin:</i>	1 µg = 8,897 nmol
<i>Leimahduspiste:</i>	250 °C (metallipöly)

Kadmiummetalli ei liukene veteen, mutta osa kadmiumyhdisteistä (esim. kadmiumkloridi ja kadmiumsulfaatti) ovat vesiliukoisia. Kadmium liukenee happoihin, kuumaan rikkihappoon ja ammoniakkiin.

Kadmiummetalli on valkoinen, melko pehmeä ja helposti muovailtava.

Kadmiumin yleisin hapetusluku on +2.

**Luokitus ja merkinnät:**

CLP-asetuksen (EY No 1272/2008) mukaiset vaaraluokka- ja kategoriakoodit: Pyr.Sol. 1, Acute Tox. 2, Muta 2, Carc. 1B, Repr. 2, STOT RE 1, Aquatic Acute 1, Aquatic Chronic 1.

Valmistajien ja maahantuojien ehdottamat luokitukset löytyvät osoitteesta <http://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals/cl-inventory-database>.

**Kadmiumoksidi**, CdO, CAS No. 1306-19-0

**CLP-Luokitus** (EY 1272/2008, Annex VI): Acute Tox. 2, Muta 2, Carc. 1B, Repr. 2, STOT RE 1, Aquatic Acute 1, Aquatic Chronic 1

**Kadmiumkloridi**, CdCl<sub>2</sub>, CAS No. 10108-64-2

**CLP-Luokitus** (EY 1272/2008, Annex VI): Acute Tox 3, Acute Tox. 2, Muta 2, Carc. 1B, Repr. 2, STOT RE 1, Aquatic Acute 1, Aquatic Chronic 1

**Kadmiumsulfaatti**, CdSO<sub>4</sub>, CAS No. 10124-36-4

**CLP-Luokitus** (EY 1272/2008, Annex VI): Acute Tox 3, Acute Tox. 2, Muta 2, Carc. 1B, Repr. 2, STOT RE 1, Aquatic Acute 1, Aquatic Chronic 1

**Kadmiumsulfidi**, CAS No. 1306-23-6

**CLP-Luokitus** (EY 1272/2008, Annex VI): Acute Tox. 4, Muta 2, Carc. 1B, Repr. 2, STOT RE 1, Aquatic Chronic 4

**Esiintyminen, käyttö ja rajoitukset**

Kadmiumin käyttö perustuu usein sen matalaan sulamispisteeseen, taottavuuteen ja sähköjohtavuuteen. Lisäksi sen keltaiset suolat ovat hyviä väriaineita. Kadmiumia esiintyy luonnossa sulfidisen sinkkimalmin sfaleriitin eli sinkkivälkkeen liitännäisenä kadmiumsulfidina (CdS), mutta sitä on myös kupari- ja lyijymalmeissa. Kadmiumia saadaan pääasiallisesti sinkin valmistuksen yhteydessä sen väli- ja sivutuotteista, joista se erotetaan elektrolyyttisesti. Suomessa valmistetaan kadmiumia ns. liuospuhdistuksella, jolla saadaan 80 % puhdasta kadmiumia. Tämä voidaan edelleen puhdistaa.

Kadmiumin käyttö pinnoitteena monissa erityiskohteissa esimerkiksi ilmailuteknologiassa perustuu sen vähäiseen korroosioon pinnan rikkoutuessa ja kauniiseen kiillotettavaan metallipintaan. Kadmium soveltuu etenkin rautapinnan ruostesuojuukseen. Kadmiumia käytetään tällöin kadmiumhydroksidina elektrolyyttisessä kylvyssä. Kadmiumhopeajuotoksella saadaan erittäin tiivis ja täyttävä liitos, koska kadmiumin juoksetavuus on hyvä. Kadmiumhopeajuotos korvataan usein hopeajuotoksella. Ydinreakto-reissa kadmiumia käytetään neutronien absorbointiin. Kadmium-nikkeliparistoissa ja -akuissa on kadmiumhydroksidia. Kadmiumkloridia käytetään tekstiilivärinä erityisesti turvatekstiileissä sekä valokuvaus- ja laboratorioreagenssina. Lääketeollisuudessa hyödynnetään myös kadmiumjodidia. Pieniä määriä keltaisia ja punertavia kadmiumpigmentejä käytetään taiteilijaväreissä sekä lasitteissa ja luminoforina lampuissa. Kadmiumia voi olla jäänteenä monenlaisissa metalliromuissa. Kadmiumoksidihuuruja voi syntyä esimerkiksi kadmiumia sisältävien metallien sulatuksessa, puhdistuksessa ja työstössä tai kadmiumia sisältävien lejeerinkien tuotannossa ja hitsauksessa. (ACGIH 2013, IPCS 1992, SCOEL 2010).

