

28.05.2011

1 (11)

Elohopea ja sen epäorgaaniset yhdisteet

HTP-ARVON PERUSTELUMUISTIO

Yksilöinti ja ominaisuudet

CAS No: 7439-97-6
EEC No: 231-106-7
EINECS No: 080-001-00-0
Kaava: Hg

Atomimassa: 200,59
Tiheys (kg/m³): 13,5 g/cm³
Sulamispiste: -39 °C
Kiehumispiste: 357 °C
Tiheys: 13,5 g/cm³
Höyrynpaine: 0,00016 kPa 20 °C

Elohopea on hajuton, raskas, liikkuva, hopeanvärinen ja nestemäinen metalli, joka ei liukene veteen. Elohopea höyrystyy ilmaan merkittävästi jo huoneenlämpötilassa ja sen höyrynpaine kasvaa nopeasti lämpötilan noustessa. Kyllästymispisteessään ilma, jonka lämpötila on 20 °C sisältää elohopeaa 15 mg/m³. Elohopea muodostaa epäorgaanisia yhdisteitä hapetusasteilla +1 (merkuroyhdisteet) ja +2 (merkuriyhdisteet) ja amalgaameja useiden metallien kanssa.

	Varoitusmerkki	R-lauseet	Varoitusmerkki,huomiosanakoodi(t)	Vaaralausekekoodi(t)
Elohopea Hg, CAS 7439-97-6	T+, N	26,48/23, 50/53, 61	GHS06 GHS08 GHS09 Vaara	H330 H372 H410 H360D
Dielohopeadikloridi Hg ₂ Cl ₂ , CAS 10112-91-1	Xn, Xi, N	22-36/37/38-50/53	GHS07 GHS09 Wng	H302 H319 H335 H315 H410
Elohopeakloridi HgCl ₂ , CAS 7487-94-7	T+, N	28-34-48/24/25-50/53	GHS06 GHS08 GHS05 GHS09	H300 H372 (**) H314 H410

Elohopeanitraatti $\text{HgN}_2\text{O}_6 / \text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, CAS 10045-94-0	T+, N	26/27/28-33- 50/53	Dgr	
			GHS06	H330
			GHS08	H310
			GHS09	H300
			Dgr	H373 (**)
Elohopeaoksidi HgO , CAS 21908-53-2	T+, N	26/27/28-33- 50/53	GHS06	H330
			GHS08	H310
			GHS09	H300
			Dgr	H373 (**)
				H410
Elohopeasulfaatti HgSO_4 , CAS 7783- 35-9	T+, N	26/27/28-33- 50/53	GHS06	H330
			GHS08	H310
			GHS09	H300
			Dgr	H373 (**)
				H410
Elohopeasulfidi HgS , CAS 1344-48- 5	-	-	-	-
Elohopeaoksisyanidi $\text{HgO} \cdot \text{Hg}(\text{CN})_2$, CAS 1335-31-5	E, T, N	3-23/24/25- 33-50-53	GHS01	H201
			GHS06	H331
			GHS08	H311
			GHS09	H301
			Dgr	H373 (**)
	H410			

Elohopeaa esiintyy työympäristössä pääosin metallisena elohopeana tai epäorgaanisena yhdisteinä. Elohopea on malmeissa pääasiassa sulfidina, sinooperina (HgS). Merkittävimpiä työperäistä elohopeaa sisältäviä altisteita ovat metallinen elohopea sekä hapetusasteilla +1 ja +2 elohopean muodostamat kloridit. Luonnossa elohopea muuntuu dimetyyli tai dietyylielohopeaksi.

Metallista elohopeaa tuotetaan Suomessa pasuttamalla elohopeaa sisältävästä sinkkirikasteesta. Elohopeaa käytetään eniten kloorialkaliteollisuudessa, jossa elohopea toimii katodina valmistettaessa klooria natriumkloridiliuoksesta elektrolyysin avulla.

Vähäisempiä määriä elohopeaa käytetään mittareissa, kuten verenpaine- ja lämpömittareissa. Lisäksi elohopeaa voi olla lampuissa ja loisteputkissa. Eräissä energiansäästölamppuissa ja loisteputkissa elohopeaa voi olla noin 2 - 10 mg yhtä valaisinta kohti. Laboratoriotyössä elohopeaa käytetään mittaussäilytysvälineiden lisäksi mm. sähkökemian sovelluksissa ja mineraalien huokoisuusmittauksissa. Sähköteollisuudessa elohopeaa käytetään kytkimien, tasasuuntaajien ja muiden säätölaitteiden sekä kuivaparistojen valmistuksessa. Laboratoriotyössä elohopeaa käytetään mittaussäilytysvälineiden lisäksi sähkökemian sovellutuksissa ja mineraalien huokoisuusmittauksissa. Hammashuollossa valmistetaan suljetuissa kapseleissa noin 50 % elohopeaa sisältävää amalgaamia hamppaiden paikkaukseen. Jätehuollossa otetaan talteen mm. amalgaamista ja loisteputkista syntyvä elohopeajäte. Elohopea puhdistetaan jätteestä tislamalla. (Hakala 2008)

