



RUOKAVIRASTO
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

Tutkimuksia
1/2020

Riskinarviointi suomalaisten aikuisten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille sekä alumiinille



**Riskinarviointi
suomalaisten aikuisten altistumisesta
elintarvikkeiden ja talousveden
raskasmetalleille sekä alumiinille**



Erityisesti kiitämme seuraavia, aineistoja projektin käyttöön luovuttaneita asiantuntijaryhmän jäseniä sekä muita asiantuntijoita:

- Terhi Andersson (Tullilaboratorio)
- Mirja Kartio (Ruokavirasto)
- Eija-Riitta Venäläinen (Ruokavirasto)
- Jaakko Mannio (SYKE)
- Mari Lukkariniemi (Elintarviketeollisuusliitto ry)
- Tanja Nurmi (Ruokavirasto)
- Annamajja Taimisto (Valio)

Lisäksi kiitämme lämpimästi muita asiantuntija- ja yhteistyöryhmän jäseniä, projektin aikana asiantuntemustaan tarjonneita sekä raporttia kommentoineita asiantuntijoita:

- Elina Pahkala (Maa- ja metsätalousministeriö)
- Terhi Virtanen (Maa- ja metsätalousministeriö)
- Arja Lyytikäinen (Valtion ravitsemusneuvottelukunta)
- Pekka Vuorinen (Luke)
- Marika Jestoi (Ruokavirasto)
- Laura Pokki (Ruokavirasto)
- Kaija-Leena Saraste (Ruokavirasto)
- Raimo Pohjanvirta (Helsingin yliopisto)
- Marina Heinonen (Helsingin yliopisto)
- Arja Heinonen (Ruokavirasto)
- Minna Anthoni (Ruokavirasto)

Kannen kuva: Pexels (Daria Shevtsova)

Kuvailulehti

Julkaisija	Ruokavirasto
Tekijät	Johanna Suomi, Liisa Valsta, Kimmo Suominen, Pirkko Tuominen
Julkaisun nimi	Riskinarviointi suomalaisten aikuisten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille sekä alumiinille
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ruokaviraston tutkimuksia 1/2020
Julkaisuaika	03/2020
ISBN PDF	978-952-358-012-1
ISSN PDF	2490-1180
Sivuja	78
Kieli	suomi
Asiasanat	Kadmium, lyijy, arseeni, elohopea, nikkeli, alumiini, elintarvikkeet, altistuksen arviointi, saanti, aikuiset, ikääntyneet
Kustantaja	Ruokavirasto
Taitto	Ruokavirasto, käyttäjäpalvelujen yksikkö
Julkaisun jakaja	Sähköinen versio: ruokavirasto.fi

Tiivistelmä

Riskinarvioinnissa tutkittiin suomalaisten työikäisten ja eläkeläisten elintarvikkeista ja talousvedestä saamaa altistusta kadmiumille, lyijylle, arseenille, elohopealle, nikkelille ja alumiinille. Aikuisten altistus on vähäisempää kuin lasten (arvioitu aiemmin: Eviran tutkimuksia 2/2015), mutta turvallisen saannin raja ylittyi silti osalla väestöstä. Lyijyn ja epäorgaanisen arseenin saanti oli suuruusluokkaa, jolla terveyshaittojen vaikutusta ei voi sulkea pois, mutta niiden todennäköisyys on pieni tai enintään kohtuullinen. Joka viidennellä yli 45-vuotiaalla naisella osteoporoottisen murtuman riski on kasvanut kadmiumaltistuksen vuoksi, vaikka lannoitteiden kadmiumpitoisuuksia rajoitetaan kansallisesti altistuksen vähentämiseksi. Eniten eri raskasmetalleille altistuivat hedelmällisessä iässä olevat, ts. 25–45-vuotiaat, naiset. Elohopea-altistus tällä ryhmällä oli kuitenkin vähäistä.

Riskinarvioinnissa tutkittiin altistuksen suuruuden ja lähteiden lisäksi ruoankäytön havaittujen muutosten vaikutusta kuluttajien altistukseen. Finravinto-tutkimusten 2007 ja 2012 perusteella arvioidun altistuksen lisäksi tehtiin karkea arvio EAT-Lancet Commissionin suosittelman ruokavalion mahdollisesta vaikutuksesta kuluttajien altistukseen.

Beskrivning

Utgivare	Livsmedelsverket
Författare	Johanna Suomi, Liisa Valsta, Kimmo Suominen, Pirkko Tuominen
Publikationens titel	Riskvärdering av finska vuxnas exponering för tungmetaller samt aluminium via livsmedel och vatten
Publikationsseriens namn och nummer	Livsmedelsverkets forskningsrapporter 1/2020
Utgivningsdatum	03/2020
ISBN PDF	978-952-358-012-1
ISSN PDF	2490-1180
Sidantal	78
Språk	finska
Nyckelord	Kadmium, bly, arsenik, kvicksilver, nickel, aluminium, livsmedel, exponering, intag, vuxna, äldre
Förläggare	Livsmedelsverket
Layout	Livsmedelsverket, enheten för interna stödtjänster
Distribution	Elektronisk version: livsmedelsverket.fi

Referat

I riskvärderingen undersökte man hur personer i arbetsför ålder och pensionärer exponerades för kadmium, bly, arsenik, kvicksilver, nickel och aluminium i livsmedel och hushållsvatten. Vuxna exponeras mindre än barn (undersökts tidigare: Eviras undersökningar 2/2015), men hos en del av befolkningen överskreds gränsen för säkert intag. Exponeringen för bly och oorganisk arsenik var så stor att hälsolägenheter inte kan uteslutas, men sannolikheten är liten eller på sin höjd måttlig. Hos var femte kvinna som fyllt 45 år har en högre risk för osteoporotiska frakturer på grund av exponeringen för kadmium, även om kadmiumhalten i gödsel begränsas nationellt för att minska exponeringen. Mest exponerade för tungmetaller var 25–45 år gamla kvinnor. Denna grupp exponerades dock lite för kvicksilver.

I riskvärderingen undersöktes utöver exponeringens storlek och källor inverkan av förändringar i matvanor på konsumenternas exponering. Förutom bedömningen av exponeringen enligt undersökningarna Finravinto 2007 och 2012 gjordes en riktgivande bedömning av dietens eventuella inverkan på konsumenternas exponering i enlighet med EAT-Lancet Commissions rekommendation.

Description

Publisher	Finnish Food Authority
Authors	Johanna Suomi, Liisa Valsta, Kimmo Suominen, Pirkko Tuominen
Title of publication	Risk assessment on the dietary heavy metal exposure and aluminium exposure of Finnish adults
Series and publication number	Finnish Food Authority Research Reports 1/2020
Publications date	03/2020
ISBN PDF	978-952-358-012-1
ISSN PDF	2490-1180
Pages	78
Language	Finnish
Keywords	Cadmium, lead, arsenic, mercury, nickel, aluminium, food, exposure assessment, intake, adult, elderly
Publisher	Finnish Food Authority
Layout	Finnish Food Authority, In-house Services Unit
Distributed by	Online version: foodauthority.fi

Abstract

The risk assessment studied the exposure of working-age and elderly Finns to cadmium, lead, arsenic, mercury, nickel and aluminium via food and drinking water. Adults have lower exposure than children (earlier assessment: Evira's Research Reports 2/2015), but the tolerable intake threshold was still exceeded by a part of the population. The magnitude of lead and inorganic arsenic intake was such that health hazards could not be ruled out, but their probability is low or at most moderate. One in five women over the age of 45 have an elevated risk of osteoporotic fracture due to cadmium exposure, even though the cadmium content of fertilisers is subject to national restrictions designed to reduce exposure. The greatest dietary exposure to heavy metals was faced by women of fertile age, that is 25–45 years. The mercury exposure of this group was low, however.

In addition to the magnitude and sources of exposure, the risk assessment studied the impact of identified changes in eating habits on the exposure of consumers. Exposure was assessed on the basis of the Findiet 2007 and 2012 studies. A rough estimate was also made of the impact of the EAT-Lancet Commission's recommended diet on the exposure of consumers.

Sisällys

Johdanto ja tavoitteet	7
Lyhenteet ja määritelmät	9
1. Vaaran tunnistaminen ja kuvaaminen	11
1.1 Tutkittujen raskasmetallien ja alumiinin käyttäytyminen elimistössä	11
1.2 Toksikologiset vertailuarvot	13
1.3 Tutkittujen aineiden muita haittavaikutuksia	15
1.4 Kirjallisuustietoja ihmisten raskasmetallialtistuksesta	16
2. Altistuksen arviointi	19
2.1 Tutkimuksessa käytetyt elintarvikkeiden pitoisuusaineistot	19
2.2 Tutkimuksessa käytetyt ruoankäyttöaineistot	22
2.3 Aineistojen käsittelyssä käytetyt oletukset	23
2.3.1 Pitoisuusaineistoa koskevat oletukset	23
2.3.2 Arseenin ja elohopean eri muotojen laskemisessa käytetyt oletukset	24
2.4 Tilastollinen analysointi	25
3. Riskin kuvaaminen	26
3.1 Altistuksen lähteet ja suuruus	26
3.1.1 Kadmium.....	26
3.1.2 Lyijy	29
3.1.3 Epäorgaaninen arseeni.....	32
3.1.4 Epäorgaaninen elohopea.....	35
3.1.5 Metyylielohopea	37
3.1.6 Nikkeli	40
3.1.7 Alumiini	42
3.2 Vuosien 2007 ja 2012 vertailu	45
3.2.1 Ruoankäytössä tapahtuneet muutokset	45
3.2.2 Altistuksen muuttuminen iän funktiona	46
3.3 Hedelmällisessä iässä olevien naisten altistus verrattuna muihin väestöryhmiin.....	47
3.4 Arvioita ruoankäytön tulevien trendien vaikutuksesta raskasmetallialtistukseen.....	48
3.4.1 Maidon kulutus korvautuu kasvipohjaisella juomalla	49
3.4.2 Punaisen lihan kulutus korvautuu pavuilla, soijatuotteilla tai kalalla.....	50
3.4.3 Öljysiementen kulutus koko väestöryhmässä nousee tasolle 15 g/vrk	51
3.4.4 EAT-Lancet Commissionin suositus	51
4. Riskinarviointiin liittyvät epävarmuudet	55
5. Johtopäätökset	57
6. English summary	60
7. Viitteet	66
Liite 1. Raskasmetallin lähteet prosentteina	70
Liite 2. Kooste pitoisuuksista eri elintarvikeryhmissä	76

Johdanto ja tavoitteet

Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen EFSA on arvioinut, että osalla aikuisväestöä elintarvikkeista ja talousvedestä peräisin oleva altistus kadmiumille (Cd), lyijylle (Pb), arseenille (As), elohopealle (Hg), nikkelimelle (Ni) ja alumiinille (Al) saattaa ylittää näiden aineiden turvallisena pidettävän saannin (EFSA 2008, EFSA 2012 Cd, EFSA 2012 Pb, EFSA 2012 Hg, EFSA 2014, EFSA 2015). EFSA:n arviot perustuvat EU-maista, varsinkin Keski-Euroopasta, kerättyihin elintarvikkeista tai niiden raaka-aineista määritettyihin pitoisuustietoihin. Ne voivat poiketa Suomessa esiintyvistä pitoisuuksista, sillä kasveihin ja niitä syöviin eläimiin kertyviin raskasmetallimääriin vaikuttavat muun muassa maaperä, lannoitus ja kasvilajike. Siksi kansallinen arvio on tarpeen.

Erityisen kiinnostuksen kohteena hankkeessa olivat lisääntymisikäiset naiset, sillä ravinnon mukana nautitut haitalliset aineet voivat siirtyä istukan läpi sikiöön, joka on aikuista herkempi. Useilla raskasmetalleilla on pitkä viipymä elimistössä, joten sikiöön voi päätyä vähäisessä määrin jo ennen raskautta nautitussa ruoassa olleita raskasmetalleja.

Kadmium, lyijy, elohopea ja nikkeli sekä puolimetalli arseeni luetaan raskasmetalleihin. Niiden lisäksi tässä raportissa käsitellään alumiinia, jonka epäillään useiden raskasmetallien tavoin vaurioittavan keskushermostoa. Arviossa otetaan huomioon ainoastaan aineiden esiintyminen vierasaineena eli ei-toivottuna raaka-aineesta tai käsittelyprosessista elintarvikkeeseen päätyvänä aineena. Alumiinipitoisten elintarvikelisiä aineiden käyttökohteita ja sallittuja määriä on viime vuosina merkittävästi rajoitettu, joten vaikka niistä saatava altistus jöäkin tämän tutkimuksen ulkopuolelle, tämä altistuslähde on jatkuvasti pienenemässä.

Projektin tavoitteet olivat:

1. arvioida suomalaisten aikuisten altistumista tutkituille aineille (kadmium, lyijy, epäorgaaninen arseeni, epäorgaaninen elohopea, metyylielohopea, nikkeli ja alumiini) eri elintarvikeryhmien sekä talousveden välityksellä;
2. määrittää altistuksen suuruus eri väestöryhmille ja vertailla eri ryhmien altistusmääriä;
3. selvittää altistuslähteet väestölle keskimäärin sekä eniten altistuville kuluttajille, ja
4. vertailla väestön altistuksen muutosta kahtena eri ajanjaksona kerättyjen ruoankäyttötietojen avulla.

Altistuksen arvioinnissa käytettiin Suomessa elintarvikkeista tai raaka-aineista mitattuja pitoisuuksia (valvontanäytteet, aiempien projektien yhteydessä tutkitut näytteet). Tätä pitoisuusaineistoa täydennettiin eurooppalaisilla kirjallisuustiedoilla niistä elintarvikkeista, joista ei ollut saatavilla suomalaisia tuloksia. Arvioinnissa tarvittavat tiedot ruoankäytöstä oli koottu 25–74-vuotiailta suomalaisilta Finravinto-tutkimuksissa vuosina 2007 ja 2012. Ruoankäyttöaineistot olivat saatavilla enimmäkseen raaka-aineiksi eriteltyinä.

Tulosten esittämisessä on valtaosin käytetty seuraavaa ryhmittelyä:

- 25–45-vuotiaat (hedelmällisessä iässä olevat)
- 25–64-vuotiaat (sisältää edellä olevan ryhmän)
- 65–74-vuotiaat

Tässä raportissa käsitellään tutkittuja raskasmetalleja ja alumiinia yksi kerrallaan. Todellisuudessa kuluttaja altistuu samanaikaisesti usealle eri aineelle, jolloin niiden vaikutukset voivat summautua. Yhteisvaikutukset voivat olla joissakin tapauksissa jopa toisiaan vahvistavia. Aiemmissa julkaisuissamme (Suomi ym. 2015, Suomi ym. 2017) on käsitelty pilottitutkimuksen omaisesti lasten kumulatiivista altistumista usealle raskasmetallille yhtä aikaa. Aikuisten kumulatiivista altistumista tässä raportissa tutkituille aineille on tarkoitus arvioida jatkotutkimuksessa, jonka tulokset julkaistaan tieteellisenä artikkelina. Metallien yhteisvaikutuksista on toistaiseksi saatavilla niukasti tietoa, ja siksi näihin kumulatiivisiin arvioihin liittyy toksikologisen tiedon puutteista johtuvaa epävarmuutta.

Lyhenteet ja määritelmät

ATSDR	US Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Yhdysvaltain myrkyllisten aineiden ja sairauksien rekisteriä ylläpitävä virasto.
BMD	Benchmark dose. Annos tai pitoisuus, jolla vaste kasvaa etukäteen määrätyn osuuden, esim. 5 %. Vaste voi olla esimerkiksi elimellinen haittavaikutus tai elinvaurioon liitetyn merkkiaineen määrä.
BMDL	Annos-vastekuvaajan 95%:n luottamusvälin alemman käyrän BMD:tä vastaava arvo. Käytetään vertailuarvona määritettäessä TWI-arvoja tai muita toksikologisia viitearvoja.
EFSA	European Food Safety Authority. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen.
Genotoksinen	Perimämyrkyllinen; solun perimäainesta muuttava aine
iAs	Epäorgaaninen arseeni. Epäorgaanisten As(III) ja As(V) -yhdisteiden summa.
iHg	Epäorgaaninen elohopea. Epäorgaanisten elohopeayhdisteiden summa.
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. FAO:n ja WHO:n lisäaineita käsittelevä asiantuntijatoimielin.
LB	Lower bound. Määritysrajan (LOQ) alle jäävien pitoisuuksien korvaamistapa altistuslaskelmissa. LB-arvoa käytettäessä määritysrajan alle jäävät pitoisuudet korvataan arvolla 0.
LOQ	Limit of Quantification. Määritysraja. Kemiallisissa analyyseissa pienin luotettavasti määrällisesti (kvantitatiivisesti) todettavissa oleva pitoisuus. Määritellään pitoisuudeksi, jolla analyysitekniikka tuottaa kolme kertaa pohjakohinan suuruisen signaalin. Kliinisissä tutkimuksissa signaalin on oltava 10 kertaa pohjakohinan suuruinen.
MB	Middle bound. Vertaa LB. Määritysrajan alittavat pitoisuudet korvataan arvolla $0,5 * LOQ$.
MCRA	Monte Carlo Risk Assessment. Wageningen UR:n Biometris-yksikön Alankomaiden kansanterveyden ja ympäristön kansalliselle instituutille RIVM:lle kehittämä selaimella käytettävä altistuksenarviointiohjelmisto, joka perustuu Monte Carlo -tekniikkaan.

MeHg	Metyylielohopea, CH ₃ Hg.
MOE	Margin of Exposure. Altistusmarginaaliarvo. Toksikologisen viitearvon ja altistuksen suhde, esim. BMD / painokiloa kohden määritetty altistus.
NOAEL	No observed adverse effect level. Korkein tutkittu annos, joka ei aiheuta haittavaikutuksia.
Neurotoksinen	Hermostolle myrkyllinen.
P50	Mediaani. Keskiluku, joka ilmoittaa jakauman tyypillisen arvon. Keskimäinen havaintoarvo, kun havainnot on asetettu suuruusjärjestykseen.
P95	Jakauman 95. prosenttipiste. Kohta, jonka alle jää 95 % jakauman havaintoarvoista.
PTWI	Provisional Tolerable Weekly Intake. Väliaikainen siedettävä viikkosaanti. Kts. TWI.
rp	Ruumiinpaino. Esimerkiksi µg / kg rp / viikko = mikrogrammaa / ruumiin painokilo / viikko.
Tautitaakka	Tautitaakka tarkoittaa sairauksien ja ennenaikaiseen kuolemaan tai invalideettiin johtavien tekijöiden aiheuttamaa kokonaishaittaa väestössä, ja sen yksikkö haittapainotettu elinvuosi eli DALY sisältää ennen aikaisten kuolemien takia menetetyt ja sairauden takia vajaakuntoisena eleyt elinvuodet.
TDI	Tolerable Daily Intake. Siedettävä päiväsaanti eli se määrä, jonka voi turvallisesti nauttia päivittäin koko elämän ajan ilman todennäköisiä terveydellisiä haittavaikutuksia.
TWI	Tolerable Weekly Intake. Siedettävä viikkosaanti eli se määrä, jonka ihminen voi viikoittain nauttia kyseessä olevaa ainetta koko elämänsä ajan ilman todennäköisiä terveydellisiä haittavaikutuksia.
UB	Upper bound. Vertaa LB. Määritysrajan alittavat pitoisuudet korvataan määritysrajan suuruisilla arvoilla.
vrk	vuorokausi

1. Vaaran tunnistaminen ja kuvaaminen

Kadmiumin (Cd), lyijyn (Pb), puolimetalli arseenin (As), elohopean (Hg) ja nikkelin (Ni) lisäksi tässä tutkimuksessa käsitellään alumiinia (Al), joka useiden edellä lueteltujen raskasmetallien tavoin on haitallinen keskushermostolle. Koska arseenin ja elohopean eri muodoilla on erilaiset ja toksisuudeltaan toisistaan poikkeavat vaikutukset elimistöön, epäorgaaninen arseeni (iAs) on eroteltu kokonaisarseenista (As total) ja epäorgaaninen elohopea (iHg) on eroteltu metyylielohopeasta (MeHg).

Raskasmetallit ja alumiini ovat alkuaineita, joten niitä esiintyy maankuoressa paikallisesti vaihtelevina pitoisuuksina. Pitoisuuksiin vaikuttavat muun muassa maaperän koostumus ja tuliperäisyys. Lisäksi ihmisen toiminta kuten teollisuus voi lisätä alueen luontaisia maaperän pitoisuuksia. Raskasmetalleja, erityisesti kadmiumia, esiintyy myös epäpuhtauksina lannoitteissa, joissa niiden määrää valvotaan. Raskasmetallikuormaa voivat lisätä ilmalaskeumana esimerkiksi teollisuudesta kasveihin päätyvät raskasmetallit. Maaperässä esiintyvät raskasmetallit kulkeutuvat elintarvikeketjuun kasvien ja veden välityksellä: kasvavat kasvikset imevät itseensä maaperästä ja vedestä tarvitsemiensa kivennäisaineiden ohella haitallisia raskasmetalleja, vaikkakin niiden kertymisessä on kasvilajien ja jopa eri lajikkeiden välillä huomattavaa vaihtelua. Raskasmetallien kertymiseen maaperästä kasveihin vaikuttaa moni tekijä, kuten maaperän laatu, kasvilaji ja -lajike. Eläinten syödessä kasveja raskasmetallit siirtyvät niiden elimistöön. Vastaavasti vesistöissä veteen liuenneet raskasmetallit voivat kertyä kaloihin ja muihin veden antimisiin. Erityisesti (lähinnä) mikrobien metyyloima elohopea kertyy ravintoketjussa voimakkaasti. Eläimissä ja ihmisissä raskasmetallien kertyminen vaihtelee aineittain ja elimien välillä. Niillä ei ole kuitenkaan elimistössä mitään hyödyllistä tehtävää, ja ne ovat myrkyllisiä kaikille eliöille.

1.1 Tutkittujen raskasmetallien ja alumiinin käyttäytyminen elimistössä

Raskasmetallien imeytymistehokkuuteen vaikuttaa ruoankäyttö: paaston jälkeen imeytyminen esimerkiksi koetilanteessa nautitusta liuksesta on tehokkaampaa kuin elintarvikkeiden nauttimisen yhteydessä tapahtuva, ja jotkin puutostilat kuten raudan puute tai vähäinen kuidun saanti voivat lisätä raskasmetallien imeytymistä. Raudan puute vaikuttaa erityisesti kadmiumin ja lyijyn imeytymistehokkuutta lisäävästi (IPCS 1992, IARC 2006). Toisaalta esimerkiksi ravinnon suuri kalsium- tai sinkkipitoisuus voi vähentää kadmiumin imeytymistä suolistosta.

Kadmiumin, lyijyn, arseenin ja elohopean imeytymistä, kertymistä ja erittymistä sekä haitallisia vaikutuksia ihmiselimistöön on käsitelty laajasti suomalaisten lasten raskasmetallialtistusta koskevassa riskinarviointiraportissa ja sen liitteessä 1 (Suomi ym. 2015), joten tässä raportissa ei toisteta samoja asioita. Taulukossa 1 on koottuna eri raskasmetallien ja alumiinin pääasialliset kertymiselimet ihmisessä sekä metallien puoliintumisaikat ihmisessä.

Suun kautta nautitun nikkelin biosaatavuus vaihtelee ihmisillä välillä 1–40 %; heikoiten imeytyy elintarvikkeiden mukana saatu nikkeli, ja parhaiten imeytyy paaston jälkeen juomavedessä nautittu nikkeli (EFSA 2015). Toisaalla on arvioitu, että nikkelistä ei koskaan imeydy noin 30 % suurempaa osuutta edes silloin, jos kaikki nikkeli on biosaatavassa muodossa (Haber ym. 2017) ja että elintarvikkeiden mukana nautitun nikkelin tyypillinen imeytyvä määrä on 1–5% (Nielsen ym 1999).

Jyrsijöillä ja kaniineilla nikkeli kertyy erityisesti munuaisiin, lisäksi on lajikohtaisesti vaihtelevaa kertymistä suolistoon, keuhkoihin ja vereen. Ihmisten ruumiinavauksissa on havaittu korkeita nikkelpitoisuuksia lisämunuaisissa, paksusuoleissa, ihossa, keuhkoissa, kilpirauhasessa ja munuaisissa (EFSA 2015). Elintarvikkeiden lisäksi nikkeliä kertyy elimistöön myös tupakoinnista (EFSA 2015). Kertymistä havaittiin myös mm. maksaan, aivoihin ja haimaan, vaikka vähäisemmissä määrin kuin edellä mainittuihin elimiin (EFSA 2015). Ihmisellä imeytynyt nikkeli erittyy virtsaan melko nopeasti (puoliintumisaika 28 ± 9 tuntia) ja imeytymätön nikkeli poistuu ulosteiden mukana; nikkeliä erittyy myös jonkin verran äidinmaitoon (EFSA 2015).

Alumiini on maankuoren kolmanneksi yleisin alkuaine, mutta koska se esiintyy sitoutuneena, luonnonvesien alumiinipitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä. Teollisuuden päästöihin liittyvät happamat sateet 1970–1980-luvuilla liuottivat alumiinia maaperästä, ja vesistöihin joutunut alumiini aiheutti laajoja kalakuolemia (Vuorinen 2000). Happamissa olosuhteissa (pH < 5) alumiini esiintyy lähes pelkästään vapaana ionina Al^{3+} , joka on myrkyllisin alumiinimuoto.

Alumiinin biosaatavuus eli aktiivisessa muodossa tapahtuva imeytyminen ruoansulatuskanavasta on hyvin vähäistä: juomavedestä noin 0,3 % ja elintarvikkeista ilmeisesti noin 0,1 %, vaikka imeytyminen voikin vaihdella vähintään kymmenkertaisesti riippuen siitä, mitä alumiiniyhdisteitä ruoansulatuskanavassa on (EFSA 2008). Elimistön normaali alumiinitaakka on noin 30–50 mg painokiloa kohti. Tästä noin puolet on ihmisellä luurangossa, noin neljännes keuhkoissa (altistus liukenemattomille alumiiniyhdisteille hengitysilman kautta) ja loput mm. ihossa, lisämunuaisissa, veren kuljettamana aivoissa, ja useimmissa pehmytkudoselimissä. Alumiinia voi kulkeutua myös sikiöön ja äidinmaitoon (EFSA 2008). Imeytynyt alumiini, joka kulkeutuu veressä, erittyy pääosin virtsassa ja vähäisemmässä määrin sappinesteen mukana ulosteissa (EFSA 2008). Veriplasmassa valtaosa alumiinista on sitoutuneena transferriniin, ja viitisen prosenttia on munuaisten kautta erittyvässä muodossaan eli sitraattina, joka on myös pääasiallinen aivo-selkäydinnesteessä ja aivojen kudosteissa esiintyvä alumiinikomponentti (Yokel 2012).

Alumiinin poistuminen elimistöstä tapahtuu monivaiheisen prosessin kautta. Isotooppileimatulla alumiinilla tehdyissä injektiokokeissa ihmisillä havaittiin, että ensimmäisen vuorokauden aikana erittyi noin 59 % annoksesta ja viiden vuorokauden jälkeen elimistöissä oli jäljellä 27 % alkuperäisestä annoksesta. Tämän loppuannoksen poistuminen elimistöstä oli hyvin hidasta, ja poistumaan vaikuttaa ilmeisesti useita erillisiä prosesseja, minkä vuoksi tutkimuksissa on havaittu useita toisistaan poikkeavia puoliintumisaikoja. Yhdellä koehenkilöllä tehdyssä jatkoseurannassa arvioitiin pisimmän puoliintumisaajan olevan jopa 50 vuotta, ja ihmisen koko elimistöissä alumiinin puoliintumisaikaksi on siitä arvioitu sama 50 vuotta (EFSA 2008). Myös rottakokeissa alumiinin poistuma elimistöstä on hidasta: suoneen injektiona annetun ja aivoihin päätyneen alumiinin puoliintumisaika ylittää rotan tyypillisen elinajan (EFSA 2008).

Taulukko 1. Tutkitut aineet, niiden kertyminen ihmisen elimistöön ja biologinen puoliintumisaika

Aine	Elimet, joihin kertyy (erityisesti)	Puoliintumisaika elimistössä (ihminen)
Cd	Munuaiset (munuaistiehyt), maksa	7–30 v (Sand & Becker 2012), munuaisissa
Pb	Aivot (sikiöaikana), luusto, pehmytkudokset, punasolut. Valtaosa lyijykuormasta luurangossa (Gundacker ym 2010)	yli 20 v kortikaalisessa luussa, 2–8 v hohkaluussa, n. 1 kk veressä ja pehmytkudoksissa (IARC 2006); aivoissa n. 2 v (Flora ym 2011)
iAs	Munuaiset, virtsarakko, iho, hiukset ja limakalvot	1–4 vrk
iHg	Munuaiset, aivot (veriaivoesteen läpi MeHg:na)	60 vrk munuaisissa (ATSDR 1999)
MeHg	Aivot, veri, hiukset	70–80 vrk (Virtanen ym 2007)
Ni	Munuaiset ja lisämunuaiset, keuhkot, kilpirauhanen	alle 2 vrk (28 ± 9 tuntia) (EFSA 2015)
Al	Valtaosa alumiinikuormasta luurangossa (EFSA 2008), mutta alumiini kertyy iän myötä myös keskushermostoon (Exley 2014)	Monivaiheinen: yli puolet 1. vrk aikana, mutta koko elimistössä puoliintumisaika jopa 50 v (EFSA 2008)

1.2 Toksikologiset vertailuarvot

Tässä raportissa altistusta verrataan EFSA:n määrittämiin siedettävän viikkosaannin enimmäisarvoihin (TWI, tai väliaikainen siedettävän viikkosaannin enimmäisarvo PTWI), siedettävän päiväsaannin enimmäisarvoihin (TDI) tai BMDL-arvoihin. BMDL-arvot ovat kynnyksarvon (benchmark dose) 95 %:n luottamusvälin alarajoja, ja alaindeksi kertoo prosenttiosuuden, jonka verran haittavaikutuksen riski on kohonnut altistumattoman väestön perustasosta. TWI- tai TDI-arvot ja BMDL-arvot eivät ole suoraan verrattavissa toisiinsa, sillä TWI/TDI on määritelmän mukaan kuluttajalle turvallinen annos. Lyijylle ja arseenille, joille ei ole määritetty tällaista turvallista annosta, lasketaan myös altistusmarginaali (MOE, margin of exposure) jakamalla benchmark dose ruumiin painokiloa kohden määritetyllä altistuksella.

Kadmiumille määritetty TWI 2,5 µg/kg rp/viikko (EFSA 2009 Cd) perustuu munuaistiehyille aiheutuvaan vaurioon, jonka merkkiaineena on käytetty pienimassaista proteiinia, beeta-2-mikroglobuliinia. TWI on asetettu tasolle, jolla 95 %:lla tutkituista naisista virtsaan erittyvän kadmiumin pitoisuus jää 50 vuoden ikään asti alle kriittisen pitoisuuden 1 µg kadmiumia / g kreatiniinia. Virtsan kadmiumipitoisuus esitetään suhteessa elimistön jatkuvasti tuottamaan ja virtsaan erittyvään kreatiniiniin, jotta virtsan laimeudella ei olisi vaikutusta. EFSA määrittä meta-analyysistä beeta-2-mikroglobuliinin erittymiselle BMDL₅-arvoksi 4 µg Cd / g kreatiniinia, mikä jaettiin yksilöiden välisen vaihtelun huomioivalla korjauskertoimella 3,9.

Kadmiumaltistus on liitetty myös lisääntyneeseen osteoporoosin riskiin, mutta eri tutkimukset antavat eri suuruista rajoja riskin kasvuun riittävälle altistukselle. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Suwazono ym. 2010) määritettiin 53–64-vuotiaita naisia koskevasta kohortista aamuvirtsan kadmiumipitoisuus ja heikomman käden luuntiheys, joiden välinen yhteys mallinnettiin. Kadmiumaltistukseen liittyvän luuntiheyden vähenemisen BMDL₅-arvoksi määritettiin virtsan kadmiumipitoisuus 1,6 µg/g kreatiniinia.

Toisessa ruotsalaisessa kohorttitutkimuksessa aineistona olivat mammografiakohortin 56–69-vuotiaat naiset ja kadmiumaltistusta selvitettiin sekä virtsan kadmiumista että elintarvikkeiden nauttimisen yleisyyttä koskevalla kyselylomakkeella eli FFQ:lla (Engström ym 2011). Tupakointi lisää kadmiumaltistusta, mutta nämä naiset eivät olleet koskaan polttaneet. Tutkimuksessa verrattiin suhteellista tautipainetta kahdessa ryhmässä. Ensimmäisen ryhmän naisilla kadmiumaltistus virtsan kadmiumina mitattuna ylitti 0,75 µg/g kreatiniinia, ja toisessa ryhmässä kadmiumaltistus oli alle 0,50

µg/g kreatiniinia. Suhteellinen tautipaine (odds ratio) reisiluun kaulan murtumalle oli ensimmäiselle ryhmälle 3,47-kertainen ja lonkan tai selkärangan murtumalle 4,24-kertainen toiseen ryhmään verrattuna.

Kiinalaisessa populaatiotutkimuksessa osteoporoosin BMDL₁₀-arvoksi naisille määritettiin 0,76 µg kadmiumia / g kreatiniinia ja BMDL₅-arvoksi 0,17 µg Cd / g kreatiniinia. Tässä tutkimuksessa aineistoon kuului sekä naisia että miehiä ikähaarukassa 40–80 vuotta, ja osteoporoosia tutkittiin röntgenabsorptiometrialla tehdyin luun tiheysmittauksin (Lv ym. 2017).

Virtsan kadmiumpitoisuus ja suun kautta saatu kadmiumaltistus voidaan suhteuttaa toisiinsa. EFSA:n raportissa (2011) esitetyn kuvaajan pohjalta arvioiden 0,76 µg Cd / g kreatiniinia vastaa altistusta noin 0,273 µg/kg rp/vrk ja 0,5 µg Cd / g kreatiniinia vastaa noin 0,18 µg/kg rp/vrk. Vaikka Lv ym. (2017) ja Engström ym. (2011) arvot eivät ole yhtä virallisesti hyväksytyjä kuin EFSA:n määrittämä TWI, tässä raportissa arvioidaan myös, kuinka suurella osuudella tutkitusta (nais)väestöstä altistus ylittää osteoporoosiriskin kasvuun liitetyt annokset.

Lyijyn aiheuttamille kriittisille vaikutuksille ei ole kynnyсарvoa, jota voitaisiin pitää turvallisen saannin viitearvona. EFSA on määrittänyt useita BMDL-arvoja eri vaikutuksille. Pienin BMDL-arvo, lasten kehityksenaikaisen neurotoksisuuden BMDL₀₁, on suuruudeltaan 0,50 µg/kg rp/vrk, mikä vastaa veren lyijypitoisuutta 12 µg/l. Aikuisväestölle munuaisvaurion BMDL₁₀ on 0,63 µg/kg rp/vrk (15 µg/l) ja sydän- ja verenkiertoelimistön vaurioille BMDL₀₁ on 1,50 µg/kg rp/vrk (36 µg/l) (EFSA 2010). Munuaisvaurion merkinä arvioitiin munuaiskerästen suodatusnopeutta, jonka kriittisenä arvona pidettiin nopeuden vähenemistä alle 60 ml/min, ja sydän- ja verenkiertoelimistöön kohdistuvien haittavaikutusten mittarina oli systolisen verenpaineen kohoaminen 1 %:lla joko vuotuisesti yksilötasolla mitattuna tai keskimäärin koko tutkimusväestössä.

Epäorgaaniselle arseenille ei liioin ole turvallisen saannin viitearvoksi kelpaavaa kynnyсарvoa. Arvioihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi EFSA päätyi määrittämään yhden luvun sijasta arvovälin: BMDL₀₁ epäorgaaniselle arseenille on 0,3–8,0 µg/kg rp/vrk (EFSA 2009 As). Arvio perustuu keuhko-, virtsarakko- ja ihosyövän esiintymisriskin kasvuun sekä ihon haavaumien kehittymiseen. Pienin BMDL-arvo määritettiin keuhkosyövän riskin 1 %:n kasvulle. WHO:n ja FAO:n yhteinen asiantuntijaelin JECFA määrittä iAs:lle BMDL_{0,5}-arvon eli alemman todennäköisyysrajan annokselle, joka lisää 0,5 %:lla keuhkosyövän esiintymisriskiä. Sen suuruudeksi määritettiin 3,0 µg/kg rp/vrk (luottamusväli 2–7 µg/kg rp/vrk), eli kymmenkertainen annos EFSA:n määrittämään alarajaan nähden (JECFA 2011).