Kadmiumyhdisteiden käyttö on kielletty PVC-, polyuretaani-, polyeteeni- ym. muissa muoveissa ja hartseissa, jos sen pitoisuus ylittää 0,01 paino- %. Jos maalin sinkkipitoisuus on hyvin suuri, siinä voi olla epäpuhtautena kadmiumia. Sen pitoisuus saa kuitenkin olla korkeintaan 0,1 paino- %. Kadmiumia sisältävien korujen markkinoille vienti on kiellettyä, mikäli kadmiumpitoisuus on  $\geq 0,01$  %. Rajoitus ei koske yli 50 vuotta vanhoja koruja. (1907/2006/EY)

Ravinnosta saatavan kadmiumin määräksi Suomessa on arvioitu 0,16 µg/kg päivässä. Kadmiumia esiintyy osassa fosfaattilannoitteita, mikä voi lisätä ruuan kadmiumkuormaa. Korkeampia kadmiumpitoisuuksia sisältäviä lannoitteita ei Suomessa kuitenkaan ole käytetty. Tupakan poltto on merkittävä kadmiumin altistumislähde. Yhdestä tupakasta saadaan 0,1-0,2 µg kadmiumia. Tupakoivien veren ja virtsan kadmiumpitoisuudet ovat korkeammat kuin tupakoimattomien. (ECB 2007, Järup ym. 1998, Nordberg ym. 2007)

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston kemikaalituoterekisterin mukaan kadmiumin valmistusmäärä Suomessa vuonna 2013 oli yli 800 tonnia. Muita kadmiumyhdisteitä sisältäviä tuotteita ei ole merkitty rekisteriin.

### *Työperäinen altistuminen*

Vuonna 2011 ilmoitettiin ASA-rekisteriin 967 kadmiumille työssään altistuvaa henkilöä, joista valtaosa oli metalliteollisuuden prosessinhoitajia, laborantteja, sekä jätteenpolto- ja vedenpuhdistuslaitosten prosessinhoitajia. Kadmiumille altistuvien joukossa oli myös mm. erilaisten koneiden ja moottoriajoneuvojen asentajia ja korjaajia, kemistejä, eristäjiä sekä lasi- ja keramiikkateollisuuden uunienhoitajia. (Saalo ym. 2013).

Työterveyslaitoksen altistumismittausrekisterin tietojen mukaan vuosina 2008–2011 työpaikoilta kerättyjen ilmanäytteiden kadmiumpitoisuuden keskiarvo oli 0,001 mg/m<sup>3</sup> (n=218). Mediaani oli 0,0001 mg/m<sup>3</sup> ja mitattu maksimipitoisuus oli 0,04 mg/m<sup>3</sup>. Näytteet edustavat hengittyvän fraktion ilmapitoisuuksia. Alveolijaetta ei ole kerätty erikseen. Huomattava osa näytteistä on kerätty elektroniikkaromun käsittelyyn liittyvän hankkeen yhteydessä. Vuosina 2004–2007 analysoitujen näytteiden keskimääräinen kadmiumpitoisuus oli 0,017 mg/m<sup>3</sup>, mediaani oli 0,001 mg/m<sup>3</sup> ja maksimipitoisuus 0,45 mg/m<sup>3</sup>. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin lasiteollisuudessa.

Kadmiumin sekä usean kadmiumyhdisteen REACH-rekisteröinneissä on työntekijöiden pitkäaikaisen altistumisen DNEL-arvoksi (johdettu vaikutukseton pitoisuustaso) annettu 0,004 mg/m<sup>3</sup>. Arvo perustuu hengitysteitse altistuttaessa toistuvan altistumisen aiheuttamiin paikallisiin ja systeemisiin vaikutuksiin. DNEL arvo on johdettu biomonitorointitiedoista. (<http://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals/registered-substances>).

Vuonna 2013 kadmium, kadmiumoksidi ja kadmiumsulfidi lisättiin Euroopan kemikaaliviraston erityistä huolta aiheuttavien aineiden listalle.

### **Aineenvaihdunta**

Kadmiumyhdisteet imeytyvät työperäisessä altistumisessa elimistöön pääasiallisesti hengitysteitse. Keuhkoista absorboitua määrä vaihtelee 2 ja 50 % välillä, mm. hiukkaskoosta ja liukoisuudesta riippuen. Imeytyminen ruoansulatuskanavasta on yleensä alle 5 %. Matala kalsiumin, sinkin ja raudan määrä lisää absorptiota. (Nordberg ym. 2007). Raskaana olevilla naisilla, joilla veren rautapitoisuus oli matala ja jotka nauttivat hyvin kuitupitoista ruokaa, todettiin kadmiumin kertymistä istukkaan (Moberg-Wing ym. 1992). Kuitenkaan kadmium ei kulje suuressa määrin täysin kehittyneen istukan läpi (Lagerkvist ym. 1993). Kadmium ei absorboitu ihon läpi (Nordberg ym. 2007).

