

24.9.2024

## Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijy

# HTP-ARVON JA BIOLOGISTEN NÄYTTEIDEN OHJE- RAJA-ARVON PERUSTELUMUISTIO

### Yksilöinti ja ominaisuudet

#### Tetraetyylilyijy

<i>CAS No:</i>	78-00-2
<i>EC No:</i>	201-075-4
<i>Kaava:</i>	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$
<i>Synonyymit:</i>	lyijytetraetyyli, TEL
<i>Molekyylipaino:</i>	323,45 g/mol
<i>Tiheys:</i>	1,7 g/cm <sup>3</sup> (25 °C)
<i>Sulamislämpötila:</i>	-134 °C
<i>Kiehumislämpötila:</i>	84-85 °C
<i>Leimahduspiste:</i>	93 °C (c.c.)
<i>Höyrynpaine:</i>	0,027 kPa (25 °C)
<i>Vesiliukoisuus:</i>	0,29 mg/l
<i>Muuntokerroin:</i>	1 µmol/l = 323,45 µg/l

#### Tetrametyylilyijy

<i>CAS No:</i>	75-74-1
<i>EC No:</i>	200-897-0

<i>Kaava:</i>	Pb(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
<i>Synonyymit:</i>	lyijytetrametyyli
<i>Molekyylipaino:</i>	267,4 g/mol
<i>Tiheys:</i>	2,0 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
<i>Sulamislämpötila:</i>	-27,5 °C
<i>Kiehumislämpötila:</i>	110 °C (113 kPa)
<i>Höyrynpaine:</i>	0,027 kPa (25 °C)
<i>Muuntokerroin:</i>	1 µmol/l = 267,4 µg/l
<i>Vesiliukoisuus:</i>	liukenematon

Tetraetyyli- ja tetrametyyllilyijy ovat värittömiä, viskooseja nesteitä, joilla on tunnusomainen haju (ICSC, 2003, 2005). Palaessaan yhdisteet hajoavat ja muodostaen myrkyllisiä huujuja.

Tetraetyyli- ja tetrametyyllilyijyn CLP-asetuksen (1272/2008/EY) mukaiset vaaraluokitukset: Repr. 1A (H360DF), Acute Tox. 2\* (H300), Acute Tox. 1 (H310), STOT RE 2\* (H373), Aquatic Acute 1 (H400), Aquatic Chronic 1 (H410).

### **Esiintyminen, käyttö ja rajoitukset**

Tetraetyyllilyijy on orgaanisista lyijy-yhdisteistä eniten käytetty. Yhdistettä on käytetty polttoaineiden lisäaineena, mutta sen käyttö liikennepolttoaineissa kiellettiin Suomessa vuonna 1994 ja koko EU:ssa vuonna 2000. Pienlentokoneiden polttoaineissa lyijyä voidaan edelleen käyttää. Tämä käyttö saattaa kuitenkin EU-alueella loppua, mikäli EU:n kemikaalilainsäädännön mukaista lupaa tetraetyyllilyijyn käyttöön ei haeta. Kemikaalituoterekisteriin (Tukes) ilmoitettiin vuonna 2022 vain yksi tetraetyyllilyijyä sisältävä tuote (lentopolttoaine). Tetrametyyllilyijyä sisältäviä tuotteita ei ilmoitettu.

Työterveyslaitoksella ei ole tehty 2000-luvulla työhygieenisiä selvityksiä ilman tetraetyyli- tai tetrametyyllilyijypitoisuuksiin liittyen (TTL 2024a). Työterveyslaitoksen biologisten altistumismittausten rekisterissä on 429 kappaletta virtsan lyijypitoisuuden mitauksia ajanjaksolta 1/2010–5/2022 (TTL 2024b). Mitattujen pitoisuuksien mediaani oli 0,92 µg/l (0,0044 µmol/l) ja 90. persentiili 3,4 µg/l (0,017 µmol/l). Nykyinen altistumattomien viiteraja (0,9 µg/l) ylittyi 52 % näytteistä. Ehdotetun biomonitoroinnin ohjerajavon 20 µg/l ylityksiä ei käytännössä ollut. Virtsan lyijypitoisuus ei ole spesifinen mark-

keri tetraetyyli- tai tetrametyylilyijyaltistumiselle, vaan se mittaa epäorgaanisen ja orgaanisen lyijyn kokonaispitoisuutta. Suurin osa mittauksista on tehty epäorgaaniselle lyijylle altistuneilla.