Metyylielohopealle määritetty TWI-arvo 1,3 µg elohopeaa/kg rp/viikko (EFSA 2012 Hg) perustuu keskushermostovaurioiden syntyyn. Niitä on arvioitu lapsen älyllisen kehityksen häiriintymisen eli sikiöaikaisesta altistuksesta johtuvien kognitiivisten vaikeuksien lisääntymisen perusteella. Elohopea-altistus TWI-arvon taustalla arvioitiin äitien hiuksiin kertyneen elohopean pohjalta.

Epäorgaaniselle elohopealle määritetty TWI 4 µg/kg rp/viikko (EFSA 2012 Hg) perustuu rottakokeessa havaittuun munuaisvaurion kehittymiseen, ja arvo on määritelty eläimen munuaisten painon kasvulle lasketusta BMDL₁₀-arvosta.

Alumiinille määritetty TWI perustuu kehityksenaikaisiin hermostollisiin vaurioihin ja lisääntymiselimistön vaurioihin. JECFA määrittä vuonna 2006 ruoassa vierasaineena esiintyvälle alumiinille ja lisäainelähteistä saatavalle alumiinille PTWI-arvon 1 mg/kg rp/viikko (JECFA 2006). Vuonna 2011 JECFA muutti eläinkokeessa haittavaikutuksia aiheuttamattomasta annoksesta (NOAEL) lasketuksi PTWI-arvoksi 2 mg/kg rp/viikko, mutta EFSA pitäytyi tiukemmassa TWI-arvossa 1 mg/kg rp/

viikko eli 1 000 µg/kg rp/viikko (EFSA 2012 AI). Arvo perustuu tutkimukseen, jossa kehityksenaikaisen neurotoksisuuden NOAEL-arvo hiirellä oli 10 mg/kg rp/vrk ja LOAEL-arvo 50 mg/kg rp/vrk. TWI-arvon määrittämiseksi haittavaikutuksia aiheuttamaton annos NOAEL jaettiin turvakertoimella 100 ja alin haittavaikutuksen aiheuttava taso LOAEL jaettiin turvakertoimella 300.

Nikkelille on määritetty kaksi erilaista raja-arvoa. Pitkäaikaisen altistuksen turvalliseksi tasoksi muilla kuin nikkeliallergisilla on määritetty TDI-arvo 2,8 µg/kg rp/vrk (EFSA 2015). Lyhytaikaisen altistuksen vertailuarvona käytetään nikkeliallergikkojen oireiden pahenemisen BMDL₁₀-arvoa 1,1 µg/kg rp/vrk (EFSA 2015). Kosketusallergiaa nikkelistä saavat ihmiset voivat näet EFSA:n mukaan saada ihottumaa käsiinsä myös suun kautta altistuttuaan, vaikkakin koejärjestely oli tehty olosuhteissa, joissa nikkelin imeytyminen oli tavallista tehokkaampaa (nikkeliyliherkät koehenkilöt olivat paastonneet ja saivat ainetta pillereinä); ruoan mukana ja muuten kuin paaston yhteydessä nautittuna nikkelistä imeytyy 1–40 %. Nikkelin TDI-arvon pohjana oleva BMDL₁₀ (0,28 mg/kg rp/vrk) perustui eläinkokeisiin kehityshäiriöistä, jotka ilmenivät sikiöiden luomisena tai lisääntyneenä pentukuolleisuutena; lisäksi hiirillä tutkittiin uroksen hedelmällisyyteen vaikuttavia tekijöitä kuten sperman liikkuvuutta / vaurioita ja sukupuolielinten histopatologisia muutoksia.

Haber ym. (2017) ovat kuitenkin määrittäneet samasta rottakoeaineistosta erilaisella mallinnuksella nikkelille huomattavasti EFSA:n käyttämää arvoa suuremmat vertailuarvot suun kautta tapahtuvalle altistukselle (toksisuuden vertailuarvot TRV): 20 µg/kg rp/vrk. Tutkittuna vaikutuksena oli tiineyden keskeytyminen yhden sukupolven tai kahden sukupolven eläinkokeissa, ja BMDL-arvoksi valittiin parhaiten aineistoon sopivan mallin mukainen BMDL₀₅ 1,8 mg/kg rp/vrk, kun EFSA valitsi raja-arvonsa pohjaksi mallisovituksen, joka tuotti pienimmän BMDL-arvon. Tässä riskinarvioinnissa altistusta verrataan pääasiassa EFSA:n raja-arvoihin, mutta tuloksissa esitetään myös Haberin vertailuarvon ylittävä osa väestöstä vuoden 2012 altistusarvioiden perusteella.

Epidemiologisissa tutkimuksissa on selvitetty nikkelin vaikutuksia lisääntymiseen Kuolan niemimaalla asuvien joukossa. EFSA:n asiantuntijapaneeli totesi, ettei tuoreimmissa kohorttitutkimuksissa ole havaittu yhteyttä suun kautta tapahtuvan nikkelialtistuksen ja lisääntymiseen tai kehitykseen kohdistuvien haittavaikutusten välillä ihmisillä (EFSA 2015). Haber ym. (2017) totesivat mm. työperäisen altistuksen vaikutuksia koskevan tutkimuksen ja siinä ihmisiltä mitattujen suurimpien virtsan nikkelipitoisuuksien pohjalta, että turvakerron 100 eläinkokeen ja ihmisten välillä on hyvin varovainen ja kerroin 50 voisi jo antaa riittävän suojan. Heidän määrittämänsä vertailuarvo 20 µg/kg rp/vrk on laskettu BMDL₀₅-arvosta turvakertoimella 100. Tutkimuksessa painotettiin myös sitä, että suurin osa eläinkokeen altistuksesta saatiin veden mukana eli paremmin imeytyvässä muodossa kuin elintarvikkeista.

1.3 Tutkittujen aineiden muita haittavaikutuksia

Vaikka IARC on luokitellut useimmat raskasmetallit syöpää aiheuttaviksi tai ihmiselle mahdollisesti syöpää aiheuttaviksi, havainnot perustuvat valtaosin työperäiseen altistukseen ja täten muihin reitteihin kuin ruoan ja juoman mukana tapahtuvaan altistukseen. Esimerkiksi nikkeli (IARC 2012) on liitetty hengitysteiden syöpien esiintymiseen ihmisillä ilmateitse tapahtuvan altistuksen seurauksena. Epäorgaaniset arseeniyhdisteet (EFSA 2009 As), kadmium (EFSA 2009 Cd), nikkeli (EFSA 2015) ja joissakin kokeissa myös metyylielohopea (EFSA 2008 Hg) on todettu genotoksisiksi, mutta vaikutusmekanismista johtuen genotoksisuudella on kynnysarvo. EFSA:n asiantuntijapaneeli pitää epätodennäköisenä, että elintarvikeperäinen altistus muille raskasmetalleille aiheuttaisi syöpää, mutta epäorgaanisen arseenin tapauksessa on yhteys juomaveden arseenipitoisuuden ja syöpien esiintymisen välillä.

Vertailtaessa saastuneilla (suuri ympäristöperäinen raskasmetallialtistus ruoasta saatavan ohella) alueilla asuvia naisia vähemmän saastuneilla alueilla asuviin on havaittu raskasmetallialtistuksen suuruuden olevan käänteisesti yhteydessä veren luteinisoivan hormonin pitoisuuksiin ja yhteydessä kohdun sidekudoskasvaimiin sekä kypsien munasolujen määrän vähenemiseen aikuisilla naisilla. (Rattan ym. 2017) Hedelmällisyyden häiriöissä useimmin esiin nousevat raskasmetallit ovat lyijy (Rahman ym 2013) ja elohopea (Cole ym 2006) (Dickerson ym 2011) sekä kadmium (Flora ym. 2011). Näiden lisäksi on hyvin suuren (juomavedestä saadun) arseenialtistuksen havaittu liittyvän lapsikuolleisuuden kasvuun (Rahman ym 2010). Kaikissa tutkimuksissa ei silti ole havaittu yhteyttä ihmisen veren raskasmetallipitoisuuksien ja hedelmättömyyden tai keinohedelmöityksen onnistumisasteen välillä. Ristiriitaiset tulokset ovat tyypillisiä epidemiologisille tutkimuksille, koska kaikkia häiritseviä tekijöitä ei ole mahdollista poistaa, eri populaatioilla saattaa olla geneettistä syistä esimerkiksi erilainen herkkyys raskasmetalleille, ja tutkimuksissa myös otoskoot voivat vaihdella.

Elohopean siedettävän viikkosaannin enimmäisarvo on määritetty sikiöaikaisen altistuksen ja hermostollisten vaurioiden välisen yhteyden pohjalta, sillä sitä koskeva näyttö on vahvaa. Metyylielohopea-altistuksen yhteydestä sydän- ja verisuonitautiriskin kasvuun ei ole yhtä vahvaa näyttöä (EFSA 2012 Hg). Rottakokeissa on havaittu metyylielohopea-altistuksen heikentävän immuunijärjestelmän toimintaa (EFSA 2012 Hg), mutta siedettävän viikkosaannin suuruudella altistuksella on vielä 40-kertainen marginaali annoksiin, joilla eläinkokeissa havaittiin 5 %:n heikkeneminen vasta-aineiden määrässä. Näiden tulosten valossa ei voida silti väittää, että seniorien metyylielohopea-altistus olisi terveyden kannalta merkitykseltöntä, vaikka nykytiedon perusteella ei voida määrittää tarkkaa arviota tämän ikäryhmän riskille.

Eläinkokeissa suurten nikkeliannosten on havaittu vaurioittavan munuaisia (esim. narttukoirilla 2-vuotisessa kokeessa munuaisten painon kasvu ja osalla yksilöistä runsasvirtsaisuutta (ATSDR 2005)), mikä liittyy luultavasti nikkelin kertymiseen munuusiin (EFSA 2015). Lisäksi eläinkokeissa nikkeli on liitetty hemoglobiinin määrän laskuun ja ruumiinpainon kasvun hidastumiseen (ATSDR 2005). Pitkän aikavälin altistuksesta johtuvia keskushermostovaikutuksia ei ole juuri löydetty: Wistar-rotilla tehdyssä kaksivuotisessa kokeessa NOAEL oli 187,5 mg/kg rp/vrk ja narttukoirilla 62,5 mg/kg rp/vrk; LOAEL-arvoa ei ole (ATSDR 2005 viitteinen). Ihmisillä on havaittu työperäisissä myrkytystapauksissa myös hermostollisia oireita (ATSDR 2005), joten keskushermostovaikutusten mahdollisuutta ei voi sulkea pois, vaikka elintarvikkeista saatavina määrinä niitä ei esiinnykään.

Muista lähteistä kuin elintarvikkeista tai juomavedestä tuleva alumiinialtistus on yhdistetty enkefalopatiaan (dialyysipotilailla havaittuja myrkytystiloja) ja rintasyövän riskiin (Klotz ym 2017).

Alumiini sitoutuu kalsiumin asemasta erityisesti luun muodostumis- ja uusiutumisalueille ja siten häiritsee luun muodostusta (Yokel 2013). Näin luusta tulee haurasta ja altista murtumille. Annosvastetta murtumariskin kasvulle ei ole ilmeisesti kuitenkaan määritetty. Alumiini on myös yhdistetty Alzheimerin tautiin: meta-analyyssissä havaittiin pitkäaikaisen (työperäisen tai korkeiden juomaveden pitoisuuksien kautta tapahtuvan) alumiinialtistuksen lisäävän Alzheimerin taudin puhkeamisen todennäköisyyttä 71 % (Wang ym. 2016).

1.4 Kirjallisuustietoja ihmisten raskasmetallialtistuksesta

Ravinnosta saatavaa raskasmetallialtistusta on arvioitu sekä EFSA:n tutkimuksissa että kansallisten viranomaisten tai tutkijaryhmien useissa eri julkaisuissa. Tässä kappaleessa keskitytään EFSA:n arvioihin ja täydennetään niitä joillakin kansallisilla arvioilla. EFSA on käyttänyt altistuksen arvioissaan kansallisia ruoankäyttötietoja, Suomen osalta samaa Finravinto 2007 -aineistoa

kuin tässä tutkimuksessa, mutta pitoisuustiedot ovat EU-maista EFSA:n tietokantaan kootuista viranomaisnäytteistä. Näiden tulokset painottuvat Keski-Euroopan maihin. Sekä EFSA:n tietokannan että tämän tutkimuksen aineistot ovat suurelta osin peräisin kohdennetusta seurannasta, jolloin näytteiden pitoisuudet voivat olla suurempia kuin alueen keskimääräiset pitoisuudet.

Taulukossa 2 on EFSA:n raporteista sekä eräistä muista julkaisuista koottuja arvioita eri kuluttajaryhmien altistuksesta. Osa tiedoista perustuu eri menetelmillä kerättyihin aineistoihin. Ruokakoritutkimus on haastattelututkimuksia epätarkempi menetelmä ruoankäytön selvittämiseen, kun taas kokonaisruokavaliotutkimuksessa pitoisuudet määritetään syöntivalmiista (esim. kuorittu, kypsennetty) elintarvike-kokoomanäytteistä. Yksinkertaistaen sanottuna yksi kokoomanäyte voi edustaa esimerkiksi kaikkia ko. maassa käytettyjä eri leipiä, ja eri leipätyyppien suhteelliset osuudet määräytyvät kansallisten ruoankäyttötietojen pohjalta. EFSA:n raporteissa ja tässä tutkimuksessa valtaosin käytetyt viranomaisnäytteet sen sijaan ovat enintään tuote-eräkohtaisia kokoomanäytteitä ja ne on analysoitu useimmiten kypsentämättöminä. Eri menetelmillä saatujen tulosten eroja havainnollistamaan on taulukkoon 2 poimittu Ranskan kokonaisruokavaliotutkimus ja EFSA:n arvio ranskalaisten altistuksesta ja vastaavasti Ruotsin ruokakoritutkimus ja EFSA:n arvio ruotsalaisten altistuksesta. Suomen tulosten suhteuttamiseksi on taulukossa myös EFSA:n arvioiden mediaani.

Toksikologisiin vertailuarvoihin (TWI, TDI tai alin BMDL) verrattuna EFSA:n määrittämät suomalaisten aikuisten altistuksen 95. prosenttipisteet ylittävät vertailuarvot kaikilla muilla tutkituista aineista paitsi epäorgaanisella elohopealla, ja keskiarvoaltistus lyijylle ja nikkeliä on aineiden vertailuarvojen tuntumassa. Alumiinille EFSA ei ole laskenut altistusta samalla tavoin kuin muille tutkituista aineista, joten se puuttuu taulukosta.

Metyylielohopea-altistus ylittää EFSA:n (2012 Hg) arvion mukaan TWI-arvon osalla aikuisväestöä. Suomalaisten aikuisten 95. prosenttipiste (MB) arvioitiin olevan 2,03 µg/kg rp/viikko eli noin puolitoista kertaa TWI-arvon suuruinen.

Taulukko 2. Kirjallisuudessa esitettyjä arvioita eurooppalaisten aikuisten tai koko väestön elintarvikeperäisestä altistumisesta tutkituille metalleille. Kaikki arvot on esitetty yksikössä µg/kg rp/vrk. Aineen kemiallisen merkin jäljessä on niiden toksikologinen vertailuarvo samassa yksikössä. Määritysrajan alle olevat pitoisuudet on korvattu LB-skenaariossa nolilla, UB-skenaariossa määritysrajaa vastaavina pitoisuuksina ja MB-skenaariossa puolta määritysrajasta vastaavina pitoisuuksina.

Tutkittu väestöryhmä ja skenaario [§]	MeHg							Viite
	Cd 0,36	Pb 0,50	iAs 0,30	iHg 0,57	0,19	Ni 2,8	Al 142,9	
Ruotsalaiset, ruokakoritutkimus per capita [#] (aikuisen keskiarvopainola 76,6 kg)	0,19	0,083	0,033 (As 0,84)	0,020	0,018	1,7	16	Darnerud ym. 2017
Ranskalaiset, kokonaisruokavaliotutkimus, keskiarvo (MB) [*]	0,16	0,20	0,24 – 0,28	0,006 – 0,18	0,017	2,33	40,34	ANSES 2011
Ruotsalaiset aikuiset, keskiarvo (MB) ^{**}	0,25	0,49	0,25	0,074	0,041	3,2	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015
Ranskalaiset aikuiset, keskiarvo (MB) ^{**}	0,26	0,46	0,25	0,051	0,049	3,1	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015

Tutkittu väestöryhmä ja skenaario [§]	Cd 0,36	Pb 0,50	iAs 0,30	iHg 0,57	MeHg 0,19	Ni 2,8	Al 142,9	Viite
EU-maiden aikuisväestö (18-64v, kansallisten MB-keskiarvojen mediaani)**	0,25	0,50	0,23	0,059	0,034	3,1	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015
Suomalaiset aikuiset (25-64v), keskiarvo LB/MB/UB. Finravinto 2007 kulutuksella.**	0,17 / 0,22 / 0,26	0,47 / 0,54 / 0,60	0,11 / 0,20 / 0,28	0,029 / 0,051 / 0,074	0,051 / 0,051 / 0,053	2,4 / - / 3,0	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015
Suomalaiset aikuiset (25-64v), P95 LB/MB/UB. Finravinto 2007 kulutuksella.**	0,32 / 0,37 / 0,43	0,81 / 0,92 / 1,01	0,18 / 0,32 / 0,47	0,090 / 0,115 / 0,146	0,29 / 0,29 / 0,29	4,5 / - / 5,4	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015
Suomalaiset eläkeläiset (65-74v), keskiarvo LB/MB/UB. Finravinto 2007 kulutuksella.**	0,16 / 0,20 / 0,23	0,42 / 0,49 / 0,56	0,09 / 0,16 / 0,24	0,031 / 0,050 / 0,069	0,067 / 0,067 / 0,069	2,0 / - / 2,6	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015
Suomalaiset eläkeläiset (65-74v), P95 LB/MB/UB. Finravinto 2007 kulutuksella.**	0,30 / 0,37 / 0,43	0,68 / 0,78 / 0,88	0,16 / 0,28 / 0,40	0,099 / 0,120 / 0,156	0,36 / 0,36 / 0,36	3,6 / - / 4,4	ei määr.	EFSA 2012 Cd, Hg, Pb; 2014; 2015

[§] Ruokakoritutkimus, kokonaisruokavaliotutkimus ja ruoankäyttöhaastattelujen tai ruokapäiväkirjojen pohjalta toteutettu altistuksen arviointi ovat menetelmällisesti erilaisia, joten niiden tuloksia ei voi suoraan verrata keskenään.

[#] Elohopea raportoitu kokonaiselohopeana eri elintarvikeryhmistä. EFSA 2012 Hg tapaan kalojen elohopean oletettiin olevan 100 % MeHg ja 20 % iHg ja muiden lähteiden 100 % iHg.

^{*} iAs osalta arvoissa alempi on pienin ja ylempi korkein oletus epäorgaanisen arseenin osuudesta kokonaisarseenista, iHg osalta arvot ovat LB ja UB

^{**} Ni osalta on ilmoitettu kroonisen altistuksen arvo ja MB on keskiarvo LB- ja UB-tuloksista

Suomalaisten aikuisten raskasmetallialtistusta on tutkittu elintarvikkeiden pitoisuuksista ja ruoankäytöstä laskettujen määrien lisäksi myös toisesta näkökulmasta, nimittäin veressä esiintyviä pitoisuuksia mittaamalla. Veren raskasmetallipitoisuuksiin voi vaikuttaa elintarvikeperäisen altistuksen lisäksi esimerkiksi tupakoinnista aiheutuva altistus keuhkojen kautta. Abass ym. (2017) selvittivät suomalaisten aikuisten veren As-, Cd-, Pb- ja Hg-pitoisuuksien yhteyttä ruokavalioon, elintapoihin ja sosiodemografisiin tekijöihin 249 aikuista kattaneella otoksella. Myös veren eri raskasmetallien pitoisuuksien keskinäistä korrelaatiota selvitettiin samassa tutkimuksessa. Naisilla havaittiin merkitsevä korrelaatio arseenin ja elohopean pitoisuuksien välillä ja molemmilla sukupuolilla lyijyn ja elohopean sekä kadmiumin ja lyijyn pitoisuuksien välillä. Tupakoijilla veren kadmium- ja lyijypitoisuudet olivat merkitsevästi suuremmat kuin tupakoimattomilla, ja matalampi koulutustaso korreloi merkitsevästi veren suuremman kadmiumpitoisuuden ja lähes merkitsevästi lyijypitoisuuden kanssa.

2. Altistuksen arviointi

Altistuksen arvioinnissa käytettiin yksilöllisiä ruoankäyttötietoja, joissa kukin tutkimuspäivä ja kukin syöty elintarvikkeen raaka-aine oli eroteltu, sekä pääosin näytetasolla esitettyjä pitoisuustietoja vastaavista elintarvikkeen raaka-aineista. Ruoankäyttötietojen taustatietona oli kunkin henkilön ikä, paino ja sukupuoli, ja Finravinto 2007-aineistossa lisäksi asuinmaakunta, perheko ko ja koulutustaso. Kulutus- ja pitoisuustiedot yhdistettiin todennäköisyyspohjaisesti eli probablistisesti. Alla kuvaillaan aineistoja ja menetelmiä tarkemmin.

2.1 Tutkimuksessa käytetyt elintarvikkeiden pitoisuusaineistot

Kadmiumin, lyijyn, arseenin ja elohopean pitoisuusaineiston pohjana oli aiemmassa, suomalaisten lasten raskasmetallialtistusta selvittäneessä hankkeessa (Suomi ym. 2015) koottu aineisto elintarvikkeissa esiintyvistä pitoisuuksista. Sitä täydennettiin tähän hankkeeseen seuraavasti: Yhteistyö- ja asiantuntijaryhmälle esitetyn tietopyynnön avulla saatiin hankkeen käyttöön uusimpia valvonta- ja tutkimusnäytteiden tuloksia Evirasta (mm. tutkimuksessa Airaksinen ym 2018 julkaistut raskasmetallipitoisuudet) ja Tullilaboratoriosta sekä Elintarviketeollisuusliitto ETL ry:n kautta teollisuuden (anonymisoiduista) omavalvontanäytteistä. Nämä analyysitulokset koskivat kaikkia tässä hankkeessa tutkittuja metalleja. Lisäksi tiedon puutteita paikattiin kirjallisuudella, jonka valinnassa painotettiin EFSA:n julkaisemia arvoja. Taulukko 3 osoittaa elintarvikeryhmätasolla, mistä lähteistä pitoisuustietoja oli käytössä. Vähiten aineistoja oli saatavilla alumiinista, josta ei ole julkaistu samanlaista EFSA:n riskinarviointia kuin muista tutkituista metalleista. Talvivaara-tutkimusten (raportti Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2016) yhteydessä mitattuja kalojen alumiinipitoisuuksia ei hyödynnetty hankkeessa, koska ne eivät ehkä kuvastaisi luotettavasti luonnontilaisten vesialueiden alumiinipitoisuuksia.

Kadmiumista (EFSA 2012 Cd), lyijystä (EFSA 2012 Pb), epäorgaanisesta arseenista (EFSA 2014), elohopeasta (EFSA 2012 Hg) ja nikkelistä (EFSA 2015) on EFSA laatinut arvioita, joissa on julkaistu elintarvikkealaryhmien tasolla pitoisuustietojen keskiarvoja. Tulokset on esitetty joko lower bound (LB, alle määrittämissä olevat tulokset laskettu nollassa), middle bound (MB, alle määrittämissä olevat tulokset laskettu arvona 50 % määrittämissä rajasta) tai upper bound (UB, alle määrittämissä olevat tulokset laskettu määrittämissä suuruusina) -muodossa. Mikäli elintarvikkeelle ei löytynyt kansallisesti määritettyjä pitoisuustietoja, pitoisuudeksi merkittiin tuotetta mahdollisimman hyvin vastaavan elintarvikkealaryhmän MB-keskiarvopitoisuus EFSA:n raporteista. Nikkeliä koskevassa raportissa oli esitetty vain LB- ja UB-arvot, joten nikkeliä pitoisuudeksi merkittiin ne kummatkin erillisinä tuloksina.

Lisäksi hyödynnettiin Norjan elintarviketurvallisuuden tieteellisen komitean raportissa julkaistuja alumiinipitoisuuksia (VKM 2013), WHO:n julkaiseman GEMS/Food -tietokannan (<https://extranet.who.int/gemsfood/>) sisältämiä valvontatutkimustietoja Ranskasta ja Saksasta, ja kolmea kokonaisruokavaliotutkimusta (TDS): Suomen (Dofkova ym. 2016), Ranskan (ANSES 2011) avoimena tietokantana julkaistuja pitoisuustietoja, sekä Irlannin elintarvikeryhmätasolla raportoituja tietoja (FSAI 2016). Kokonaisruokavaliotutkimusten näytteet on kerätty satunnaistetusti ja analysoitu useasta näytteestä koottuina, syömävalmiiseen muotoon käsiteltyinä yhdistelmänäytteinä. Siksi niiden tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia valvontatutkimuksissa kerättyjen (ei-satunnais-

tettujen, mahdollisesti riskiperusteisesti otettujen, usein raaka-aineina analysoitujen) näytteiden tulosten kanssa. Muissa saatavilla olevissa lähteissä niukasti edustettua alumiinia lukuun ottamatta kokonaisruokavalio-tutkimusten tuloksia hyödynnettiin lähinnä tuotteille, joita koskevan ruoankäyttötiedon katsottiin vastaavan TDS-tutkimuksessa mitattua muotoa, esim. kahvi, leipä tai kananmuna.

Jos aineistoa ei ollut saatavilla muista lähteistä, käytettiin myös Tanskan DTU Fødevareinstitutein [Frida-tietokannassa](http://frida.fooddata.dk/index.php?lang=en) (http://frida.fooddata.dk/index.php?lang=en) julkaistuja eri elintarvikkeiden raskasmetallipitoisuuksia. Näiden pitoisuustietojen alkuperäislähde ei käy selville tietokannasta, ja siksi Frida-tietokantaa hyödynnettiin mahdollisimman niukasti.

Harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta näytteet oli mitattu 2000-luvulla, tuoreimmat vuonna 2017, mutta suuri osa aineistosta on silti analysoitu ennen vuotta 2012. Kadmiumaineistosta sekä lyijyaineistosta 76 %, arseeniaineistosta 65 %, elohopea-aineistosta 67 %, nikkeliaineistosta 42 % ja alumiiniaineistosta 81 % koostui näytteistä, jotka oli analysoitu vuonna 2011 tai aiemmin. Ei ole tiedossa, kuinka tarkoin nämä aineistot kuvaavat elintarvikkeiden raskasmetallipitoisuuksien jakaumaa Suomessa vuonna 2020. Käytetyimmillä elintarvikkeilla ei kuitenkaan havaittu saatavilla olleessa aineistossa selkeitä pitoisuuksien muutostrendejä lukuun ottamatta maitoa, josta ei ollut vuoden 2010 jälkeen yhtään menetelmän määrittämissä ylittävää lyijytulosta. Tämän vuoksi lyijyaltistusta vuonna 2012 on arvioitu aineistolla, josta on rajattu pois vanhimmat maidon pitoisuudet.

Kooste tutkimuksessa käytetyistä pitoisuustiedoista elintarvikkealaryhmien tasolla on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 3. Pitoisuusaineistojen lähteet elintarvikeryhmittäin. Pitoisuusaineistoja on käytetty altistuksen arvioinnissa tässä esitettyä tarkemmalla jaottelulla, ja useita lähteitä on hyödynnetty vain täydentämään tietoa jostakin elintarvikeryhmään kuuluvasta yksittäisestä tuotteesta. Jos kansallinen pitoisuustieto tai EFSA:n raportoima pitoisuustieto on ollut olemassa laskennassa käytetyn jaottelun mukaiselle elintarvikkealaryhmälle/tuotteelle, sille ei ole hyödynnetty muita lähteitä.

Elintarvikeryhmä	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Al
Viljat ja viljatuotteet	1, 2, 3, 6, 8	1, 2, 3, 6, 8, 17	1, 2, 3, 6, 8, 10, 11	1, 2, 3, 6, 8, 10, 11	1, 2, 6, 8, 10, 11, 17	3, 11, 15, 16, 19, 20
Kasvikset	1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 17	1, 2, 3, 8, 10, 11, 17	1, 2, 3, 4, 10, 11, 17	1, 3, 10, 11, 17	1, 4, 10, 11, 17	4, 11, 15, 16, 19
Peruna ym. tärkkelyspitoiset juurekset	1, 3,	1, 3	1, 2, 10,	2, 10, 11, 17	1, 2, 10, 11	11, 15, 16
Palkokasvit, pähkinät ja siemenet	1, 2, 3, 10, 17	1, 2, 3, 10, 17	1, 2, 10, 11	1, 2, 3, 10, 11, 17	1, 2, 10, 11	1, 11, 15, 16, 19
Hedelmät ja marjat	1, 2, 3, 10, 11,	1, 2, 3, 10, 11,	1, 2, 3, 10, 11, 17,	2, 3, 10, 11, 17,	1, 2, 10, 11, 17,	3, 11, 15, 16
Liha, lihavalmisteet ja sisäelimet	1, 8, 10, 17	1, 8, 10, 17	1, 2, 8, 10,	2, 8, 10, 17	1, 2, 10	1, 11, 15, 16, 19
Kala, kalavalmisteet, äyriäiset ja nilviäiset	1, 3, 4, 5, 11, 13, 17, 18	1, 3, 4, 11, 13, 17, 18	1, 3, 4, 5, 11, 13, 17	1, 3, 4, 5, 11, 13, 17, 18, 20	1, 3, 11, 17	1, 11, 15, 16, 19
Maito ja maitotuotteet	1, 2, 8, 10, 11, 17	1, 2, 8, 10, 11, 17	1, 2, 8, 10, 11, 17	2, 8, 10, 11, 17	1, 2, 10, 11, 17	11, 15, 16

Elintarvikeryhmä	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Al
Kananmunat	1	1	2	2	2	11, 16
Sokeri ja makeiset	1, 3, 8, 10, 11, 17	1, 3, 8, 10, 11, 17	1, 3, 10, 11, 17	10, 11, 17, 20	1, 8, 10, 11, 17	11, 15, 16, 20
Rasvat	1, 2, 3, 8, 10	1, 2, 3, 8, 10	1, 2, 8, 10, 11	2, 8, 10, 17	2, 10, 11	11, 16
Mehut	3	3	3, 10	10	10, 11, 17	11, 15, 16
Muut alkoholittomat juomat	2, 3, 8, 10, 11, 12, 14, 17	2, 3, 8, 10, 11, 12, 14, 17	2, 3, 8, 10, 11, 12	2, 3, 10	2, 10, 11, 14, 17	11, 15, 16
Alkoholijuomat	10, 11, 17	1, 10, 11, 17	1, 3, 10, 11, 17	10, 17	10, 11, 17	11, 15, 16
Vesi (talousvesi ja pullovesi)	3, 8, 9	3, 8, 9	1, 3, 8, 9	3, 8, 9	8, 9, 10	8, 9, 11, 15
Yrtit ja mausteet	3, 10, 11, 17	3, 10, 11	10, 11	3, 10, 11, 17	10, 11, 17	11, 15, 16
Erityisruokavaliovalmisteet	10	10	10	10	10	20
Yhdistelmäruoat	3, 8, 11, 17	3, 8, 11, 17	3, 8	3, 8, 11, 17	11, 17	3, 11, 15
Valmistusaineet ja ravintolisät	3	3	3	3, 10	10, 17	3, 20

Elintarvikkeiden pitoisuustietojen lähteet:

1 = Eviran valvonta-, vierasainevalvonta- ja projektinäytteet (osin julk., Rintala ym. 2014; Venäläinen ym. 2004, Airaksinen ym. 2018, Evira 2017)

2 = Eviran tekemän kokonaisruokavaliotutkimuksen näytteet (elintarviketasolla) (Dofkova ym. 2016)

3 = Tullilaboratorio

4 = Suomen ympäristökeskus SYKE sekä SYKE yhdessä ELY-keskusten kanssa

5 = Luonnonvarakeskus LUKE / ent. RKTL

6 = Viljan turvallisuusseurantatutkimukset (Evira, MMM, LUKE, ProAgria)

7 = Helsingin yliopisto (julk. Lodenius ym. 2002, Tulonen ym. 2006)

8 = teollisuuden omavalvontatulokset

9 = talousvesiraportit (Zacheus 2010)

10 = EFSA:n riskinarviointiraporteissa julkaistut, lähinnä keskieuropalaisiin mittausaineistoihin perustuvat keskiarvotiedot [EFSA 2012 Cd, EFSA 2012 Pb, EFSA 2012 Hg, EFSA 2014, EFSA 2015]

11 = Ranskan ANSES:n julkaiseman kokonaisruokavaliotutkimuksen tulokset (elintarviketasolla) [ANSES 2011]

12 = Öhrvik ym. 2013

13 = NIFES [NIFES Sjømatdata (Seafood data), Undesirables, yhdisteinä As, Cd, Hg, Pb. URL http://www.nifes.no/index.php?page_id=137 1.7.2013]

14 = Testfakta kahvin raskasmetallipitoisuudet [Testfakta i februari 2009]

15 = (VKM 2013)

16 = Irlannin julkaiseman kokonaisruokavaliotutkimuksen tulokset (elintarvikeryhmätasolla) (FSAI 2016)

17 = Tanskan DTU Frida -tietokannan pitoisuustiedot (<http://frida.fooddata.dk/index.php?lang=en>)

18 = SCOOP-raportissa julkaistut Suomen tulokset (Directorate-General Health and Consumer Protection 2004)

19 = GEMSFood (<https://extranet.who.int/gemsfood/>)

20 = muu kirjallisuus (Stahl ym. 2011; Hernandez-Martinez & Navarro-Blasco 2013)

2.2 Tutkimuksessa käytetyt ruoankäyttöaineistot

Tutkimuksessa oli käytössä kaksi ruoankäyttöaineistoa: Finravinto 2007 ja Finravinto 2012. Kummassakin tutkimuksessa osallistujat ovat olleet satunnaisotannalla väestörekisteristä valittuja. Tarkat kuvaukset otannasta ja osallistujien perustiedoista löytyvät raporteista Paturi ym. (2008) ja Helldán ym. (2013). Kummastakin ruoankäyttöaineistosta käytettiin 48 tunnin ruoankäyttöhaastattelun tietoja. Finravinto 2007 -tutkimuksessa oli tämän lisäksi kerätty ruokapäiväkirjoja, mutta niiden tuloksia ei ole sisällytetty tähän riskinarviointiraporttiin.

Finravinto 2007 -raportin mukaan 48-h ruoankäyttöhaastattelun antoi tammi-maaliskuussa 2007 hyväksytysti 2 039 satunnaisotannalla valittua 25–74-vuotiasta (62 % satunnaisotoksesta, joka oli 33 % FINRISKI 2007 -tutkimuksen satunnaisotannasta). Finravinto-tutkimuksen raportin luvuista poiketen käytössä olleessa pääkaupunkiseudun miehiä koskevassa aineistossa oli 180 henkeä, sillä yksi osallistuja oli kieltänyt aineistojensa käytön myöhemmissä tutkimuksissa.

Finravinto 2012 -raportin mukaan 48-h ruoankäyttöhaastattelun antoi tammi-huhtikuussa 2012 hyväksytysti 1 708 satunnaisotannalla valittua 25–74-vuotiasta (52 % satunnaisotoksesta). Otanta tehtiin alueilta Helsinki/Vantaa, Turku/Loimaa, Pohjois-Savo, Pohjois-Karjala, Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu (entinen Oulun lääni). Alueet olivat samat kuin Finravinto 2007 -aineistossa. Ruoankäyttöhaastatteluihin osallistuneiden määrät ja painot on esitetty taulukoissa 4 ja 5.

Kulutustiedot olivat saatavilla raaka-aineiksi laskettuina ateriokohtaisella tasolla ja saman päivän aikana saattoi yhdellä henkilöllä olla useita elintarvikkeen kulutuskertoja. Raaka-aineiksi laskeminen tarkoittaa, että esimerkiksi raaka-aine(ryhmä) ”juusto” tarkoittaa kaikkia sellaiseen leivän päällä tai palasina syötyjä juustoja sekä ruoanvalmistuksessa käytettyä juustoa, jonka määrä on laskettu ruokien resepteistä. Koska raskasmetallit poistuvat elimistöstä hitaasti, elintarvikkeen kulutustiedot laskettiin altistuksen arviointia varten summiksi saman elintarvikkeen eri kulutuskerroista kunkin tutkimuspäivän aikana. Vuosien 2007 ja 2012 aineistojen välillä oli hiukan merkintäeroja, sillä vuoden 2012 aineistossa ei leipiä ja yhdistelmäruokia ollut (kauttaaltaan) eroteltu raaka-aineikseen. Tämän vuoksi vuoden 2012 altistuslähteissä esiintyy ryhmä ”yhdistelmäruoat”, jota ei ollut vuoden 2007 aineistossa ja johon sisältyy joitakin italianpadan, säilykehernekeiton ja teollisten lihapullien tyyppisiä tuotteita.