Imeytynyt kadmium kulkeutuu keuhkoista tai ruoansulatuskanavasta verenkierron mukana metallotioniiniin tai albumiiniin sitoutuneena maksaan, jossa se lisää metallotioniinin muodostumista. Albumiiniin sitoutunut kadmiumkompleksi hajoaa maksassa aiheuttaen maksavaurioita. Kadmium-metallotioniinikompleksi kulkeutuu hitaasti maksasta munuaisiin. Metallotioniin sitoutunut kadmium suodattuu munuaiskeräseen ja absorboituu munuaistiehyihin, josta se vapautuu proteiinin lysosomaalisen vaurion jälkeen. Vapautunut kadmium voi stimuloida jälleen metallotioniinin muodostumista. (Chan ym. 1993, Jin ym. 1986). Munuaisiin kertymisellä pitkäaikaisen altistumisen seurauksena on suuri merkitys terveysvaikutusten kannalta, koska kadmiumin aiheuttamia munuaisvaikutuksia pidetään sen kriittisimpinä vaikutuksina. Elimistöön kertyneestä kadmiumista 50–75 % on maksassa ja munuaisissa. Kadmiumin määrä elimistössä kasvaa iän myötä. Kadmiumtason kasvaessa munuaisessa tarpeeksi korkeaksi syntyy munuaisvaurio. Näiden henkilöiden munuaisen kadmiumpitoisuus laskee selvästi. (ECB 2007, IPCS 1992, Kjellström 1979).

Kadmium poistuu elimistöstä hyvin hitaasti ja puoliintumisajaksi on arvioitu munuaisissa 10–30 vuotta ja maksassa 5–10 vuotta (Ellis ym. 1985, SCOEL 2010). Veressä biologinen puoliintumisaika ihmisillä on 100 päivää nopeasti poistuvalla osalla ja 7–16 vuotta hitaalle osalle (Järup ym. 1983).

## **Terveysvaikutukset**

Tarkempia kuvauksia kadmiumin haittavaikutuksista on esitetty EU:n tieteellisen raja-arvokomitean muistiossa (SCOEL 2012). Tässä dokumentissa esitetään yhteenveto tärkeimmistä tutkimustiedoista.

## **Ihmisiä koskevat tiedot**

### **Akuutit vaikutukset**

Pääasiassa kadmiumoksidista koostuvien kadmiumhaurujen hengittäminen voi aiheuttaa akuuttia toksisuutta keuhkorakkuloiden epiteeli- ja endoteelisoluisissa sekä johtaa akuuttiin keuhkoödeemaan. Oireet ilmenevät usein vasta 4-10 tunnin viiveellä. Pahimmissa tapauksissa vaikutukset voivat johtaa kuolemaan. Akuutti kadmiummyrkytys voidaan varmistaa määrittämällä virtsan kadmiumpitoisuus. (Ando ym. 1995)

### **Hengitystievaikutukset**

Jo melko vanhoissa raporteissa on kuvattu hajuaistin häviämistä (anosmia) tai heikentymistä kadmiumaltistumisen seurauksena (Adams ym. 1961, Friberg 1950). Alhaisille kadmiumpitoisuuksille altistuneilla työntekijöillä on havaittu hajuepiteelin neuronien olevan herkkiä kadmiumille (Mascagani ym. 2003).

Pitkäaikainen hengitysteitse tapahtuva altistuminen kadmiumille ja kadmiumyhdisteille voi aiheuttaa keuhkofunktioiden muutoksia ja emfysemaa. Tutkimuksissa, joissa tupakointi on otettu huomioon, on havaittu korrelaatiota heikentyneen keuhkofunktion (mm. jäännösvolyymien nousu) ja kumulatiivisen kadmiumaltistumisen välillä kumulatiivisen altistumisen ollessa  $< 500$  vuotta $\cdot\mu\text{g Cd/m}^3$  (virtsan kadmiumpitoisuuden ollessa  $3 \mu\text{g Cd/litra}$ ). (Cortona ym. 1992, Davison ym. 1988). Toisissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole nähty yhteyttä kadmiumille altistumisen ja keuhkotoimintojen välillä (Edling ym. 1986, Stanescu ym. 1977).