Viimeisen kymmenen vuoden aikana elohopealle altistuneiden työntekijöiden määrä on vähentynyt ja vuosituhannen vaihteesta lähtien altistumisen taso on pienentynyt. Vuonna 2007 mitatut veren epäorgaaniset elohopeapitoisuudet olivat keskimäärin pienempiä kuin koskaan aikaisemmin (Saalo ym. 2010). Työterveyslaitos on koonnut työpaikkojen ilman epäpuhtausmittaustulokset koskien vuosia 2004-2007 (Saalo ym. 2010). Keskimääräinen mitattu pitoisuus elohopealle oli 0,0089 mg/m³ mediaanin ollessa 0,0027 mg/m³ ja suurimman mitatun pitoisuuden ollessa 0,12 mg/m³.

Epäorgaanisista elohopeayhdisteistä elohopeaklorideja käytetään antiseptisinä aineina, muovien valmistuksessa katalysaattoreina ja reagensseina laboratorioissa. Elohopeaoksidia käytetään galvaanisten paristojen valmistuksessa.

Työterveyslaitoksen tutkimuksessa (Saalo ym. 2010) koskien vuosia 2004-2007 tehtiin ilman elohopeamittauksia seuraavilla toimialoilla 1) kemikaalien, kemiallisten tuotteiden ja tekokuitujen valmistus 2) rakentaminen, agentuuritoiminta ja tukkukauppa pois lukien moottoriajoneuvojen kauppa 3) julkinen hallinto ja maanpuolustus 4) ympäristöhuolto. Elohopean ilmamittauksissa korkeimmat pitoisuudet mitattiin ongelmajätteiden käsittelyssä. Myös ammunnessa todettiin korkeahkoja elohopeapitoisuuksia (Saalo ym. 2010).

Alkaen 1.1.2009 viiterajat veren epäorgaaniselle elohopealla (B-Hg-i) muuttuivat (Kiilunen ym. 2009). Altistumattomille viiteraja on 10 nmol/l ja toimenpideraja on 50 nmol/l. Myös virtsan elohopean viiterajat muuttuivat 1.1.2009. Viiterajana altistumattomille on 20 nmol/l ja toimenpiderajana 140 nmol/l. Vuosina 2004-2007 mitattiin altistumattomien viiterajan, 50 nmol/l, ylityksiä mitattiin 120 kappaletta. Ylityksistä 113 tapahtui kloorialkaliteollisuuden prosessi-, huolto- ja asennustöissä sekä yhdeksän loisteputkien murskauksessa ja elohopean talteenotossa. Kahdesta alitumistapauksesta ei ollut toimialatietoa. Toimenpideraja ylittyi kloorialkaliteollisuudessa 37 henkilöllä. (Saalo ym. 2010). Vuonna 2008 50 nmol/l raja ylittyi seitsemällä kloorialkaliteollisuudessa työskentelevällä asennus- ja huoltotöissä (Kiilunen ym. 2009). Vuoden 2009 biomonitorointilaston mukaan altistumattomien viiteraja ylittyi kloorialkaliteollisuudessa ja elektroniikkaromun kierrätyksessä ja käsittelyssä (elohopealamput). Toimenpiderajan ylitykset liittyivät luultavasti itsemurhayritykseen (Kiilunen 2010).

Aineenvaihdunta

Elohopeaa imeytyy ihon läpi. SCOEL (2007) painottaa kuitenkin raportissaan, että vaikkakin elohopean imeytyminen ihoon on havaittu, niin todennäköinen vaikutus kehon altistumiseen on liian pieni, jotta voitaisiin puhua ihoaltistumisesta. Kiinalaisnaiselle todettiin koholla olevat elohopeapitoisuudet veressä ja virtsassa ja kalvomainen nefropatia, kun hän oli käyttänyt kuukauden ihon vaalentamisvoidetta, joka sisälsi 30.000 ppm elohopeaa. (Tang ym. 2006). Metallisen elohopean höyry imeytyy hyvin hengitysteitse elimistöön, sillä noin 80 % hengitetystä elohopeasta jää elimistöön. Elimistöön jouduttuaan metallinen elohopea hapettuu pääasiassa punasoluissa muun muassa valkuaisaineisiin sitoutuvaksi elohopea (II)-ioniksi. Eniten elohopeaa kertyy munuaisiin (50-90 %), maksaan ja pernaan. Rasvaliukoista elohopeaa kulkeutuu veren mukana kudoksiin, kuten aivoihin. Elohopeaa erittyy elimistöstä hitaasti pääasiassa ulosteisiin ja virtsaan (Hakala 2008). Vähäisissä määrin erittymistä tapahtuu hengitysilman, hien, syljen ja kuolleiden ihosolujen mukana. Poistuminen elimistöstä tapahtuu vaihteittain puoliintumisaikojen vaihdella elimistön eri osissa. Munuaisissa ja koko kehossa suurin osa elohopeasta puoliintuu noin 60 päivässä ja aivoissa 20-25 päivässä. Pitkäaikaisen työperäisen elohopea-altistumisen päätyttyä virtsan elohopeapitoisuuden puoliintumisaika on 55 päivää (Sällsten 1994). Verestä elohopea poistuu kaksivaiheisesti ensimmäisen vaiheen puoliintumisaika on 3,8 päivää ja toisen vaiheen 45 päivää (Sällsten 1993). Veressä ensimmäisen vaiheen puoliintumisaika on 2-4 päivää (80-90 % äkillisen altistumisen annoksesta) ja toisen vaiheen 15-30 päivää. Joissakin elimissä elohopeaa pysyy pieni määrä pitkään, erityisesti aivoissa (CICAD 2003).