Taulukko 4. Finravinto-tutkimuksissa 48 h ruoankäyttöhaastatteluihin osallistuneiden määrät. Luvut on otettu tutkimusraporttien taulukoista 2.1 (Paturi ym. 2008, Helldán ym. 2013). Viides alue on taulukossa esitetty vuonna 2007 käytetyllä nimellä Oulun lääni (sittemmin Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu).

		Kaikki		Helsinki - Vantaa		Turku-Loimaa		Pohjois-Savo		Pohjois-Karjala		Oulun lääni	
		2007	2012	2007	2012	2007	2012	2007	2012	2007	2012	2007	2012
Miehet	Kaikki	959	795	181	152	181	151	195	154	204	182	198	156
	25-34	137	106	34	21	27	22	20	16	24	23	32	24
	35-44	177	143	32	24	35	26	39	26	37	33	34	34
	45-54	190	162	26	33	38	27	43	38	45	31	38	33
	55-64	226	174	44	29	42	35	46	33	46	44	48	33
	65-74	229	210	45	45	39	41	47	41	52	51	46	32

		Kaikki		Helsinki - Vantaa		Turku-Loimaa		Pohjois-Savo		Pohjois-Karjala		Oulun lääni		
		Ikä (v)	2007	2012	2007	2012	2007	2012	2007	2012	2007	2012	2007	2012
Naiset	Kaikki		1 080	913	212	172	216	167	218	195	217	201	217	178
		25-34	180	149	32	33	37	27	35	29	40	30	36	30
		35-44	211	192	42	30	46	38	38	38	44	44	41	42
		45-54	232	178	45	31	41	36	51	37	45	39	50	35
		55-64	223	191	47	34	49	30	43	50	43	41	41	36
		65-74	234	203	46	44	43	36	51	41	45	47	49	35
Kaikki yht.			2 039	1 708	393	324	397	318	413	349	421	383	415	334

Taulukko 5. Painon (kg) jakautuminen eri ikäryhmien ja sukupuolten välillä Finravinto-tutkimuksissa. Ikäryhmät on jaoteltu samoin kuin riskinarvioinnissa: työikäiset (25–64v), eläkeläiset (65–74v) ja hedelmällisessä iässä olevat (25–45v).

Ruoankäyttöaineisto	Ryhmä	N	Keskiarvo kg	Mediaani kg	Min - Max kg
Finravinto 2007, 48h (yht. 2 038 hlö)	25 - 64 v	1575	77,5	75,2	40,1 - 156,8
	25 - 45 v miehet	333	84,1	81,4	53,4 - 143,3
	25 - 45 v naiset	421	69,0	65,3	40,1 - 153,0
	65 - 74 v	463	77,7	77,5	48,6 - 130,0
Finravinto 2012, 48h (yht. 1 708 hlö)	25 - 64 v	1295	77,3	75,8	42,5 - 183,6
	25 - 45 v miehet	265	84,5	83,2	53,3 - 126,1
	25 - 45 v naiset	356	68,9	65,3	42,5 - 183,6
	65 - 74 v	413	79,1	77,5	48,1 - 127,2

Prosenttipisteen 95 määrittämiseksi on jokaisessa ryhmässä riittävästi (yli 60 kpl) henkilöitä (Taulukko 5). Ryhmien koon vuoksi altistusjakauman yläpään viiteen prosenttiin kuuluu kuitenkin vain joitakin kymmeniä henkilöitä, joten yksittäisen henkilön ruoankäyttö voi vaikuttaa altistuksen suuruutta tai sen lähteitä koskeviin tuloksiin huomattavasti.

2.3 Aineistojen käsittelyssä käytetyt oletukset

2.3.1 Pitoisuusaineistoa koskevat oletukset

Aineistot luokiteltiin pääosin FoodEx2-järjestelmän mukaisesti, mutta joitakin vähemmän käytettyjä samaan ryhmään kuuluvia elintarvikkeita yhdistettiin laskennassa. Altistuksen arviointi tehtiin pääosin yhtä tarkalla luokittelulla kuin millä ruoankäyttötiedot olivat saatavilla: esimerkiksi kukin vilja oli luokiteltu erikseen ja kalat oli eritelty lajitasolle. Tässä raportissa tulokset on kuvaajien yksinkertaistamiseksi esitetty karkeammalla jaottelulla kuin analyysissä käytetty jaottelu.

Joitakin aineiston pitoisuuksia tuotettiin laskennallisesti: ruoankäyttöaineiston riisi-kaura ja riisi-ruis laskettiin näiden viljojen pitoisuuskeskiarvoina, maitokahvi laskettiin suhteella 75 % kahvia ja 25 % maitoa ja "keskiarvokala" laskettiin keskiarvona silakasta, muikusta, ahvenesta ja hauesta, joiden tietoja oli käytetty sille myös THL:n ravintoaineiden saantia koskevissa arvioissa. "Keskiarvokalassa" oli tämän mukaisesti elohopeaa 0,2 mg/kg.

Talousveden raskasmetallipitoisuuksina käytettiin Valviran talousvesitutkimus-raporteissa (Zacheus, 2010) ilmoitettuja erikokoisten laitosten vesien keskiarvopitoisuuksia, joista laskettiin koko maan keskiarvo painottamalla laitosten keskiarvopitoisuudet niiden asiakaskunnan suhteellisella koolla.

Aineistosta poistettiin poikkeavana havaintona kiinalainen ravintolisä, jonka lyijypitoisuus oli yli 7 mg/kg eli paljon suurempi kuin muissa saman ryhmän tuotteissa. Tähän päädyttiin osin myös sen vuoksi, että ruoankäyttötietojen ravintolisät olivat valtaosin suomalaisia vitamiini- ja hivenainevalmisteita. Tulosten tulkinnassa on kuitenkin huomattava, että kuluttajien saatavilla voi olla poikkeuksellisen paljon raskasmetalleja sisältäviä ravintolisä/ravintolisäerä, etenkin verkkokaupan kautta. Tällaisten tuotteiden käyttö voi kasvattaa yksilötasolla raskasmetallialtistusta selvästi tässä raportissa arvioitua suuremmaksi. Lisäksi kirjallisuudesta (NIFES) poimituissa merikalojen pitoisuuksissa oli yksi lyijyn enimmäismäärän ylittävä makrillinäyte, joka poistettiin aineistosta olettaen, että määrästenvastaisuus olisi havaittu, jos tämä näyte olisi tuotu maahan. Suomessa analysoituihin tuloksiin sisältyi yksi kaakaomassanäyte, jossa kadmiumpitoisuus ylitti 1.1.2019 voimaan tulleen enimmäismäärän. Tämä näyte jätettiin aineistoon, sillä mittausaikanaan ja ruoankäyttöaineistojen keruuajana se olisi ollut säädösten mukainen.

2.3.2 Arseenin ja elohopean eri muotojen laskemisessa käytetyt oletukset

Elohopeatuloksista kaikki ja arseenituloksista valtaosa oli määritetty kokonaiselohopeana ja -arseenina. Näiden raskasmetallien eri muotojen osuudet raskasmetallin kokonaismäärästä laskettiin suhteellisina osuuksina. Arseenista käytettiin samoja oletuksia kuin aiemmassa, suomalaisia lapsia koskevassa raportissa (Suomi ym 2015):

- a) veden kokonaisarseenista 100 % on epäorgaanista (EFSA 2009 As)
- b) kalan kokonaisarseenista 2 % ja äyriäisten ja nilviäisten kokonaisarseenista 3,5 % on epäorgaanista (Martorell ym 2011)
- c) muissa elintarvikeryhmissä kokonaisarseenista 70 % on epäorgaanista (EFSA 2009 As)
- d) mikäli tulos oli alle määritysrajan, merkintää ei muutettu (eli määritysrajan numeerista arvoa ei muutettu yllä olevien kertoimien mukaisesti).

Elohopean eri muodoista käytettiin samoja varovaisia oletuksia kuin EFSA (EFSA 2012 Hg):

- a) kalan kokonaiselohopeasta 20 % laskettiin epäorgaaniseksi ja 100 % metyylielohopeaksi, vaikka näin saatu elohopeamäärä onkin mitattua kokonaiselohopeaa suurempi
- b) äyriäisten ja nilviäisten kokonaiselohopeasta 50 % laskettiin epäorgaaniseksi ja 80 % metyylielohopeaksi
- c) muiden elintarvikkeiden kokonaiselohopeasta 100 % laskettiin epäorgaaniseksi ja 0 % metyylielohopeaksi
- d) mikäli tulos oli alle määritysrajan, merkintää ei muutettu (eli määritysrajan numeerista arvoa ei muutettu yllä olevien kertoimien mukaisesti).

Metyylielohopean ainoaksi lähteeksi siis oletettiin (EFSA 2012 Hg tavoin) elintarvikeryhmä Kala ja merituotteet, joka sisältää myös äyriäiset ja nilviäiset.

2.4 Tilastollinen analysointi

Probabilistinen altistuksen arviointi tehtiin MCRA-ohjelmiston versiolla 8.2 (MCRA 2016).

Analyysissä käytettiin seuraavia asetuksia:

Mahdollisista altistusmalleista valittiin sekä pitkän aikavälin että lyhyen aikavälin altistuksenarviointiin soveltuva beetabinomiaali-normaalijakaumasovitus ja log-muunnos. Pitoisuusaineistot mallinnettiin empiirisesti eli suoraan aineistosta poimien. Alle määritysrajan olevat pitoisuustulokset mallinnettiin lower bound -skenaariossa (LB) nollina, upper bound -skenaariossa (UB) määritysrajan suuruisina ja middle bound -skenaariossa (MB) puolta määritysrajan pitoisuudesta vastaavina, kunhan elintarvikkeesta oli vähintään yksi määritettävissä oleva tulos.

Monte Carlo -simulaatioita laskettiin 100 000 kappaletta. Mallin epävarmuusanalyysissä tehtiin bootstrap-menetelmällä 10 000 iteraatiota pitoisuus- ja yksilöaineistosta arvotusta otoksesta ja tämä toistettiin 100 kertaa. Tämä mallinnus tuotti tulosten epävarmuusrajat.

MCRA-ohjelmasta saatiin tutkittujen kuluttajaryhmien yksilölliset altistusarviot, joista tehtiin jatkoanalyyssejä tilasto-ohjelmistoilla.

Eri kuluttajaryhmien altistuserojen tilastollista merkittävyyttä tutkittiin kaksipuoleisella t-testillä olettaen varianssit erisuuriksi. T-testit toteutettiin sekä Microsoft Excelillä (Excel 2013) että SPSS v.25:llä.

3. Riskin kuvaaminen

Tässä raportissa käsitellään erikseen työikäisiä (25–64-vuotiaita), eläkeläisiä (65–74-vuotiaita) ja omina ryhminään 25–45-vuotiaita naisia ja saman ikäisiä miehiä. Vertailtaessa 25–45-vuotiaita muihin työikäisiin vertailukohtana ovat joko 46–64-vuotiaat (tilastollinen tarkastelu altistusmääristä) tai kaikki 25–64-vuotiaat (altistuslähteet).

Käytössä oli maan laajuisesti koottuja ruoankäyttötietoja kahdelta eri vuodelta, 2007 ja 2012. Kahden ruoankäyttöaineiston käytön tarkoituksena oli selvittää raskasmetallialtistuksen muutosta väestössä ajan myötä. Koska altistuksen arvioinnissa käytetyt pitoisuusaineistot olivat kummassakin tapauksessa samat, altistuserot johtuvat ruoankäytössä tapahtuneista muutoksista. Kumpikin ruoankäyttöaineisto oli koottu samalla menetelmällä, 48 tunnin ruoankäyttöhaastattelulla. Menetelmän heikkoutena on se, että kultakin vastaajalta on kaksi tutkimuspäivää, mutta päivät ovat peräkkäiset. Näin yksilön ruoankäytön vaihtelu esimerkiksi eri vuodenaikoina ei tule kokonaisuudessaan näkyviin.

3.1 Altistuksen lähteet ja suuruus

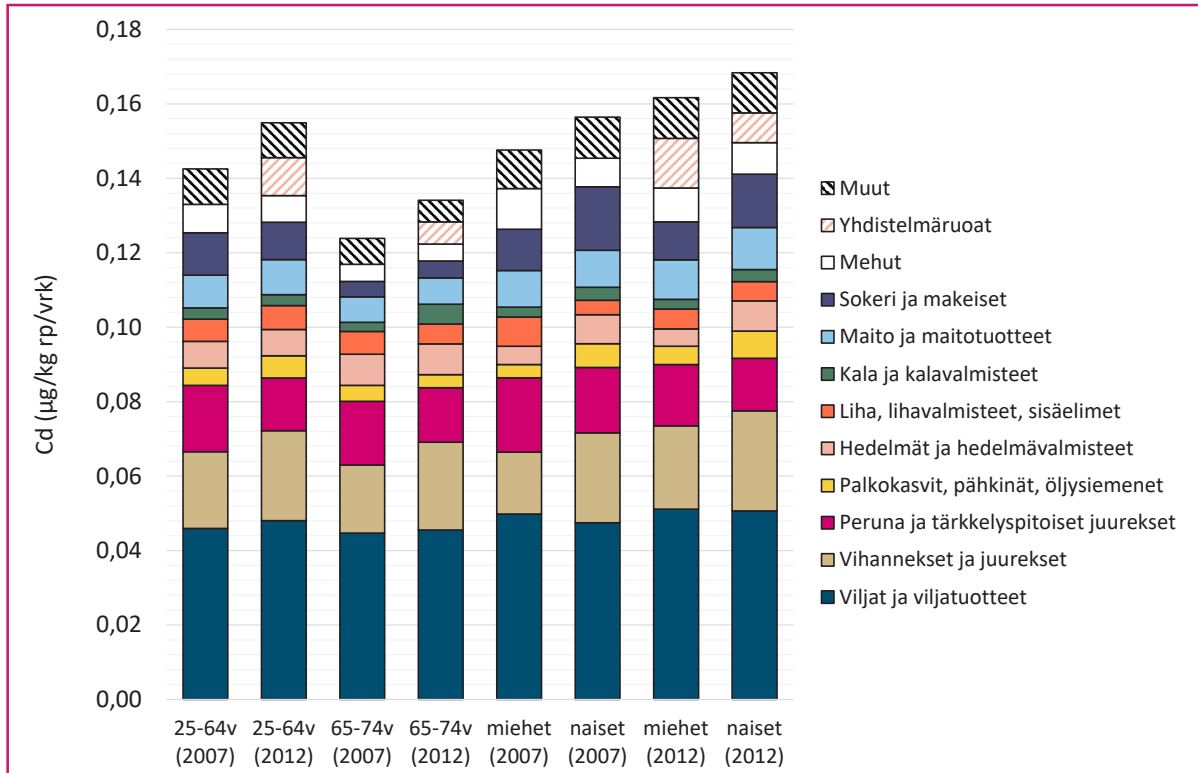
Altistuslähdekuvaajissa on altistus esitetty mikrogrammoina henkilön painokiloa kohden vuorokaudessa ja pieniä lähteitä on yhdistetty. Altistuslähteiden suhteelliset osuudet prosentteina kokonaisaltistuksesta on esitetty koosteena Liitteessä 1 FoodEx2-luokittelujärjestelmän karkeimmalla jaottelulla.

Altistuksen absoluuttinen suuruus mikrogrammoina henkilön painokiloa kohden kussakin tutkitussa väestöryhmässä on esitetty kahden tunnusluvun avulla: mediaanin ja 95. prosenttipisteen (P95). Altistus on esitetty lower bound (LB), middle bound (MB) ja upper bound (UB) -arvioina, joissa analyysimenetelmän määrittäjärajaa alle jäävät tulokset on laskettu määrittäjärajasta kertoimilla 0, ½ tai 1 tässä järjestyksessä. LB-arvio todennäköisesti aliarvioi ja UB-arvio yliarvioi altistuksen suuruutta. Eri arvioiden erot kertovat määrittäjämenetelmien herkkyydestä johtuvasta epävarmuudesta tuloksissa.

Aineelle ominaisen toksikologisen vertailuarvon ylittävä osuus kustakin tutkitusta väestöryhmästä on esitetty taulukkona.

3.1.1 Kadmium

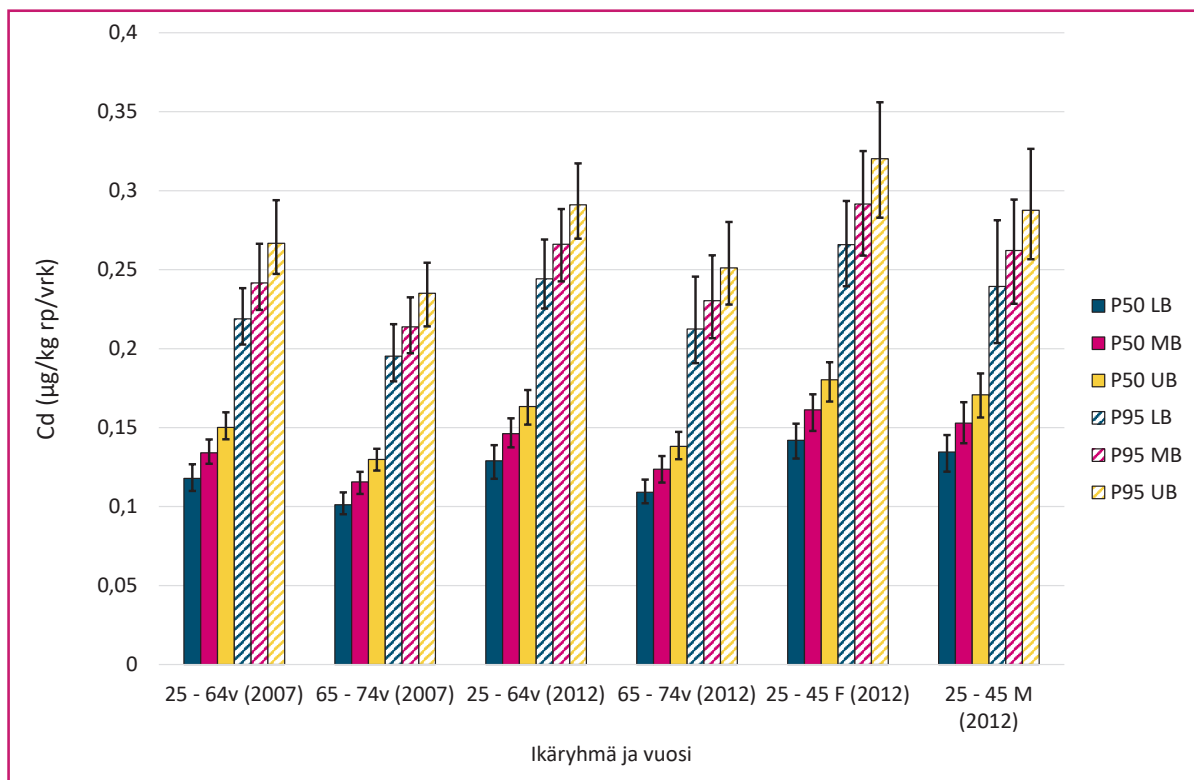
Kuvassa 1 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Kadmiumaltistuksen suurimpia lähteitä olivat viljat ja viljatuotteet, vihannekset ja juurekset sekä peruna ja tärkkelyspitoiset juurekset. Näitä elintarvikkeita käytetään paljon, ja siksi ne korostuvat altistuslähteissä enemmän kuin esimerkiksi sisäelimet ja öljysiemenet, joissa kadmiumpitoisuudet voivat olla huomattavasti suuremmat, mutta joiden käyttö oli vähäisempää.



Kuva 1. Kadmiumaltistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla (middle bound). Ikäluokka 25–45v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan vain ”miehet” tai ”naiset”. Ryhmä ”muut” sisältää kananmunat, rasvan, veden, alkoholittomat juomat ja alkoholijuomat, mausteet, laihdutusvalmisteet, ravintolisät, makeutus- ja valmistusaineet. Ryhmä ”yhdistelmäruoat” sisältyi vain vuoden 2012 aineistoon, sillä vuoden 2007 ruoankäyttöaineistossa se oli jaoteltu ainesosikseen muiden ryhmien alle.

Sen lisäksi, että tunnistettiin Kuvassa 1 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman yläpään 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Niistä suurimpia olivat sokeri, makeiset sekä liha ja lihavalmisteet tai naisilla sen sijasta palkokasvit, pähkinät ja öljysiemenet. Lisäksi vuoden 2012 aineistossa edellä mainittujen ohien kohoaa yhdistelmäruoka. Työikäisellä väestöllä viljojen osuus kokonaisaltistuksesta oli eniten altistuvilla vähäisempi kuin samassa ikäluokassa keskimäärin.

Kuvasta 2 ja taulukosta 6 nähdään, että kadmiumaltistus kaikissa kuluttajaryhmissä oli hiukan suurempi vuoden 2012 aineistoilla kuin vuoden 2007 aineistoilla laskien, kun samoja ikäryhmiä verrataan toisiinsa.



Kuva 2. Kadmiumaltistus eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound että upper bound -skenaariolle. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). Kadmiumin siedettävää viikkosaantia vastaava päiväkohtainen arvo on 0,36 µg/kg rp/vrk.

Taulukko 6. Kadmiumin siedettävän viikkosaannin enimmäismäärän (TWI: 2,5 µg/kg rp/viikko) ylittävää prosenttiosuus eri väestöryhmistä sekä Suomen väestörakenteen perusteella arvioitu ylittäjien lukumäärä (henkilöinä). MB-arvio altistuksesta.

Tutkimusvuosi, ikäryhmä	TWI:n ylittävä osuus (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Ylittäjiä Suomen väestötilanteen 31.12.2017 mukaan ^{a)}
2007, 25–64 v	0,3	0,1 – 0,7	7 824
2007, 65–74 v	0,1	0,02 – 0,4	724
2012, 25–64 v	0,7	0,3 – 1,4	18 620
2012, 65–74 v	0,2	0,06 – 0,8	1 507
2012, 25–45 v naiset	1,3	0,4 – 3,0	8 727
2012, 25–45 v miehet	0,5	0,04 – 1,5	3 222

^{a)} Eri ikäryhmiin kuuluvien henkilöiden lukumäärät: 25–64v 2 819 581 kpl; 65–74v 677 518 kpl; 25–45v naiset 674 375 kpl; 25–45v miehet 715 531 kpl, tilanne 31.12.2017, lähde: [Tilastokeskus](#) (Etusivu > Tuotteet ja palvelut > Suomi lukuina > Väestö)

Kiinalaisessa tutkimuksessa (Lv ym. 2017) määritettyä osteoporoosin riskin kasvun BMDL₁₀-arvoa vastaavan altistuksen 0,273 µg/kg rp/vrk ylitti 25–74-vuotiaista vuoden 2007 ruoankäytöllä 3,0 % ja vuoden 2012 ruoankäytöllä 5,9 % (yli 45-vuotiaista 5,6 %). BMDL₁₀-arvon ylittäjistä naisia oli vuoden 2007 aineistossa 73 % ja vuoden 2012 aineistossa 63 %. Ylittäjien keski-ikä oli 46,7 vuonna 2007 ja 47,1

vuotta vuonna 2012. Tilastokeskuksen julkaisemien väestön ikärakennetietojen 31.12.2017 perusteella 5,9 % 25–74-vuotiaista miehistä ja naisista vastaa 206 328 henkeä.

Engström ym. tutkimuksessa (2012) havaittiin 32 % kasvanut osteoporoosin riski niillä naisilla (kohortti 56–69-vuotiaita), joiden kadmiumaltistus ylitti 13 µg/vrk, verrattuna ravinnostaan alle 13 µg/vrk kadmiumia saaviin. Finravinto2012-aineistossa 16,0 %:lla yli 45-vuotiaista naisista ja 19,2 %:lla 25–74-vuotiaista naisista kadmiumaltistus ylitti 13 µg/vrk. Toisessa Engström ym. tutkimuksessa (2011) virtsan kadmiumpitoisuuden rajan 0,5 µg/g kreatiniinia (vastaa noin 0,18 µg/kg rp/vrk) ylittäneillä naisilla oli suurempi luunmurtumien riski kuin tämän rajan alle jäävillä. Finravinto2012-aineiston yli 45-vuotiaista naisista 21,5 %:lla oli suurempi kadmiumaltistus kuin 0,18 µg/kg rp/vrk. Tilastokeskuksen julkaisemien väestön ikärakennetietojen 31.12.2017 perusteella 21,5 % 45–74-vuotiaista naisista vastaa 230 686 henkeä.

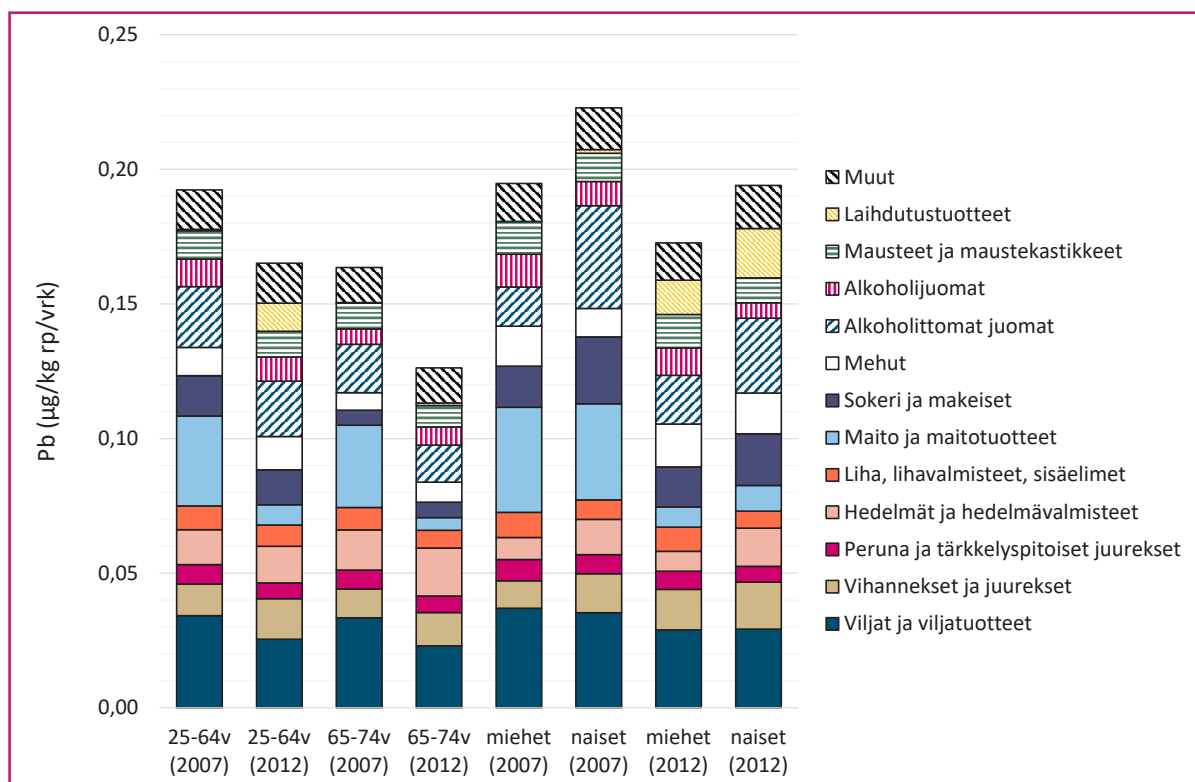
Osalla suomalaisesta aikuisväestöstä kadmiumaltistus on siis suuruusluokkaa, jolla terveyteen liittyvien haittavaikutusten mahdollisuutta ei voi sulkea pois. Koska kadmiumia saadaan useista eri elintarvikeryhmistä, joiden suhteellisiin osuuksiin saantiähteinä vaikuttaa käytön runsaus ja toistuvuus jopa enemmän kuin määrät, kuluttajan mahdollisuudet pienentää kadmiumaltistustaan muuten kuin ravitsemussuosittelujen mukaisesti monipuolista ja vaihtelevaa ruokaa kohtuullisina annoksina nauttien ovat vähäiset.

Suomalaisten kuluttajien kadmiumaltistusta vähentää Suomen poikkeuslupa rajoittaa kansallisesti lannoitteiden kadmiumpitoisuutta. Kansallisissa selvityksissä (Salo ym. 2018; Aakkula ym. 2019) arvioitiin, että jos lannoitteiden kadmiumpitoisuus nousisi EU:n lannoitelainsäädännön sallimalle tasolle, suomalaisten altistus kasvaisi selvästi viljojen ja kasvien kadmiumpitoisuuksien kasvaessa. Erityisen ongelmallista tämä olisi lapsille, sillä jo nyt kadmiumin siedettävän viikkosaannin enimmäismäärä ylittyy noin yhdeksällä 1–3-vuotiaalla lapsella kymmenestä (Suomi ym. 2015).

3.1.2 Lyijy

Pitoisuusaineisto sisälsi maitonäytteitä vuosilta 2002–2016. 2010-luvulla analysoiduista näytteistä ei yhdessäkään ollut mitattavissa olevia (analyysimenetelmän määrittäjäsuurempia) lyijymääriä. Lyijytulokset on siksi laskettu kahdella eri pitoisuusaineistolla: kaikki näytteet sisältävällä, ja erikseen sellaisella, jossa maitotuloksista on huomioitu vain 2010-luvulla mitatut näytteet. Jälkimmäisellä aineistolla saadut tulokset on merkitty tähdellä, siis Pb*.

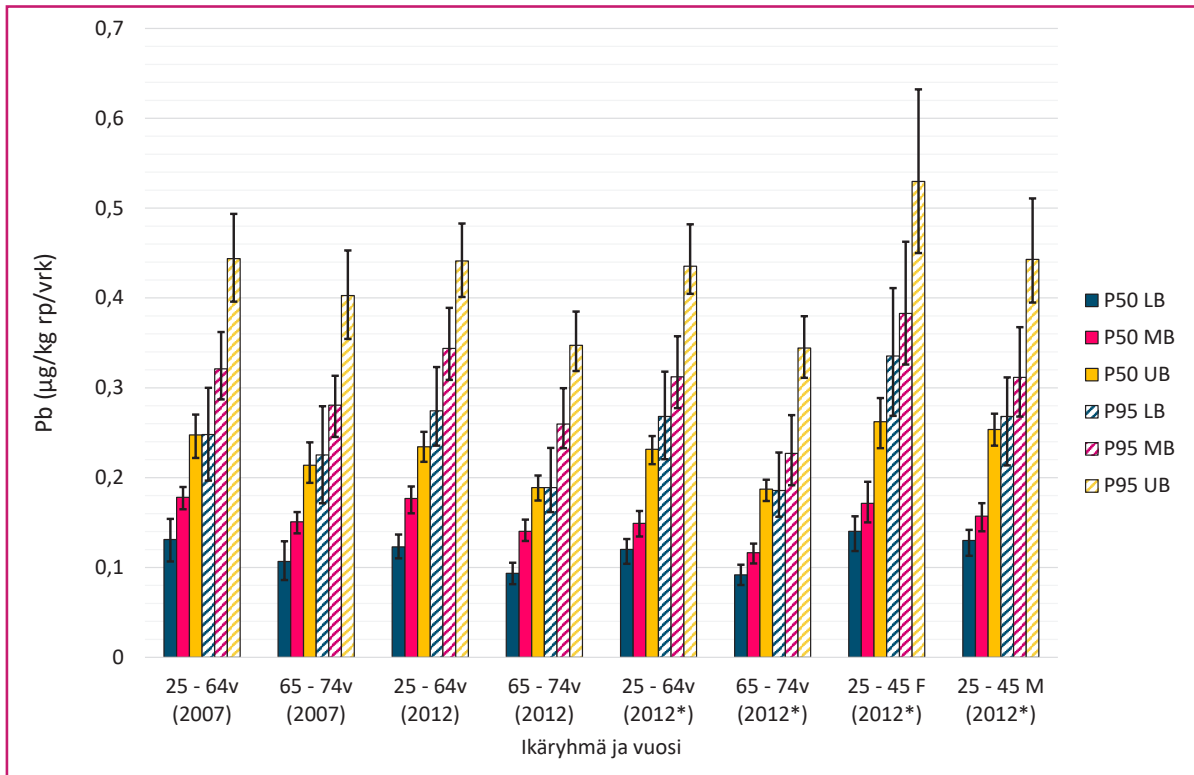
Kuvassa 3 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Lyijyaltistuksen suurimpia lähteitä olivat viljat, vihannekset ja juurekset sekä hedelmät ja marjat. Lisäksi maidon osuus lyijyn lähteenä korostuu koko pitoisuusaineistolla tehdyissä analyyseissa (vuoden 2007 tulokset). Vuoden 2012 kohdalla kuvassa 3 on esitetty Pb*-tulokset. Maidon kulutuksessa ei vuosien välillä ollut suuria muutoksia, joten erot maidon suhteellisessa osuudessa kokonaisaltistuksesta johtuvat maidon lyijypitoisuuksien muutoksesta.



Kuva 3. Lyijyaltistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla. Ikäluokka 25–45v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan ”miehet” tai ”naiset”. Vuoden 2012 tuloksissa maitoa koskeva pitoisuusaineisto on rajattu vuosien 2010-2016 näytteisiin, eli lähdekuva vastaa kuvan 4 tähdellä merkittyjä arvoja. Tämän vuoksi vuoden 2012 lähteissä maidon osuus on pienempi kuin vuoden 2007 altistuslähteissä. Ryhmään ”Muut” on yhdistetty palkokasvit, pähkinät, öljysiemenet, kala ja kalavalmisteet, munat, rasvat, talousvesi, yhdistelmäruoat, ravintolisät sekä makeutus- ja valmistusaineet.

Sen lisäksi, että tunnistettiin kuvassa 3 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman ylimpään 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Eniten altistuvalla osalla väestöä viljojen suhteellinen osuus altistuksesta väheni väestön keskiarvotasoon verrattuna ja päälähteiksi nousivat laihdutustuotteet ja alkoholittomat juomat.

Kuvasta 4 ja taulukosta 7 nähdään, että lyijyaltistus useissa kuluttajaryhmissä oli hiukan suurempi vuoden 2012 aineistoilla kuin vuoden 2007 aineistoilla laskien, kun samoja ikäryhmiä verrataan toisiinsa. Eläkeläisten lyijyaltistus tutkituissa jakauman kohdissa oli kuitenkin hiukan vähäisempää vuonna 2012 kuin vuonna 2007. Erot vuosien välillä johtuvat ruoankäytöstä, sillä pitoisuusaineisto oli sama kummassakin analyysissä. Altistuserot tasoittuvat jonkin verran, kun maidon pitoisuusaineistossa huomioidaan vuoden 2012 arvioita varten vain 2010-luvulla mitatut näytteet, joissa ei ollut yhtään määritysrajan ylittävää tulosta.



Kuva 4. Lyijyaltistus eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound ja upper bound -skenaarioille. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). Vuoden 2012 tähdellä (*) merkityissä arvoissa on maitoa koskeva pitoisuusaineisto rajattu vuosien 2010–2016 näytteisiin. Lyijyn alin, kehityksenaikaiselle neurotoksisuudelle määritetty BMDL-arvo on 0,50 µg/kg rp/vrk.

Vaikka taulukossa 7 on verrattu kuluttajien altistusta lyijylle määritettyyn alimpaan BMDL-arvoon, tämä vertailukohta ei ole oleellinen eläkeläisille, sillä heidän keskushermostonsa ei enää kypsy eivätkä he voi enää synnyttää lapsia. Munuaisvaurion kehittymiseen liittyvän BMDL-arvon ylittävä osuus eläkeläisistä oli enää 4 henkeä vuoden 2012 altistustietojen ja vuoden 2017 väestötietojen perusteella. Verenkierrotoelimistön oireisiin liittyvää BMDL-arvoa ei ylittänyt tutkituissa väestöryhmissä edes yksi miljoonasta.

Vertailussa on huomattava myös, että BMDL ei ole suoraan vertailukelpoinen siedettävän päivä- tai viikkosaannin vertailuarvoon, jotka sisältävät määritelmän mukaan turvakertoimen. Siedettävän päiväsaannin enimmäismäärän suuruinen altistus on kuluttajalle todennäköisesti turvallinen, mutta BMDL:n suuruinen ei välttämättä ole sitä herkimmille väestöryhmille, vaikka BMDL katsotaankin usein haittavaikutusta aiheuttamatonta annosta vastaavaksi.