### **Munuaisvaikutukset**

Ensimmäiset merkit työperäisesti kadmiumille altistuneiden henkilöiden munuaisvaurioista liittyvät pienimolekyylipainoisten proteiinien ( $\alpha 1$ -mikroglobuliini,  $\beta 2$ -mikroglobuliini, retinolia sitova proteiini) sekä kalsiumin ja aminohappojen lisääntyneeseen erittymiseen virtsaan, mikä johtuu tubulusvaurion aiheuttamasta uudelleenimeytymisen heikentymisestä (Chia ym. 1989, Elinder ym. 1985, Jakubowski ym. 1987, Järup ym. 1994, Lauwerys ym. 1979, Mason ym. 1988, Roels ym. 1993). Pienimolekyylisten proteiinien vähäinen erittymisen lisääntyminen on palautuva muutos, mutta jos henkilöllä on vakavampi munuaisvaurio, voi muutos olla pysyvä vaikka altistuminen loppuisikin. Myös muitakin biomolekyylejä on määritetty virtsasta työperäisen kadmiumaltistumisen tubulusvaikutusten osoittamiseksi (Bernard ym. 1995, Mueller ym. 1989). Tubulaarisia vaikutuksia on havaittu virtsan kadmiumpitoisuuksien ylittäessä  $5\text{--}10 \mu\text{g Cd/g}$  kreatiniinia, ja tätä korkeammassa pitoisuuksissa ovat vaikutukset usein palautumattomia (SCOEL 2010).

Kadmiumille altistuneilla henkilöillä on myös havaittu munuaisissa glomerulaarisia vaikutuksia ja siitä johtuvaa suurimolekyylipainoisten proteiinien (albumiini, transferrini, immunoglobuliini G) lisääntynyttä erittymistä virtsaan (Bernard ym. 1990, Roels ym. 1993). Korkeille kadmiumpitoisuuksille altistuvilla on myös lisääntynyt munaiskivien esiintyvyys.

Myös ympäristöperäisesti altistuvassa väestössä on viimeaikaisten tutkimusten mukaan havaittu kadmiumin aiheuttamia munuaisvaikutuksia tilanteissa, joissa virtsan kadmiumpitoisuudet ovat olleet alle 5 µg Cd/g kreatiniinia, tai jopa alle 2 µg Cd/g kreatiniinia (Buchet ym. 1990, Hotz ym. 1999, Järup ym. 2000, Noonan ym. 2002, Jin ym. 2002). On myös viitteitä siitä, että diabetespotilaat voisivat olla erityisen alttiita kadmiumin aiheuttamille munuaisvaikutuksille, mutta varmoja todisteita ei ole (Buchet ym. 1990, Hellström ym. 2001, Hotz ym. 1999, Akesson ym. 2005).

### **Luustovaikutukset**

Kadmium aiheuttaa myös luustovaikutuksia altistuneissa henkilöissä, mutta tähän liittyvät mekanismit ovat edelleen epäselvät. Kadmiumaltistumiseen voi liittyä osteoporoosia, osteomalasiaa, ja pahimmassa tapauksessa Itai-Itai tauti. Virtsan kadmiumpitoisuuden ja vähentyneen luustotiheyden välillä on havaittu korrelaatiota. Ruotsalaistutkimuksen mukaan kynnsarvo näille vaikutuksille oli virtsan pitoisuus 3 µg Cd/g kreatiniinia (Alfven ym. 2000). Virtsan kadmiumpitoisuuden, munuaisvaikutusten ja osteoporoosin korrelaatiota on osoitettu Jin ym. (2004) tutkimuksessa.

### **Genotoksisuus ja karsinogeenisuus**

Kadmiumin mahdollisista genotoksisista vaikutuksista ihmisissä on ristiriitaista tietoa, mutta on viitteitä siitä, että työperäinen altistuminen voisi aiheuttaa genotoksisuutta. Tutkimuksissa ei kuitenkaan olla pystytty poissulkemaan muita sekoittavia tekijöitä. Työntekijäryhmällä, jonka kumulatiivinen kadmiumaltistuminen oli > 1000 µg/m<sup>3</sup>\*vuotta (virtsan pitoisuus > 10 µg Cd/l) on raportoitu kromosomimuutoksia. Alhaisemman kumulatiivisen kadmiumaltistumisen ja kromosomimuutosten välillä ei havaittu korrelaatiota. (Forni 1992, SCOEL 2010)

Kadmiumin syöpää aiheuttavia vaikutuksia on epäilty jo 1960-luvulta asti. Ensimmäiset raportit liittyivät kohonneeseen eturauhassyövän esiintyvyyteen kadmiumia sisältävien paristojen, metallin ja lejeerinkien valmistuksessa (IARC). Kohorttitutkimuksissa on havaittu lisääntyneitä keuhkosyöpätapausmääriä mm. nikkeli-kadmium paristojen valmistuksessa sekä kadmiumin työstössä (Potts 1965, Kipling ym. 1967, Kjellström ym. 1979, Lemen ym. 1976). Kyseisiä tutkimuksia on kuitenkin kyseenalaistettu sekoittavien tekijöiden, mm. tupakanpolton ja arseenialtistumisen takia. Myöhemmin on julkaistu useampi tutkimus, joissa mahdollisiin sekoittaviin tekijöihin on kiinnitetty huomiota. Näissä tutkimuksissa ei ole pystytty osoittamaan korrelaatiota kumulatiivisen kadmiumaltistumisen ja keuhkosyövän välillä. (Sorahan ym. 1983; Thun ym. 1985; Kazantzis ym. 1988).