Terveysvaikutukset

Ihmisiä koskevat tiedot

Metallisen elohopean haittavaikutukset aiheutuvat kertymisestä elimistöön, erityisesti munuaisiin, maksaan ja pernaan. Lisäksi voi aiheutua allergista kosketushottumaa. (Hakala 2008) Pitkäaikainen tai toistuva altistuminen voi aiheuttaa maksa-, munuais-, keuhko- ja hermostovaurioita. Altistuttaessa pitoisuudelle 25 - 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (noin 150 - 500 nmol/l virtsassa ja 55 - 180 nmol/l veressä) lisääntyy tiettyjen vähemmän vakavien oireiden (objektiivisesti havaittava vapina, hermojen johtumisnopeuden pieneneminen) ja subjektiivisten oireiden, kuten väsymys, unettomuus, ärtyvyys ja ruokahaluttomuus esiintymistiheys, erityisesti herkillä yksilöillä, (IPCS 1991 ja Hakala 2008). Arvioidaan, että pitkäaikainen tai toistuva altistuminen pitoisuudelle yli 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (vastaa virtsan elohopeapitoisuutta noin 500 nmol/l ja veren epäorgaanisen elohopean pitoisuutta noin 180 nmol/l) voi aiheuttaa merkittävän riskin sairastua elohopean aiheuttamaan hermostomyrkytykseen (mm. vapina ja psykomotoriset häiriöt) tai munuaisvaurioon (valkuaisvirtsaus).

Epäorgaanisten elohopeayhdisteiden vaikutukset ovat samantapaisia kuin metallisen elohopean, mutta niiden imeytyminen keuhkoista on hitaampaa ja kulkeutuminen aivoihin vähäisempää. Eräät yhdisteet, kuten elohopeadikloridi, ovat syövyttäviä ja voivat aiheuttaa ihottumaa (CICAD 2003). Epäorgaanisen elohopean vaikutuksesta raskauteen ja sikiöön on viitteitä, mutta epidemiologisten tutkimusten tulokset ovat osittain ristiriitaisia (CICAD 2003). Tutkimuksellinen näyttö epäorgaanisen elohopean lisääntymisvaarallisista vaikutuksista on vielä verrattain vähäistä. Panin ym. (2007) mukaan elohopea-altistuminen aiheuttaa naisille häiriöitä kuukautisissa (mm. häiriöt

kuukautiskierrossa ja kuukautisten puuttumista) ja raskausajan ongelmia, kuten raskaudenaikaista verenpainetauti, matalaa lapsen syntymäpainoa ja kohtukuolemia. Epäorgaanisella elohopealla voidaan olettaa olevan haitallisia vaikutuksia sikiön kehitykseen. Lisäksi epäorgaanisen elohopean tiedetään pääsevän istukan kautta sikiöön. Lindbohm ym. (2007) suomalaiseseen väestöön pohjautuvassa tutkimuksessa on todettu, että altistumisella hammashuollossa työskennellen amalgaamille (elohopea) on heikko yhteys lisääntyneeseen keskenmenoriskiin. Tästä johtuen Suomessa elohopean ja sen yhdisteiden arvioidaan vaarantavan äidin tai sikiön terveyden (VNa 1335/2004).

Elohopean aiheuttamia ammattitauteja Suomessa on todettu vuosina 1996-2005 16 tautia (Mäkinen kirjallinen tiedonanto 22.10.2010). Ammattitauteina on todettu kyseisinä vuosina toksinen aivosairaus (2), vasomotorinen ja/tai allerginen nuha (1), metallien aiheuttama allerginen kosketushottuma (8), määrittämätön dermatiitti (1) sekä elohopean tai elohopeayhdisteiden myrkyvaikutukset (4). Metallisen ja epäorgaanisen elohopean aiheuttamia ihoammattitauteja (metallien aiheuttama allerginen kosketushottuma) on Suomessa todettu vuosina 1996 - 2005 keskimäärin yksi tapaus vuositain (Mäkinen 2010).