Lyijyllisten polttoaineiden käyttörajoitusten seurauksena väestön ympäristöperäinen lyijyaltistuminen ja veren lyijypitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi (ECHA 2020a, Lacerda et al. 2023). Lyijyn laaja aiempi käyttö on kuitenkin yhä nähtävissä väestön lyijytasoissa.

### **Aineenvaihdunta**

Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyhöyry imeytyy helposti hengitysteiden kautta (ECHA, 2020a). Yhdisteet imeytyvät tehokkaasti myös ihon läpi ja ruuansulatuskanavasta (ATSDR, 2020; ECHA, 2020a). Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijy metaboloituvat osittain epäorgaaniseksi lyijyksi (ECHA, 2020a). Eniten tetraetyylilyijyn metaboliatuotteita löytyy maksasta, mutta myös munuaisista, aivoista, haimasta, sydäimestä ja lihaksista (ECHA, 2020a). Tetraetyylilyijy kulkeutuu aivoihin tehokkaammin kuin epäorgaaninen lyijy (ECHA, 2020a).

Alkyylilyijy-yhdisteet metaboloituvat maksassa oksidatiivisella dealkyloinnilla sytokromi P450 kautta (ECHA, 2020a). Tetraetyylilyijy ja tetrametyylilyijy metaboloituvat trietyyli-, dietyyli-, ja epäorgaaniseksi lyijyksi (DFG, 2001a; ECHA, 2020a). Nämä metaboliitit ovat ionisoituneita ja siten jakautuvat elimistössä eri tavalla kuin alkuperäinen altiste. Tetraetyylilyijy erittyy virtsaan pääasiassa dietyylilyijynä ja epäorgaanisena lyijynä. Hengitystiealtistumisessa uloshengitys on alkyylilyijy-yhdisteillä pääasiallinen erittymisreitti.

Tetrametyyli- ja tetraetyylilyijy voivat kertyä elimistöön, koska yhdisteiden metaboliatuotteena muodostuu helposti kertyvää epäorgaanisesta lyijyä. Epäorgaaninen lyijy varastoituu kudoksiin ja luustoon. Veren lyijyn puoliintumisaika on 29–36 päivää, pehmytkudoksista lyijy puoliintuu 1,2 vuodessa ja luustosta keskimäärin 13 vuodessa (ECHA 2020).

## **Terveysvaikutukset**

### **Ihmisiä koskevat tiedot**

#### **Akuutit vaikutukset**

Tetraetyylilyijyn akuutin altistumisen oireita ihmisillä ovat ruokahaluttomuus, pahoinvointi, unettomuus, heikotus, päänsärky, aggressio, masennus, ärtyneisyys, vapina, yliaktiivisuus, lihasheikkous, keskittymis- ja muistivaikeudet, sekavuus ja metallin maku suussa (ECHA, 2020a). Voimakkaassa oireina ovat mahakipu, oksentelu, ripuli, kouristukset, delirium, kuume, kooma, hypotonia ja bradykardia. Oireet alkavat usein viivästyneesti tuntien tai jopa päivien kuluttua altistumisesta. Mitä pidempi latenssiaika, sitä parempi ennuste. Myrkytykset ovat tapahtuneet pääasiassa suun kautta saatuina kerta-annoksina, mutta joitakin myrkytystapauksia on raportoitu myös polttoainetankkien puhdistustyössä. Ensimmäisiä oireita on havaittu annoksella 6 ml tetraetyylilyijyä suun kautta vastaten 0,14 g/kg painokiloa kohti.

#### **Toistuvan altistumisen vaikutukset**

Seeber et al. (1990) Saksassa tekemässä tutkimuksessa tetraetyylilyijylle altistuneille työntekijöille (n=39) tehtiin neuropsykologiset testit hermostohaittojen kartoittamiseksi. Veren lyijypitoisuudet työntekijöillä vaihtelivat välillä 70–430 µg/l (keskiarvo 210 µg/l). Altistumisen ja neuropsykologisen suoriutumisen välillä havaittiin korrelaatio. Näitä tuloksia ei kuitenkaan ole voitu validoida myöhemmissä tutkimuksissa vaihtelevien tutkimuskäytäntöjen takia (ECHA 2020a).