Taulukko 7. Lyijyn kehityksenaikaisen neurotoksisuuden BMDL-arvon 0,5 µg/kg rp/vrk ja munuaistoksisuuden BMDL-arvon 0,63 µg/kg rp/vrk ylittävät osuudet tutkitusta väestönosasta MB-arvion mukaan. Verenkiertoelimistön oireisiin liittyvää BMDL-arvoa 1,5 µg/kg rp/vrk ei ylittänyt MB-arvion mukaan edes yksi miljoonasta. Tähdellä (*) merkityissä vuoden 2012 luvuissa on analyysissa huomioitu maitotuloksista vain vuonna 2010 tai sen jälkeen mitatut pitoisuudet, joissa ei ollut määrittämissä ylittäviä lyijymääriä.

Tutkimusvuosi, ikäryhmä	Yli 0,5 µg/kg rp/vrk (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Yli 0,63 µg/kg rp/vrk (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Alimman BMDL-arvon ylittäjiä
					Suomen väestötilanteen 31.12.17 mukaan ^{a)}
2007, 25–64 v	0,2	0,03–0,7	0,01	0–0,13	4 948
2007, 65–74 v	0,1	0–0,3	0,01	0–0,06	399
2012, 25–64 v	0,5	0,2–1,3	0,1	0,01–0,3	13 156
2012, 65–74 v	0,02	0–0,21	0	0–0,03	154
2012*, 25–64 v	0,3	0,1–1,0	0,06	0,01–0,3	9 389
2012*, 65–74 v	0,01	0–0,13	0	0–0,03	70
2012*, 25–45 v naiset	1,3	0,4–3,6	0,4	0,1–1,3	9 133
2012*, 25–45 v miehet	0,2	0,02–1,2	0,03	0–0,3	1 704

^{a)} Eri ikäryhmiin kuuluvien henkilöiden lukumäärä: 25–64v 2 819 581 kpl; 65–74v 677 518 kpl; 25–45v naiset 674 375 kpl; 25–45v miehet 715 531 kpl, tilanne 31.12.2017, lähde: [Tilastokeskus](#) (Etusivu > Tuotteet ja palvelut > Suomi lukuina > Väestö)

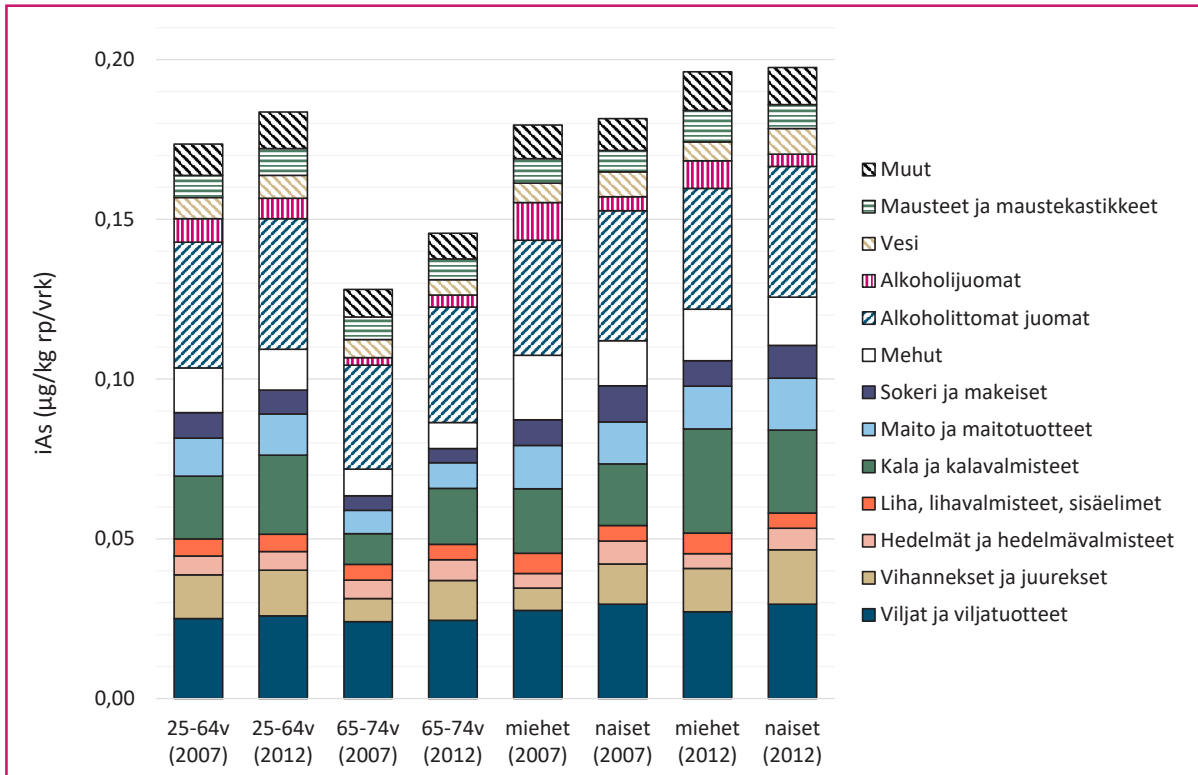
Lyijylle ei ole olemassa turvallisenä pidettävää altistusta. Terveysriskin olemassaoloa arvioidaan siksi MOE-arvolla eli altistusmarginaalilla (*margin of exposure*, lasketaan BMDL:n ja altistuksen suhteena).

Lyijyn MOE oli työikäiselle väestölle mediaanialtistuksella 2,8 ja P95-altistuksella 1,5–1,6 verrattaessa neurotoksisuuden BMDL-arvoon, mediaanialtistuksella 3,5 ja P95-altistuksella 1,8–2,0 verrattaessa munuaistoksisuuden BMDL-arvoon sekä mediaanialtistuksella 8,4 ja P95-altistuksella 4,4–4,7 verrattaessa verenkiertoelimistön vaurioihin liittyvään BMDL-arvoon. Pienempi P95-luvuista on vuoden 2012 ruoankäyttöaineistoon perustuva.

EFSA:n asiantuntijapaneelin mukaan vasta MOE-arvo 10 tai suurempi tarkoittaisi mitätöntä terveysriskiä. Näin ollen suomalaisten aikuisten altistusmäärillä ei voi sulkea pois haitallisten terveysvaikutusten mahdollisuutta, vaikka elintarvikkeiden lyijystä johtuva tautitaakka Suomessa arvioidaan lähinnä taaperoikäisten altistukseen liittyväksi (Suomi ym. 2019). Vuoden 2012 ruoankäyttöaineistolla lasketun altistusarvion perusteella suomalaisista 25–74-vuotiaista vain 6 %:lla lyijyaltistus on niin vähäistä, että munuaisvaurion kehittymisen riski on mitätön, ja 58 %:lla verenkiertoelimistön vaurioiden riski on mitätön.

3.1.3 Epäorgaaninen arseeni

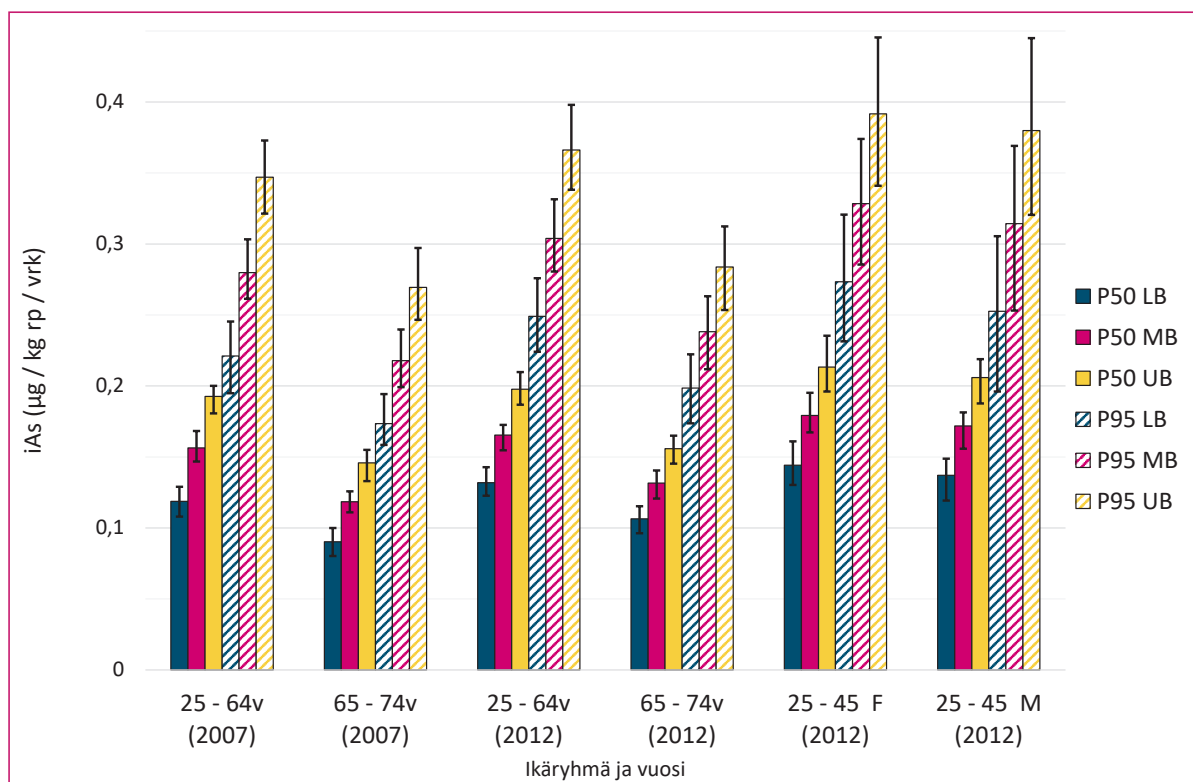
Kuvassa 5 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Suurimpia lähteitä olivat alkoholittomat juomat, viljat sekä kala. Alkoholittomiin juomiin lukeutuvat kahvin ja teen lisäksi muun muassa riisijuomat, joissa voi olla suuria määriä epäorgaanista arseenia ja joista on siksi annettu Suomessakin suositus välttää näiden käyttöä lapsilla ruokajuomana (eli välttää niiden runsasta käyttöä). Viljojen osuudessa korostuu riisi, vaikka suuren käytön vuoksi myös kotimaisten viljojen pienistä arseenimääristä kertyy altistusta. Kaloissa suurin osa arseenista esiintyy orgaanisina, elintarvikkeista saatavina määrinä myrkyttömiksi katsottavina yhdisteinä, etenkin arsenobetaiiniina. Epäorgaanisen arseenin osuus kokonaisarseenista arvioitiin elintarvikeryhmiin kohdistuvina vakioina, kuten luvussa 2.3.2 on kuvattu.



Kuva 5. Epäorgaaninen arseeni -altistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla. Ikäluokka 25–45v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan ”miehet” tai ”naiset”. Ryhmään ”Muut” on yhdistetty peruna ja tärkkelyspitoiset juurekset, palkokasvit, pähkinät ja öljysiemenet, muna, rasvat, laihdutustuotteet, yhdistelmäruoat, ravintolisät sekä makeutus- ja valmistusaineet.

Sen lisäksi, että tunnistettiin kuvassa 5 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman yläpuolelle 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Eniten altistuvalla osalla väestöä epäorgaanisen arseenin tärkeimmiksi saantilähteiksi kohosivat kala ja kasvikset (vihannekset ja juurekset).

Kuvasta 6 ja taulukosta 8 nähdään, että altistus epäorgaaniselle arseenille kaikissa kuluttajaryhmissä oli hiukan suurempi vuoden 2012 aineistoilla kuin vuoden 2007 aineistoilla laskien, kun samoja ikäryhmiä verrataan toisiinsa.



Kuva 6. Altistus epäorgaaniselle arseenille eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound ja upper bound -arvioina. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). EFSA:n epäorgaaniselle arseenille määrittämän BMDL-alueen alaraja on 0,30 µg/kg rp/vrk.

Taulukossa 8 käytetään vertailukohtana BMDL-arvoa, jotta kaikille tutkituille raskasmetalleille voidaan esittää saman muotoinen taulukko. BMDL ja TDI tai TWI eivät ole suoraan vertailukelpoisia, kuten todettiin jo lyijyn kohdalla.

Epäorgaaniselle arseenille ei ole olemassa turvallisenä pidettävää altistusta. Terveysriskin olemassaoloa arvioidaan siksi MOE-arvolla eli altistusmarginaalilla (*margin of exposure*, lasketaan benchmark dosen ja altistuksen suhteena).

Ruotsin elintarviketurvallisuusviranomaisen tekemässä riskinarvioinnissa riisistä ja riisipohjaisista tuotteista käytettiin vertailuarvona JECFA:n määrittämää BMD_{0,5}-arvoa 4,5 µg/kg rp/vrk, jonka luottamusvälin alaraja eli BMDL_{0,5} on 3,0 µg/kg rp/vrk (JECFA 2011; Sand ym. 2015). Vertailuarvo vastaa pitoisuutta, jolla väestötasolla keuhkosyövän riski kasvoi 0,5 % perustasosta. Näihin arvoihin verrattuna suomalaisen työikäisen väestön MOE epäorgaaniselle arseenille oli altistuksen mediaanitasolla 27,2 – 28,8 ja altistuksen P95-tasolla 14,8 – 16,1. Altistus on siis suuruusluokkaa, jolla haitallisen terveysvaikutuksen riskiä ei voida sulkea pois, mutta riski on Livsmedelsverketin raportissa (Sand ym. 2015) käytetyllä skaalalla matala-kohtuullinen (kolmas luokka viidestä mahdollisesta). On myös huomattava, että mikäli kuluttaja asuu alueella, jonka pohjavedessä on suuria arseenipitoisuuksia, ja käyttää kaivovettä ruoanlaitossaan ja juomavetenä, hänen arseenialtistuksensa voi helposti olla paljon suurempi kuin tässä laskettu.

Oberoi ym. (2014) arvioivat aikuisten altistuksen epäorgaaniselle arseenille olevan 5,25–57,27 µg/vrk ruokavalioklusterissa F, johon Suomikin kuuluu. Altistuksen arvioitiin johtavan vuosittain 17–270 ylimääräiseen syöpätapaukseen tutkitulla alueella. Ruokavalioklustereiden käyttö tuo arvioon enemmän epävarmuutta kuin tässä tutkimuksessa hyödynnettyjen yksilötason ruoankäyttötietojen käyttö. Tässä tutkimuksessa kuvassa 6 esitetty suomalaisten 25–74-vuotiaiden altistus epäorgaaniselle arseenille oli vuoden 2012 ruoankäyttötiedoilla keskimäärin 13,1 µg/vrk ja 25–45-vuotiaiden naisten ja miesten altistuksen 95. prosenttipiste oli 25,9 µg/vrk.

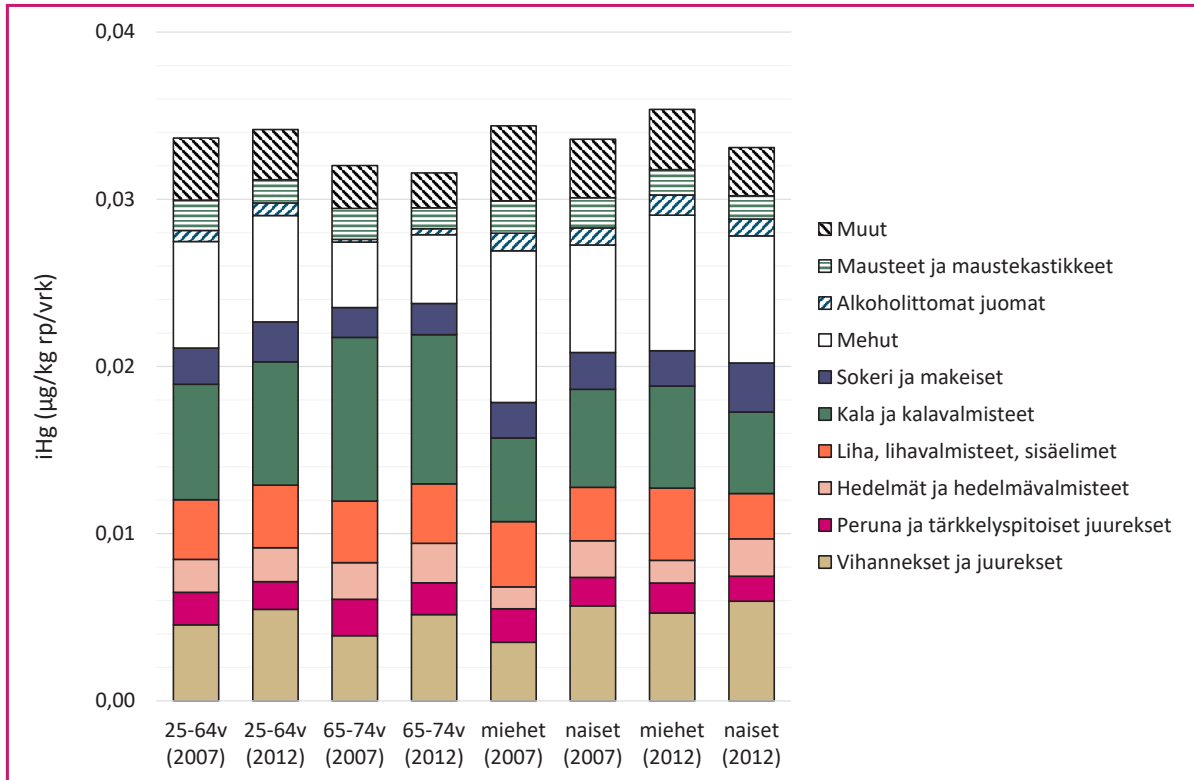
Taulukko 8. Epäorgaanisen arseenin BMDL-arvon alarajan (0,30 µg/kg rp/vrk) ylittävä osuus tutkitusta väestöosasta MB-arvion mukaan. JECFA:n määrittämä BMDL-arvoa 3,0 µg/kg rp/vrk ei ylittänyt edes yksi miljoonasta.

Tutkimusvuosi, ikäryhmä	BMDL:n ylittävä osuus (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Ylittäjiä Suomen väestötilanteen 31.12.2017 mukaan ^{a)}
2007, 25–64 v	3,2	2,1–5,4	91 332
2007, 65–74 v	0,6	0,2–1,4	3 823
2012, 25–64 v	5,4	3,3–8,1	151 693
2012, 65–74 v	1,0	0,3–2,5	6 919
2012, 25–45 v naiset	8,1	3,5–13,5	54 640
2012, 25–45 v miehet	6,5	1,3–11,7	46 162

^{a)}Eri ikäryhmiin kuuluvien henkilöiden lukumäärä: 25–64v 2 819 581 kpl; 65–74v 677 518 kpl; 25–45v naiset 674 375 kpl; 25–45v miehet 715 531 kpl, tilanne 31.12.2017, lähde: [Tilastokeskus](#) (Etusivu > Tuotteet ja palvelut > Suomi lukuina > Väestö)

3.1.4 Epäorgaaninen elohopea

Kuvassa 7 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Suurimpia lähteitä olivat kala, mehut sekä vihannekset ja juurekset. Mehujen osuus perustuu kokonaan ja vihannesten ja juuresten osuus valtaosin kirjallisuustietoihin niissä esiintyvistä elohopeapitoisuuksista, sillä kotimaisia mittaustuloksia ei ollut. Epäorgaanisen elohopean saanti kalasta arvioitiin käyttämällä vakiota 20 % kokonaiselohopeasta, kuten luvussa 2.3.2 on kuvattu.

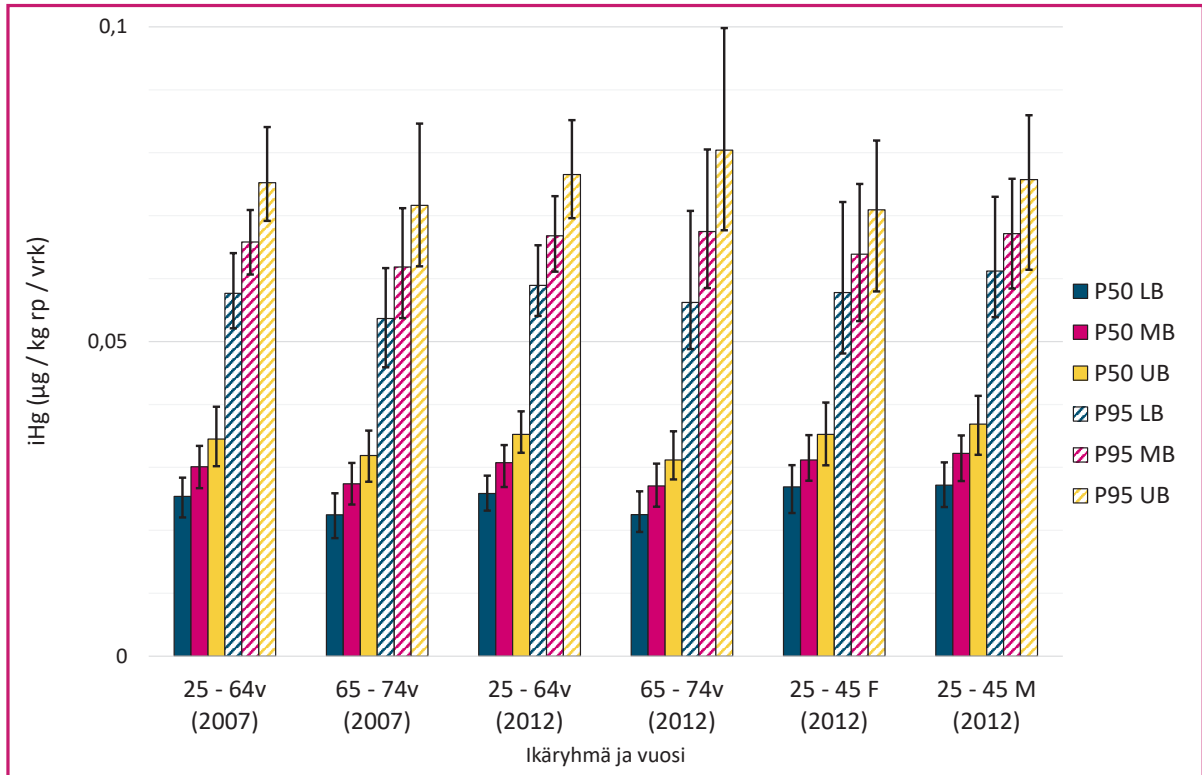


Kuva 7. Epäorgaanisen elohopea -altistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla. Ikäluokka 25–45v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan ”miehet” tai ”naiset”. Ryhmään ”Muut” on yhdistetty viljat ja viljatuotteet, palkokasvit, pähkinät, öljysiemenet, maito ja maitotuotteet, muna, rasvat, alkoholijuomat, talousvesi, laihdutustuotteet, yhdistelmäruoat, ravintolisät sekä makeutus- ja valmistusaineet.

Sen lisäksi, että tunnistettiin Kuvassa 7 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman yläpuolella 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Eniten altistuvalla osalla väestöä suurimmaksi epäorgaanisen elohopean lähteeksi nousi eläkeläisillä kala, ja työikäisellä väestöllä kala sekä mehut.

Elohopea-altistus eri vuosina oli jokseenkin yhtä suuri, eikä eri ryhmien välillä ollut suuria eroja. Ikääntyneiden altistuslähteissä korostuvat kalat, joita tämä ikäluokka syö enemmän kuin nuoremmat.

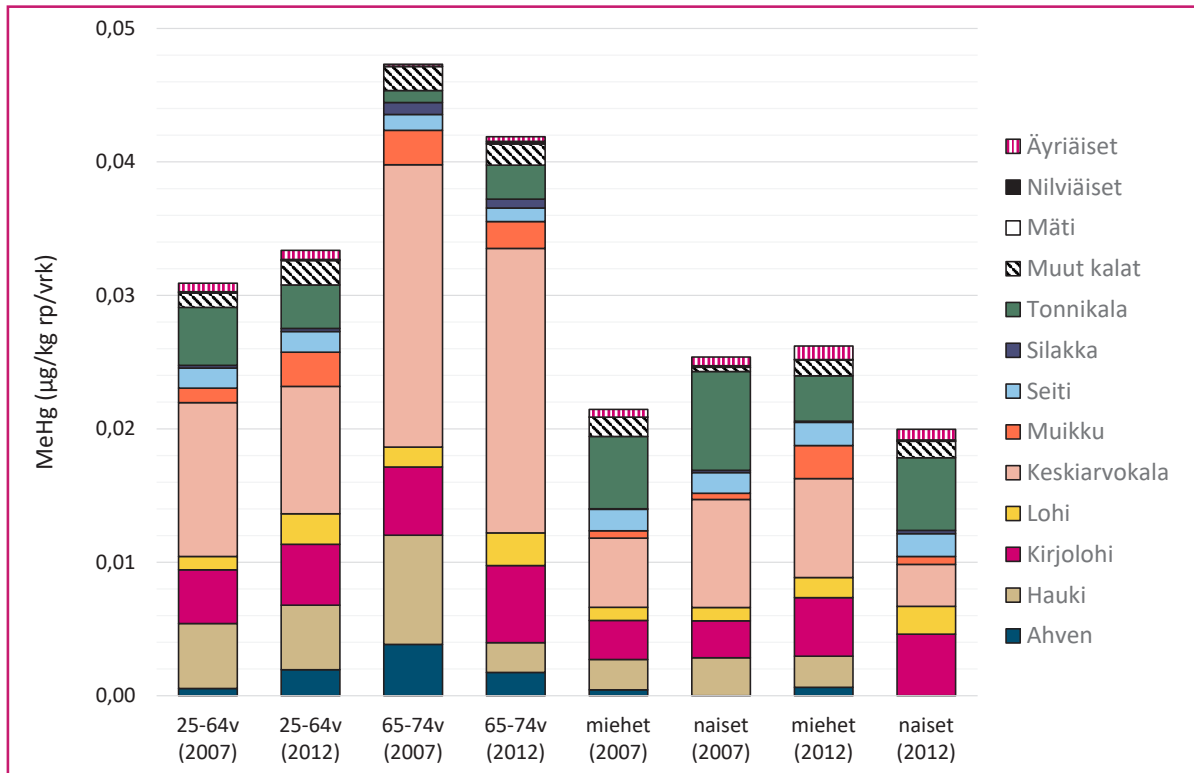
Epäorgaanisen elohopean siedettävää viikkosaantia (4,0 µg/kg rp/viikko) ei arvioon mukaan ylittänyt kukaan tutkituissa ikäryhmissä. Epäorgaanisen elohopean saanti on siis suomalaisella aikuisväestöllä hyvin vähäistä, eli terveyshaitan riski on mitätön.



Kuva 8. Altistus epäorgaaniselle elohopealle eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound ja upper bound -arvioina. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). Epäorgaanisen elohopean siedettävää viikkosaantia vastaava päivakohtainen arvo on 0,571 µg/kg rp/vrk.

3.1.5 Metyylielohopea

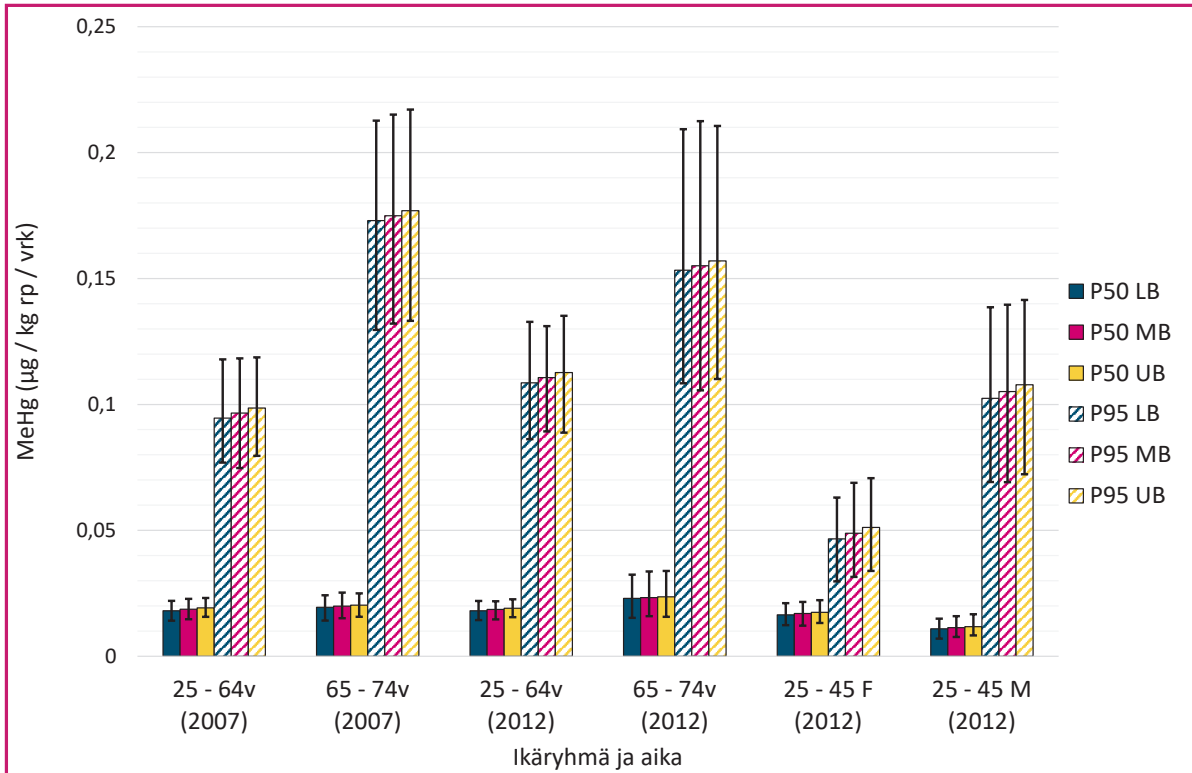
Kuvassa 9 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan metyylielohopea-altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Metyylielohopeaa oletettiin esiintyvän vain kaloissa ja muissa meren antimissa. Suurimpia altistuslähteitä olivat keskiarvokala, lohikalat, tonnikala sekä hauki. Keskiarvokala on ruoankäyttötiedoissa lajiltaan määrittämätön kala, ja sen pitoisuus on laskettu keskiarvoksi tutkimusaineiston silakan, muikun, hauen ja ahvenen lajikohtaisista keskiarvopitoisuuksista. Hauelle on vierasaineasetuksessa 1881/2006 sallittu suurempi (kokonais-) elohopean enimmäismäärä kuin muille kotimaisille kaloille. Hauelle ja tonnikalalle sallittu enimmäismäärä on 1,0 mg/kg ja muiden kalojen lihalle 0,5 mg/kg (EY N:o 1881/2006, konsolidoitu versio 19.3.2018).



Kuva 9. Metyylielohopea-altistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla. Ikäluokka 25–45v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan ”miehet” tai ”naiset”. On syytä huomata, että kuvassa lähteet on jaoteltu eri tavoin kuin muissa lähdekuvissa, koska elohopean katsottiin esiintyvän metyylielohopeana vain kaloissa ja meren antimissa.

Ruoankäyttötiedoissa lajitasolle eritellystä kalankäytöstä näkyy, että hauen kulutus on vähentynyt vuosien 2007 ja 2012 välillä etenkin 25–45-vuotiailla naisilla ja eläkeläisillä. Nuorten naisten kohdalla todennäköisesti taustalla ovat myös kalankäyttösuositus ja siihen liittyvät poikkeukset välttää haukea ja muita petokaloja. Altistuksen muutokset näkyvät myös Kuvassa 10 ja Taulukossa 9.

Sen lisäksi, että tunnistettiin Kuvassa 9 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman yläpään 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Eniten metyylielohopealle altistuvilla saantilähteissä painottuivat eniten elohopeaa sisältävät kalat eli hauki ja ahven, ja näiden lisäksi keskiarvokala. Suurin lähde vaihteli ikäryhmien välillä: osalla tutkituista ryhmistä se oli hauki, toisilla keskiarvokala.



Kuva 10. Altistus metyylielohopealle eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound ja upper bound -arvioina. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). Metyylielohopean siedettävää viikkosaantia vastaava päivakohtainen arvo on 0,186 µg/kg rp/vrk.

Vähäisellä osalla suomalaista aikuisväestöä, lähinnä vanhemmilla ikäryhmillä, metyylielohopea-altistus saattaa ylittää aineelle määritetyn siedettävän viikkosaannin. Tuoreemman ruoankäyttötutkimuksen mukaan hedelmällisessä iässä olevien naisten metyylielohopea-altistus ei ylittänyt siedettävän viikkosaannin enimmäismäärärajaa. Suomen väkilukuun suhteuttamalla arvioitiin, että enimmäismääräraja saattaisi ylittyä enintään viideltä hedelmällisessä iässä olevalta suomalaisnaiselta.

Arviota tulkittaessa on otettava huomioon, että metyylielohopean osuus kokonaiselohopeasta on arvioitu todennäköisesti liian suureksi (oletuksella 100 % kokonaiselohopeasta), ja todellinen altistus on siksi pienempi.

Lisäksi on huomattava, ettei nykyisessä arviossa oteta huomioon kalan todettuja terveysvaikutuksia, joita on silakasta arvioitu kansallisessa hyöty-haitta-analysissä ja todettu silakan käytön hyötyjen ylittävät haitat ikääntyneellä väestöllä (Tuomisto ym. 2015). Silakan elohopeapitoisuudet ovat pienet. Muille kaloille ei ole tehty hyöty-haitta-analysia.

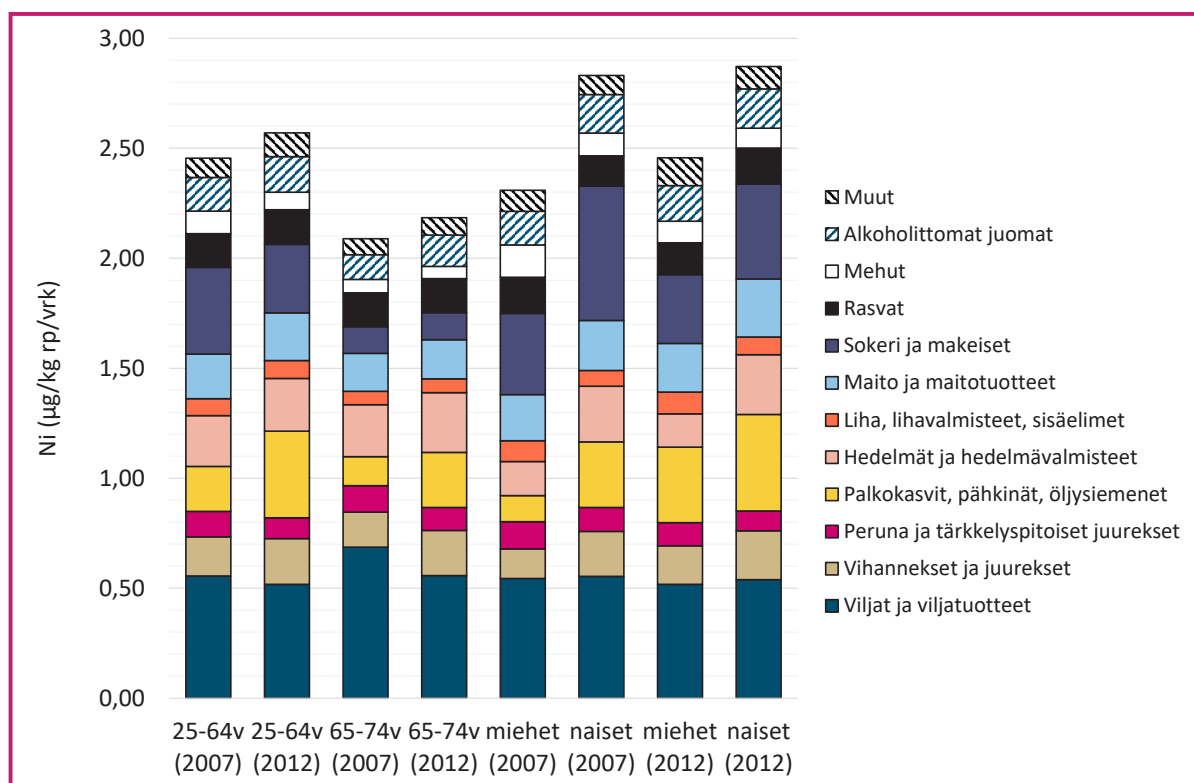
Taulukko 9. Metyylielohopean siedettävän viikkosaannin (1,3 µg/kg rp/viikko) ylittävä osuus tutkitusta väestöosasta MB-arvion mukaan. Vuoden 2007 arviot 48-h aineiston pohjalta.