### **Lisääntymistoksisuus**

Kadmiumaltistumiseen liittyviä lisääntymis- tai kehitysmyrkyllisiä vaikutuksia ei ole havaittu (ECB 2007).

## **Eläinkokeiden havainnot**

### **Munuaisvaikutukset**

Kadmiumin munuaisvaikutuksia on tutkittu useissa eläinkokeissa. Altistettaessa koe-eläimiä (rotta, hiiri, rhesusapina, kani) suun kautta tai hengitysteitse on havaittu munuaisten painonmuutoksia, sekä histologisia että toiminnallisia muutoksia (ECB 2007).

### **Luustovaikutukset**

Eläinkokeissa kadmiumin on havaittu aiheuttavan luustomuutoksia, mukaan lukien osteoporoosia ja osteomalasiaa. Useimmissa tutkimuksissa luustomuutokset havaittiin samanaikaisesti munuaisvaikutusten kanssa, tai niiden jälkeen, minkä takia ei voida sanoa, ovatko luustovaikutukset munuaistoiminnan heikentymisen seuraus vai ei. (ECB 2007, SCOEL 2010)

### **Genotoksisuus, karsinogeenisuus ja lisääntymistoksisuus**

Kokeellisissa tutkimuksissa (in vivo ja in vitro) on havaittu kadmiumin indisoimia genotoksisia vaikutuksia, kuten DNA-vaurioita, kromosomimuutoksia ja mikrotumien muodostumista. Bakteerisolulla tehdyissä kokeissa kadmium ei ole aiheuttanut genotoksisuutta. Kadmium ei myöskään aiheuta DNA-vaurioita eristetylle DNA:lle, mikä viittaa siihen, että genotoksiset vaikutukset välittyvät epäsuoran mekanismin kautta. (ECB 2007, SCOEL 2010)

Pitkäaikaisissa toistuvan altistumisen kokeissa useiden kadmiumyhdisteiden on todettu aiheuttavan keuhkosityöpää (pääasiassa adenokarsinoomaa) rotassa, mutta ei muissa eläinlajeissa (IARC 1993, 2012, SCOEL 2010).

## Kadmiumin riskinarviointia

Kansainvälinen syöpätutkimuslaitos IARC luokitteli vuonna 1993 kadmiumin ihmiselle syöpää aiheuttavaksi aineeksi (kategoria 1) (IARC 1993). Uudelleenarvioinnissaan IARC päätyi edelleen samaan luokitukseen, ja kadmium ja kadmiumyhdisteet arvioitiin kategorian 1 aineiksi. (IARC 2012)

SCOEL suosittelee ilman työhygieeniseksi raja-arvoksi kadmiumhuurujen aiheuttamien keuhkofunktio muutosten pohjalta pitoisuutta  $0,004 \text{ mg/m}^3$  (8 h, alveolijae). Työhygieenisen raja-arvon tarkoituksena on tässä tapauksessa suojata työntekijöitä pitkäaikaisen kadmiumaltistumisen seurauksena esiintyviltä paikallisilta hengitystievaikutuksilta. Arvo on johdettu tutkimustiedosta, jonka mukaan keuhkofunktion muutoksia (jäännösvolyymien kasvu) voi esiintyä kumulatiivisen kadmiumaltistumisen ollessa  $0,5 \text{ mg Cd/m}^3 \cdot \text{vuotta}$ , mikä vastaa altistumista pitoisuudelle  $0,0125 \text{ mg Cd/m}^3$  40 vuoden ajan (LOAEL). Käyttämällä oletusepävarmuuskerrointa 3 (LOAEL muutetaan NOAEL:iksi) päädyttiin arvoon  $0,004 \text{ mg Cd/m}^3$ . (SCOEL 2010)

SCOEL:in arvion mukaan munuaiset ovat kriittisin kohde-elin altistuttaessa kadmiumille. Koska kadmium kerääntyy elimistöön, liittyvät kroonisesta altistumisesta johtuvat haittavaikutukset kehon kadmiumpitoisuuteen. Biologisen viitearvon tarkoituksena on näin ollen suojata työntekijöitä kadmiumin, lähinnä munuusiin ja luustoon kohdistuvilta, systeemisilta vaikutuksilta. SCOEL suosittelee biologiseksi viitearvoksi virtsan pitoisuutta  $2 \text{ } \mu\text{g Cd/g}$  kreatiniinia. (SCOEL 2010)

Hengittyvän pölyn ilmapitoisuuksille yhdysvaltalainen ACGIH suosittelee arvoa  $0,002 \text{ mg/m}^3$  ja kokonaispölylle arvoa  $0,01 \text{ mg/m}^3$ . Kokonaispölyn raja-arvon tarkoituksena on suojata työntekijöitä kadmiumin mahdollisesti aiheuttamilta munuaisvaikutuksilta, kun taas hengittyvän fraktion raja-arvo on tarkoitettu vähentämään keuhkoihin kertyvää kadmiumpölyn määrää, ja siihen liittyvää keuhkosityöpäriskiä. ACGIH:n antama suositus virtsan biologiseksi viitearvoksi on  $5 \text{ } \mu\text{g Cd/g}$  kreatiniinia ( $\sim 50 \text{ nmol/l}$ ). Lisäksi ACGIH:lla on viitearvo  $5 \text{ } \mu\text{g/l}$  veren kadmiumille. Veren pitoisuus kuvastaa lähinnä äskettäistä altistumista kadmiumille. (ACGIH 2013).