Kiinassa kolmen polttoainevarikon työntekijöillä tehdyssä tutkimuksessa työntekijöitä (altistumistaso  $85 \pm 34$  µg Pb/m<sup>3</sup>) verrattiin Wuhanin kaupungin liikennepoliiseihin (altistumistaso  $5,2 \pm 2,4$  µg Pb/m<sup>3</sup>) ja Hubein maakunnan toimistotyöntekijöihin (altistumistaso  $1,1 \pm 0,4$  µg Pb/m<sup>3</sup>) (Zhang et al., 1994). Tetraetyylilyijypitoisuudet mitattiin työpaikoilla kaksi kertaa päivässä kolmena peräkkäisenä päivänä ja tuloksista laskettiin keskiarvo. Polttoainevarikolla työskentelevillä oli selvästi enemmän vapinaa käsissä, kielessä ja silmäluomissa, kun altistumistaso ylitti 50 µg Pb/m<sup>3</sup>. Altistumistason noustessa oireet pahenivat. Lisäksi verrattuna toimistotyöntekijöihin polttoainevarikon työntekijöillä todettiin lisääntyntä sinusbradykardiaa. Tetraetyylilyijyn metaboliitti dietyylilyijy korreloi ilman tetraetyylilyijypitoisuuden kanssa: ilmapitoisuus 50 µg Pb/m<sup>3</sup> vastasi noin 25 µg/l virtsan dietyylilyijypitoisuutta ja noin 50 µg/l virtsan kokonaislyijypitoisuutta (Zhang et al., 1994).

Polttoaineita päihtymistarkoituksessa hengittäneillä tetraetyylilyijy on aiheuttanut vakavia neurotoksisia muutoksia, kuten päänsärkyä, masennusta, matalaa verenpainetta, vapinaa, hallusinaatioita, EEG-muutoksia ja henkisen kehityksen viivästymistä (ECHA 2020).

Kahdessa tetraetyylilyijylle altistuneiden työntekijöiden kuolleisuutta työssään altistumattomiin vertaileessa tutkimuksessa ei havaittu eroa ryhmien välillä, mutta osallistujien alhainen ikä ja puutteet kliinisissä tutkimuksissa vaikeuttivat johtopäätösten tekemistä (ECHA 2020a).

## **Eläinkokeiden havainnot**

### **Akuutit vaikutukset**

Tetraetyylilyijy on välittömästi myrkyllistä suun kautta, hengitysteitse ja ihon kautta (ECHA, 2020a). Suun kautta altistuessa rotilla tetraetyylilyijyn LD50-arvo on 14 mg/kg ja hengitysteitse altistuessa LC50-arvo 0,83 mg/l (ECHA, 2020a). Ihon kautta altistuessa koirilla kuolemia on todettu tetraetyylilyijyn annoksilla 547 mg/kg painokiloa kohti (ECHA, 2020a).

Tetrametyylilyijyn LC50-arvo hengitysteitse rotilla on yli 8,87 mg/l ja LD50-arvo suun kautta 90–110 mg/kg (Cremer and Callaway, 1961; DFG, 2001a). Tetrametyylilyijy on vähemmän ihotoksinen kuin tetraetyylilyijy, mutta kvantitatiivista tietoa ei ole saatavilla (DFG, 2001a).

### **Toistuvan altistuksen vaikutukset**

Subkroonisen (63-22 mg/m<sup>3</sup>, 10-35 päivää, n=10/ryhmä) ja kroonisen (12 mg/m<sup>3</sup>, 150 päivää, n=10) tetrametyylilyijyaltistuksen jälkeen ensimmäisiä myrkytyksen merkkejä rotilla olivat ärtyneisyys ja aggressiivisuus (Davis et al., 1963; DFG, 2001a). Altistuksen pitkittyessä esiintyi myös kohtauksia, jotka päättyivät koomaan ja kuolemaan. Koirilla subkroonisen (annos 12-44 mg/m<sup>3</sup>, 8-14 päivää, n=1-2/ryhmä) ja kroonisen (4 mg/m<sup>3</sup>, 84-107 päivää, n=2/ryhmä) tetrametyylilyijyaltistuksen myrkytyksen oireita olivat vapina ja pakkoliikkeet, jotka edelsivät koomaa ja kuolemaa (Davis et al., 1963; DFG, 2001a).