Tutkimusvuosi, ikäryhmä	TWI:n ylittävä osuus (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Ylittäjiä Suomen väestötilanteen 31.12.17 mukaan ^{a)}
2007, 25–64 v	0,8	0,2–1,8	24 076
2007, 65–74 v	4,5	2,6–6,4	30 778
2012, 25–64 v	1,5	0,6–2,5	40 926
2012, 65–74	3,3	0,5–6,4	22 530
2012, 25–45 v naiset	0	0–0,1	5
2012, 25–45 v miehet	1,7	0,5–3,3	12 266

^{a)} Eri ikäryhmiin kuuluvien henkilöiden lukumäärä: 25–64v 2 819 581 kpl; 65–74v 677 518 kpl; 25–45v naiset 674 375 kpl; 25–45v miehet 715 531 kpl, tilanne 31.12.2017, lähde: [Tilastokeskus](#) (Etusivu > Tuotteet ja palvelut > Suomi lukuina > Väestö)

3.1.6 Nikkeli

Kuvassa 11 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan nikkeli-altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Suurimpia lähteitä olivat viljat, sokeri ja makeiset, hedelmät ja marjat sekä palkokasvit, pähkinät ja öljysiemenet.

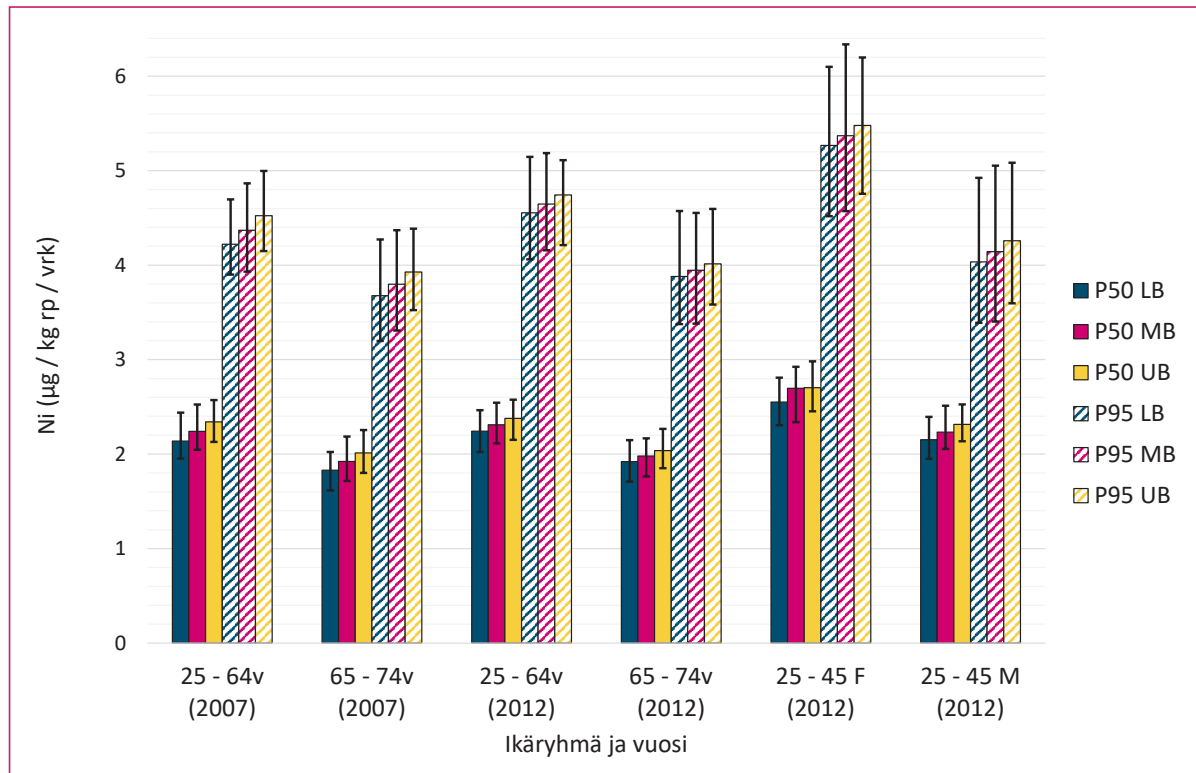


Kuva 11. Nikkeli-altistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla. Ikäluokka 25–45v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan ”miehet” tai ”naiset”. Ryhmään ”Muut” on yhdistetty kala ja kalavalmisteet, muna, alkoholi-juomat, talousvesi, mausteet ja maustekastikkeet, laihdutustuotteet, yhdistelmäruoat, ravintolisät sekä makeutus- ja valmistusaineet.

Sen lisäksi, että tunnistettiin Kuvassa 11 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman yläpuolella 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Eniten altistuvalla osalla väestöstä nikkelin suurimmat saantilähteet olivat palkokasvit, pähkinät ja öljysiemenet sekä tätä vähäisempänä makeiset. Viljojen osuus kokonaisaltistuksesta oli huomattavasti pienempi kuin keskivertokuluttajilla.

Samoin kuin muillakin raskasmetalleilla metyylielohopeaa lukuun ottamatta, ruokailutottumusten muutoksen vuoksi myös nikkeli-altistus osoitti lievää nousutaipumusta vuosien 2007 ja 2012 välillä (kuva 12, taulukko 10), mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevää. EFSA:n määrittämä siedettävän päiväsaannin enimmäisarvo ylittyy merkittäväällä osalla väestöä: tuoreemman ruoankäyttötutkimuksen työikäisistä noin kolmasosalla.

Haber ym. (2017) määrittivät julkaisussaan selvästi EFSA:n siedettävän päiväsaannin enimmäisarvoa suuremman turvallisena pidettävän nikkeli-altistustason. Heidän arvionsa mukaan aikuisille pitkän aikavälin todennäköisesti turvallisena altistuksena voi pitää 20 µg nikkeliä/kg rp/vrk. Middle bound -arvion mukaan Finravinto 2012 -aineiston työikäisistä 0,07 % (0 – 0,3 %) ylittää myös tämän rajan. Taulukossa 10 käytetyillä väestöosuuksilla tämä vastaa noin 2 047 henkeä.



Kuva 12. Nikkeli-altistus eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound ja upper bound -arvioina. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). Nikkelin siedettävän päiväsaannin enimmäisarvo EFSA:n mukaan on 2,8 µg/kg rp/vrk.

Nikkeli-pitoisuusaineiston laadun eli useiden keskiarvotietojen vuoksi ei ollut järkevää arvioida akuuttia altistusta. Laskettua altistusta verrattiin kuitenkin EFSA:n akuutille altistukselle määrittämään ARfD-arvoon eli lyhyen aikavälin vertailuarvoon suuntaa-antavan arvion saamiseksi lyhyen aikavälin terveysriskistä. Kuluttajaryhmän P95-altistuksella työikäisten MOE-arvot olivat 0,24 – 0,25 ja hedelmällisessä iässä olevien naisten MOE-arvot 0,20 – 0,21. Mediaanialtistuksella työikäisten MOE-arvo oli 0,5 ja hedelmällisessä iässä olevien naisten 0,4. MOE-arvon pienuus tarkoittaa, että nikkelille herkistyneiden kuluttajien on mahdollista saada oireita elintarvikkeiden välityksellä tapahtuvasta altistuksesta. EFSA:n asiantuntijapaneelin mukaan MOE-arvo 10 tai suurempi tarkoittaisi mitätöntä terveysriskiä, ja riski kasvaa MOE-arvon pienentyessä (EFSA 2015).

Siedettävän päiväsaannin tai vastaavan pitkän aikavälin altistukselle määritetyn arvion ylittyminen tarkoittaa, ettei haittavaikutusten riskiä voida sulkea pois. Vaikka EFSA:n määrittämä siedettävän päiväsaannin enimmäismäärä ylittyy nyt tehdyn arvion mukaan jopa yli miljoonalla suomalaisella aikuisella, Haber ym. (2017) määrittämä, huomattavasti suurempi todennäköisesti turvallisena pidettävä nikkeli-altistus ylittyy vain noin promillega suomalaisista aikuisista. Haber ym. (2017) kritisoivat EFSA:n arviota liiasta varovaisuudesta ja huomauttivat, ettei sitä määritettäessä ollut käytetty benchmark dose -arvon laskemiseen tavanomaista menettelytapaa eli parhaimman mallisovituksen valintaa, vaan raja-arvo oli määritetty pienimmän benchmark dose -arvon pohjalta. Siksi menetelmälliseltä kannalta on mielekkäämpää käyttää nikkelin haitallisuuden arviointiin Haber ym. (2017) esittämää arvoa.

Nikkelille ei ole toistaiseksi määritetty enimmäismääriä elintarvikkeissa. Lainsäädännöllisten enimmäismäärien asettaminen saattaisi alentaa kuluttajien altistusta, mikäli nikkelimääriin voisi vaikuttaa maatalous- ja tuotantokäytännöllillä aiheuttamatta merkittävää ruokahävikkiä.

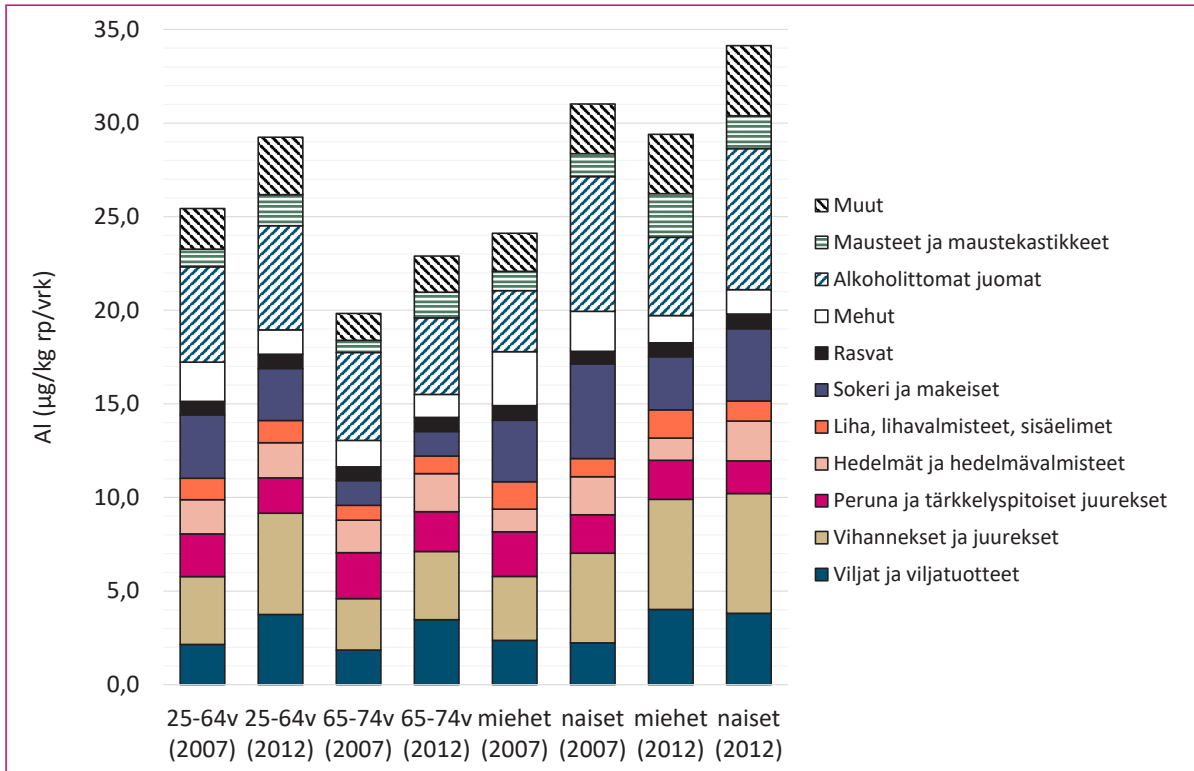
Taulukko 10. EFSA:n nikkelille määrittämän siedettävän päiväsaannin (2,8 µg/kg rp/vrk) ylittävä osuus tutkitusta väestöosasta MB-arvion mukaan. Vuoden 2007 arviot 48-h aineiston pohjalta. Huom., että Haber ym. (2017) esittämän vertailuarvon ylittää vain vajaa promille vuoden 2012 työikäisistä.

Tutkimusvuosi, ikäryhmä	TDI:n ylittävä osuus (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Ylittäjiä Suomen väestötilanteen 31.12.17 mukaan ^{a)}
2007, 25–64 v	29,3	21,6 – 39,4	826 769
2007, 65–74 v	18,2	11,4 – 27,1	123 008
2012, 25–64 v	32,7	25,1 – 40,7	920 932
2012, 65–74 v	20,4	12,8 – 28,4	138 355
2012, 25–45 v naiset	44,2	33,0 – 53,9	297 844
2012, 25–45 v miehet	27,5	16,5 – 39,3	196 872

^{a)} Eri ikäryhmiin kuuluvien henkilöiden lukumäärä: 25–64v 2 819 581 kpl; 65–74v 677 518 kpl; 25–45v naiset 674 375 kpl; 25–45v miehet 715 531 kpl, tilanne 31.12.2017, lähde: [Tilastokeskus](#) (Etusivu > Tuotteet ja palvelut > Suomi lukuina > Väestö)

3.1.7 Alumiini

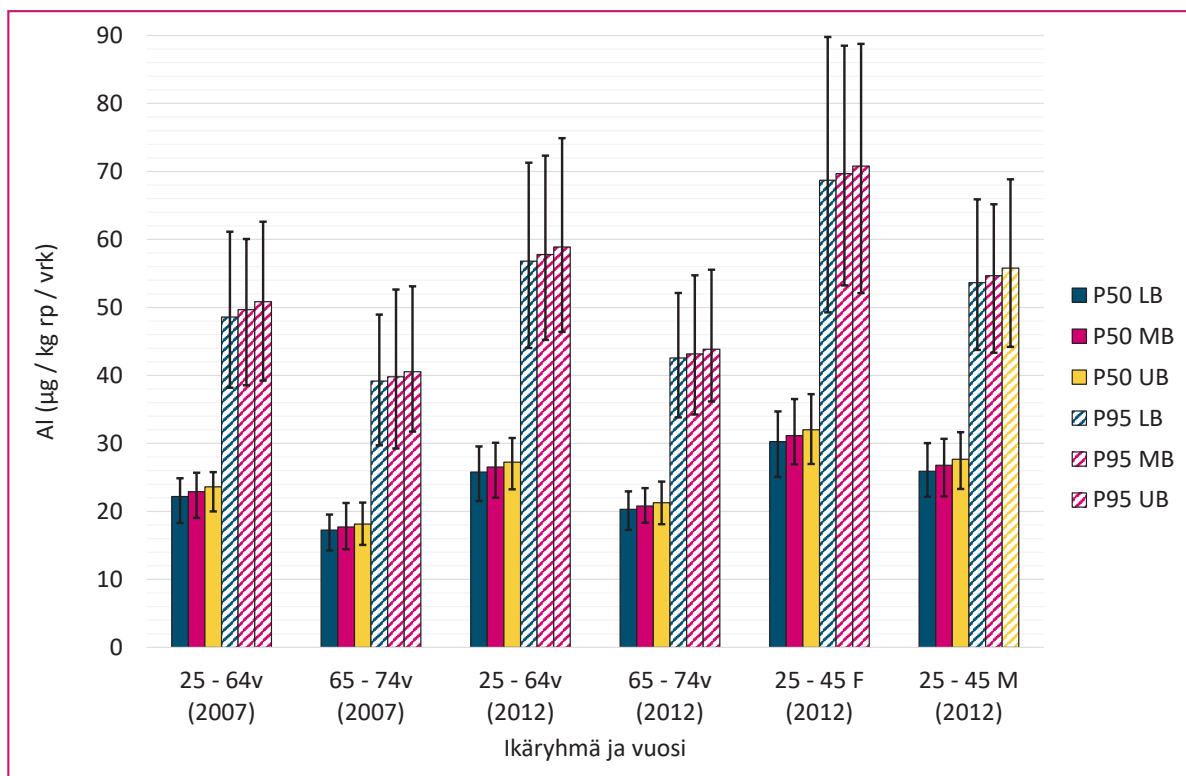
Kuvassa 13 on esitetty elintarvikkeista ja talousvedestä saatavan altistuksen lähteet tutkitussa väestöryhmässä keskimäärin. Suurimpia lähteitä olivat alkoholittomat juomat, vihannekset ja juurekset sekä viljat. Arvioon sisältyy enemmän epävarmuutta kuin muihin tässä raportissa esitettyihin arvioihin, sillä Suomessa määritettyjä alumiinin pitoisuustietoja oli niukasti ja muista Euroopan maista raportoidut arvot eivät ehkä kuvaa tarkasti Suomessa esiintyviä pitoisuuksia.



Kuva 13. Alumiinialtistuksen lähteet tutkittujen väestöryhmien keskiarvotasolla. Ikäluokka 25–45 v on jaoteltu sukupuolen mukaan ja merkitty kuvaan "miehet" tai "naiset". Ryhmään "Muut" on yhdistetty palkokasvit, pähkinät, öljysiemenet, kala ja kalavalmisteet, maito ja maitotuotteet, muna, alkoholijuomat, talousvesi, laihdutustuotteet, yhdistelmäruoat, ravintolisät sekä makeutus- ja valmistusaineet

Sen lisäksi, että tunnistettiin Kuvassa 13 esitetyt altistuslähteet väestössä keskimäärin, selvitettiin myös kunkin kuluttajaryhmän eniten altistuvien (altistusjakauman yläpuolelle 2,5 %:iin kuuluvien) altistuslähteet. Eniten altistuvalla osalla väestöä suurimmat saantilähteet olivat juomat, mausteet, makeiset ja vihannekset ja juurekset.

Myös alumiinialtistuksessa on kuvassa 14 ja taulukossa 11 havaittavissa, että vuoden 2012 ruoankäyttöaineistolla lasketut altistuksen tunnusluvut ovat hiukan suurempia kuin vuoden 2007 vastaavien ryhmien tunnusluvut. Alumiinialtistus jää arvon mukaan kuitenkin lähes koko väestöllä siedettävän viikkosaannin enimmäisarvon alle, mikäli tutkimuksessa käytetyt, pääosin Ranskassa ja Irlannissa määritetyt elintarvikkeiden alumiinipitoisuudet kuvastavat kyllin tarkasti Suomessa esiintyviä. On kuitenkin huomattava, että tässä raportissa tarkastellaan vain vierasaineena esiintyvää alumiinia, toisin sanoen lisäainekäytöstä tuleva saanti jää sen ulkopuolelle. EU:n lisäainekäytössä 1333/2008 on viime vuosina rajoitettu alumiinia sisältävien lisäaineiden käyttökohteita ja sallittuja suurimpia käyttömääriä, joten lisäainekäytöstä tuleva altistus on jo vähentynyt joidenkin vuosien takaisesta. Tarkkaa arviota lisäainekäytöstä tulevan alumiinialtistuksen suuruudesta Suomessa ei ole voitu käytettävissä olleiden tietojen nojalla tehdä, mutta alumiiniyhdisteiden käyttö elintarvikkeiden lisäaineina vaikuttaa teollisuudelta saatujen tietojen (Suomi ym. 2018) perusteella olevan melko vähäistä.



Kuva 14. Alumiinialtistus eri kuluttajaryhmissä. Altistuksen mediaani (P50) ja 95. prosenttipiste (P95) on esitetty 95 %:n luottamusväleineen lower bound, middle bound ja upper bound -arvioina. 25–45-vuotiaiden arvo on erikseen miehille (M) ja naisille (F). Alumiinin siedettävää viikkosaantia vastaava päiväkohtainen arvo on 142,9 µg/kg rp/vrk.

Taulukko 11. Alumiinin siedettävän viikkosaannin (1000 µg/kg rp/viikko) ylittävä osuus tutkitusta väestöosasta MB-arvion mukaan. Vuoden 2007 arvot 48-h aineiston pohjalta.

Tutkimusvuosi, ikäryhmä	TWI:n ylittävä osuus (%)	Arvion 95 %:n luottamusväli	Ylittäjiä Suomen väestötilanteen 31.12.17 mukaan)
2007, 25–64 v	0	0–0,05	144
2007, 65–74 v	0	0–0,05	3
2012, 25–64 v	0	0–0,2	344
2012, 65–74 v	0	0–0,03	1
2012, 25–45 v naiset	0,1	0–0,7	547
2012, 25–45 v miehet	0	0–0,1	38

^{a)} Eri ikäryhmiin kuuluvien henkilöiden lukumäärä: 25–64v 2 819 581 kpl; 65–74v 677 518 kpl; 25–45v naiset 674 375 kpl; 25–45v miehet 715 531 kpl, tilanne 31.12.2017 lähde: [Tilastokeskus](#) (Etusivu > Tuotteet ja palvelut > Suomi lukuina > Väestö)

3.2 Vuosien 2007 ja 2012 vertailu

Kuluttajien ruoankäytön muutokset heijastuvat myös heidän elintarvikkeista ja talousvedestä saamaansa raskasmetallialtistukseen. Ruokailutottumusten nopeat muutokset ovat saaneet aikaan havaittavissa olevia eroja jo vuosien 2007 ja 2012 välillä. Eri ikäryhmien välillä on myös ruoankäytöstä johtuvia raskasmetallialtistuseroja.

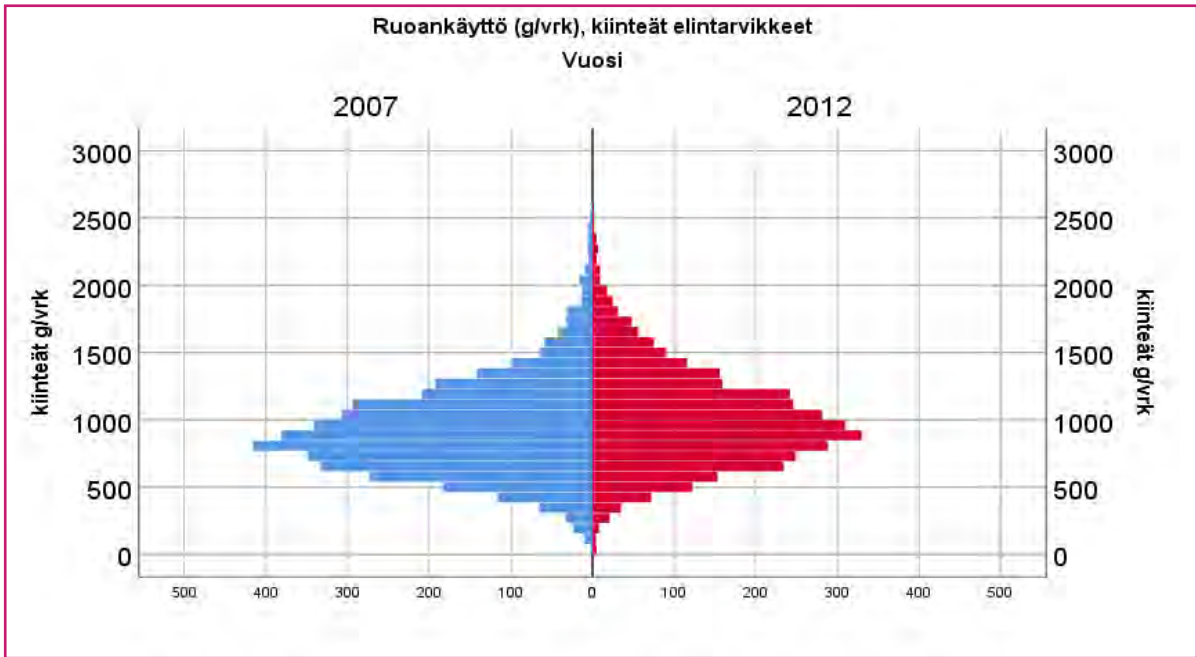
Tässä luvussa vertaillaan kuluttajaryhmien raskasmetallialtistuksen muutoksia arvioista, joissa elintarvikkeiden pitoisuusaineistot ovat olleet identtiset ja näin ollen kaikki altistuserot johtuvat ruoankäytöstä: syötyjen ruokien, niiden ruumiinpainoon suhteutettujen käyttömäärien ja käytön toistuvuuden vaihtelusta.

3.2.1 Ruoankäytössä tapahtuneet muutokset

Raaka-aineiden kulutusmäärien muutoksia vuosien 2007 ja 2012 välillä on tarkasteltu Finravinto-tutkimusten aineistossa elintarvikkeiden koostumustietokanta Finelin raaka-aineiden pääryhmissä ja alaryhmissä erikseen 25–64-vuotiailla ja 65–74-vuotiailla. Tilastollista analyysiä varten raaka-aineiden kulutustiedoille tehtiin logaritimuunnos ja tilastolliset erot analysoitiin epäparametrisella Mann-Whitneyn U-testillä (Paturi ym. 2008, Helldán ym. 2013, Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014, osittain julkaisemattomia tietoja).

Vuosien 2007 ja 2012 välillä tiettyjen raaka-aineiden kulutus suomalaisten aikuisten ruokavaliossa muuttui merkittävästi. Kasvisten kulutus lisääntyi 25–74-vuotiailla miehillä ja naisilla, mutta palkokasvisten kulutus ainoastaan työikäisten miesten ja naisten ryhmissä. Perunaa miehet ja naiset söivät selvästi vähemmän vuonna 2012 vuoden 2007 kulutusmääriin verrattuna. Hedelmien ja marjojen kulutus pysyi ennallaan 25–74-vuotiailla miehillä ja pieneni jonkin verran saman ikäisillä naisilla. Viljavalmisteeden kulutus väheni kaikilla aikuisilla. Miesten ruokavaliossa viljavalmisteeden kulutusmuutos koski kaikkia kotimaisia viljoja, naisten ruokavaliossa erityisesti vehnän ja rukiin kulutusta. Sokerin kulutuksessa miehillä ja naisilla ei havaittu muutosta. Lihan kulutus lisääntyi miehillä, mutta ei naisilla. Kalan kulutus pysyi ennallaan. Juotujen ja ruoanvalmistuksessa käytettyjen nestemäisten maitojen ja juustojen kulutus ei muuttunut kyseisenä ajanjaksona. Rasvojen kokonaiskulutus nousi hiukan naisilla, mutta ei miesten ryhmässä. Juomien kokonaiskulutus lisääntyi hiukan. Mausteiden ja maustekastikkeiden kulutus lisääntyi sekä työikäisillä miehillä että naisilla sekä iäkkäillä naisilla, mutta ei iäkkäillä miehillä.

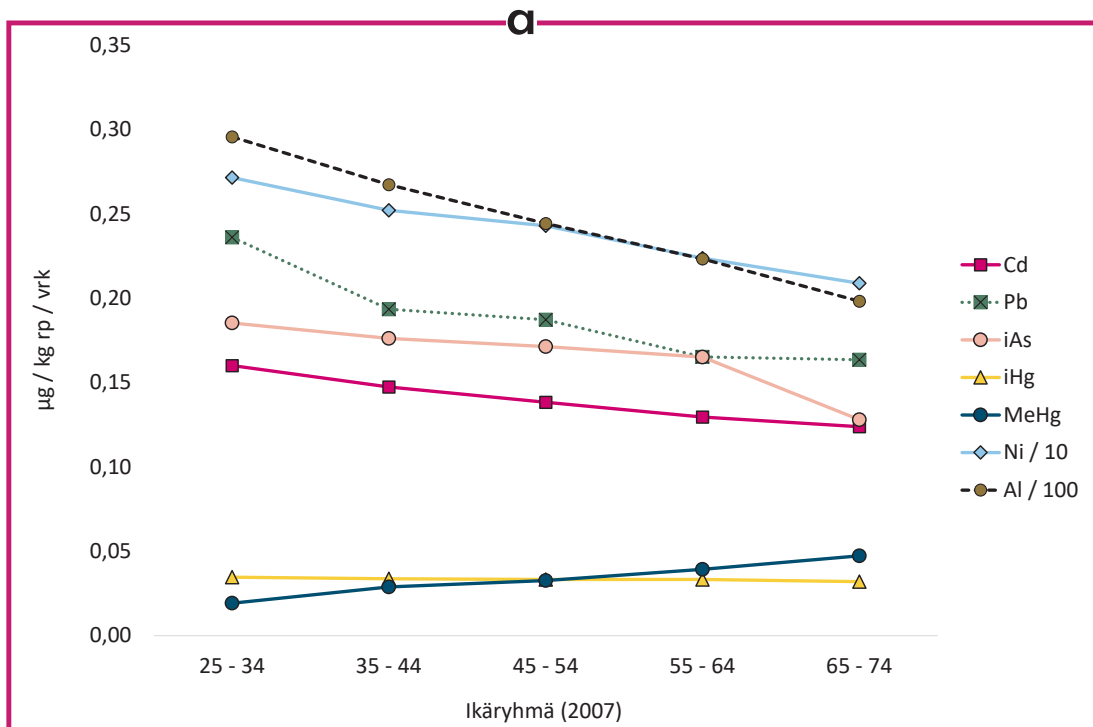
Vuoden 2007 aineistoon kuuluvat 25–74-vuotiaat söivät 24 tunnin aikana kiinteitä elintarvikkeita yhteensä keskimäärin 937 g, mutta vaihtelu oli suurta (min–max 0 – 2586 g). Nesteitä oli nautittu keskimäärin 2166 g/vrk (min–max 452 – 9682 g). Vuoden 2012 aineiston 25–74-vuotiaat söivät 24 tunnin aikana kiinteitä elintarvikkeita yhteensä keskimäärin 1010 g (min–max 0 – 3800 g) ja nesteitä keskimäärin 2163 g (min–max 155 – 8108 g). Ruoankäyttöaineistojen kiinteiden elintarvikkeiden keskimääräiset käyttömäärät (g/vrk) poikkesivat erittäin merkittävästi ($P < 0,001$) toisistaan, mutta nesteiden kulutuksessa ei ollut tilastollista eroa. Kiinteiden elintarvikkeiden käytön jakaumat ruoankäyttöaineistoissa on esitetty kuvassa 15.

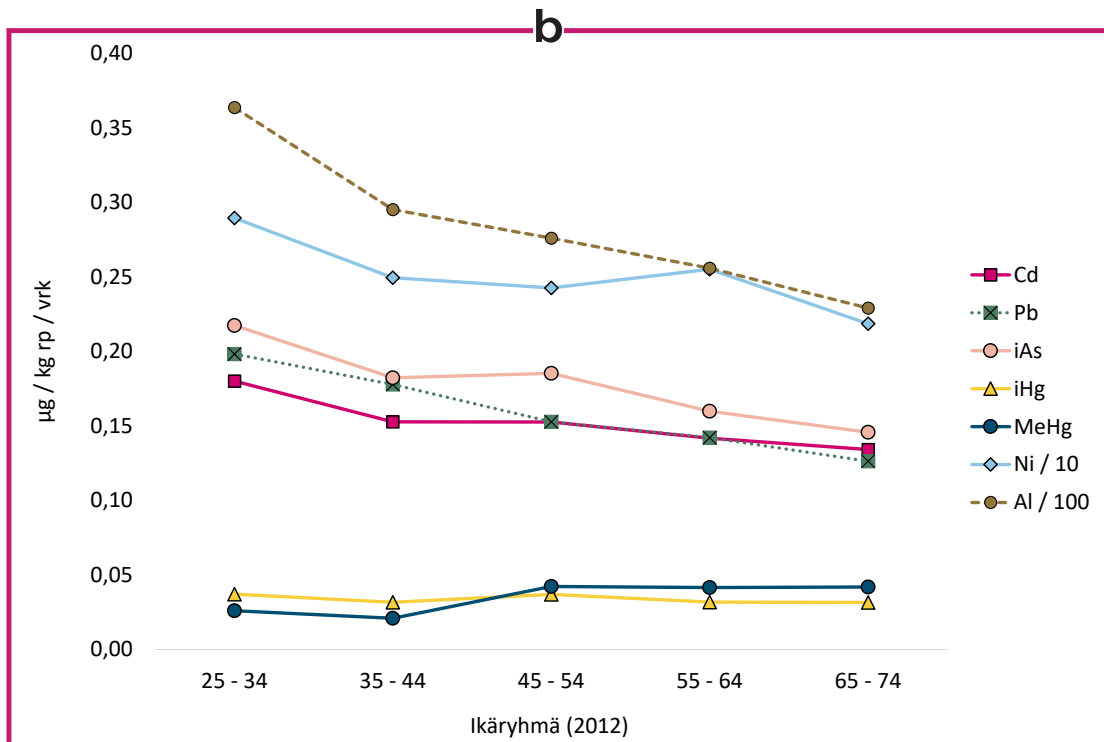


Kuva 15. Kiinteiden elintarvikkeiden (joiksi laskettu kaikki muut kuin tyypillisesti juomina käytettävät elintarvikkeet) kulutuksen jakauma 25–74-vuotiailla vuosina 2007 ja 2012. X-akselilla on käyttäjien lukumäärä. Skaalan yläpäättä on hiukan rajattu; suurin vuorokausimäärä oli 3800 g.

3.2.2 Altistuksen muuttuminen iän funktiona

Raskasmetallialtistus (ja alumiinialtistus) muuttui kummankin tutkitun ruokankäyttöaineiston perusteella samansuuntaisesti: useimpien raskasmetallien kohdalla altistustrendi oli iän myötä vähenevä, mutta metyylielohopea-altistus kasvoi ikääntyneiden suuremman kalankäytön vuoksi. Kuvassa 16 on esitetty keskiarvoaltistus väestössä kymmenen vuotta kattaviin ikäryhmiin jaoteltuina. Alkuperäinen otos väestöstä oli tehty samansuuruisin ikäryhmin.





Kuvat 16 a ja 16 b. Keskiarvoaltistuksen erot eri ikäryhmillä vuosina 2007 (a) ja 2012 (b). Nikkeli-altistus on esitetty kymmenesosana ja alumiini-altistus sadanosana todellisesta, jotta arvot mahtuisivat samaan kuvaajaan. Vuoden 2012 kuvaajan lyijy-arvo huomioi maidosta vain 2010-luvulla mitatut näytteenot.

3.3 Hedelmällisessä iässä olevien naisten altistus verrattuna muihin väestöryhmiin

Käytettävissä ei ollut ruoankäyttötietoja parhaillaan raskaana olevista suomalaisnaisista, joten sikiöaikaista altistusta voidaan arvioida vain epäsuorasti tutkimalla hedelmällisessä iässä olevia (Finravinto-tutkimusaineiston 25–45-vuotiaita) naisia. Raskauden aikainen ruoankäyttö poikkeaa usein tavanomaisesta ruoankäytöstä, sillä suomalaiset naiset tyypillisesti noudattavat Valtion ravitsemusneuvottelukunnan raskauden aikaisen ruoankäytön ohjeita. Myös raskauden aikaisella pahoinvoinnilla voi olla merkittävä vaikutus ruoankäyttötapoihin. Tämän lisäksi raskauden aikainen lisääntynyt energiantarve tyypillisesti lisää naisten ruoankäyttömääriä. Tässä esitettyä tarkemman arvion laatimiseksi olisi tarpeen, että raskauden aikaista ruoankäyttöä selvitetäisiin ruoankäyttöhaastatteluihin verrattavissa olevalla tarkkuudella. Toisaalta pitkään elimistössä viipyvien raskasmetallien tapauksessa raskautta edeltävällä ruoankäytölläkin voi olla merkitystä sikiön kehitykselle: kuten edellä on todettu, luustoon kertynyt lyijy voi päätyä takaisin verenkiertoon raskauden aikana ja vaikuttaa sikiön kehittyvään keskushermostoon.

Finravinto-tutkimusaineiston 25–45-vuotiaiden naisten altistusta verrattiin sekä saman ikäisiin miehiin että muihin työikäisiin, eli 46–64-vuotiaisiin naisiin tai 46–64-vuotiaisiin naisiin ja miehiin. Vertailussa käytettiin MS Excelillä laskettuja t-testejä.

Taulukkoon 12 on koottu tulokset, joissa eron tilastollinen merkitsevyys on osoitettu lukuarvon sijasta helppolukuisempina plussina tai miinuksina. Verrattuna 46–64-vuotiaisiin naisiin, hedelmällisessä iässä olevien naisten kadmium-, lyijy- ja alumiini-altistus oli erittäin merkitsevästi ($P < 0,001$) suurempaa, nikkeli-altistus merkitsevästi ($P < 0,01$) suurempaa ja metyylielohopea-altistus erittäin merkitsevästi

pienempää. Epäorgaaninen arseeni -altistus oli nuoremmilla naisilla jokseenkin merkitsevästi ($P<0,05$) suurempaa kuin vanhemmilla. Sen sijaan samanikäisiin miehiin verrattuna tilastollisia eroja oli vain nikkeli- ja alumiinialtistuksessa (naisilla erittäin merkitsevästi suurempaa) sekä lyijyaltistuksessa (naisilla jokseenkin merkitsevästi suurempaa), kun käytettiin vain 2010-luvulla mitatut maitonäytteet sisältävää lyijyaineistoa. Vuosien 2007 ja 2012 välillä 25–45-vuotiaiden naisten raskasmetallialtistuksessa oli eroja vain kadmium- ja alumiinialtistuksessa (merkitsevästi suurempaa vuonna 2012).