Piikiven tutkimuksessa (1989) selvitettiin elohopeahöyryn vaikutuksia keskimäärin 16 vuoden altistumisaikana. Elohopean pitoisuus oli noin $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ($\text{HTP } 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Altistuneella ryhmällä havaittiin vain lievää taipumusta sydänheijasteiden heikentymiselle ja pientä kasvua koetuille oireille. Tällöin pitkäaikaisesta altistumisesta ei aiheutunut merkittäviä vaikutuksia autonomiseen hermostoon.

Korkea altistumistaso elohopealle (virtsan $0,05 \text{ mg}/\text{l}$ tai isompi elohopeapitoisuus) voi johtaa pitkäaikaisiin neurotoksisiin vaikutuksiin ja terveysmuutoksiin (Tang ym. 2006). Elohopealle altistuminen voi aiheuttaa myös oireettomia munuaisvaurioita (Duric ym. 2008). Altistuminen elohopeahöyrylle voi aiheuttaa jopa nefroottisen syndrooman ja korkean verenpaineen (Duric ym. 2008, Campbell ym. 2009). Glomelur- ja tubulusvaikutuksia ei ole osoitettu pitkäaikaisessa altistumisessa elohopeahöyrylle pitoisuuksien ollessa keskimäärin $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Piikivi & Ruokonen 1989).

Pitkäaikainen altistuminen elohopeahöyrylle vähentää verisuoniheijasteita ja lisää hieman subjektiivisia oireita (ripulia, tihentynyttä virtsaamisen tarvetta, hikoilemista, sydämentykytystä, ortostaattista huimausta, huimausta ja voimattomuutta) (Piikivi 1989). Altistuminen elohopealle voi aiheuttaa myös neuropsykologisia ongelmia (Rohling ym. 2006). Zachin ym. (2007) tutkimuksessa todettiin, että elohopealla on pitkäaikaisia vaikutuksia tiedonkäsittelyyn ja psykomotoriseen toimintaan, mikä lisää masentuneisuutta ja levottomuutta. De Vocht ym. (2006) korostavat, että muutokset kognitiivisissa toiminnoissa ovat äkillisiä ja ohimeneviä, ja ne voivat kadota nopeasti altistumisen päätyttyä. Altistuminen merkittävässä määrin voi johtaa kroonisiin neurotoksisiin terveysmuutoksiin (Tang ym. 2006). Oireina elohopealle altistumisessa on todettu Lin ym. (2008) tutkimuksessa sormien ja silmäluomien vapinaa, ientulehdusta ja tummia rajoja ikenissä. Iwatan ym. (2007) tutkimuksissa on löydetty alkuainemuodossa olevalle elohopeahöyrylle altistumisen aiheuttaman asentohuimausta ja käsien vapinaa. Piikiven ja Hännisen (1989) tutkimuksessa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ilmennyt hahmottamis-, muisti- tai oppimisvaikeuksia. Shlomo ym. (2002) havaitsivat tutkiessaan elohopea-altistumisen vaikutuksia kuulolle subkliinisiä muutoksia aivorungossa pitkäaikaisessa >15 vuotta matalassa $0,008 \text{ mg}/\text{m}^3$ altistumisessa. Veren elohopea pitoisuus oli $1,95 \mu\text{g}/\text{l} \sim 10 \text{ nmol}/\text{l}$.

Costan ym. (2008) tutkimuksessa on havaittu näkötoimintojen huonontumista eloho-

pea-altistumisessa. Costan ym. (2008) tutkimuksessa todettiin valaisintehtaan työntekijöillä kontrastiherkkyden heikentymistä altistuessa elohopeahöyrylle. Barboni ym. (2008, 2009) puolestaan toteavat, että krooninen altistuminen elohopeahöyrylle oli yhteydessä näön menetykseen. Feitosa-Santanana ym. (2008) tutkimuksessa kroonisen elohopeahöyrymyrkytyksen on todettu johtavan pysyviin värinäönmenetykseen.

Elohopeahöyryllä on todettu olevan myös vaikutusta glutamiinin peroksidaasiin (Jayaprakash 2009). Fawer (1983a, 1983b ja 1983c) ovat puolestaan todenneet, että kroonista sairautta, kuten haavaista paksunsuolentulehdusta sairastavan, sairaus voi pahentua elohopeahöyrylle altistumisen seurauksena (Cummings ym. 2006). Gardnerin ym. (2010) tutkimuksessa on taas todettu elohopea-altistumisen voivan johtaa vastustuskyvyn alentumiseen ja jopa yleistulehdukseen.