Kokeessa, jossa rotille annosteltiin suun kautta tetraetyylilyijyä annoksilla 0,0017 ja 0,17 mg/kg viitenä päivänä viikossa 21 viikon ajan (DFG, 2001b; Schepers, 1964), ei todettu näkyviä oireita eikä muutoksia ruumiinpainossa, mutta histologiassa löytyi selkeitä muutoksia keskushermostossa ja maksassa. Kokeessa, jossa tetrametyylilyijyä annettiin suun kautta rotille 1,08 mg/kg ruumiinpainoa kohti (n=12) (Schepers, 1964),

rotilla havaittiin perifeeristä hyperemiaa, ärtyneisyyttä ja yliaktiivisuutta. Histologisissa näytteissä havaittiin muutoksia keskushermostossa ja maksassa.

Keskushermostovaikutuksia havaittiin tetrametyylilyijyllä rotilla myös ihon alle (s.c.) annosteltuna (8,8–26,2 mg/kg ruumiinpainoa kohti, 2–28 päivää) (DFG, 2001a; Walsh et al., 1986). Selkäytimessä ja aivorungossa havaittiin muutoksia ja ääni- ja lämpöaktiivisuuteen vastaaminen oli heikentynyt. Tetraetyylilyijyllä altistetuilla marsuilla (s.c. kertaannos 42.7 mg/kg) todettiin ototoksisia vaikutuksia.

### **Genotoksisuus ja karsinogeenisuus**

Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijy eivät ole olleet mutageenisia bakteerikokeissa. Myöskään hiirillä *in vivo* ei havaittu mutageenisuutta. Tetraetyylilyijyn metaboliitilla trietyylilyijyllä on havaittu kromosomivaikutuksia banaanikärpäsillä (*Drosophila melanogaster*) (DFG, 2001b).

Puutteellisesti dokumentoidussa karsinogeenisuuskokeessa ICR-hiirillä tetraetyylilyijy aiheutti naarashiirillä pahanlaatuista lymfoomaa (DFG, 2001b). Puutteellisten tietojen takia tälle kokeelle ei voi antaa painoarvoa.

### **Lisääntymistoksisuus**

Tetraetyylilyijyn raskaudenaikaisia vaikutuksia on todettu rotilla ja hiirillä emoille myrkyllisillä pitoisuuksilla. Vaikutukset olivat alkuiden surkastumista, poikasten kasvun hidastumista sekä luutumisongelmia (DFG, 2001b). Epämuodostumia ei havaittu. Tetraetyylilyijyn NOAEL (haittaa aiheuttamaton pitoisuus) on ollut hiirillä ja rotilla 0,1 mg/kg ruumiinpainoa kohti/päivä vastaten 0,064 mg Pb/kg ruumiinpainoa kohti/päivä (DFG, 2009). Tetrametyylilyijyllä on eläinkokeissa havaittu samanlaisia vaikutuksia kuin tetraetyylilyijyllä (DFG, 2001a).

Trietyylilyijyn havaittiin aiheuttavan keskushermostovaikutuksia vastasyntyneenä altistetuilla Fischer-rotilla (Booze and Mactutus, 1990) kun trietyylilyijyä annettiin ihonalaisesti pitoisuuksilla 0, 4,5 ja 9 mg/kg ruumiinpainoa kohden (vastaten 0; 2,8; 5,6 mg Pb/kg ruumiinpainoa kohden). NOAEL-arvoa ei pystytty määrittämään.

### **Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn riskinarviointeja**

Saksalainen MAK-komitea asetti vuonna 2023 tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn ohjeraja-arvoksi (MAK-arvo) 0,004 mg Pb/m<sup>3</sup> (8 h ja 15 min vertailuaika) (DGF, 2023). Ohjeraja-arvo perustui epäorgaanisen lyijyn terveysperusteiseen ohjeraja-arvoon 0,004 mg

Pb/m<sup>3</sup>, koska dataa alkyylilyijy-yhdisteiden annos-vastesuhteista on niukasti saatavilla ja tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn metaboliassa muodostuu epäorgaanista lyijyä. Epäorgaanisen lyijyn ohjeraja-arvo oli määritetty farmakokineettisellä mallinnuksella veren lyijypitoisuuden terveysperusteisesta ohjeraja-arvosta 150 µg/l. Tällä tasolla lyijyn hermostovaikutuksia ja muita aikuiseen työntekijään kohdistuvia vaikutuksia pidetään epätodennäköisinä. Lyhytaikaisen altistumisen ohjeraja-arvo asetettiin vastaamaan 8 tunnin ohjeraja-arvoa johtuen alkyylilyijy-yhdisteiden voimakkaasta neurotoksisuudesta. Koska merkittävä altistuminen alkyylilyijy-yhdisteille ihon kautta on mahdollista, yhdisteille annettiin huomautus ”iho”. MAK-komitea totesi, että ehdotettu ohjeraja-arvo ei suojaa alkyylilyijy-yhdisteiden sikiövaikutuksilta.