Vuonna 2012 hedelmällisessä iässä olevien naisten metyylielohopea-altistus oli erittäin merkitsevästi pienempi kuin kummassakaan vanhempien kuluttajien ryhmässä. Metyylielohopea-altistuksen muutokseen ovat luultavasti vaikuttaneet kalan syöntisuosituksen rajoitukset, jotka koskevat raskaana olevia naisia, sillä ero syntyi 25–45-vuotiaiden naisten vähäisemmästä kalansyönnistä.

Taulukko 12. Vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston 25–45-vuotiaiden naisten (25-45 F) keskiarvoaltistuksen vertailu saman ikäisiin miehiin (25-45 M), 46–64-vuotiaisiin naisiin (46-64 F), 46–64-vuotiaisiin naisiin ja miehiin (46–64 M&F) sekä vuoden 2007 ruoankäyttöaineiston 25–45-vuotiaisiin naisiin (25-45 F, 2007). Eron merkitsevyys on esitetty plussina ja miinuksina tai merkinnällä "ei", jos eroa ei ollut, ja vertailukohtana on sarakkeessa ensin mainittu ryhmä. Pb* on vuoden 2012 arvio, jossa on maitotuloksista otettu huomioon vain 2010-luvulla analysoidut näytteet.

Aine	25-45 F, 2012 vs 46-64 F, 2012	25-45 F, 2012 vs 46-64 M&F, 2012	25-45 F, 2012 vs 25-45 M, 2012	25-45 F, 2012 vs 25-45 F, 2007
Cd	+++	+++	Ei	++
Pb	+++	+++	Ei	Ei
Pb*	+++	+++	+	(ei määritetty)
iAs	+	++	Ei	Ei
iHg	Ei	Ei	Ei	Ei
MeHg	---	---	Ei	Ei
Ni	++	+++	+++	Ei
Al	+++	+++	+++	++

+, ++, +++ = keskiarvoaltistus jokseenkin merkitsevästi ($P<0,05$), merkitsevästi ($P<0,01$) tai erittäin merkitsevästi ($P<0,001$) suurempi kuin sarakkeen otsikossa jälkimmäisenä mainitun ryhmän

-, --, --- = keskiarvoaltistus jokseenkin merkitsevästi ($P<0,05$), merkitsevästi ($P<0,01$) tai erittäin merkitsevästi ($P<0,001$) pienempi kuin sarakkeen otsikossa jälkimmäisenä mainitun ryhmän

3.4 Arvioita ruoankäytön tulevien trendien vaikutuksesta raskasmetallialtistukseen

Kuluttajien ruoankäyttöön pyritään vaikuttamaan sekä ravitsemuksen ja terveyden edistämisen näkökulmasta että mm. ilmastonmuutoksen kannalta kestävämmän ruokavalion tavoittein tai omissa viiteryhmässä suosittujen trendien seuraamisen kautta. Esimerkiksi Helsingin kaupunginvaltuusto äänesti vuonna 2019, että kaupungin tarjoamissa ruokapalveluissa vähennettäisiin maidon ja lihavalmisteiden kulutusta 50 % vuoteen 2025 mennessä. EAT-Lancet Commissionin (2019) suositus terveellisestä ruokavaliosta esitti tätäkin tiukempia vähennyksiä monen elintarvikeryhmän kulutukseen.

Tämän riskinarvioinnin osana laadittiin karkeita arvioita siitä, kuinka väestön keskimääräinen raskasmetallialtistus muuttuisi joillakin ruoankäytön muutoksilla. Arvioissa oletettiin elintarvikkeissa esiintyvien pitoisuuksien pysyvän ennallaan ja muutettiin tutkitun ryhmän keskimääräisiä elintarvikkeiden kulutusmääriä. Tarkasteluun valittiin ainoastaan vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston 25–45-vuotiaat naiset, joiden raskasmetallialtistus oli aiemmissa luvuissa esitettyjen tulosten perusteella suurempaa kuin muiden väestöryhmien.

Maitotuotteiden korvaamisen osalta karkeaa arviota testattiin myös todennäköisyyspohjaisesti (probabilistisesti) kahdella MCRA-analyysillä, joissa vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston 25–45-vuotiaiden naisten yksilötason ruoankäyttöä muutettiin siten, että nestemäisen maidon jokaisesta käyttökerrasta vähennettiin skenaarion mukainen osuus, lisättiin sama määrä käyttökertoja ja käyttömääriä (g) korvaavalle kasvisjuomatuotteelle ja lopuksi käytiin aineisto läpi yksilötasolla laskien yhteen kasvisjuoman alkuperäinen kulutus ja samalle päivälle skenaariosta tuleva lisäkulutus.

Lisäksi arvioitiin EAT-Lancet Commissionin vuonna 2019 antaman suosituksen mukaisen ruokavalion sekä Suomessa annetun elintarvikkeiden turvallisen käytön ohjeistuksen (<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/>) mukaisen öljykasvien siementen turvallisen käytön enimmäismäärän, 15 g/vrk, vaikutusta raskasmetallialtistukseen.

3.4.1 Maidon kulutus korvautuu kasvipohjaisella juomalla

Tutkitussa väestöryhmässä nestemäistä maitoa kulutettiin keskimäärin 288 g/vrk. Skenaariossa oletettiin, että juuston ja muiden maitotuotteiden kulutus säilyy ennallaan.

Suuntaa-antavassa arviossa tutkittuna vaikutuksena oli oletus, että koko väestössä maidon kulutus puolittuisi (- 50 %) ja kasvipohjaisen juoman kulutus kasvaisi nykyisestä samansuuruisella määrällä. Tiedot kasvipohjaisten juomien raskasmetallipitoisuuksista perustuvat osittain kirjallisuustietoihin, mutta kadmium-, lyijy- ja arseenipitoisuudet olivat enimmäkseen Suomessa määritettyjä.

Maidon korvautuminen kaurajuomalla lisäisi keskimääräistä nikkeli-altistusta 42 % ja elohopea-altistusta 26 %, mutta kadmium-, lyijy-, epäorgaaninen arseeni- ja alumiinialtistukset muuttuisivat enintään prosentilla. Elohopea-altistus olisi huomattavasti alle siedettävän viikkosaannin enimmäisarvon vielä nousun jälkeenkin, mutta nikkelin keskimääräinen saanti ylittäisi EFSA:n määrittämän hyväksyttävän päiväsaannin enimmäismäärän. Maidon korvautuminen riisijuomalla lisäisi nikkeli- ja elohopea-altistusta samalla tavoin kuin kaurajuoman käyttö, mutta lisäksi epäorgaaninen arseeni -altistus lisääntyisi 23 %. Soijajuoman käyttö korvikkeena lisäisi kadmium- ja lyijyaltistusta noin 8 %, epäorgaaninen arseeni -altistusta 18 %, elohopea-altistusta 26 %, nikkeli-altistusta 31 % ja alumiinialtistusta 5 %. Käytettävissä olleiden pitoisuustietojen valossa kaurajuomasta aiheutuisi siis näistä kolmesta vaihtoehdosta vähäisin altistuksen kasvu muille raskasmetalleille kuin nikkeliille. Kaikki kasvipohjaiset juomat maidon korvikkeina käytettyinä kuitenkin joko lisäsivät altistusta tai niiden vaikutus olisi neutraali.

MCRA-ohjelmalla tehdyssä tarkemmissa skenaariolaskelmissa (Taulukko 13) käytettiin seuraavia oletuksia:

- Skenaario 1: 50 % nestemäisen maidon kulutuksesta muuttuu kaurajuoman kulutukseksi
- Skenaario 2: nestemäisen maidon kulutus korvautuu täysin kasvisjuomilla suhteessa 70 % kaurajuomaa, 20 % soijajuomaa, 4 % riisijuomaa ja 6 % muita kasvisjuomia.

Skenaario 1 lisäisi mallinnuksesta johtuen erityisesti nikkelin ja epäorgaanisen arseenin saantia, vaikka kauramaidon iAs-pitoisuudet olivatkin määritysrajaa alempia. Skenaario 2 lisäisi huomattavasti kuluttajien nikkeli-altistusta ja kasvattaisi myös epäorgaanisen arseenin saantia. Vaikutukset kadmiumin, lyijyn ja elohopean saantiin olisivat vähäiset, vaikka kaikkien arvioitu saanti olikin nykytilaa suurempi.

Taulukko 13. Middle bound -altistus vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston 25–45-vuotiailla naisilla nykyhetkellä ja skenaarioissa. Nikkeli-altistuksen 20 µg/kg rp/vrk ylittäjiä olisi skenaariossa 1 noin yksi sadasta tuhannesta ja skenaariossa 2 noin 107 kpl sadasta tuhannesta kuluttajasta.

Aine	Taso	Alkuperäinen (CI 95%)	Skenaario 1(CI 95%)	Skenaario 2(CI 95%)
Cd	P50 (µg/kg rp/vrk)	0,161 (0,148 – 0,171)	0,164 (0,149 – 0,174)	0,168(0,157 – 0,180)
	P95 (µg/kg rp/vrk)	0,292 (0,259 – 0,325)	0,295 (0,265 – 0,328)	0,302 (0,272 – 0,340)
	TWL:n ylittävä osuus (%)	1,3 % (0,4 – 3,0 %)	1,4 % (0,4 – 3,1 %)	1,6 % (0,5 – 3,7 %)
Pb	P50 (µg/kg rp/vrk)	0,171 (0,150 – 0,195)	0,190 (0,169 – 0,209)	0,182 (0,157 – 0,206)
	P95 (µg/kg rp/vrk)	0,382 (0,326 – 0,463)	0,403 (0,338 – 0,472)	0,393 (0,328 – 0,478)
	0.50 µg/kg rp/vrk ylittävä osuus (%)	1,3 % (0,4 – 3,6 %)	1,6 % (0,5 – 4,0 %)	1,5 % (0,4 – 4,3 %)
iAs	P50 (µg/kg rp/vrk)	0,179 (0,167 – 0,195)	0,213 (0,170 – 0,257)	0,222 (0,177 – 0,269)
	P95 (µg/kg rp/vrk)	0,328 (0,286 – 0,374)	0,400 (0,294 – 0,487)	0,408 (0,310 – 0,494)
	0.30 µg/kg rp/vrk ylittävä osuus (%)	8,1 % (3,5 – 13,5 %)	18,5 % (4,4 – 34,7 %)	20,9 % (6,1 – 37,1 %)
iHg	P50 (µg/kg rp/vrk)	0,031 (0,03 – 0,04)	0,039 (0,04 – 0,04)	0,046 (0,042 – 0,051)
	P95 (µg/kg rp/vrk)	0,064 (0,05 – 0,08)	0,075 (0,07 – 0,09)	0,093 (0,084 – 0,105)
	TWL:n ylittävä osuus (%)	0 %	0 %	0 %
Ni	P50 (µg/kg rp/vrk)	2,70 (2,34 – 2,92)	3,55 (3,23 – 3,88)	4,29 (3,92 – 4,62)
	P95 (µg/kg rp/vrk)	5,37 (4,57 – 6,34)	7,51 (6,51 – 8,40)	9,93 (8,73 – 11,13)
	2,8 µg/kg rp/vrk ylittävä osuus (%)	44,2 % (33,0 – 53,9 %)	70,1 % (62,5 – 77,6 %)	79,9 % (73,8 – 85,3 %)

3.4.2 Punaisen lihan kulutus korvautuu pavuilla, soijatuotteilla tai kalalla

Tutkitussa väestöryhmässä punaista lihaa kului keskimäärin seuraavia määriä: sika 9,9 g/vrk; nauta 20,9 g/vrk; sika-nauta 9,1 g/vrk; lammas 1,3 g/vrk; poro 0,7 g/vrk; hirvi 0,8 g/vrk; sianlihavalmistete 10,4 g/vrk; sika-nautavalmistete 0,5 g/vrk.

Suuntaa-antavassa arvioissa tutkittuna vaikutuksena oli oletus, että väestötasolla 25 % punaisen lihan kulutuksesta korvautuisi samoina grammamäärinä joko soijapohjaisilla tuotteilla tai pavuilla (sika, nauta) ja linsseillä (muut punaisen lihan lähteet).

Papujen ja linsien käytön lisääntyminen punaisen lihan kustannuksella olisi kuluttajien raskasmetallialtistuksen kannalta melko neutraali: suurin muutos nykytilaan nähden olisi nikkellillä, jonka keskimääräinen saanti kasvaisi noin 2 %. Muiden raskasmetallien saanti muuttuisi enintään puoli prosenttia suuntaan tai toiseen. Punaisen lihan korvautuminen soijatuotteilla sen sijaan lisäisi altistusta eri raskasmetalleille 1 – 3 %.

Pienemmistä päivittäisistä käyttömääristä johtuen näiden skenaarioiden vaikutus raskasmetallialtistukseen on vähäisempi kuin maitoa koskevien skenaarioiden.

Vaihtoehtona tutkittiin sitä, että väestötasolla 25 % punaisen lihan kulutuksesta korvautuisi samoina grammamäärinä kotimaisella kalalla. Suuntaa-antavassa arviossa oletettiin kalan olevan joko ”keskiarvokalaa” (keskiarvo hauen, ahvenen, silakan ja muikun keskiarvopitoisuuksista), pitoisuusaineiston ainoaa särkikaloihin kuuluvaa lajia eli lahnaa, tai kotimaisia makean veden kaloja ja kasvatettua kirjolohta samassa suhteessa kuin niitä oli kulutettu vuoden 2012 ruoankäyttötiedoissa. Makean veden kaloissa rajoituttiin niihin, joista oli sekä pitoisuus- että ruoankäyttötietoja.

Kalojen kulutuksen lisääntyminen olisi kuluttajien raskasmetallialtistuksen kannalta melko neutraali lukuun ottamatta altistusta elohopeayhdisteille. Muiden raskasmetallien saanti muuttuisi joitakin promilleja suuntaan tai toiseen, mutta lahnan tai makean veden kalojen käytön lisääntyminen kasvattaisi altistusta epäorgaaniselle elohopealle noin 7 % ja metyylielohopealle 60 – 67 %.

”Keskiarvokalan” käytön lisääntyminen kasvattaisi altistusta epäorgaaniselle elohopealle 25 % ja noin kolminkertaistaisi metyylielohopea-altistuksen. Epäorgaanisen elohopean siedettävän viikkosaannin enimmäismäärä ei ylittyisi näillä arvoilla, mutta eniten metyylielohopealle altistuvista nykyistä suurempi osuus ylittäisi siedettävän viikkosaannin enimmäismäärän.

Kotimaisten kalojen käytön lisäämiseksi tarvittaisiin lisää tutkimuksia, joissa kartoitettaisiin paikallisia pitoisuusvaihteluita ja keskityttäisiin syöntikokoisiin kaloihin. Jatkotutkimukset tarjoaisivat lisätietoa lähikalojen käytön turvallisen lisäämisen tueksi ja voisivat tarjota mahdollisuuden alueellisten käyttösuositusten antamiseen. Tässä raportissa kalojen pitoisuusaineistot on suurelta osin koottu ympäristöntutkimuksen näkökulmasta, joten ne eivät ehkä täysin kuvaa kuluttajien todellisuudessa syömiä kaloja. Pitoisuusaineistosta puuttuu joukko vähemmän käytettyjä kalalajeja, esimerkiksi särki ja muut särkikalat lahnaa lukuun ottamatta, joten niitä koskevia johtopäätöksiä ei voida tehdä.

3.4.3 Öljysiementen kulutus koko väestöryhmässä nousee tasolle 15 g/vrk

Öljysiementen keskimääräinen kulutus tutkimuksessa väestöryhmässä oli 1,8 g/vrk, josta auringonkukan siemeniä 40 %, pellavan ja kurpitsan siemeniä 19 % kumpiakkin, seesaminsiemeniä 9 %, hampppua 8 % ja pinjansiemeniä 5 %.

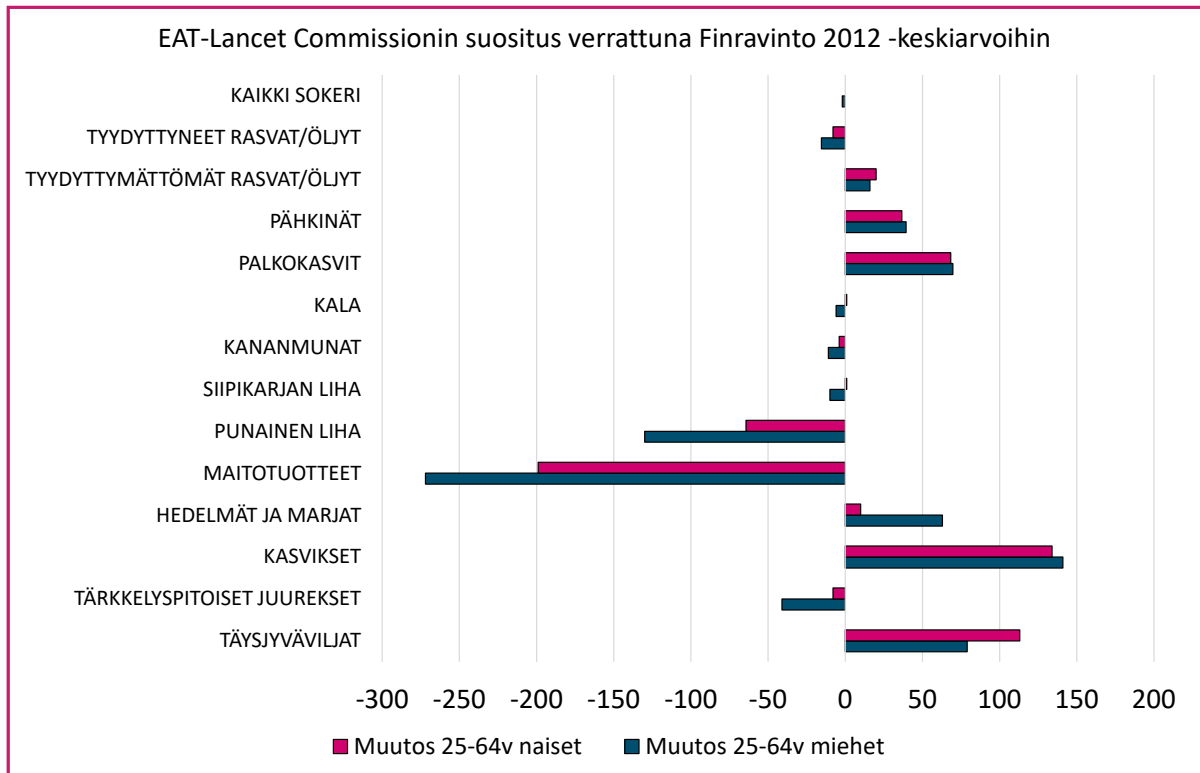
Raskasmetallipitoisuudet eri öljysiementen välillä vaihtelevat (Evara 2017). Esimerkiksi chiansiemenissä, jotka hyväksyttiin uuselintarvikkeeksi vasta vuoden 2012 ruoankäyttötietojen kokoamisen jälkeen, kadmiumpitoisuus on hyvin pieni, lyijyä ja elohopeaa ei havaittu mitattavissa olevina pitoisuuksina, epäorgaanisen arseenin pitoisuudet olivat hiukan suuremmat kuin muissa öljysiemenissä, ja nikkelin ja alumiinin pitoisuudet olivat öljysiementen keskimääräistä suuruusluokkaa.

Tutkittuna vaikutuksena oli öljysiementen käytön lisääminen Ruokaviraston sivuilta löytyvien turvallisen käytön suositusten enimmäismäärän mukaiseksi, 15 g/vrk. Nykykäyttöön lisättiin 13,2 g/vrk siemenseosta, joka sisältää yleisimmin tarjolla olevien siemenseosten lajeja: auringonkukka, kurpitsa ja pinja. Tällä koostumuksella siemenseos löytyy myös Finelistä. Eri siementen oletettiin esiintyvän seoksessa samassa suhteessa, eli kunkin lajin käyttö kasvaisi 4,4 g/vrk.

Suuntaa-antavan arvion mukaan siementen käytön lisääntyminen vaikuttaisi lähinnä kadmiumin (+19 %) ja nikkelin (+24 %) saantiin, ja muiden raskasmetallien saanti lisääntyisi enintään 2 %.

3.4.4 EAT-Lancet Commissionin suositus

EAT-Lancet Commission julkaisi keväällä 2019 suosituksen terveellisestä ruokavaliosta (EAT-Lancet Commission, 2019). Kuvassa 17 Finravinto 2012 -tutkimuksen 25–64-vuotiaiden miesten ja naisten keskimääräistä ruoankäyttöä verrataan suosituksen arvoihin. Suosituksen lukuarvot on esitetty taulukossa 14.



Kuva 17. EAT-Lancet Commissionin suosituksen mukainen ruoankäyttö verrattuna Finravinto 2012 -raportissa julkaistuihin keskiarvoihin. Finravinto-raportin taulukossa 4.7 palkokasvien ja pähkinöiden käyttö oli yhdistetty, ja kuvaajaa varten arvioitiin pähkinöiden käyttö noin kaksinkertaiseksi palkokasvien käyttöön nähden. Täysjyväviljoja verrattiin raportin viljojen käyttöön. Hedelmät ja marjat -ryhmä ei sisällä mehuja, kala-ryhmä sisältää myös äyriäiset, sokeri sisältää myös suklaan ja makeiset, tyydyttymättömiä rasvoja vastaava raportista poimittu arvo on öljyjen ja margariinien summa, ja tyydyttyneitä rasvoja vastaava voin ja muiden rasvojen summa.

Karkeana arviona tutkittiin 25–45-vuotiaiden naisten ruokavalion muutosta, jossa suosituksen raja-arvoja otettaisiin osittain käyttöön:

- a) maidon, juuston, hapanmaitotuotteiden ja maitopohjaisen jäätelön kulutus pienenesi nykyisestä yht. 430 g/vrk tasolle yht. 250 g/vrk nykyisillä käyttösuhteilla,
- b) punaisen lihan (nauta, sika, lammas sekä näistä tehdyt lihavalmisteet) kulutus pienenesi nykyisestä yht. 52 g/vrk tasolle yht. 14 g/vrk nykyisillä käyttösuhteilla,
- c) siipikarjanlihan ja siipikarjanlihavalmisteiden kulutus kasvasi nykyisestä yht. 4 g/vrk tasolle yht. 29 g/vrk nykyisillä käyttösuhteilla,
- d) kananmunien kulutus pienenesi nykyisestä 18 g/vrk tasolle 13 g/vrk,
- e) kalojen (tässä ei mukana äyriäisiä) kulutus kasvasi nykyisestä yht. 22 g/vrk tasolle yht. 28 g/vrk nykyisillä käyttösuhteilla,
- f) pähkinöiden (sisältää maapähkinän) kulutus kasvasi nykyisestä yht. 6 g/vrk tasolle 50 g/vrk nykyisillä käyttösuhteilla,
- g) palkokasvien (soija ei mukana skenaariossa) kulutus kasvasi nykyisestä yht. 3 g/vrk tasolle 75 g/vrk nykyisillä käyttösuhteilla, sekä
- h) muiden elintarvikkeiden kulutus säilyisi ennallaan

Tämän karkean arvion perusteella 25–45-vuotiaiden naisten keskiarvoaltistus raskasmetalleille kasvaisi ruokavalion muutoksen myötä. Kadmiumin ja epäorgaanisen arseenin saanti lisääntyisi 14 %, lyijyn saanti 30 %, epäorgaanisen elohopean 41 %, metyylielohopean 27 %, nikkelin jopa 120 %. Myös alumiinin saanti lisääntyisi, mutta vähemmän kuin raskasmetallien.

Jos ruokavalio sisältäisi vain EAT-Lancet Commissionin suositusten mukaiset elintarvikemäärät, eli niiden lisäksi nautittaisiin vain vettä, 25–45-vuotiaiden naisten altistus nikkelille, kadmiumille ja metyylielohopealle kasvaisi nykytasosta. Muidenkin raskasmetallien saanti kasvaisi hiukan, mutta vähemmän kuin edellä esitetystä karkeasta arviosta.

EAT-Lancet Commissionin suosituksessa painottuu nykyiseen verrattuna monia elintarvikeryhmiä, joiden sisältämille raaka-aineille on asetettu raskasmetallipitoisuuksien enimmäismääriä vierasaineasetuksessa (EY) No 1881/2006. Koska karkean arvion mukaan kadmiumaltistus kasvaisi suositusten mukaisella ruokavaliolla, elintarvikkeiden Cd-pitoisuuksien valvonta olisi tulevaisuudessakin oleellista ja Suomen derogaatio rajoittaa kansallisesti lannoitevalmisteiden kadmiumpitoisuuksia tulee entistäkin merkityksellisemmäksi kuluttajan terveyden kannalta. Jo nyt on todettu (Salo ym. 2018; Aakkula ym. 2019) lannoitteita koskevan poikkeuksen olevan tärkeä suomalaisten kadmiumaltistuksen rajoittamisessa.

Taulukko 14. EAT-Lancet Commissionin suositusten mukainen kulutus (g/vrk) sekä raskasmetallien pitoisuuksista näissä elintarvikeryhmissä. Pitoisuuskooste elintarvikeryhmätasolla on liitteen taulukossa L2. Kirjallisuustietojen osuus aineistosta rajoittuu joissakin tapauksissa elintarvikeryhmän sisällä vähän käytettyihin tuotteisiin. Jos kirjallisuustietoja ei ole mainittu, kaikki näytteet ovat Suomessa analysoituja (kotimaista tuotantoa tai Tullilaboratoriossa tutkittuja).

Elintarvikeryhmä	EAT-Lancet suositus	Raskasmetallipitoisuuksista elintarvikeryhmän sisällä	Suomessa tuotettujen näytteiden osuus projektin aineistosta (noin)
Täysjyväviljat	232	Cd: vehnä > kaura > ohra > ruis Pb: vehnä > kaura, ohra > ruis iAs: kaura > muut, mutta riisi >> kaura Hg alle määritysrajan kotimaisissa viljoissa Ni: kaura >> vehnä > ohra > ruis	Cd 70 % Pb 40 % iAs 100 % Hg 80 % Ni 100 %
Tärkkelyspitoiset juurekset (peruna ym.)	50	Pienet Cd- ja Pb-pitoisuudet, iAs ja Hg alle määritysrajan	Cd 30 % Pb 35 % iAs 98 %; kirjallisuustietoja 2 % Hg 17 %; kirjallisuustietoja 83 % Ni 68 %; kirjallisuustietoja 32 %
Kasvikset	300	Jaoteltu alaryhmätasolle taulukossa L2. Merilevässä (kuivattu) jopa yli mg/kg pitoisuuksia iAs, Ni, Cd	Cd 30 %; kirjallisuustietoja 5 % Pb 30 %; kirjallisuustietoja 4 % iAs 85 %; kirjallisuustietoja 8 % Hg 25 %; kirjallisuustietoja 60 % Ni 70 %; kirjallisuustietoja 28 %
Hedelmät (ja marjat)	200	Pitoisuudet pieniä (LB ≤ 10 µg/kg paitsi Ni, metsämarjoissa Pb voi olla suurempi)	Cd 8 %; kirjallisuustietoja 13 % Pb 12 %; kirjallisuustietoja 12 % iAs 29 %; kirjallisuustietoja 37 % Hg 8 %; kirjallisuustietoja 90 % Ni 37 %; kirjallisuustietoja 63 %

Elintarvikeryhmä	EAT-Lancet suositus	Raskasmetallipitoisuuksista elintarvikeryhmän sisällä	Suomessa tuotettujen näytteiden osuus projektin aineistosta (noin)
Maitotuotteet	250	Hyvin pienet pitoisuudet	Cd 92 %; kirjallisuustietoja 7 % Pb 94 %; kirjallisuustietoja 6 % iAs 96 %; kirjallisuustietoja 4 % Hg 92 %; kirjallisuustietoja 8 % Ni 15 %; kirjallisuustietoja 85 %
Nauta, lammas, sika (ja lihavalmisteteet näistä)	14	Raskasmetallipitoisuudet pienet: liha kaikki alle 20 µg/kg ja suurin osa alle 10 µg/kg; paitsi riistassa Pb voi olla suurehko; lihavalmisteteet alle 23 µg Pb ja alle 31 µg Cd/kg. Sisäelimissä suuremmat pitoisuudet kuin lihassa. As määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia lähinnä riistassa.	Cd 100 %; kirjallisuustietoja 0,3 % Pb 100 %; kirjallisuustietoja 0,4 % iAs 99 %; kirjallisuustietoja 1 % Hg 73 %; kirjallisuustietoja 27 % Ni 93 %; kirjallisuustietoja 7 %
Siipikarja (ja siipikarjanlihavalmisteteet)	29	Ni-pitoisuudet suuremmat kuin punaisessa lihassa	
Kananmunat	13	Pienet pitoisuudet	Cd, Pb, iAs, Hg ja Ni: 100 %
Kala	28	Pitoisuuksissa vaihtelua lajeittain. Suurimmat Hg-pitoisuudet petokaloissa (hauki, ahven).	Cd 73 %; kirjallisuustietoja 3 % Pb 83 %; kirjallisuustietoja 4 % iAs 78 %; kirjallisuustietoja 7 % Hg 93 %; kirjallisuustietoja 2 % Ni 69 %; kirjallisuustietoja 5 %
Palkokasvit	75	Soijassa Ni-pitoisuudet jopa yli 3 mg/kg ja Cd-pitoisuudet myös keskiarvoa suuremmat.	Cd 13 % Pb 14 % iAs 88 % Hg 0 % Ni 27 %
Pähkinät	50	Ni-pitoisuudet jopa yli 2 mg/kg. Pb-pitoisuudet joissakin lajeissa jopa 100 µg/kg. On syytä huomata, että pähkinöissä raskasmetalleja oleellisempi kemiallinen vaara ovat aflatoksiinit.	Kotimaisia 0 %
Tyydyttymättömät rasvat/öljyt	40	Pienet pitoisuudet	Cd 69 %; kirjallisuustietoja 8 % Pb 73 %; kirjallisuustietoja 7 %
Tyydyttyneet rasvat/öljyt	11,8	Pienet pitoisuudet	iAs 80 %; kirjallisuustietoja 20 % Hg 75 %; kirjallisuustietoja 25 % Ni 8 %; kirjallisuustietoja 92 %
Kaikki sokeri	31	Suklaassa suurehko Ni-, Cd- ja Pb-pitoisuudet, muissa ryhmän tuotteissa pitoisuudet keskitasoa.	Cd 56 %; kirjallisuustietoja 11 % Pb 79 %; kirjallisuustietoja 8 % iAs 17 %; kirjallisuustietoja 71 % Hg kirjallisuustietoja 100 % Ni 13 %; kirjallisuustietoja 87 %

4. Riskinarviointiin liittyvät epävarmuudet

Taulukko 15 esittää, onko kuluttajan altistus todennäköisesti arvioitu todellista suuremmaksi (+) tai pienemmäksi (-) riskinarvioinnin menetelmiin ja saatavilla olleisiin aineistoihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi.

Taulukko 15. *Epävarmuudet ja niiden vaikutukset tuloksiin. (+) = altistus arvioitu todennäköisesti liian suureksi; (-) = altistus arvioitu todennäköisesti liian pieneksi; (+/-) = epävarmuuden vaikutusta altistukseen ei voi tietää.*

Tekijä	Merkitys	Vaikutus
Ruoankäyttö- aineistoon liittyvät epävarmuudet	<ul style="list-style-type: none"> Mahdolliset virheet ruoan laatu- ja kirjaamisessa Annoskokojen arviointiin liittyvä epävarmuus Raportointipäivien peräkkäisyys ja siitä johtuva yksilönsisäisen vaihtelun aliarviointi 48-h ruoankäyttöaineistoissa. Ravitsemustutkimuksen tarpeisiin kehitetyn tallennuksen yhteydessä voi tietoihin tulla altistuksen arviointia vääristäviä muutoksia koostumustietokannan puutteiden vuoksi tai muista syistä. Ravinnon koostumuksen mahdollinen vuodenaikavaihtelu (marjat, kasvikset, kala, riistan liha, kinkku). Ruoankäyttöaineistot oli kerätty tammi-maaliskuussa. 	+ / -
Mitatut näytteet	<ul style="list-style-type: none"> Näytteet olivat enimmäkseen kohdennetusti kerättyjä valvontanäytteitä, joissa pitoisuudet saattavat olla suurempia kuin Suomessa keskimäärin. Joistakin tuotteista oli otettu vain vähän näytteitä, ja tulosten jakauma ei siksi ehkä kuvaa tyypillisiä Suomessa esiintyviä pitoisuuksia. 	+
Arsenin ja elohopean spesiointi	<ul style="list-style-type: none"> Epäorgaaninen arseeni oli määritetty laboratoriossa vain joistakin kymmenistä näytteistä. Muita osin iAs laskettiin kokonaisarsenin osuuskertoimien avulla. MeHg ja iHg laskettiin kokonaiselohopeasta osuuskertoimien avulla, sillä elohopean eri muodoista ei ollut pitoisuustietoja. Osuuskertoimien summa on yli 100 % kokonaiselohopean määrästä. 	iAs + / - MeHg + iHg todennäköisesti +
Kirjallisuus- tiedot	<ul style="list-style-type: none"> Kirjallisuudesta (EFSA:n raportit, ANSES:n ym. kokonaisruokavaliotutkimukset, Tanskan FRIDA-koostumustietokanta jne.) otetut keskiarvopitoisuudet eivät ehkä kuvaa tarkasti maassamme esiintyviä pitoisuuksia. EFSA:n julkaisemat lähinnä keskieuropallaiseen aineistoon perustuvat keskiarvopitoisuudet ovat useille elintarvikkeille suurempia kuin Suomessa mitatut, mutta trendi ei ole aina sama: joidenkin elintarvikkeiden mitatut pitoisuudet ovat olleet Suomessa suurempia. Kirjallisuuden keskiarvopitoisuuksia käytettiin vain tuotteille, joista ei ollut suomalaisia mittaustietoja. 	+ / -
Näytteiden prosessointi	<ul style="list-style-type: none"> Raskasmetallipitoisuudet oli suurimmalta osin mitattu raaka-aineista (esim. raaka kala). Kypsennyksen vaikutusta ei pystytty ottamaan huomioon arvioissa. Kypsennyksessä saattaa raskasmetallin kemiallinen muoto tai imeytymistehokkuus muuttua. Useat kypsennysmenetelmät vähentävät tuotteen raskasmetallipitoisuuksia (Perelló ym. 2008), mutta kuumennus saa kalan suurimpana arseenikomponenttina esiintyvän, suhteellisen vaarattoman arsenobetaiinin osin reagoimaan myrkyllisemmiksi (orgaanisiksi) yhdisteiksi (Devesa ym. 2001). Tässä riskinarvioinnissa ei käsitelty orgaanisen arseenin merkitystä kuluttajan terveyteen, sillä iAs on haitallisin arseenin muoto. 	pitoisuudet pääosin -, imeytyminen + / -

Tekijä	Merkitys	Vaikutus
Määrittäjärajat	<ul style="list-style-type: none"> • Joillakin elintarvikkeilla yhdessäkään näytteessä ei ollut määrittäjärajan ylittävää pitoisuutta tutkittavaa raskasmetallia. Näiden elintarvikkeiden jättäminen pois laskuista aliarvioi altistusta (pieniä määriä raskasmetalleja on kaikkialla), mutta niiden mukaan ottamisen arvioitiin aiheuttavan suuremman virheen. • Joillekin elintarvikkeille määrittäjärajat ovat (olleet) korkeita, ja tällöin yksi määrittäjärajan ylittävä tulos saattoi johtaa yliarvioon, jos valtaosa tuloksista olisi todellisuudessa ollut pienempiä kuin ½LOQ. 	vaikutuksen suunta riippuu skenaariosta (LB, MB, UB)
LB-, MB- ja UB-arviot	<ul style="list-style-type: none"> • Lower bound -skenaario luultavasti aliarvioi altistusta yleisesti ympäristössä esiintyvien aineiden kuten raskasmetallien tapauksessa. • Middle bound -skenaariolla laskettu altistus voi olla tuntematonta todellista altistusta suurempi tai pienempi. • Upper bound -skenaario yliarvioi altistusta, erityisesti jos määrittäjärajat ovat olleet suuria osassa aineistoa. 	LB - MB +/- UB +
Ruoankäyttö-aineistojen koko	<ul style="list-style-type: none"> • Ruoankäyttöaineistot oli koottu kattavasti eri puolilta maata, joten niihin ei liity paikallisuudesta johtuvaa virhettä, kuten suomalaislapsia koskevassa riskinarvioinnissa (Eviran tutkimuksia 2/2015). • ”Hedelmällisessä iässä olevien” (25–45v) naisten ryhmän koon vuoksi (421 naista 2007, 356 naista 2012) jo yksittäiset suurkuluttajat saattoivat vaikuttaa malliin. 	vähäinen virhe; +/-
Altistusmalli	<ul style="list-style-type: none"> • MCRA-mallin laskentaepävarmuutta arvioitiin bootstrap-menetelmällä, ja arvioiden luottamusvälit kertovat tästä epävarmuudesta. Tuntemattomaksi jää se, onko laskentaan valittu beetabinomiaalis-normaalinen sovitus jakaumille luotettavin tapa mallintaa projektissa käsiteltyjä tuloksia, joissa oli paljon määrittäjärajan alle jääviä tietoja ja osin pieniä näytemääriä. 	+/-

5. Johtopäätökset

- Altistuksen suuruuteen vaikuttaa elintarvikkeessa esiintyvien pitoisuuksien lisäksi se, kuinka usein ja kuinka suuria annoksia elintarviketta tyypillisesti käytetään. Tämän vuoksi altistuslähteinä korostuvat usein ruoat, joita syödään päivittäin ja suurina annoksina, vaikka niiden raskasmetallipitoisuudet olisivat pienet. Arvioihin altistuksesta liittyy epävarmuutta, sillä pitoisuustietoja oli tarpeen täydentää kirjallisuustiedoilla ja elohopean ja arseenin eri muotojen osuudet kokonaiselohopeasta ja -arsenista laskettiin kertoimien avulla.
- **Kadmium**altistus ylitti siedettävän viikkosaannin enimmäismäärän 0,7 %:lla 25–64-vuotiaista ja 0,2 %:lla 65–74-vuotiaista suomalaisista vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan. Määrä vastaa noin 20 100 suomalaista ikäluokassa 25–74 vuotta. Yli 45-vuotiaista naisista noin 22 %:lla kadmiumaltistus ylitti osteoporoottisten murtumien riskin kasvuun liitetyn raja-arvon. Noin 6 % yli 45-vuotiaista naisista saa ravinnostaan kadmiumia määrinä, jotka on kirjallisuudessa voitu yhdistää yli kolminkertaiseen osteoporoosista johtuvan murtuman riskiin, ja 16 %:lla murtuman riski on kohonnut, mutta pienempi kuin kolminkertainen. Suurimpia kadmiumin saantilähteitä olivat viljat, kasvikset ja perunat. Eniten altistuvilla suuria saantilähteitä olivat myös liha tai palkokasvien, pähkinöiden ja öljysiementen muodostama elintarvikeryhmä.
- Käytettävissä olleen aineiston perusteella eniten **kadmiumia** oli merilevässä, sisäelimissä (etenkin riistan), öljysiemenissä, kaakaopohjaisissa tuotteissa, ravintolisissä, metsäsienissä ja nilviäisissä. Vehnän kadmiumpitoisuudet ovat suuremmat kuin muiden viljojen, mutta silti selvästi pienemmät kuin edellä mainituissa elintarvikkeissa.
- Suhteessa suurin **lyijy**altistus oli hedelmällisessä iässä olevilla naisilla. Lyijylle ei ole olemassa turvalliseksi katsottavaa saantimäärää. Nykyisillä altistumämäärillä terveyshaittojen mahdollisuutta osalle väestöstä ei voi sulkea pois. Kehityksenaikaisen keskushermostovaurion lisäksi lyijyaltistuksen aiheuttamia terveyshaittoja ovat munuaisvaurion riskin kasvu ja verenpaineen nousu. Lyijyn aiheuttaman, älykkyyden heikkenemiseen liittyvän vuosittaisen tautitaakan suuruudeksi Suomessa on arvioitu 570 haittapainotettua elinvuotta (Suomi ym. 2019). Tautitaakka-arviossa altistustietoina käytettiin tässä raportissa sekä aiemmin (Suomi ym. 2015) julkaistussa riskinarvioinnissa tehtyjä arvioita suomalaisten elintarvikeperäisen lyijyaltistuksen suuruudesta. Tautitaakka tarkoittaa sairauksien ja ennen aikaiseen kuolemaan tai invaliditeettiin johtavien tekijöiden aiheuttamaa kokonaishaittaa väestössä, ja sen yksikkö haittapainotettu elinvuosi eli DALY sisältää ennen aikaisen kuolemien takia menetetyt ja sairauden takia vajaakuntoisena eleyt elinvuodet.
- Käytettävissä olleen aineiston perusteella eniten **lyijyä** oli ravintolisissä, mausteissa, laihdutusvalmisteissa, riistan lihassa (osassa näytteitä) ja kaakaopohjaisissa tuotteissa. Riistan lyijypitoisuudet voivat kohota normaalista, eläimen ravinnon vuoksi jo luonnostaan tuotantoeläinten lihan lyijypitoisuuksia suuremmista arvoista, mikäli metsästyksessä käytetään lyijyluoteja. Elintarvikkeiden lyijypitoisuudet ovat alentuneet vuosikymmenten aikana muun muassa lyijyttömään bensiiniin siirtymisen ja tuottajien toimien vuoksi. Suuria altistuslähteitä olivat mm. viljat, alkoholittomat juomat ja laihdutusvalmisteet.