## HTP-arvon perusteet

Kadmiumin ja sen yhdisteiden työilmaraaja-arvoa asetettaessa keskeisiä ovat sen aiheuttamat paikalliset keuhkovaikutukset, jotka pitkäaikaisen altistumisen seurauksena mahdollisesti voivat johtaa keuhkosyöpään.

Työturvallisuussäännöksiä valmisteleva neuvottelukunta esittää, että kadmiumin ja sen yhdisteiden haittoja voidaan vähentää asettamalla sen HTP-arvoksi  $0,004 \text{ mg Cd/m}^3$  (8h, alveolijae).

Kadmiumin kriittisimpinä vaikutuksina pidetään munuaisiin kohdistuvia vaikutuksia, jotka ovat riippuvaisia kehoon kertyneestä kadmiumin määrästä. Tällaisten haittavaikutusten ehkäisemiseksi suositellaan työntekijöiden virtsan kadmiumpitoisuuden seuraamista. Työterveys säännöksiä valmisteleva neuvottelukunta on ehdottanut biologisen viitearvon asettamista virtsan kadmiumille (20 nmol/l).



## Eri asettajien ilman epäpuhtauksien vertailu

Eri maissa on voimassa seuraavanlaisia työilman pitoisuuden raja-arvoja.

Asettaja	Vuosi*	Vertailuaika				Huomautus
		8 h		15 min		
		ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	
Suomi	2014		0,02			
Ruotsi	2011		0,02			kokonaispöly
Ruotsi	2011		0,005			alveolijae
Norja	2011		0,05			
Tanska	2012		0,005		0,01	kokonaispöly
Belgia	2014		0,01			kokonaispöly
Belgia	2014		0,002		0,002	alveolijae
Iso-Britannia	2011		0,025			kokonaispöly
Sveitsi	2014		0,015			hengittävä jae
EU (SCOEL)	2012		0,004			alveolijae
USA (ACGIH)	2014		0,01			kokonaispöly
USA (ACGIH)	2014		0,002			alveolijae
USA (OSHA)	2014		0,005			kokonaispöly
Ehdotus, Suomi	2016		0,004			alveolijae

(ACGIH 2013, IFA 2014, STM 2014)

\* Voimassa olevan raja-arvoluettelon julkaisuvuosi tai vuosi jolloin arvot tarkistettu Gestis-tietokannasta (IFA 2014).