Saksassa on lisäksi voimassa tetraetyyli- ja tetrametyylilyijylle vuonna 2010 asetettu sitova raja-arvo 0,05 mg Pb/m<sup>3</sup> (8 h vertailuaika) ja 0,1 mg Pb/m<sup>3</sup> (15 min vertailuaika) (AGS, 2024). Raja-arvo perustuu Zhang et al. (1994) tutkimukseen, jossa työntekijöillä ei havaittu hermostovaikutuksia altistumistason tetraetyylilyijylle alittaessa 0,05 mg Pb/m<sup>3</sup>.

MAK-komissio on asettanut tetraetyyli- ja tetrametyylilyijylle myös biologisen ohjeraja-arvon (BAT-arvo) 25 µg/l virtsan dietyylilyijynä mitattuna ja 50 µg/l virtsan kokonaislyijynä mitattuna (DFG, 1995). BAT-arvo perustui Zhang et al. (1994) tutkimukseen, jossa todettiin virtsan dietyylilyijynpitoisuuden 25 µg/l ja vitsan kokonaislyijynpitoisuuden 50 µg/l vastaavan ilman tetraetyylilyijypitoisuutta 0,05 µg Pb/m<sup>3</sup>. Tutkimuksessa myös ilmeni, että dietyylilyijy erittyy paremmin virtsaan kuin trietyylilyijy. MAK-komission suosittelee lisäksi, että veren lyijypitoisuus alkyylilyijy-yhdisteille altistuttaessa ei ylitä epäorgaanisten lyijy-yhdisteiden BAT-arvoa 150 µg/l veren lyijynä mitattuna (DGF, 2023).

### **HTP-arvon perusteet**

Altistuminen tetraetyyli- ja tetrametyylilyijylle on epidemiologisissa tutkimuksissa ja eläinkokeissa liitetty erityisesti hermostovaikutuksiin ja lisääntymisterveysvaikutuksiin. Työperäiseen altistumiseen liittyvien terveysvaikutusten vähentämiseksi työturvallisuussäännöksiä valmisteleva neuvottelukunta esittää tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn HTP-arvoksi 0,02 mg Pb/m<sup>3</sup> (8 h vertailuaika) ja 0,1 mg Pb/m<sup>3</sup> (15 min vertailuaika).

Zhang et al. (1994) tutkimuksessa polttoainevarikontyöntekijöillä ei havaittu keskushermostovaikutuksia tetraetyylilyijyn ilmapitoisuudella alle 0,05 mg Pb/m<sup>3</sup>. Koska tiedot terveysvaikutuksista ja kinetiikasta ovat vähäisiä, työturvallisuussäännöksiä valmiste-

leva neuvottelukunta esittää turvakerrointa kaksi (2) kattamaan tutkimustiedon puutteeseen ja heikkoon laatuun liittyviä epävarmuuksia. Saatu tulos pyöristetään lukuun 0,02 mg Pb/m<sup>3</sup>.

Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn sikiöön kohdistuvien kehitysneurotoksisten vaikutusten osalta ei pystytä määrittämään turvallista altistumistasoa, eli yhdisteet ovat kynnsarvottomia lisääntymiselle vaarallisia aineita.

Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijy imeytyvät helposti ihon läpi, ja niille on siksi annettu huomautus ”iho”. Lyijyaltistuminen lisää riskiä melun aiheuttamaan kuuluvaurioon, ja lyijy-yhdisteille on siksi annettu huomautus ”melu”.

### **Biologisten näytteiden ohjeraja-arvo**

Työturvallisuussäännöksiä valmisteleva neuvottelukunta esittää, että työperäiseen tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyaltistumiseen liittyviä haitallisia terveysvaikutuksia voidaan vähentää asettamalla tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn biologisten näytteiden ohjeraja-arvoksi 20 µg/l virtsan lyijynä mitattuna. Näyte otetaan työvuoron päättyessä työviikon loppupuolella.