- **Arseenille** ei ole olemassa turvalliseksi katsottavaa saantimäärää. Suomalaisten arseenialtistus on suuruusluokkaa, jolla haitallisen terveysvaikutuksen riskiä ei voida sulkea pois, mutta arseenista johtuva syöpäriski on matala-kohtuullinen. Suurimpia altistuslähteitä vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan olivat alkoholittomat juomat (sisältää kahvin, teen ja virvoitusjuomien lisäksi ns. kasvismaidot, mukaan lukien riisijuomat), viljat (sisältää riisin) ja kalat / meren antimet. Tietyillä alueilla Suomessa (esim. Pirkanmaa, Kittilä) porakaivovedessä esiintyy kohonneita arseenipitoisuuksia, ja näillä seuduilla kaivovesi voi olla merkittävä epäorgaanisen arseenin lähde koko väestölle.

- Käytettävissä olleen pitoisuusaineiston perusteella **epäorgaanista arseenia** esiintyi eniten merilevässä, ravintolisissä, meren antimissa, riisipohjaisissa tuotteissa, yrteissä, metsäsienissä ja kaakaopohjaisissa tuotteissa.

- **Elohopea**-altistus (epäorgaaninen elohopea) oli kaikilla tutkituilla ihmisryhmillä selvästi alle siedettävän viikkosaannin enimmäismäärän. Suurimmat altistuslähteet ikäryhmän keskitasolla olivat kalojen lisäksi niitä elintarvikeryhmiä, joista kansallisten pitoisuustietojen puutteessa käytettiin kirjallisuustietoja eurooppalaisista pitoisuuksista. Suurimpia epäorgaanisen elohopean pitoisuuksia aineistossa esiintyi meren antimissa ja kaakaopohjaisissa tuotteissa.

- Altistus **metyylielohopealle** kaloista ja muista meren antimista ylitti siedettävän viikkosaannin enimmäisarvon 1,5 %:lla 25–64-vuotiaista ja 3,3 %:lla 65–74-vuotiaista vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan. Määrä vastaa noin 63 500 suomalaista 25–74-vuotiaista, mutta vain 5 heistä olisi hedelmällisessä iässä olevia naisia. Suurimpia metyylielohopean lähteitä olivat ”keskiarvokala”, hauki, lohikalat ja tonnikala, ja lohikaloja lukuun ottamatta nämä olivat myös lajit, joissa pitoisuudet olivat suurimmat. Kalojen käyttösuositukseen sisältyvät rajoitukset ovat ilmeisesti auttaneet alentamaan 25–45-vuotiaiden naisten metyylielohopea-altistusta.

- Altistus **nikkelille** ylitti EFSA:n määrittämän siedettävän päiväsaannin enimmäisarvon 32,7 %:lla 25–64-vuotiaista ja 20,4 %:lla 65–74-vuotiaista vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan. Määrä vastaa noin 1 059 300 suomalaista 25–74-vuotiaista. Nikkelin suurimpia lähteitä olivat viljat, palkokasvit, pähkinät ja öljysiemenet sekä makeiset. Eniten nikkeliä altistuvien päälähde oli palkokasvien, pähkinöiden ja öljysiementen ryhmä. Nikkelialtistus elintarvikkeista on suuruusluokkaa, jolla EFSA:n arvion mukaan kerta-altistuksesta aiheutuvien, kosketusihottuman tyyppisten oireiden esiintymisen mahdollisuutta nikkeli-allergikoilla ei voi sulkea pois.

- Haber ym. (2017) määrittivät **nikkelin** siedettävän päiväsaannin enimmäisarvon selvästi suuremmaksi kuin EFSA. Heidän määrittämänsä raja-arvon ylitti vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan työikäisistä (25–64-vuotiaista) vain 0,07 %.

- **Nikkelille** ja **alumiinille** ei ole toistaiseksi raja-arvoja EU:n vierasainasetuksessa EY (N:o) 1881/2006, joten niiden pitoisuuksiin elintarvikkeissa ei kohdistu samanlaisia valvontatoimia kuin kadmiumin, lyijyn, arseenin ja elohopean pitoisuuksiin. Käytettävissä olevassa aineistossa suurimpia nikkeli- ja alumiinipitoisuuksia esiintyi öljysiemenissä, soijassa, kaakaopohjaisissa tuotteissa, pähkinöissä, ravintolisissä ja merilevässä. Viljoista suurimmat nikkeli- ja alumiinipitoisuudet esiintyivät kaurassa. Suurimmat alumiinipitoisuudet käytettävissä olleessa aineistossa olivat mausteissa, yrteissä, kaakaopohjaisissa tuotteissa, ravintolisissä sekä äyriäisissä ja nilviäisissä.

- Altistus elintarvikkeissa vierasaineena esiintyvälle **alumiinille** oli suuruusluokkaa, jolla vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan vain runsas 300 suomalaista 25–74-vuotiaasta voisi ylittää siedettävän viikkosaannin enimmäismäärän. Lisäainelähteistä saatava alumiini-altistus ei ollut mukana arviossa, mutta alumiiniyhdisteiden käyttöä lisäaineena on rajoitettu voimakkaasti viime aikoina.
- Vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan 25–45-vuotiaiden naisten **kadmium-**, **lyijy-** ja **alumiini-**altistus oli erittäin merkittävästi suurempaa, **nikkeli**-altistus merkittävästi suurempaa, **arseni**-altistus jokseenkin merkittävästi suurempaa, mutta **metyylielohopea**-altistus erittäin merkittävästi pienempää kuin 46–64-vuotiaiden naisten.
- Vuoden 2012 ruoankäyttöaineiston mukaan 25–45-vuotiaiden naisten **nikkeli-** ja **alumiini**-altistus olivat erittäin merkittävästi suuremmat kuin saman ikäisten miesten. **Lyijy**-altistus oli jokseenkin merkittävästi suurempaa naisilla ainoastaan, kun maitonäytteet rajattiin 2010-luvulla analysoituihin. Altistuksessa muille raskasmetalleille ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja sukupuolten välillä.
- Raskasmetallialtistus muuttui ruoankäytön eroavuuksien vuoksi ikäryhmissä siten, että vanhimmillä ikäryhmillä altistus oli vähäisempää kuin nuorimmilla. Poikkeuksen muodostavat **elohopean** muodot, etenkin metyylielohopea, sillä eläkeläiset söivät enemmän kalaa kuin nuoremmat ikäluokat, ja metyylielohopeaa katsottiin esiintyvän vain kaloissa ja muissa meren antimissa.
- Viljojen ja viljatuotteiden osuus suomalaisten aikuisten **kadmium**-altistuksesta oli noin 30 %, **nikkeli**-altistuksesta noin 20 %, **elohopea**-altistuksesta noin 1 % ja **lyijy-**, **arseni-** ja **alumiini**-altistuksesta noin 13–15 %. Kotimaisten viljojen kadmiumpitoisuudet olivat jossakin määrin pienemmät kuin EFSA:n raportoimat EU-maiden keskiarvot, nikkeli-pitoisuudet puolestaan jossakin määrin suuremmat. Kotimaisessa rukiissa ja ohrassa sekä kadmium- että nikkeli-pitoisuudet olivat pienet. Kotimaisten viljojen suurimmat nikkeli-pitoisuudet ovat kaurassa ja kadmiumpitoisuudet vehnässä.
- Elintarvikkeiden raskasmetallipitoisuuksien vuoksi on annettu suosituksia kalojen (suositus huomioi myös orgaanisia haitta-aineita), öljysiementen, hirven sisäelinten, riisijuomien ja merilevävalmisteiden (suositus huomioi myös jodin) käytön rajoittamisesta joillakin kuluttajaryhmillä altistuksen alentamiseksi (<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/turvallisen-kayton-ohjeet/>). EAT-Lancet Commissionin keväällä 2019 antama suositus planeetan kannalta terveellisestä ruokavaliosta lisäisi kasvukunnan tuotteiden osuutta ruokavaliosta ja vähentäisi useimpien eläinkunnan tuotteiden käyttöä, poikkeuksena kalat. Tällaisen ruokavalion noudattaminen lisäisi kuluttajien raskasmetallialtistusta, joten kansallisten käytön rajoitusten tuntemuksella, raaka-aineiden pitoisuuksien valvonnalla ja lanonitoiden laadulla olisi entistä suurempi merkitys kuluttajien terveyden turvaamisessa. Raportissa käsitellään EAT-Lancet Commissionin suositusta ainoastaan raskasmetalleihin liittyvän terveyshaitan näkökulmasta, mutta kasvava vihannesten ja hedelmien käyttö sekä kuidun saanti todennäköisesti vähentäisivät suomalaisten sydän- ja verisuonisairauksiin ja ruoansulatuselimistön syöpiin liittyvää tautitaakkaa huomattavasti.

6. English summary

This report assesses the dietary exposure of Finnish consumers of 25 to 74 years to cadmium (Cd), lead (Pb), inorganic arsenic (iAs), inorganic mercury (iHg) and methyl mercury (MeHg), nickel (Ni) and aluminium (Al).

The occurrence data on cadmium, lead, arsenic and mercury in foodstuffs were partly collected previously and reported in (Suomi et al. 2015). These data were supplemented in this project with newer data from Evira/Finnish Food Authority, Customs Laboratory and anonymised industrial data given by the Finnish Food and Drink Industries' Federation, as well as literature data.

Most of the data on arsenic and all of the data on mercury were measured as total arsenic and total mercury. The portion of iAs out of total As was estimated to be 2 % in fish and 3.5 % in crustaceans and molluscs (Martorell et al. 2011), 100 % in water and 70 % in other foods (EFSA 2009). For mercury, the same assumptions were used as in (EFSA 2012 Hg): in fish, out of the total Hg, 20% is iHg and 100% is MeHg; in crustaceans and molluscs, out of the total Hg, 50% is iHg and 80% is MeHg; in foods other than fish and seafood, all mercury is iHg.

The food consumption data were collected in two studies: Findiet 2007 (Paturi et al. 2008) and Findiet 2012 (Helldán et al. 2013). For both studies, 48-h food recall interview data were used, calculated to food ingredient level. The Findiet 2007 data consisted of food consumption interviews from 1 575 people aged 25 to 64 years, out of whom 421 females and 333 males were 25 to 45 years old ("people in fertile age"), and 463 people aged 65 to 74 years. The Findiet 2012 data consisted of food consumption interviews from 1 295 people aged 25 to 64 years, out of whom 265 males and 356 females were between the ages 25 and 45 years, and 413 people aged 65 to 74 years. The aim in using two food consumption datasets was to compare the heavy metal (and aluminium) exposure levels between the two years, considering that with the use of the same occurrence data, all exposure differences are caused by changes in consumption habits.

For probabilistic exposure assessment based on individual consumption data and the occurrence data, MCRA version 8.2 was used (MCRA 2016). For samples with non-quantified results, three scenarios were used: the non-quantified results were calculated as zeros (lower bound, LB) or as concentrations equal to the limit of quantification (upper bound, UB) or as concentrations equal to 50 % of the limit of quantification (middle bound, MB). 100k simulations were calculated. Individual exposure estimates were further analysed with Microsoft Excel (Excel 2013) and SPSS v.25.

Exposures of the different consumer groups were compared with the health-based guidance values shown in Table 1.

Table 1. Health-based guidance values used in this report for comparison of the exposure. TWI is tolerable weekly intake and TDI the tolerable daily intake; BMDL is the benchmark dose lower confidence limit roughly corresponding to a no observed adverse effect level. The values are given per kilograms of body weight.

Compound	Health-based guidance value and its type	Health effect for the value	Reference
Cd	TWI 2.5 µg/kg bw/week	Kidney damage	EFSA 2009
Cd	0.5 µg/g creatinine in urine (corresponds to ca. 0.18 µg/kg bw/day)	Osteoporosis related bone break risk	Engström et al 2011
Pb	BMDL ₀₁ 0.50 µg/kg bw/day	Developmental neurotoxicity	EFSA 2010
Pb	BMDL ₁₀ 0.63 µg/kg bw/day	Kidney damage	EFSA 2010
Pb	BMDL ₀₁ 1.50 µg/kg bw/day	Cardiovascular system effects (blood pressure increase)	EFSA 2010
iAs	BMDL ₀₁ 0.30 to 8.0 µg/kg bw/day	Cancer risk (especially lung cancer)	EFSA 2009
iAs	BMDL _{0.5} 3.0 µg/kg bw/day	Cancer risk (lung cancer)	JECFA 2011
MeHg	TWI 1.3 µg/kg bw/week	Developmental neurotoxicity	EFSA 2012Hg
iHg	TWI 4.0 µg/kg bw/week	Kidney damage	EFSA 2012Hg
Ni	TDI 2.8 µg/kg bw/day	Developmental toxicity in animals (increased mortality in pups)	EFSA 2015
Ni	toxicity reference value 20 µg/kg bw/day	Developmental toxicity in animals; different model and taking into account that cohort studies do not show associations between Ni and developmental toxicity in humans	Haber et al. 2017
Al	TWI 1000 µg/kg bw/week	Neurotoxicity	EFSA 2012Al

The sources of dietary exposure to the studied compounds are shown for Findiet 2012 adults (25 to 64 years) and elderly (65 to 74 years) at age group mean level in Figures 1-4. The exposure is shown as part of the total exposure, and the mean exposure for each age group and compound is given in the figure caption.

Cadmium exposure comes mainly from plant-based foods like cereals, vegetables and potatoes, since they are consumed often. The cadmium concentrations in these food groups are mostly not high; the group vegetables does include seaweeds, which can have cadmium levels up to milligrams per kg dry weight, but they were consumed by only a few in the studied population. For the other foods in these food groups, the cadmium concentration of wheat is one of the highest, at 0.03 mg/kg on the average.

Lead exposure is more varied, with cereals, vegetables, fruit and berries and non-alcoholic drinks as the main sources. The same food groups are also the main sources of aluminium as contaminant, although the concentration data for aluminium are mainly from literature and it is uncertain how well it reflects the levels in foods in Finland. Likewise, the concentration data for inorganic mercury for food groups other than cereals and fish & seafood and the concentration data for nickel are strongly supplemented from literature for lack of national control samples.

Non-alcoholic drinks (which includes rice-based drinks), cereals (including rice) as well as fish and seafood were the main sources for inorganic arsenic exposure. The concentrations in rice are higher than in other cereals.

For methyl mercury, the main sources are “average fish”, i.e. fish that cannot be identified at species level from the food consumption data, and those fish species with the highest mercury levels like pike and perch.

The part of 25 to 64-year-old Finns and 65 to 74-year-old Finns exceeding the health-based guidance values is shown in Table 2.

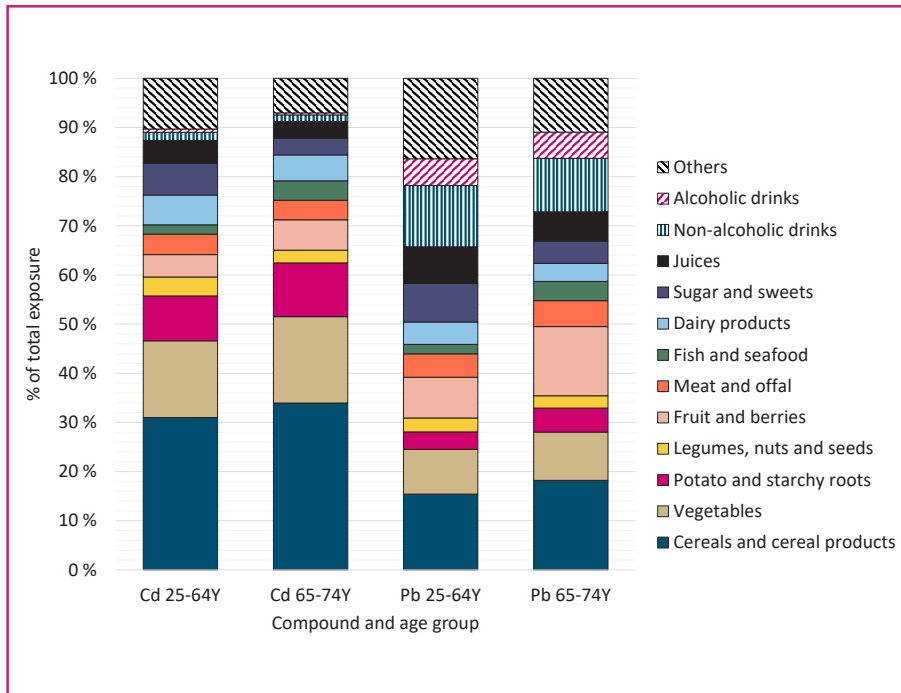


Figure 1. The sources of cadmium (Cd) and lead (Pb) exposure at age group mean level. Food consumption data are from year 2012. For lead, milk samples analysed before 2010 were not included in the analysis. The mean exposure to Cd was 0.16 and 0.13 µg/kg bw/day for people aged 25–64 years and 65–74 years, respectively. The mean exposure to Pb was 0.17 and 0.13 µg/kg bw/day for people aged 25–64 years and 65–74 years, respectively.

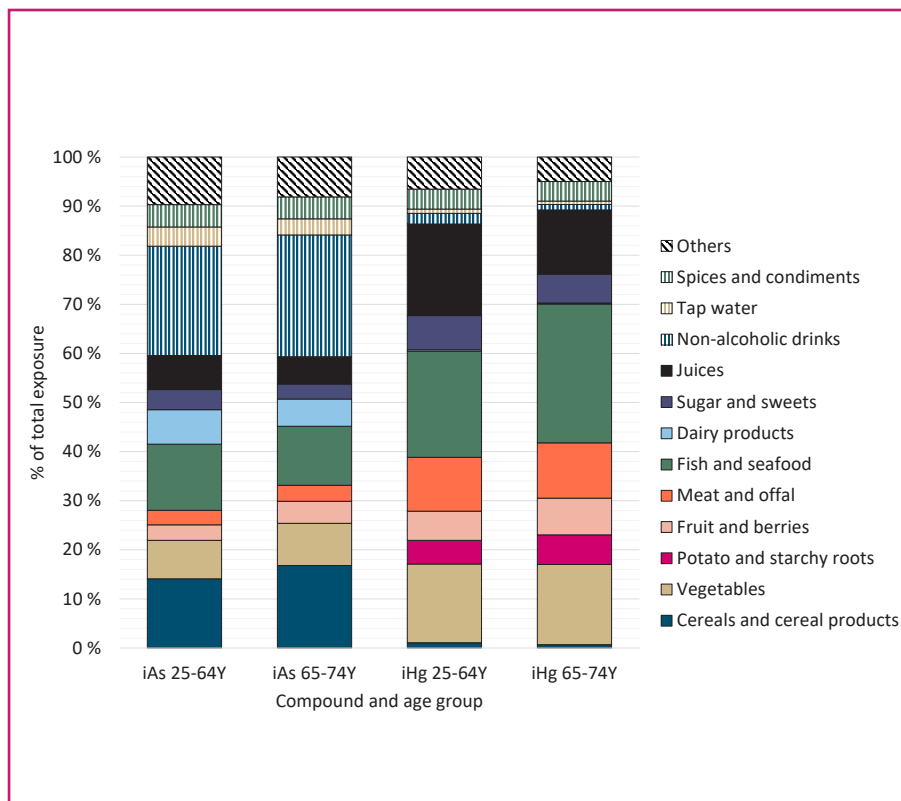


Figure 2. The sources of inorganic arsenic and inorganic mercury exposure at age group mean level. Food consumption data are from year 2012. The mean exposure to iAs was 0.18 and 0.14 µg/kg bw/day for people aged 25–64 years and 65–74 years, respectively. The mean exposure to iHg was 0.03 µg/kg bw/day for both age groups. The concentration data were mainly of total arsenic and total mercury, and the inorganic fractions were estimated using same relative percentages as EFSA did in their reports.

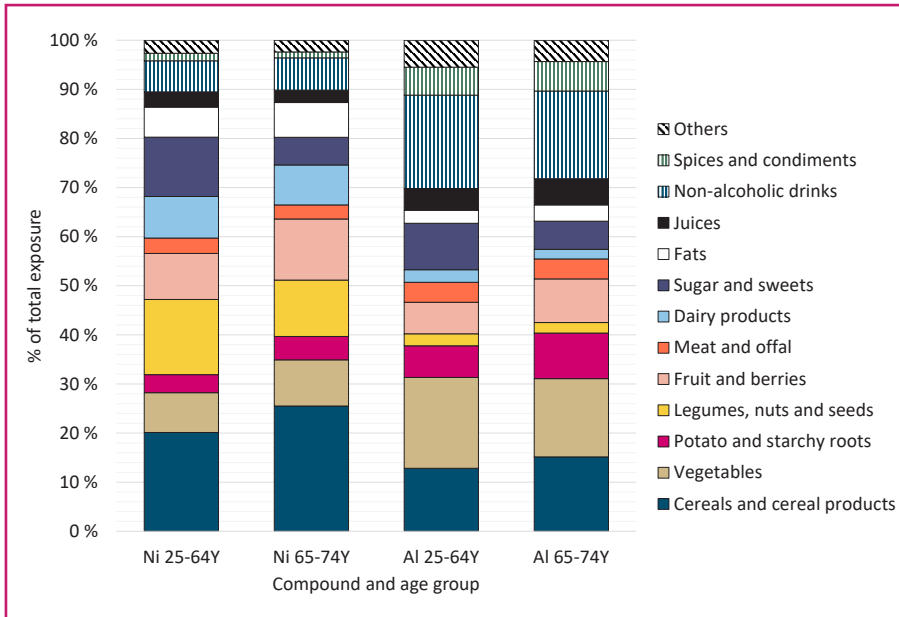


Figure 3. The sources of nickel and aluminium exposure at age group mean level. Food consumption data are from year 2012. The mean exposure to Ni was 2.53 and 2.16 µg/kg bw/day for people aged 25–64 years and 65–74 years, respectively. The mean exposure to Al was 29.7 and 23.0 µg/kg bw/day for people aged 25–64 years and 65–74 years, respectively. The concentration data were largely from literature.

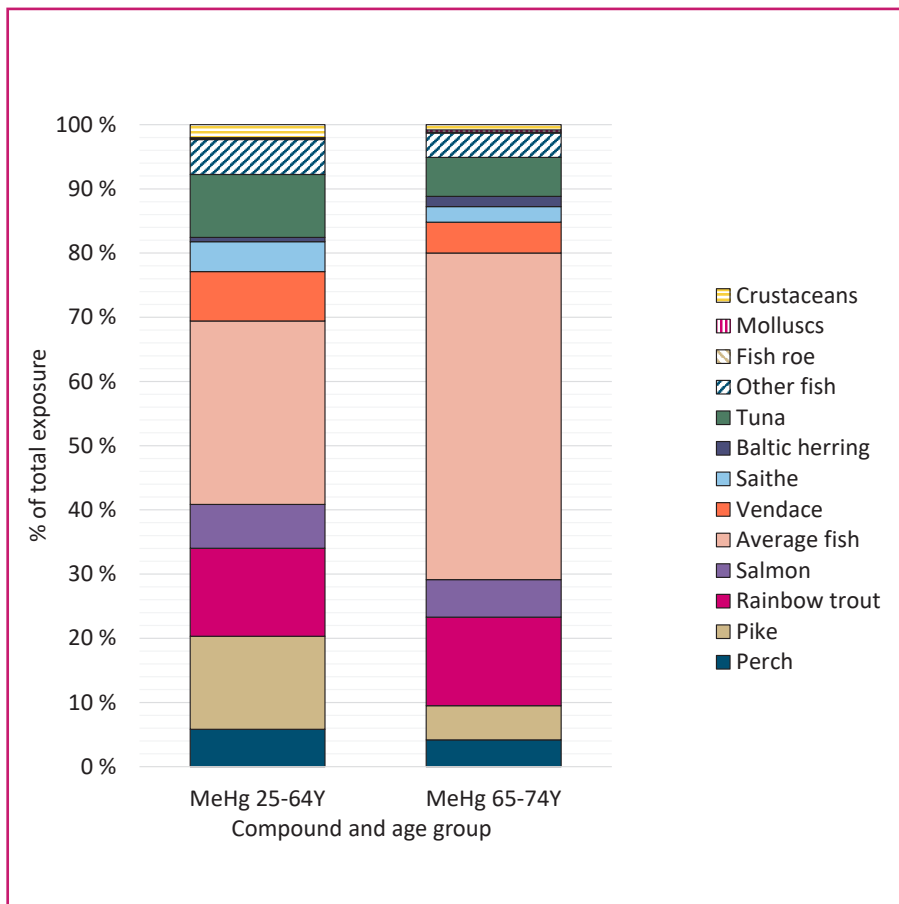


Figure 4. The sources of methyl mercury exposure at age group mean level. Food consumption data are from year 2012. The mean exposure was 0.03 and 0.04 µg/kg bw/day for people aged 25–64 years and 65–74 years, respectively. “Average fish” is fish that cannot be identified at species level from the food consumption data. In recipes used by the Institute of Health and Welfare, it is considered to be composed of pike, perch, Baltic herring and vendace. The concentration used in the analysis is an average of the mean concentrations of the four fish species.

Table 2. Part of the age group exceeding the health-based guidance value based on middle bound scenario (<LOQ = 0.5 LOQ). Findiet 2012 consumption data were used.

Age group (years)	Compound	Reference value	% exceeding (CI 95 %)
25 – 64	Cd	2.5 µg/kg bw/week	0.7 (0.3 – 1.4)
	Pb	0.50 µg/kg bw/day	0.3 (0.1 – 1.0)
	Pb	0.63 µg/kg bw/day	0.06 (0.01 – 0.3)
	iAs	0.30 µg/kg bw/day	5.4 (3.3 – 8.1)
	iAs	3.0 µg/kg bw/day	0 (0 – 0)
	iHg	4.0 µg/kg bw/week	0 (0 – 0)
	MeHg	1.3 µg/kg bw/week	1.5 (0.6 – 2.5)
	Ni	2.8 µg/kg bw/day	32.7 (25.1 – 40.7)
	Ni	20 µg/kg bw/day	0.07 (0 – 0.3)
	Al	1 000 µg/kg bw/week	0 (0 – 0.2)
65 – 74	Cd	2.5 µg/kg bw/week	0.2 (0.1 – 0.8)
	Pb	0.50 µg/kg bw/day	0.01 (0 – 0.1)
	Pb	0.63 µg/kg bw/day	0 (0 – 0.03)
	iAs	0.30 µg/kg bw/day	1.0 (0.3 – 2.5)
	iAs	3.0 µg/kg bw/day	0 (0 – 0)
	iHg	4.0 µg/kg bw/week	0 (0 – 0)
	MeHg	1.3 µg/kg bw/week	3.3 (0.5 – 6.4)
	Ni	2.8 µg/kg bw/day	20.4 (12.8 – 28.4)
	Al	1 000 µg/kg bw/week	0 (0 – 0.03)

For lead and inorganic arsenic, no safe level of exposure is considered to exist. Therefore, the margin of exposure (MOE, defined as benchmark dose divided by the exposure) was calculated for the 25 – 64-year-olds.

The MOE for lead, compared against the reference value of developmental neurotoxicity, was 3.5 for the population median and 1.8 for the P95 of the population. According to the CONTAM panel of EFSA, MOE of 10 or higher corresponds to negligible health risk; thus, with the lead exposure levels of Finnish adults, the possibility of adverse health effects cannot be ruled out. In our previous report (Suomi et al. 2019), lead exposure in Finland was estimated to cause annually a burden of disease of 570 DALYs.

The MOE for inorganic arsenic was calculated against the benchmark dose determined by JECFA in 2011. At population group median, the MOE was 27, and for the P95 of the population it was 15. The exposure is therefore at a level where the possibility of adverse health effects (cancer) cannot be ruled out. To use the same scale as the Swedish NFA (Sand et al. 2015), the risk relative to the Finnish MOE values is low to moderate.

The nickel exposure in Finland exceeds the EFSA tolerable daily intake for nearly a third of the working age population, but the toxicity reference value determined by Haber et al (2017) was exceeded by less than 0.1 % of the 25 to 64-year-olds. Haber et al. (2017) criticized the EFSA assessment and pointed out

that in the benchmark dose calculation, EFSA chose the model with the lowest benchmark dose value instead of the model with the best fit, as usual. Therefore, in their opinion, the EFSA tolerable daily intake is overly cautious.

In ref. (Engström et al, 2011), odds ratio for different osteoporotic bone fractures was determined for postmenopausal women who had never smoked. The baseline level in the comparison corresponded to 50% of the tolerable weekly intake of cadmium. At cadmium exposure of 0.75 µg/g creatinine or higher, the odds ratio for different fractures was 3 to 4 times higher than at the baseline level (Engström et al, 2011). Of Finnish women between 45 and 54 years of age, 21.5% had cadmium exposure above the baseline level, and for 6% the cadmium exposure exceeded the dietary intake corresponding to 0.75 µg/g creatinine. Therefore, although the tolerable weekly intake of cadmium is only exceeded by less than one percent of the studied population, the possibility of harmful health effects cannot be ruled out. Finland's derogation to limit the cadmium content of fertilizers nationally is useful in decreasing the exposure of Finns, especially the most vulnerable population group, the children, whose cadmium exposure exceeds the TWI for nine children in ten (Suomi et al. 2015).

The exposure to the heavy metals decreases with age, with exception to methyl mercury. The group with the highest exposure (per kg body weight) was women of 25 – 45 years, who were also studied separately since they were considered to be in fertile age and thus their exposure may have an effect on the developing fetus. The higher methyl mercury intake of the older population is explained by their more frequent consumption of fish and seafood compared with the younger people. In 2012, the women in fertile age ate little fish, and therefore that part of the population had methyl mercury exposure below the tolerable weekly intake.

7. Viitteet

- Aakkula J, Berlin T, Irz X, Jansik C, Karhula T, Kiviranta H, Latukka A, Mannio J, Niskanen O, Ovaska S, Salo T, Suomi J (2019). Mahdollisuudet helpottaa epäorgaanisten lannoitteiden tuontia. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:9.
- Abass K, Koironen M, Mazej D, Tratnik JS, Horvat M, Hakkola J, Järvelin M-R, Rautio A (2017). Arsenic, cadmium, lead and mercury levels in blood of Finnish adults and their relation to diet, lifestyle habits and sociodemographic variables. *Environ Sci Pollut Res* 24:1347-1362.
- Airaksinen R, Jestoi M, Keinänen M, Kiviranta H, Koponen J, Mannio J, Myllylä T, Nieminen J, Raitaniemi J, Rantakokko P, Ruokojärvi P, Venäläinen E-R, Vuorinen PJ (2018). Muutokset kotimaisen luonnonkalan ympäristömyrkkypitoisuuksissa (EU-kalat III). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 51/2018.
- ANSES (2011). Étude de l'alimentation totale française2 (EAT 2) Tome1 Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes. Avis de l'Anses Juin 2011.
- ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1999). Toxicological profile for mercury. URL <http://www.atsdr.cdc.gov>
- ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2005). Toxicological profile for nickel. URL <http://www.atsdr.cdc.gov>
- Cole DC, Wainman B, Sanin LH, Weber JP, Muggah H, Ibrahim S (2006). Environmental contaminant levels and fecundability among non-smoking couples. *Reproductive Toxicology* 22: 13–19. (doi:10.1016/j.reprotox.2005.12.001)
- Darnerud PO, Becker W, Öhrvik V, Kollander B, Sundström B, Strandler HS, Nälsén C et al. (2017). Swedish Market Basket Survey 2015 – per capita-based analysis of nutrients and toxic compounds in market baskets and assessment of benefit or risk. *Livsmedelsverkets rapportserie* 26/2017
- Devesa V, Martínez A, Suárez MA, Vélez D, Almela C, Montoro R (2001). Arsenic in Cooked Seafood Products: Study on the Effect of Cooking on Total and Inorganic Arsenic Contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 2272–2276.
- Dickerson EH, Sathyapalan T, Knight R, Maguiness SM, Killick SR, Robinson J, Atkin SL (2011). Endocrine disruptor & nutritional effects of heavy metals in ovarian hyperstimulation. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics* 28: 1223–1228. (doi:10.1007/s10815-011-9652-3)
- Directorate-General Health and Consumer Protection (2004). Assessment of the dietary exposure to arsenic, cadmium, lead and mercury of the population of the EU Member States. SCOOP 3.2.11
- Dofkova M, Nurmi T, Berg K, Reykdal Ó, Gunnlaugsdóttir H, Vasco E, Graça Dias M, Blahova J, Rehurkova I, Putkonen T, Ritvanen T, Lindtner O, Desnica N, Jörundsdóttir HÓ, Oliveira L, Ruprich J (2016). Development of harmonised food and sample lists for total diet studies in five European countries, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 33:6, 933-944, DOI: 10.1080/19440049.2016.1189770
- EAT-Lancet Commission (2019). URL https://eatforum.org/content/uploads/2019/04/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf [avattu 8.5.2019].
- EFSA European Food Safety Authority (2008). EFSA Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials on a request from European Commission on Safety of aluminium from dietary intake. *The EFSA Journal* 754: 1-34.
- EFSA European Food Safety Authority (2008 Hg). Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on mercury as undesirable substance in feed. *EFSA Journal* 654: 1-76.
- EFSA European Food Safety Authority (2009 As). Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA Journal* 7(10): 1351–1549.