Eläinkokeiden havainnot

Metallinen elohopea ja epäorgaaniset elohopeayhdisteet ovat akuutisti myrkyllisiä, esimerkiksi elohopeahöyryn hengittäminen (29 mg/m³, 1 h) aiheutti kanilla vaurioita munuaisiin, keskushermostoon, sydämeen ja keuhkoihin (Ashe ym. 1953). Annos elohopeakloridia suun kautta (15 mg/kg ruumiin paino) aiheutti munuaisvaurion jyrksijöillä (Svendsen ym. 1989). Testattujen epäorgaanisten elohopeayhdisteiden LD₅₀-arvo eri koe-eläimillä vaihtelee välillä 10 - 40 mg/kg ruumiinpainoa (IPCS 1991). Elohopeakloridin on havaittu aiheuttavan jonkin verran karsinogeenista aktiiviteettia urospuolisilla rotilla, mutta havainnot naarasrotilla ja hiirellä eivät ole yksiselitteisiä tai ovat negatiivisia, joten vakuuttavaa näyttöä metallisen elohopean tai epäorgaanisten elohopeayhdisteiden karsinogeenisuudesta ei ole (CICAD 2003, SCOEL 2007).

Epäorgaanisista elohopeayhdisteistä on näyttöä, että ne voivat in vitro vaurioittaa DNA:ta (CICAD2003). Elohopean epäorgaaniset yhdisteet voivat aiheuttaa mutaatioita somaattisissa soluissa. Mutageenisia vaikutuksia on raportoitu joistakin in vivo -tutkimuksista. Tulokset eivät kuitenkaan osoita, että metallinen elohopea olisi mutageeninen aine (CICAD 2003). Useat ihmistä koskevat tutkimukset eivät ole tuottaneet selkeää osoitusta metallisen elohopean tai epäorgaanisten elohopeayhdisteiden mutageenisuudesta (SCOEL 2007). Epäorgaaniset elohopeayhdisteet ovat kuitenkin sikiömyrkyllisiä jyrksijöille suurina annoksina annosteltuna. Eläinkokeet, joissa altistuminen muistuttaa ihmisen altistumista, sekä vähäinen tieto ihmisestä eivät osoita, että elohopea ja epäorgaaniset elohopeayhdisteet olisivat lisääntymiselle toksisia emolle myrkyllistä annostasoa pienemmillä annoksilla (CICAD 2003, SCOEL 2007).

HTP-arvon perusteet

Lieviä, ei-kliinisesti havaittavia vaikutuksia (mm. psykomotoristen toimintojen, muistin ja huomiokyvyn heikkeneminen) elohopean toksisuudesta keskushermostoon on havaittu jo ilman elohopeapitoisuudessa 20 µg/m³ ja vähän sen yli työntekijöillä, joiden altistuminen on kestänyt useita vuosia (CICAD 2003). Tämä vastaa pitoisuutta n. 140 nmol/l virtsassa ja n. 50 nmol/l veressä.

Euroopan Komission työhygieenisää raja-arvoja käsittelevä komitea SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits) katsoo metallisen elohopean ja elohopean kaksiarvoisten yhdisteiden pitoisuuden 0,02 mg/m³ (8-hour TWA, Time weighed average) täyttävän kriteerin terveysperusteiseksi altistumistasoksi ja suosittelee biologisiksi raja-arvoiksi (BLV, Biological limit value) virtsan elohopeapitoisuudelle 30 µg/g kreatiniinia (noin 150 nmol/l) ja veren epäorgaaniselle elohopeapitoisuudelle 10 µg/l (50 nmol/l) (SCOEL 2007).

Useissa tutkimuksissa on raportoitu ilman ja virtsan tai veren epäorgaanisen elohopeapitoisuuden korrelaatiosta (CICAD 2003). Tutkimuksista, joissa työilman elohopeapitoisuus on mitattu hengitysvyöhykkeeltä, on laskettu, että työperäinen altistuminen 8 h päivässä pitoisuudelle 1 mg/m³ johtaa keskimäärin virtsan elohopeapitoisuuteen 1,4 mg/l (7000 nmol/l, 7 tutkimusta, vaihteluväli 0,3 - 2,7 mg/l) ja veren epäorgaaniseen elohopeapitoisuuteen 0,48 mg/l (2400 nmol/l, 6 tutkimusta, vaihteluväli 0,17 - 0,81 mg/l) (Cross ym. 1995). Tällöin altistuminen pitoisuudelle 20 µg/m³ johtaa elohopean pitoisuuteen virtsassa 140 nmol/l ja veressä 50 nmol/l olettaen, että ilman elohopeapitoisuuden suhde elohopean pitoisuuteen virtsassa tai veressä on vakio eri altistumistasoilla.