Zhang et al. (1994) tutkimuksessa ei havaittu hermostovaikutuksia tetraetyylilyijyn ilmapitoisuuksilla alle 0,05 mg Pb/m<sup>3</sup> (8 h), joka vastasi virtsan kokonaislyijypitoisuutta 50 µg/l. Koska tiedot terveysvaikutuksista ja kinetiikasta ovat vähäisiä, työturvallisuussäännöksiä valmisteleva neuvottelukunta esittää turvakerrointa kaksi (2) kattamaan tutkimustiedon puutteeseen ja heikkoon laatuun liittyviä epävarmuuksia. Saatu tulos pyöristetään lukuun 20 µg/l.

Tetraetyyli- ja tetrametyylilyijyn sikiöön kohdistuvien kehitysneurotoksisten vaikutusten osalta ei pystytä määrittämään turvallista altistumistasoa. Raskauden aikana virtsan lyijypitoisuuden tulisi siksi pysyä alle altistumattomien viiterajan (0,9 µg/l).



**Eri asettajien ilman epäpuhtauksien raja-arvojen vertailu**

Eri maiden voimassa olevia työilman pitoisuuden raja-arvoja tetraetyyli- ja tetrametyylilyilyille:

Asettaja	Vuosi*	Vertailuaika				Huom.
		8 h		15 min		
		ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	
Suomi (HTP-arvo)	1981	-	0,075	-	0,23	Pb, iho
Ruotsi	1981	-	0,05	-	0,2	Pb, iho
Tanska		-	0,05	-	0,1	Pb, iho
Norja		-	0,075	-	-	Pb, iho
Latvia		-	0,005	-	-	tetraetyylilyilyijy, Pb
Saksa (AGS)	2010	-	0,05	-	0,1	Pb, iho
Saksa DFG	2023	-	0,004	-	0,004	Pb, iho
Belgia		-	0,1 0,15	-	-	tetraetyylilyilyijy, Pb tetrametyylilyilyijy, Pb
Espanja		-	0,1 0,15	-	-	tetraetyylilyilyijy, Pb tetrametyylilyilyijy, Pb
Iso-Britannia		-	0,075 0,1	-	-	tetraetyylilyilyijy, Pb tetrametyylilyilyijy, Pb
Itävalta		-	0,05	-	0,2	Pb, iho
Puola		-	0,05	-	0,1	tetraetyylilyilyijy, Pb, iho
Ranska		-	0,1 0,15	-	-	tetraetyylilyilyijy, Pb tetrametyylilyilyijy, Pb
Romania		-	0,01	-	0,03	tetraetyylilyilyijy, Pb
Sveitsi		-	0,05	-	0,1	Pb
Unkari		-	0,05	-	0,2	Pb, iho
USA (OSHA)			0,075			Pb, iho
USA (NIOSH)		-	0,075	-	-	Pb, iho
ACGIH	1968	-	0,1 0,15	-	-	tetraetyylilyilyijy, Pb tetrametyylilyilyijy, Pb

<b>Suomi, HTP-arvo</b>	<b>2024</b>	<b>-</b>	<b>0,02</b>	<b>-</b>	<b>0,1</b>	<b>Pb, iho, melu, kyn- nysarvoton lisää- tymiselle vaaralli- nen aine</b>
------------------------	-------------	----------	-------------	----------	------------	---

(IFA 2024, DFG 2023b, ACGIH 2024a,b)

\* Raja-arvon asettamisvuosi (jos tiedossa).

## Viitteet

ACGIH, 2024a. Tetraethyl lead. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati (OH). <https://www.acgih.org/tetraethyl-lead/>

ACGIH, 2024b. Tetramethyl lead. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati (OH). <https://www.acgih.org/tetramethyl-lead/>

ATSDR, 2020. Toxicological profile for Lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Booze, R.M., Mactutus, C.F., 1990. Developmental exposure to organic lead causes permanent hippocampal damage in Fischer-344 rats. *Experientia* 46, 292-297.

Cremer, J.E., Callaway, S., 1961. Further studies on the toxicity of some tetra and trialkyl lead compounds. *Br J Ind Med* 18, 277-282.

Davis, R.K., Horton, A.W., Larson, E.E., Stemmer, K.L., 1963. Inhalation of Tetramethyllead and Tetraethyllead. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 6, 473-479.

DFG, 1995. Tetraethyllead [BAT Value Documentation]. The MAK-Collection for Occupational Health and Safety, pp. 90-98.