## Viitteet

- ACGIH, The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2014): 2014 TLVs® and BEIs® with 7th Edition Documentation, CD-ROM, Publication #0113CD. Cincinnati, USA.
- Adams RG, Kazantzis G. (1961) Anosmia in alkaline battery workers. *Br J Ind Med* 18:216-221.
- Akesson A, Lundh T, Vahter M, Bjellerup P, Lidfeldt J, Nerbrand C, Samsioe G, Strömberg U, Skerfving S. (2005) Tubular and glomerular kidney effects in Swedish women with low environmental cadmium exposure. *Environ Health Perspect* 113:1627-1631.
- Alfven T, Elinder CG, Carlsson MD, Grubb A, Hellström L, Persson B, Pettersson C, Spang G, Schütz A, Järup L. (2000) Low-level cadmium exposure and osteoporosis. *J Bone Mineral Res* 15:1579-1586.
- Ando Y, Shibata E, Sakai S, Tsuchiyama F. (1995) Elevated urinary cadmium concentrations in a patient with acute cadmium pneumonitis. *Scand J Work Environ Health* 22:150-153.
- Bernard AM, Roels H, Cardenas A, Lauweys R. (1990) Assessment of urinary protein 1 and transferrin as early markers of cadmium nephrotoxicity, *Br J Ind Med* 47:559-565.
- Bernard A, Thielemans N, Roels H, Lauwerys R. (1995) Association between NAG-B and cadmium in urine with no evidence of a threshold. *Occup Env Med* 52:177-180.
- Buchet IP, Lauwerys R, Roels H, Bernard A, Bruaux P, Claeys F, Ducoffre G, De Plaeden P, Staessen J, Amery A, ym. (1990) Renal effects of cadmium body burden of the general population. *Lancet* 336:699-702.
- Chan HM, Zhu LF, Zhong R, Grant D, Goyer RA, Cherian MG. (1993) Nephrotoxicity in rats following liver-transplantation from cadmium-exposed rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 123:89-96.
- Chia KS, Ong CN, Ong HY, Endo G. (1989) Renal tubular function of workers exposed to low levels of cadmium. *Br J Ind Med* 46:165-170.
- Cortona G, Apostoli P, Toffoletto F, Baldasseroni A, Ghezzi I, Goggi E, Fornari S, Alessio L. (1992) Occupational exposure to cadmium and lung function. *Kirjassa Cadmium in the human environment: Toxicity and carcinogenicity. IARC, Lyon. Referoitu SCOEL 2010.*
- Davison AG, Newman Taylor AJ, Darbyshire J, Chettle DR, Guthrie CJG, O'Malley D. (1988) Cadmium fume inhalation and emphysema. *Lancet* 663-667.
- ECB, European Chemicals Bureau (2007) Risk Assessment Report – cadmium metal and cadmium oxide  
<http://www.echa.europa.eu/documents/10162/4ea8883d-bd43-45fb-86a3-14fa6fa9e6f3>
- Edling C, Elinder CG, Randma E. (1986) Lung function in workers using cadmium containing solders. *Br J Ind Med* 43:657-662.
- Elinder CG, Edling C, Lindberg E, Kagedal B, Vesterberg O. (1985) beta 2-Microglobulinuria among workers previously exposed to cadmium: follow-up and dose-response analyses. *Am J Ind Med* 8:553-564.
- Ellis KJ, Stanton HC. (1985) Cadmium inhalation exposure estimates: Their significance with respect to kidney and liver cadmium burden. *J Toxicol Environ Health*. 15:73-84.
- EY, Euroopan yhteisö (2008): Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset 1278/2008 aineiden ja seosten luokituksesta, merkinnöistä ja pakkaamisesta. Liitteet III, VI. .
- EY, Euroopan yhteisö (2006) Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (REACH-asetus).
- Forni A. (1992) Chromosomal effects of cadmium exposure in humans. *Kirjassa Cadmium in the human environment: Toxicity and carcinogenicity. IARC, Lyon. Referoitu SCOEL 2010.*
- Friberg L. (1951) Health hazards in the manufacture of alkaline accumulators with special reference to chronic cadmium poisoning. *Acta Med Scand Suppl.* 240:1-124.
- Hellström L, Elinder CG, Dahlberg B, Lundberg M, Järup L, Persson B. (2001) Cadmium exposure and end-stage renal disease. *Am J Kidney Dis* 38:1001-1008.

- Hotz P, Buchet JP, Bernard A, Lison D, Leuwerys R. (1999) Renal effects of low-level environmental cadmium exposure: 5-year follow-up of a subcohort from the Cadmibel study. *Lancet* 354:1508-1513.
- IARC, International Agency for Research on Cancer (2012) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 100c. A Review of Human Carcinogens: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Lyon: IARC, p. 121-145.  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/>
- IARC, International Agency for Research on Cancer (1993) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 58. Beryllium, Cadmium, Mercury, and exposures in the class manufacturing industry. Lyon: IARC, p. 119-237.  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol58/>
- IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherungen (2014): GESTIS-International limit values for chemical agents. Occupational exposure limits (OELs).  
[http://limitvalue.ifa.dguv.de/Webform\\_gw.aspx](http://limitvalue.ifa.dguv.de/Webform_gw.aspx)
- IPCS, International Programme on Chemical Safety (1992) Environmental Health Criteria 134. Cadmium. Geneva: World Health Organization.
- Jakubowski M, Trojanowska B, Kowalska G, Gendek E, Starzynski Z, Krajewska B, Jajte J. (1987) Occupational exposure to cadmium and kidney dysfunction. *Int Arch Occup Environ Health* 59:567-577.
- Jin T, Nordberg GF, Nordberg M. (1986) Uptake of cadmium in isolated kidney cells--influence of binding form and in vivo pretreatment. *J Appl Toxicol* 6:397-400.
- Jin T, Nordberg G, Ye T, Bo M, Wang H, Zhu G, Kong Q, Bernard A. (2004) Osteoporosis and renal dysfunction in a general population exposed to cadmium in China. *Environ Res* 96:353-359.
- Jin T, Nordberg M, Frech W, Dumont X, Bernard A, ye TT, Kong Q, Wang Z, Li P, Lundström NG, Li Y, Nordberg GF. (2002) Cadmium biomonitoring and renal dysfunction among a population environmentally exposed to cadmium from smelting in China (ChinaCad). *Biometals* 15:397-410.
- Järup L, Berglund M, Elinder CG, Nordberg G, Vahter M. (1998) Health effects of cadmium exposure - a review of the literature and a risk estimate. *Scand J Work Environ Health*. 24(Suppl. 1):U3.
- Järup L, Elinder CG. (1994) Dose-response relations between urinary cadmium and tubular proteinuria in cadmium-exposed workers. *Am J Ind Med* 26:759-769.
- Järup L, Hellström L, Alfven T, Carlsson MD, Grubb A, Persson B, Pettersson C, Spang G, Schütz A, Elinder CG. (2000) Low level exposure to cadmium and early kidney damage: The OSCAR study. *Occup Env Med* 57:668-672.
- Järup L, Rogenfelt A, Elinder C-G, Nogawa K, Kjellström T. (1983) Biological half-time of cadmium in the blood of workers after cessation of exposure. *Scan J Work Environ Health*. 9:327-31.
- Kazantzis G, Lam TH, Sullivan KR. (1988) Mortality of cadmium-exposed workers: a five-year update. *Scand J Work environ Health* 14:220-223.
- Kipling MD, Waterhouse JAH. (1967) Cadmium and prostatic carcinoma. *Lancet* 730-731.
- Kjellström T. (1979) Exposure and accumulation of cadmium in populations from Japan, the United States of America and Sweden. *Environ Health Persp* 28:169.
- Kjellström T, Friberg L, Rahnster B. (1979) Mortality and cancer morbidity among cadmium-exposed workers. *Environ Health Persp* 28:199-204.
- Lagerkvist BJ, Söderberg HA, Nordberg GF, Ekesrydh S, Englyst V. (1993) Biological monitoring of arsenic, lead and cadmium in occupationally and environmentally exposed pregnant women. *Scand J Work Environ Health* 19(Suppl 1):50-3.
- Lauwerys RR, Roels HA, Buchet JP, Bernard A, Stanescu D. (1979) Investigations on the lung and kidney function in workers exposed to cadmium. *Environ Health Perspect* 28, 137-145.
- Lemen R, Lee JS, Wagoner JK, Blejer HP. (1976) Cancer mortality among cadmium production workers. *Ann NY Acad Sci* 271:273-279.
- Mascagani R, Consonni D, Bregante G, Chiappino G, Toffoletto F. (2003) Olfactory function in workers exposed to moderate airborne cadmium levels. *Neurotoxicol* 24:717-724.