Ruotsissa AFS (Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling) on määrittänyt ilman viiteraja-arvoksi elohopealle ja sen epäorgaanisille yhdisteille 0,03 mg/m³ (AFS 2007). Norjassa Arbejdstillsynet (2009) on määrittänyt työilman viiteraja-arvoksi 0,02 mg/m³. Tanskan Arbejdstillsynet (2007) on määrittänyt työilman viiteraja-arvoksi elohopealle ja sen epäorgaanisille yhdisteille 0,025 mg/m³. Alankomaissa SER (2007) on määrittänyt elohopealle ja sen epäorgaanisille yhdisteille viiteraja-arvoksi 0,02 mg/m³. Yhdysvalloissa ACGIH (the American Conference of Governmental Industrial Hygienists) on määritellyt ilman TLV-arvoksi 0,025 mg/m³ perustuen elohopean vaikutuksiin keskushermostoon ja munuaisiin (ACGIH 2008). Saksan työilman metallisen elohopean ja epäorgaanisten elohopeayhdisteiden raja-arvo (MAK-arvo) on vuonna 2010 0,02 mg/m³ eli 20 µg/m³ (DFG 2010). Englannissa HSE (Health and Safety Executive) on antanut elohopealle ja sen epäorgaanisille yhdisteille työilman ohjearvon (WEL, Workplace Exposure Limit) 0,025 mg/m³ (HSE 2005b). Alankomaissa elohopean viiteraja-arvo on myös 0,02 mg/m³ (SER 2010). SCOEL:n (2007) tieteellisen komitean suosituksen ja EU:n komission direktiivin 2009/161/EU (2009) perusteella EU:ssa elohopean alle ja sen epäorgaanisten yhdisteiden viiteraja-arvoksi on määritetty 0,02 mg/m³.

Elohopean ja sen epäorgaanisten yhdisteiden 8 tunnin HTP-arvo on ollut Suomessa 0,05 mg/m³ eli 50 µg/m³ (STM 2009). Arvoon liittyy huomautus imeytymisestä ihon läpi. Työturvallisuussäännöksiä valmisteleva neuvottelukunta esittää, että elohopean ja sen epäorgaanisten yhdisteiden haittoja voidaan vähentää asettamalla elohopean ja sen epäorgaanisten yhdisteiden 8 tunnin HTP-arvoksi 0,02 mg/m³ eli 20 µg/m³. Elohopean ja sen epäorgaanisten yhdisteiden viiteraja-arvoiksi esitetään virtsan elohopealle (U-Hg) 140 nmol/l ja veren epäorgaaniselle elohopealle (B-Hg-i) 50 nmol/l.

Eri asettajien ilman epäpuhtauksien vertailu

Eri maissa on voimassa seuraavanlaisia työilman elohopeapitoisuuden raja-arvoja.

Asettaja	Vuosi	Vertailuaika				Huomautus	
		8 h ppm	mg/m ³	15 min ppm	mg/m ³	Hetkellinen ppm	mg/m ³
Suomi	2009	-	0,05	-	-	-	Iho, Hg
Ruotsi	2007	-	0,03	-	-	-	Iho, Hg
Norja	2009	-	0,02	-	-	-	-
Tanska	2007	-	0,025	-	-	-	Iho, Hg
Alanko- maat	2007	-	0,02	-	-	-	Iho, Hg
Saksa	2010	-	0,02	-	-	-	Iho, Hg

Englanti	2007	-	0,025	-	-	-	-	-
ACGIH	2010	-	0,025	-	-	-	-	Iho, Hg
EU	2009	-	0,02	-	-	-	-	-
Ehdotus, Suomi	2012	-	0,02	-	-	-	-	Iho, Hg

Viitteet

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 2008. TLVs and BEIs for Chemical Substances and Physical Agents, ACGIH, Cincinnati, OH.

AFS (Arbetsmiljöverkets författningssamling). 2007. Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar, AFS 2005:17 (http://www.av.se/dokument/afs/AFS2005_17.pdf). (viitattu 21.11.2010)

Arbeidstilsynet. 2009. Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære, Veiledning, best.nr. 361. <http://www.arbeidstilsynet.no/binfil/download2.php?tid=77907> (viitattu 31.1.2011)

Arbejdstillsynet. 2007. At-vejledning Stoffer og materialer C.0.1. Grænseværdier for stoffer og materialer. www.at.dk/sw6796.asp (viitattu 18.7.2010)

Ashe W., Largent E., Dutra F., Hubbard D., Blackstone M. 1953. Behaviour of mercury in the animal organism following inhalation. *Arch Ind Hyg Occup Med*, 17, 19-43.

Barboni M.T., da Costa M.F., Moura A.L., Feitosa-Santana C., Gualtieri M., Lago M., Medrado-Faria Mde A., Silveira L.C. and Ventura D.F. 2008. Visual field losses in workers exposed to mercury vapor. *Environmental research*, 107 (1), 124-131.

Barboni M.T., Feitosa-Santana C., Zachi E.C., Lago M., Teixeira R.A., Taub A., de Costa M.F., Silveira L.C. and Ventura D.F. 2009. Preliminary findings on the effects of occupational exposure to mercury vapor below safety levels on visual and neuropsychological functions. *Journal of occupational and environmental medicine*, 51 (12), 1403-1412.

Campbell G., Leitch D., Lewington A., Dargan P.I. and Baker R.J. 2009. Minimal-change nephrotic syndrome due to occupational mercury vapor inhalation. *Clinical nephrology*. 72 (3), 216-219.

CICAD. 2003. Concise International Chemical Assessment Document 50. Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects. Geneva, World Health Organization, (<http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad50.htm> 26.8.2008)

Cummings C.E. and Rosenman K.D. 2006. Ulcerative colitis reactivation after vapor inhalation. *American journal of industrial medicine*, 49 (6), 499-502.