DFG, 2001a. Tetramethyllead [MAK Value Documentation, 2001]. The MAK-Collection for Occupational Health and Safety, pp. 238-248.

DFG, 2001b. Tetraethyllead [MAK Value Documentation]. The MAK-Collection for Occupational Health and Safety, pp. 224-235.

DFG, 2009. Bleitetraethyl. [MAK Value Documentation in German language, 2009]. In The MAK-Collection for Occupational Health and Safety.

DFG, 2023a. Bleiverbindungen, organische. Nachtrag. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn.

DFG, 2023b. List of MAK and BAT values. Report 59. Permanent Senate Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area.

ECHA, 2020a. ANNEX 1 in support of the Committee for Risk Assessment (RAC) for evaluation of limit values for lead and its compounds at the workplace European Chemicals Agency.

ECHA, 2020b. Committee for Risk Assessment RAC Opinion on scientific evaluation of occupational exposure limits for Lead and its compounds European Chemicals Agency.

EFSA, Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)., 2010, updated 2013. Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA Journal* 8 1570.

Gerofke, A., Ulbig, E., Martin, A., Müller-Graf, C., Selhorst, T., Gremse, C., Spolders, M., Schafft, H., Heinemeyer, G., Greiner, M., Lahrssen-Wiederholt, M., Hensel, A., 2018. Lead content in wild game shot with lead or non-lead ammunition - Does "state of the art consumer health protection" require non-lead ammunition? *PLoS One* 13, e0200792.

Gulson, B.L., Palmer, J.M., Bryce, A., 2002. Changes in blood lead of a recreational shooter. *Sci Total Environ* 293, 143-150. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(02\)00003-7](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(02)00003-7)

ICSC, 2003. International chemical safety cards (ICSC). ICSC: 0008. Tetraetyyliilyijy. WHO, ILO; 2003.

ICSC, 2005. International chemical safety cards (ICSC). ICSC: 0200. Tetrametyyliilyijy. WHO, ILO; 2005.

IFA, 2024. GESTIS International Limit Values. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin.

Laidlaw, M.A., Filippelli, G., Mielke, H., Gulson, B., Ball, A.S., 2017. Lead exposure at firing ranges-a review. *Environ Health* 16, 34. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0246-0>

OSHA, 2024. Occupational chemical database. [Occupational Chemical Database | Occupational Safety and Health Administration \(osha.gov\)](https://www.osha.gov/chemical-data)

RAC, Committee for Risk Assessment and SEAC, Committee for Socio-economic Analysis., 2022. Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Lead and its compounds.

Schepers, G.W.H., 1964. Tetraethyllead and Tetramethyllead. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 8, 277-295.

Seeber, A., Kiesswetter, E., Neidhart, B., Blaszkewicz, M., 1990. Neurobehavioral effects of a long-term exposure to tetraalkyllead. *Neurotoxicol Teratol* 12, 653-655.

Suomi, J., Tuominen, P., Ranta, J., Savela, K., 2015. Riskinarviointi suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille. In: Evira, E. (Ed.) *Elintarviketurvallisuusvirasto Evira*, vol. 2/2015. Evira, Suomi.

Suomi, J., Valsta, L., Suominen, K., Tuominen, P., 2020. Riskinarviointi suomalaisten aikuisten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille sekä alumiinille. In: *Ruokavirasto (Ed.) Ruokaviraston tutkimuksia* vol. 1/2020. Ruokavirasto, Suomi.

Svensson, B.G., Schütz, A., Nilsson, A., Skerfving, S., 1992. Lead exposure in indoor firing ranges. *Int Arch Occup Environ Health* 64, 219-221. <https://doi.org/10.1007/bf00378278>

AGS, 2024. TRGS 900, fassung 17.6.2024. Technische Regeln für Gefahrstoffe. Arbeitsplatzgrenzwerte. Ausschuss für Gefahrstoffe, Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

Walsh, T.J., McLamb, R.L., Bondy, S.C., Tilson, H.A., Chang, L.W., 1986. Triethyl and trimethyl lead: effects on behavior, CNS morphology and concentrations of lead in blood and brain of rat. *Neurotoxicology* 7, 21-33.

Zhang, W., Zhang, G.G., He, H.Z., Bolt, H.M., 1994. Early health effects and biological monitoring in persons occupationally exposed to tetraethyl lead. *Int Arch Occup Environ Health* 65, 395-399.