- Mason HJ, Davison AG, Wright AL, Guthrie CJ, Fayers PM, Venables KM, Smith NJ, Chettle DR, Franklin DM, Scott MC. (1988) Relations between liver cadmium, cumulative exposure, and renal function in cadmium alloy workers. *Br J Ind Med* 45:793-802.
- Moberg-Wing A, Wing K, Tholin K, Sjoström R, Sandström B, Hallmans G. (1992) The relation of the accumulation of cadmium in human placenta to the intake of high-fibre grains and maternal iron status. *Eur J Clin Nutr.* 46:585-95.
- Mueller PW, Smith SJ, Steinberg KK, Thun MJ. (1989) Chronic renal tubular effects in relation to urine cadmium levels. *Nephron* 52:45-54.
- Noonan CW, Sarasua SM, Campagna D, Kathman SJ, Lybarger JA, Mueller PW. (2002) Effects of exposure to low levels of environmental cadmium on renal biomarkers. *Environ Health Perspect* 110:151-155.
- Nordberg GF, Nogawa K, Nordberg M, Friberg L. (2007) Cadmium. In: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg L, editors. *Handbook on the toxicology of metals*. 3rd ed. Burlington: Elsevier B.V. p. 445-86.
- Potts CL. (1965) Cadmium proteinuria – the health battery of workers exposed to cadmium oxide dust. *Ann Occup Hyg* 8:55-61.
- Roels H, Bernard AM, Cardenas A, Buchet JP, ym. (1993) Markers of early renal changes induced by industrial pollutants. III. Application to workers exposed to cadmium. *Br J Ind Med* 50:37-48.
- Saalo A, Soosaar A ym. (2013) ASA 2011, Syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille ja menetelmille ammatissaan altistuneiksi ilmoitetut Suomessa. Työterveyslaitos, Helsinki. <http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/asa/Documents/ASA%202011.pdf>
- SCOEL, Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (2010): Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for cadmium and its inorganic compounds. SCOEL/SUM/136 February 2010. <http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=8945&langId=en>
- Sorahan T, Waterhouse JAH. (1983) Mortality study of nickel-cadmium battery workers by the method of regression models in life tables. *Br J Ind Med* 40:293-300.
- Stanescu D, Veriter C, Frans A, Goncette L, Roels H, Lauweyrs R, Brasseur L. (1977) Effects on lung of chronic occupational exposure to cadmium. *Scand J Resp Dis* 58:289-303.
- STM, Sosiaali- ja terveysministeriö (2014): HTP-arvot 2014. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki, Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2014:2. [http://www.stm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=9882186&name=DLFE-30018.pdf](http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=9882186&name=DLFE-30018.pdf)
- Thun MJ, Schnorr TM, Blair Smith A, Halperin W, Lemen RA. (1985) Mortality among a cohort of U.S. cadmium production workers – an update. *JNCI* 74:325-333.