Costa M.F., Tomaz S., de Souza J.M., Silveira L.C. & Ventura D.F. 2008. Electrophysiological evidence for impairment of contrast sensitivity in mercury vapor occupational intoxication. *Environmental Health and Toxicology*, 107 (1), 132-138.

Cross H., Smillie M., Chipman J., Fletcher A., Levy L., Spurgeon A., Fairhurst S., Howe A., Mason H., Northage C., Wright A. 1995. Mercury and its inorganic divalent compounds. Criteria document for an occupational exposure limit. Sudbury, HSE Books.

DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) Liste aller Änderungen und Neuaufnahmen in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2010
http://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/gremien/senat/arbeitsstoffe/aenderung_und_Neuaufnahmen_100813.pdf (viitattu 31.1.2011)

Duric S., Javanovic D., Hrvacevic R., Kovacevic Z. and Konjevic M. 2008. Asymptomatic renal damages in persons with chronic professional exposure to elementary mercury low concentrations. *Vojnosanitetski preglod*, 65 (9), 670-675.

Elemental mercury and inorganic mercury compounds: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 50. 2003. World Health Organization, Geneva.

Fawer R.F., de Ribaupierre Y., Guillemin M.P., Berode M. And Lob M. 1983a. Hand Tremor Measurements: Methodology and Applications. *Neurobehavioral Methods in Occupational Health* (edit.) Gilioli R., Cassitto M.G. and Foa V. Pergamon Press, Oxford, 137-143.

Fawer R.F., de Ribaupierre Y., Guillemin M.P., Berode M. and Lob M. 1983b. Measurement of Hand Tremor Induced by Industrial Exposure to Metallic Mercury. *British Journal of Industrial Medicine*, 40 (2), 204-208.

Fawer R.F., de Ribaupierre Y., Guillemin M.P., Berode M. And Lob M. 1983c. Measurement of hand tremor induced by industrial exposure to metallic mercury. *British journal of industrial medicine*, 40 (2), 204-208.

Feitosa-Santana C., Barboni M.T., Oiwa N.N., Paramei G.V., Simoes A.L., Da Costa M.F., Silveira L.C. and Ventura D.F. 2008. Irreversible color vision losses with chronic mercury vapor intoxication. *Visual neuroscience*, 25 (3), 487-491.

Costa M., Tomaz S., de Souza J.M., de Lima Silveira L.C. & Fix Ventura D. 2008. Electrophysiological evidence for impairment of contrast sensitivity in mercury vapor occupational intoxication. *Environmental Research* 107, 132-138.

Gardner R.M., Nyland J.F., Silva I. A., Ventura A.M., de Souza J.M. & Silbergeld E.K. 2010. Mercury exposure, serum antinuclear/antinucleolar antibodies, and serum cytokine levels in mining populations in Amazonian Brazil: A cross-sectional study. *Environmental Research* 110, 345-354.

Hakala E. 2005. Elohopea Käyttö ja esiintyminen. Teoksessa *Kemikaalit ja työ Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä*. Valmisteluryhmä Vainio H., Liesivuori J., Lehtola M., Louekari K., Engström K., Kauppinen T., Kurppa K., Riipinen H., Savolainen K. & Tossavainen A. Työterveyslaitos, Helsinki. 69-73.

Hakala E. 2008. Elohopea. Teoksessa *Työhygieniä (toim.) Starck J., Kalliokoski P., Kangas J., Pääkkönen R., Rantanen S., Riihimäki V. & Karhula A.-L.. Työterveyslaitos, Helsinki, 162-167.*

HSE (Health and Safety Executive). 2005b. Workplace Exposure Limits, Table 1: List of approved workplace exposure limits (as consolidated with amendments October 2007). EH40/2005. London, HSE. (<http://www.hse.gov.uk/coshh/table1.pdf> 26.8.2008).

IPCS. 1991. International Programme on Chemical Safety (IPCS). Environmental Health Criteria 118. Inorganic Mercury. Geneva, World Health Organization. 168 p. (<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm> (27.8.2008))

Iwata T., Sakamoto M., Feng X., Yoshida M., Liu X.J., Dakeishki M., Li P., Qiu G., Jiang H., Nakamura M. and Murata K. 2007. Effects of mercury exposure on neuromotor function in Chinese miners and smelters. *International archives of occupational and environmental health*. 80 (5), 381-387.

Jayaprakash K. 2009. Mercury vapor inhalation and its effect on glutathione peroxidase in goldsmiths exposed occupationally. *Toxicology and industrial health*, 25 (7), 463-465.

Kiilunen, M, Mikkola, J, Santonen, T. (2009) Biologinen monitorointi vuositilasto 2008, Työympäristön raporttisarja 45. Työterveyslaitos.

Kiilunen, M. (2010) Biologinen monitorointi vuositilasto 2009, Työympäristön raporttisarja 52. Työterveyslaitos.

Komission direktiivi 2009/161/EU. Kolmannen työperäisen altistumisen viiterajajärvojen luettelon laatimisesta neuvoston direktiivin 98/24/EY panemiseksi täytäntöön ja komission direktiivin 2000/39/EY muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti. L338/87-L338/89.

Li P., Feng X., Qiu G., Li Z., Fu X., Sakamoto M., Liu X. & Wang D. 2008. Mercury exposures and symptoms in smelting workers of artisanal mercury mines in Wuchuan, Guizhou, China. *Environmental Research* 107, 108-114.

Lindbohm M.L., Ylästalo P., Sallmen M., Henriks-Eckerman M.L., Nurminen T., Forss H. & Taskinen H. 2007. Occupational exposure in dentistry and miscarriage. *Occupational and environmental medicine*, 64 (2), 127-133.

Mäkinen I. 2010. Elohopean aiheuttamat ammattitaudit. Kirjallinen tiedonanto sähköpostitse 22.10.2010.

Pan J., Song H. & Pan X.C. 2007. Reproductive effects of occupational exposure to mercury on female workers in China: a meta-analysis. *Environmental Health & Toxicology*. 28(12), 1215-1218.

Piikivi L. 1989. Cardiovascular reflexes and low long-term exposure to mercury vapour. *International archives of occupational and environmental health*, 61, 391-395.

Piikivi L. and Hänninen H. 1989. Subjective symptoms and psychological performance of chlorine-alkali workers. *Scandinavian journal of work, environment and health*. 15 (1), 69-74.

- Piikivi L. and Ruokonen A. 1989. Renal Function and Long-term Low Mercury Vapor Exposure. *Archives of Environmental Health*, 44 (3), 146–149.
- Richardson G.M., Brecher R.W., Scobie H., Hamblen J., Samuelian J. and Smith C. 2009. Mercury vapour (Hg(0)): Continuing toxicological uncertainties, and establishing a Canadian reference exposure level. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 53 (1), 32-38.
- Rohling M.L. and Demakis G.J. 2006. A meta-analysis of the neuropsychological effects of occupational exposure to mercury, 20 (1), 108-132.
- Saalo A., Vainiotalo S., Kiilunen M., Tuomi T. 2010. Työympäristön kemikaalien altistumismittaukset 2004-2007. Työympäristötutkimuksen raporttisarja 47. Työterveyslaitos, Helsinki.
- SCOEL.2007. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for elemental mercury and inorganic divalent mercury compounds. SCOEL/SUM/84, May 2007, After Consultation. (http://www.europa.nl/employment_social/health_safety/docs/sum_084.pdf 11.9.2010)
- SER. 2007. Kwik metallisch. (<http://www.ser.nl/nl/grenswaarden/kwik%20metallisch.aspx> viitattu 28.11.2010)
- Shlomo M, Avraham F, Moshe H, Mario S, Jacklin S, Mordechai H. Effects of occupational exposure to mercury or chlorinated hydrocarbons on the auditory pathway. *Noise Health* 2002;4:71-7. *Noise Health* [serial online] 2002 [cited 2011 May 23];4:71-7. Available from: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2002/4/16/71/31825>
- STM. 2009. HTP-arvot 2009. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Julkaisuja 2009:11. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.
- Svendsen O., Christensen H.B., Rygaard J., Juni P. 1989. Comparative study on the toxicity of acetaminophen and mercuric chloride in normal and athymic mice and rats. *Arch Toxicol Suppl*, 13, 191-196.
- Sällsten G., Barregård L., Schütz A. 1993. Decrease in mercury concentration in blood after long term exposure: a kinetic study of chloralkali workers. *Br J Ind Med*, 50(9), 814–821.
- Sällsten G., Barregård L., Schütz A. 1994. Clearance half life of mercury in urine after the cessation of long term occupational exposure: influence of a chelating agent (DMPS) on excretion of mercury in urine. *Occup Environ Med*, 51, 337-342.
- Tang N. and Li Y.M. 2006. Neurotoxic effects in workers of the clinical thermometer manufacture plant. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 19(3), 198-201.
- Tang, HL, Chu, KH, Mak, YF, Lee, W, Cheuk, A, Yim, KF, Fung, KS, Chan HWH, Tong, KL Minimal Change Disease following exposure to mercury-containing skin lightening cream. *Hong Kong Med J* 2006, 12(4), 316-8.

Valtioneuvoston asetus sairausvakuutuslain täytäntöönpanosta 1335/2004
(<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2004/20041335> 30.11.2010)

de Vocht F., van Drooge H., Engels H. and Kromhout H. 2006. Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department. *Journal of magnetic resonance imaging*, 23 (2), 197-204.

Zachi E.C., DFV, Faria M.A. and Taub A. 2007. Neuropsychological dysfunction related to earlier occupational exposure to mercury vapor. *Environmental health and toxicology*, 40 (3), 425-433.