- EFSA European Food Safety Authority (2009 Cd). Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on cadmium in food. *EFSA Journal* 980: 1–139.
- EFSA European Food Safety Authority (2010). Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA Journal* 8(4): 1570–1716.
- EFSA European Food Safety Authority (2011). Comparison of the Approaches Taken by EFSA and JECFA to Establish a HBGV for Cadmium. *EFSA Journal* 2011; 9(2):2006. [28pp.] doi:10.2903/j.efsa.2011.2006
- EFSA European Food Safety Authority (2012 Al). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance aluminium ammonium sulfate. *EFSA Journal* 2012;10(3):2491. [46 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2491
- EFSA European Food Safety Authority (2012 Cd); Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal* 2012;10(1):2551. [37 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2551
- EFSA European Food Safety Authority, Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2012 Hg); Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal* 2012;10(12):2985. [241 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2985.
- EFSA European Food Safety Authority (2012 Pb); Lead dietary exposure in the European population. *EFSA Journal* 2012; 10(7):2831. [59 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2831
- EFSA European Food Safety Authority (2014). Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal* 2014;12(3):3597, 68 pp. doi:10.2903/j.efsa.2014.3597
- EFSA European Food Safety Authority, Panel on Contaminants in the Food Chain (2015). Scientific Opinion on the risks to animal and public health and the environment related to the presence of nickel in feed. *EFSA Journal* 2015;13(4):4074, 76 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.4074
- Engström A, Michaëlsson K, Vahter M, Julin B, Wolk A, Åkesson A (2012). Associations between dietary cadmium exposure and bone mineral density and risk of osteoporosis and fractures among women. *Bone*. 50(6):1372–8. doi: 10.1016/j.bone.2012.03.018.
- Engström A, Michaëlsson K, Suwazono Y, Wolk A, Vahter M, Åkesson A (2011). Long-Term Cadmium Exposure and the Association With Bone Mineral Density and Fractures in a Population-Based Study Among Women. *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol. 26, No. 3, pp 486–495
- Evira (2017). Öljysiementen kartoitus- ja valvontahanke – loppuraportti. Saatavilla: <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/elintarvikeala/toiminnan-aloittaminen/valvonta/tutkimukset-ja-projektit/oljysiemenet/oljysiementen-kartoitus-ja-valvontahanke---loppuraportti.pdf>
- Exley C (2014). What is the risk of aluminium as a neurotoxin? *Expert Rev Neurother* 14(6):589–591.
- Flora SJS, Pachauri V, Saxena G (2011). Arsenic, cadmium and lead. *Teoksessa Reproductive and Developmental Toxicology*; Toim. Gupta RC; Elsevier; Luku 33.
- FSAI Food Safety Authority of Ireland (2016). Report on a total diet study carried out by the Food Safety Authority of Ireland in the period 2012 – 2014. ISBN 978-1-910348-06-2
- Gundacker C, Gencik M, Hengstschläger M (2010). *Mutation Research* 705:130–140.
- Haber LT, Bates HK, Allen BC, Vincent MJ, Oller AR (2017). Derivation of an oral toxicity reference value for nickel. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 87: S1–S18
- Helldán A, Raulio S, Kosola M, Tapanainen H, Ovaskainen M-L, Virtanen S (2013). *Finravinto 2012 -tutkimus – The National FINDIET 2012 Survey*. ISBN 978-952-245-950-3 (painettu); 978-952-245-951-0 (verkko) THL. Raportti 16/2013, 187 s. Helsinki 2013.
- Hernandez-Martínez & Navarro-Blasco (2013) *Food Control* 30:423–432
- IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 87 (2006). Inorganic and Organic Lead Compounds. URL <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol87/index.php>
- IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 100C (2012). Nickel and nickel compounds. URL <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-10.pdf>

- IPCS (1992). Environmental Health Criteria 134: Cadmium. International Programme on Chemical Safety; World Health Organisation; Geneva. www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm
- JECFA (2006) Evaluation of certain food additives and contaminants. 67th report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series 940. Osa Aluminium.
- JECFA (2011) Safety evaluation of certain contaminants in food. 72nd meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series 63. Osa Arsenic (addendum), s. 153–316.
- Klotz K, Weistenhöfer W, Neff F, Hartwig A, Van Thriel C, Drexler H (2017) The Health Effects of Aluminum Exposure. *Dtsch Arztebl Int* 114: 653–9
- Lodenus M, Soltanpour-Gargari A, Tulisalo E (2002). Cadmium in forest mushrooms after application of wood ash. *Bull Environ Contam Toxicol*, 68:211–216
- Lv Y, Wang P, Huang R, Liang X, Wang P, Tan J, Chen Z, Dun Z, Wang J, Jiang Q, Wu S, Ling H, Li Z, Yang X (2017). Cadmium Exposure and Osteoporosis: A Population Based Study and Benchmark Dose Estimation in Southern China. *J Bone Miner Res*, 32: 1990–2000. doi:10.1002/jbmr.3151
- Martorell I, Perelló G, Martí-Cid R, Llobet JM, Castell V, Domingo JL (2011). *Biological Trace Element Research* 142: 309–322.
- MCRA (2016). MCRA 8.2 Reference Manual. Report Dec 2016. WUR/Biometris, FERA and RIVM, available at <https://mcra.rivm.nl>.
- Nielsen, GD, Søderberg, U, Jørgensen, PJ, Templeton, DM, Rasmussen, SN, Andersen, KE, Grandjean, P (1999). Absorption and retention of nickel from drinking water in relation to food intake and nickel sensitivity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 154, 67-75.
- NIFES Sjømatdata (Seafood data), Undesirables, yhdisteinä As, Cd, Hg, Pb. URL http://www.nifes.no/index.php?page_id=137 luettu 1.7.2013
- Oberoi S, Barchowsky A, Wu F (2014). *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 23(7):1187-94. doi: 10.1158/1055-9965
- Paturi M, Tapanainen H, Reinivuo H, Pietinen P, toim.(2008). *Finravinto 2007 -tutkimus – The National FINDIET 2007 Survey. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja, B23/2008, 228 sivua. ISBN 978-951-740-847-9 (print.), ISBN 978-951-740-848-6 (pdf)*
- Perelló G, Martí-Cid R, Llobet JM, Domingo JL (2008). Effects of Various Cooking Processes on the Concentrations of Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 11262–11269.
- Rahman A, Persson L-Å, Nermell B, El Arifeen S, Ekstöm EC, Smith AH, Vahter M (2010). Arsenic exposure and risk of spontaneous abortion, stillbirth, and infant mortality. *Epidemiology* 21: 797–804. (doi:10.1097/EDE.0b013e3181f56a0d)
- Rahman SN, Fatima P, Chowdhury AQ, Rahman MW (2013). Blood level of lead in women with unexplained infertility. *Mymensingh Medical Journal* 22: 508–512.
- Rattan S, Zhou C, Chiang C, Mahalingam S, Brehm E, Flaws J (2017). Exposure to endocrine disruptors during adulthood: consequences for female fertility, *Journal of Endocrinology*, 233(3), R109-R129. URL <https://joe.bioscientifica.com/view/journals/joe/233/3/R109.xml>
- Salo T, Ylivainio K, Keskinen R, Sarvi M, Euro M, Rinne M, Ketoja E, Mannio J, Suomi J, Kiviranta H (2018). Assessment of risks related to increasing heavy metal limits for fertilizers in Finland. *Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry* 2018:2
- Sand S, Becker W (2012). *Food and Chemical Toxicology* 50: 536–544.
- Sand S, Concha G, Öhrvik V, Abramsson L (2015) Inorganic Arsenic in Rice and Rice Products on the Swedish Market 2015. Part 2 - Risk Assessment. *Livsmedelsverkets rapportserie* 16/2015.
- Stahl T, Taschan H, Brunn H (2011). Aluminium content of selected foods and food products. *Environmental Sciences Europe Bridging Science and Regulation at the Regional and European Level* 23:37. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-37>
- Suomi J, Haario P, Asikainen A, Holma M, Raschen A, Tuomisto J, Joutsen S, Luukkanen J, Huttunen L-M, Pasonen P, Ranta J, Rimhanen-Finne R, Hänninen O, Lindroos M, Tuominen P (2019). Ruokajärjestelmän kansanterveydellisten vaikutusten kustannukset ja riskinarviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:63. Full English version of this report is available at DOI 10.5281/zenodo.3570983.

- Suomi J, Hirvonen T, Suominen K, Tuominen P (2018). Elintarvikkeiden lisäaineet – riskiprofiili. *Eviran tutkimuksia* 2/2018.
- Suomi J, Tuominen P, Ranta J, Savela K (2015). Riskinarviointi suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille. *Eviran tutkimuksia* 2/2015. 141 ss. ISBN 978-952-225-145-9.
- Suomi J, Tuominen P, Savela K (2017). Dietary Exposure of Finnish Children to Heavy Metal Mixture - A Cumulative Assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 23(5): 1234-1248.
- Suwazono Y, Sand S, Vahter M, Skerfving S, Lidfeldt J, Åkesson A (2010) Benchmark dose for cadmium-induced osteoporosis in women. *Toxicol Lett.* 2010 Aug 16;197(2):123-7. doi: 10.1016/j.toxlet.2010.05.008.
- Tilastokeskus. Suomen väestörakenne 31.12.2017. URL www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_vaesto.html
- Tulonen T, Pihlström M, Arvola L, Rask M (2006). *Boreal Environment Research* 11: 185–194.
- Tuomisto JT, Niittynen M, Turunen A, Ung-Lanki S, Kiviranta H, Harjunpää H, Vuorinen PJ, Rokka M, Ritvanen T, Hallikainen A (2015). Itämeren silakka ravintona – Hyöty-haitta-analyysi. *Eviran tutkimuksia* 1/2015
- Valtion ravitsemusneuvottelukunta (2014). *Terveyttä ruoasta! Suomalaiset ravitsemussuosituks* 2014. Helsinki: Juvenes Oy.
- Virtanen JK, Rissanen TH, Voutilainen S, Tuomainen T-P (2007). *Journal of Nutritional Biochemistry* 18: 75–85.
- VKM Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids, Materials in Contact with Food and Cosmetics and of the Panel on Contaminants of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety (2013). Risk assessment of the exposure to aluminium through food and the use of cosmetic products in the Norwegian population. VKM Report 2013:20
- Vuorinen PJ (2000). Long-term reproductive and physiological effects of acidity and aluminium on three fish species studied in the laboratory and field. – PhD Thesis. University of Helsinki (Department of Biosciences, Division of Animal Physiology) and Finnish Game and Fisheries Research Institute. 38 s.
- Wang Z, Wei X, Yang J, Suo J, Chen J, Liu X, Zhao X (2016). Chronic exposure to aluminium and risk of Alzheimer’s disease: A meta-analysis. *Neuroscience Letters* 610:200-206.
- Yokel R A (2012). The pharmacokinetics and toxicology of aluminum in the brain. *Current Inorganic Chemistry* 2:54–63.
- Yokel R A (2013). Aluminium. Teoksessa: Caballero B. (toim.), *Encyclopedia of human nutrition*. Academic Press. Waltham. s. 57–63.
- Zacheus O (2010). Yhteenveto suurten, EU:lle raportoivien laitosten talousveden valvonnasta ja laadusta vuonna 2010. Talousvesiyhteenvetodokumentit 1–7. sekä Yhteenveto keskisuurten laitosten talousveden valvonnasta ja laadusta vuonna 2010. Talousvesiyhteenvetodokumentit 1–11. Raportit saatavilla: http://www.valvira.fi/ohjaus_ ja_valvonta/terveydensuojelu/talousvesi
- Öhrvik V, Engman J, Kollander B, Sundström B (2013). Contaminants and minerals in foods for infants and young children. Part 1: Analytical results *Livsmedelsverkets rapportserie* 1/2013

Liite 1. Raskasmetallien lähteet prosentteina

Raskasmetallien lähteet on esitetty tutkitun väestöryhmän keskiarvoaltistukselle middle bound -skenaariolla. ”Miehet” ja ”naiset” -erottelu viittaa 25–45-vuotiaisiin.

LI-1 Kadmiumin lähteet

TUOTERYHMÄ	2007 25–64V	2007 65–74V	2012 25–64V	2012 65–74V	2012 MIEHET	2012 NAISET
VILJAT JA VILJATUOTTEET	32.2 %	36.1 %	31.0 %	33.9 %	31.6 %	30.1 %
VIHANNEKSET JA JUUREKSET	14.4 %	14.8 %	15.6 %	17.6 %	13.9 %	15.9 %
PERUNA JA TÄRKKELYSPITOISET JUUREKSET	12.5 %	13.8 %	9.1 %	10.9 %	10.2 %	8.4 %
PALKOKASVIT, PÄHKINÄT, ÖLJYSIEMENET	3.3 %	3.4 %	3.9 %	2.6 %	3.1 %	4.4 %
HEDELMÄT JA HEDELMÄVALMISTEET	5.0 %	6.8 %	4.5 %	6.2 %	2.9 %	4.8 %
LIHA, LIHAVALMISTEET, SISÄELIMET	4.2 %	5.0 %	4.2 %	4.0 %	3.3 %	3.1 %
KALA JA MEREN ANTIMET	2.1 %	2.0 %	1.9 %	4.0 %	1.6 %	1.9 %
MAITO JA MAITOTUOTTEET	6.2 %	5.5 %	6.1 %	5.3 %	6.6 %	6.7 %
MUNA	0.7 %	0.8 %	0.8 %	0.8 %	1.0 %	0.8 %
SOKERI JA MAKEISET	8.0 %	3.3 %	6.5 %	3.4 %	6.3 %	8.5 %
RASVAT	0.2 %	0.1 %	0.2 %	0.1 %	0.3 %	0.2 %
MEHUT	5.4 %	3.7 %	4.6 %	3.4 %	5.6 %	5.0 %
ALKOHOLITTOMAT JUOMAT	1.6 %	1.4 %	1.6 %	1.3 %	1.3 %	2.2 %
ALKOHOLIJUOMAT	0.8 %	0.4 %	0.7 %	0.4 %	0.8 %	0.5 %
VESI (TALOUSVESI JA PULLOVESI)	0.6 %	0.6 %	0.6 %	0.4 %	0.4 %	0.6 %
MAUSTEET JA MAUSTEKASTIKKEET	1.5 %	1.1 %	1.6 %	1.0 %	2.3 %	1.5 %
LAIHDUTUSTUOTTEET	0.0 %	0.0 %	0.3 %	0.0 %	0.3 %	0.4 %
YHDISTELMÄRUOAT	0.0 %	0.0 %	6.6 %	4.4 %	8.3 %	4.8 %
RAVINTOLISÄT, MAKEUTUS- JA VALMISTUSAINEET	1.3 %	1.3 %	0.3 %	0.2 %	0.4 %	0.2 %

L1-2 Lyijyn lähteet

TUOTERYHMÄ	2007 25-64V	2007 65-74V	2012* 25-64V	2012* 65-74V	2012* MIEHET	2012* NAISET
VILJAT JA VILJATUOTTEET	17.8 %	20.4 %	15.4 %	18.2 %	16.7 %	15.1 %
VIHANNEKSET JA JUUREKSET	6.1 %	6.6 %	9.1 %	9.8 %	8.8 %	9.0 %
PERUNA JA TÄRKKELYSBITOISET JUUREKSET	3.7 %	4.3 %	3.6 %	4.9 %	3.9 %	3.0 %
PALKOKASVIT, PÄHKINÄT, ÖLJYSIEMENET	1.0 %	0.8 %	2.8 %	2.5 %	2.4 %	2.9 %
HEDELMÄT JA HEDELMÄVALMISTEET	6.8 %	9.1 %	8.3 %	14.1 %	4.3 %	7.3 %
LIHA, LIHAVALMISTEET, SISÄELIMET	4.6 %	5.1 %	4.8 %	5.2 %	5.2 %	3.2 %
KALA JA MEREN ANTIMET	1.5 %	1.9 %	1.9 %	3.9 %	1.6 %	1.6 %
MAITO JA MAITOTUOTTEET	17.3 %	18.7 %	4.6 %	3.7 %	4.3 %	4.9 %
MUNA	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
SOKERI JA MAKEISET	7.8 %	3.4 %	7.8 %	4.5 %	8.6 %	9.9 %
RASVAT	0.3 %	0.5 %	0.4 %	0.6 %	0.5 %	0.3 %
MEHUT	5.4 %	4.0 %	7.5 %	5.9 %	9.2 %	7.8 %
ALKOHOLITOMAT JUOMAT	11.8 %	11.0 %	12.5 %	10.9 %	10.5 %	14.3 %
ALKOHOLIJUOMAT	5.3 %	3.5 %	5.4 %	5.3 %	5.9 %	3.0 %
VESI (TALOUSVESI JA PULLOVESI)	2.1 %	2.1 %	2.6 %	2.3 %	2.1 %	2.5 %
MAUSTEET JA MAUSTEKASTIKKEET	5.4 %	5.9 %	5.8 %	6.3 %	7.2 %	4.8 %
LAIHDUTUSTUOTTEET	0.3 %	0.1 %	6.4 %	0.7 %	7.4 %	9.4 %
YHDISTELMÄRUOAT	0.0 %	0.0 %	0.4 %	0.3 %	0.5 %	0.3 %
RAVINTOLISÄT, MAKEUTUS- JA VALMISTUSAINET	2.7 %	2.7 %	0.8 %	0.6 %	1.0 %	0.6 %

*Vuoden 2012 luvut on laskettu pitoisuusaineistolla, jossa maitotuloksia on vain 2010-luvulta.

L1-3 Epäorgaanisen arseenin lähteet

TUOTERYHMÄ	2007 25-64V	2007 65-74V	2012 25-64V	2012 65-74V	2012 MIEHET	2012 NAISET
VILJAT JA VILJATUOTTEET	14.4 %	18.8 %	14.1 %	16.8 %	13.8 %	14.9 %
VIHANNEKSET JA JUUREKSET	7.9 %	5.6 %	7.8 %	8.6 %	6.9 %	8.6 %
PERUNA JA TÄRKKELYSPITOISET JUUREKSET	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
PALKOKASVIT, PÄHKINÄT, ÖLJYSIEMENET	0.5 %	0.3 %	0.9 %	0.6 %	0.8 %	1.0 %
HEDELMÄT JA HEDELMÄVALMISTEET	3.4 %	4.5 %	3.2 %	4.5 %	2.4 %	3.4 %
LIHA, LIHAVALMISTEET, SISÄELIMET	3.1 %	3.9 %	3.0 %	3.3 %	3.3 %	2.4 %
KALA JA MEREN ANTIMET	11.3 %	7.5 %	13.5 %	12.0 %	16.6 %	13.2 %
MAITO JA MAITOTUOTTEET	6.9 %	5.7 %	7.0 %	5.5 %	6.8 %	8.2 %
MUNA	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
SOKERI JA MAKEISET	4.6 %	3.6 %	4.1 %	3.0 %	4.1 %	5.2 %
RASVAT	2.7 %	3.6 %	2.7 %	3.2 %	2.3 %	2.6 %
MEHUT	8.1 %	6.5 %	6.9 %	5.6 %	8.2 %	7.6 %
ALKOHOLITTOMAT JUOMAT	22.6 %	25.4 %	22.3 %	24.8 %	19.3 %	20.7 %
ALKOHOLIJUOMAT	4.3 %	1.9 %	3.5 %	2.6 %	4.4 %	2.0 %
VESI (TALOUSVESI JA PULLOVESI)	3.8 %	4.4 %	3.9 %	3.3 %	3.0 %	4.0 %
MAUSTEET JA MAUSTEKASTIKKEET	4.0 %	5.5 %	4.6 %	4.4 %	5.0 %	3.8 %
LAIHDUTUSTUOTTEET	0.0 %	0.0 %	0.4 %	0.0 %	0.4 %	0.6 %
YHDISTELMÄRUOAT	0.0 %	0.0 %	1.5 %	1.1 %	1.8 %	1.1 %
RAVINTOLISÄT, MAKEUTUS- JA VALMISTUSAINEET	2.2 %	2.6 %	0.7 %	0.4 %	0.6 %	0.4 %

L1-4 Epäorgaanisen elohopean lähteet

TUOTERYHMÄ	2007 25-64V	2007 65-74V	2012 25-64V	2012 65-74V	2012 MIEHET	2012 NAISET
VILJAT JA VILJATUOTTEET	0.8 %	0.3 %	1.1 %	0.7 %	1.4 %	1.3 %
VIHANNEKSET JA JUUREKSET	13.5 %	12.2 %	16.0 %	16.4 %	14.8 %	18.0 %
PERUNA JA TÄRKKELYSPITOISET JUUREKSET	5.8 %	6.8 %	4.8 %	6.0 %	5.1 %	4.5 %
PALKOKASVIT, PÄHKINÄT, ÖLJYSIEMENET	1.0 %	0.9 %	1.4 %	1.0 %	1.3 %	1.6 %
HEDELMÄT JA HEDELMÄVALMISTEET	5.8 %	6.9 %	5.9 %	7.5 %	3.8 %	6.7 %
LIHA, LIHAVALMISTEET, SISÄELIMET	10.6 %	11.5 %	11.0 %	11.3 %	12.2 %	8.2 %
KALA JA MEREN ANTIMET	20.5 %	30.6 %	21.6 %	28.2 %	17.3 %	14.8 %
MAITO JA MAITOTUOTTEET	0.3 %	0.2 %	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.4 %
MUNA	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
SOKERI JA MAKEISET	6.4 %	5.6 %	7.0 %	5.9 %	6.0 %	8.9 %
RASVAT	1.4 %	1.4 %	1.5 %	1.5 %	1.5 %	1.6 %
MEHUT	18.9 %	12.2 %	18.6 %	13.1 %	22.9 %	23.0 %
ALKOHOLITOMAT JUOMAT	2.0 %	0.5 %	2.2 %	1.1 %	3.4 %	3.0 %
ALKOHOLIJUOMAT	3.0 %	1.0 %	2.6 %	1.7 %	3.5 %	1.5 %
VESI (TALOUSVESI JA PULLOVESI)	0.8 %	0.8 %	0.8 %	0.7 %	0.7 %	1.2 %
MAUSTEET JA MAUSTEKASTIKKEET	5.4 %	5.8 %	4.1 %	4.0 %	4.3 %	4.2 %
LAIHDUTUSTUOTTEET	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.2 %
YHDISTELMÄRUOAT	0.0 %	0.0 %	0.2 %	0.1 %	0.3 %	0.2 %
RAVINTOLISÄT, MAKEUTUS- JA VALMISTUSAINEET	3.7 %	3.4 %	0.8 %	0.6 %	1.1 %	0.8 %

L1-5 Metyylihiöpean lähteet (vain ryhmästä Kala ja meren antimet)

TUOTERYHMÄ	2007 25-64V	2007 65-74V	2012 25-64V	2012 65-74V	2012 MIEHET	2012 NAISET
AHVEN	1.7 %	8.1 %	5.8 %	4.2 %	2.4 %	0.0 %
HAUKI	15.7 %	17.3 %	14.5 %	5.3 %	8.9 %	0.0 %
KIRJLOHI	13.0 %	10.8 %	13.7 %	13.8 %	16.7 %	23.1 %
LOHI	3.2 %	3.2 %	6.8 %	5.8 %	5.8 %	10.4 %
KESKIARVOKALA	37.3 %	44.7 %	28.6 %	50.9 %	28.3 %	15.8 %
MUIKKU	3.5 %	5.5 %	7.7 %	4.8 %	9.4 %	2.9 %
SEITI	4.9 %	2.5 %	4.7 %	2.4 %	6.6 %	8.6 %
TONNIKALA	14.1 %	1.9 %	9.8 %	6.1 %	13.0 %	27.3 %
MUUT	4.1 %	5.7 %	6.1 %	5.4 %	4.9 %	7.3 %
MÄTI	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.1 %	0.2 %
NILVIÄISET	0.2 %	0.0 %	0.1 %	0.3 %	0.1 %	0.4 %
ÄYRIÄISET	2.0 %	0.3 %	2.0 %	0.8 %	3.8 %	4.0 %

L1-6 Nikkelin lähteet

TUOTERYHMÄ	2007 25-64V	2007 65-74V	2012 25-64V	2012 65-74V	2012 MIEHET	2012 NAISET
VILJAT JA VILJATUOTTEET	22.6 %	32.9 %	20.1 %	25.5 %	21.1 %	18.8 %
VIHANNEKSET JA JUUREKSET	7.2 %	7.6 %	8.1 %	9.4 %	7.1 %	7.7 %
PERUNA JA TÄRKKELYSPITOISET JUUREKSET	4.7 %	5.8 %	3.7 %	4.8 %	4.3 %	3.1 %
PALKOKASVIT, PÄHKINÄT, ÖLJYSIEMENET	8.4 %	6.3 %	15.3 %	11.5 %	13.9 %	15.3 %
HEDELMÄT JA HEDELMÄVALMISTEET	9.4 %	11.3 %	9.4 %	12.4 %	6.2 %	9.5 %
LIHA, LIHAVALMISTEET, SISÄELIMET	3.1 %	2.9 %	3.1 %	2.9 %	4.0 %	2.8 %
KALA JA MEREN ANTIMET	0.4 %	0.6 %	0.4 %	0.7 %	0.4 %	0.3 %
MAITO JA MAITOTUOTTEET	8.3 %	8.3 %	8.5 %	8.1 %	9.0 %	9.2 %
MUNA	0.2 %	0.2 %	0.3 %	0.3 %	0.3 %	0.3 %
SOKERI JA MAKEISET	16.1 %	5.8 %	12.1 %	5.6 %	12.7 %	15.0 %
RASVAT	6.2 %	7.4 %	6.1 %	7.1 %	5.9 %	5.7 %
MEHUT	4.2 %	3.0 %	3.1 %	2.5 %	4.0 %	3.1 %
ALKOHOLITOMAT JUOMAT	6.2 %	5.4 %	6.3 %	6.5 %	6.6 %	6.2 %
ALKOHOLIJUOMAT	0.7 %	0.5 %	0.6 %	0.6 %	0.8 %	0.3 %
VESI (TALOUSVESI JA PULLOVESI)	0.7 %	0.7 %	0.7 %	0.6 %	0.6 %	0.7 %
MAUSTEET JA MAUSTEKASTIKKEET	1.1 %	1.1 %	1.6 %	1.2 %	2.2 %	1.3 %
LAIHDUTUSTUOTTEET	0.0 %	0.0 %	0.2 %	0.0 %	0.3 %	0.3 %
YHDISTELMÄRUOAT	0.0 %	0.0 %	0.4 %	0.2 %	0.5 %	0.3 %
RAVINTOLISÄT, MAKEUTUS- JA VALMISTUSAINEET	0.3 %	0.3 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %

L1-7 Alumiinin lähteet

TUOTERYHMÄ	2007 25-64V	2007 65-74V	2012 25-64V	2012 65-74V	2012 MIEHET	2012 NAISET
VILJAT JA VILJATUOTTEET	8.4 %	9.3 %	12.8 %	15.1 %	13.7 %	11.2 %
VIHANNEKSET JA JUUREKSET	14.3 %	13.8 %	18.5 %	15.9 %	20.0 %	18.7 %
PERUNA JA TÄRKKELYSPITOISET JUUREKSET	8.9 %	12.4 %	6.5 %	9.3 %	7.1 %	5.1 %
PALKOKASVIT, PÄHKINÄT, ÖLJYSIEMENET	1.8 %	1.9 %	2.4 %	2.1 %	2.1 %	2.5 %
HEDELMÄT JA HEDELMÄVALMISTEET	7.2 %	8.7 %	6.4 %	8.9 %	4.0 %	6.2 %
LIHA, LIHAVALMISTEET, SISÄELIMET	4.5 %	4.0 %	4.0 %	4.1 %	5.2 %	3.1 %
KALA JA MEREN ANTIMET	1.5 %	0.8 %	1.5 %	1.8 %	1.8 %	1.5 %
MAITO JA MAITOTUOTTEET	2.6 %	1.9 %	2.6 %	2.0 %	2.5 %	2.8 %
MUNA	0.7 %	0.8 %	0.7 %	0.8 %	0.9 %	0.7 %
SOKERI JA MAKEISET	13.3 %	6.6 %	9.5 %	5.7 %	9.6 %	11.3 %
RASVAT	2.9 %	3.7 %	2.6 %	3.3 %	2.5 %	2.3 %
MEHUT	8.2 %	7.1 %	4.4 %	5.4 %	4.9 %	3.8 %
ALKOHOLITTOMAT JUOMAT	20.0 %	23.7 %	19.0 %	17.9 %	14.2 %	22.1 %
ALKOHOLIJUOMAT	0.6 %	0.3 %	0.5 %	0.1 %	0.6 %	0.6 %
VESI (TALOUSVESI JA PULLOVESI)	1.2 %	1.4 %	1.1 %	1.0 %	0.9 %	1.1 %
MAUSTEET JA MAUSTEKASTIKKEET	3.8 %	3.3 %	5.7 %	6.0 %	7.9 %	5.1 %
LAIHDUTUSTUOTTEET	0.1 %	0.0 %	0.9 %	0.1 %	1.1 %	1.4 %
YHDISTELMÄRUOAT	0.0 %	0.0 %	0.6 %	0.5 %	0.8 %	0.4 %
RAVINTOLISÄT, MAKEUTUS- JA VALMISTUSAINEET	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.0 %	0.0 %

Liite 2. Kooste pitoisuuksista eri elintarvikeryhmissä

Taulukossa L2 on esitetty riskinarvioinnissa käytetyistä pitoisuusaineistoista tehty kooste elintarvikeryhmätasolla. Aineistossa on mukana sekä Suomessa tuotettuja elintarvikkeita että Suomeen tuotuja tai muissa Euroopan maissa analysoituja elintarvikkeita.

Taulukko L2. Näytteiden lukumäärät ja lower bound -keskiarvopitoisuudet elintarvikeryhmittäin. Pitoisuudet on esitetty yksikössä µg/kg. Jos näytteitä on merkitty ainoastaan yksi, kyseessä on useimmiten kirjallisuudesta otettu keskiarvotieto. Taulukon väliviivat erottavat elintarvikeläryhmiä, joiden tasolla raportin altistuslähdekuvaajat on esitetty.

Elintarvikeryhmä	Näytteiden lukumäärä						Keskiarvo (µg/kg)					
	Al	Cd	Pb	iAs	Hg	Ni	Al LB	Cd LB	Pb LB	iAs LB	Hg LB	Ni LB
Viljat	33	1 009	639	219	53	94	315	21	13	41	0	492
Viljatuotteet	280	215	227	64	35	70	2 502	23	17	26	0	166
Juurekset	52	201	193	78	18	71	1 214	20	11	2	1	77
Sipulit	19	54	54	23	6	22	946	12	5	1	1	88
Hedelmäkasvikset	58	142	141	69	15	42	885	1	0	1	2	93
Kaalit	23	85	85	53	12	46	1 264	4	1	0	1	120
Lehtivihannekset	79	151	148	15	16	68	6 510	36	124	2	4	101
Varsivihannekset	14	32	32	13	6	11	1 812	13	5	0	1	61
Merilevä (kuivattu)	1	4	4	33	15	2	0	1 991	89	20 913	6	2 000
Kasvissäilykkeet	9	33	35	8	8	8	2 800	6	25	7	9	334
Sienet	7	165	116	193	40	15	3 153	48	24	95	35	74
Idut	1	12	10	1	1	1	0	15	10	70	7	520
Peruna	2	85	91	38	2	38	2 100	11	2	0	2	98
Perunavalmiste	36	17	16	1	1	1	696	30	9	0	0	86
Kuivatut perunatuotteet	16	6	6	1	2	18	1 833	42	11	0	0	152
Bataatti ym. tärkkelyspitoiset	1	17	17	1	1	1	0	4	19	9	1	99
Palkokasvit	52	109	101	16	13	52	3 778	4	4	1	1	358
Pähkinät	13	33	34	12	18	13	1 908	15	54	8	2	2 295
Öljysiemenet	79	80	80	79	79	81	16 001	111	32	14	1	2 102
Soija	6	12	12	4	7	6	4 371	51	7	14	2	3 217
Hedelmät	89	161	111	83	46	44	1 194	10	7	3	1	166
Marjat	25	346	362	50	30	71	531	11	20	2	1	62
Liha	69	865	897	243	54	220	503	2	7	1	1	12
Lihavalmisteet	14	46	46	46	22	41	714	2	3	3	1	21

Elintarvikeryhmä	Näytteiden lukumäärä						Keskiarvo (µg/kg)					
	Al	Cd	Pb	iAs	Hg	Ni	Al LB	Cd LB	Pb LB	iAs LB	Hg LB	Ni LB
Sisäelimet	32	1395	1446	421	17	422	295	153	14	1	1	35
Kala	97	689	740	622	2553	253	434	9	3	12	199	36
Kalavalmisteet	8	137	40	7	92	103	753	30	24	17	85	62
Mäti	2	6	6	6	6	5	0	6	4	12	11	1
Äyriäiset	20	10	10	3	4	4	20 675	20	15	1024	66	112
Nilviäiset	22	17	19	9	11	12	28 026	105	64	62	17	207
Maitotuotteet	2	1	1	1	1	2	0	2	1	5	2	26
Maito	3	77	85	189	12	16	0	0	1	0	0	43
Juusto	37	21	21	27	28	32	788	1	2	2	0	154
Jäätelö	6	8	8	8	8	6	1927	6	22	9	2	152
Kerma	3	3	3	3	3	6	197	4	5	2	0	159
Hapanmaitotuotteet	5	14	23	22	22	10	0	1	0	0	0	42
Hera	1	1	1	1	1	2	0	5	12	6	3	26
Kananmuna	15	80	140	1	1	1	769	3	0	1	0	27
Sokeri	2	3	3	2	4	2	1710	1	3	9	6	81
Suklaa	23	51	36	17	14	26	19 018	178	103	32	8	2 318
Muut makeiset	17	21	22	7	8	16	1225	10	48	19	3	776
Hunaja	2	95	212	9	1	10	805	1	2	4	3	115
Rasvat	1	1	1	1	1	2	0	2	20	9	2	350
Voi	6	7	4	20	13	2	2 023	1	10	0	0	85
Öljyt	10	1	1	1	1	1	594	0	0	4	1	32
Margariini	4	11	20	5	1	2	1625	0	0	12	1	420
Majoneesi	3	1	1	1	1	2	0	7	0	4	1	52
Muu kova rasva	1	2	1	1	1	2	0	0	0	7	1	330
Kookosrasva	1	1	1	1	1	2	0	7	23	17	1	460
Mehut	1	9	9	1	1	2	130	4	8	8	4	36
Hedelmämehu	16	34	33	10	1	30	806	3	3	5	3	41
Marjamehu	1	9	9	1	1	2	2 000	2	4	4	3	36
Vihannesmehu	1	15	15	1	1	2	130	10	9	0	2	51
Mehujää	2	1	1	1	1	2	315	4	5	6	3	36
Mehukeitto	2	10	10	1	1	2	315	1	0	6	3	36
Kasvisjuomat	8	20	20	15	7	13	199	2	10	9	3	451
Virvoitus- ja energiajuomat	8	7	9	5	2	8	35	0	4	1	1	20

Elintarvikeryhmä	Näytteiden lukumäärä						Keskiarvo (µg/kg)					
	Al	Cd	Pb	iAs	Hg	Ni	Al LB	Cd LB	Pb LB	iAs LB	Hg LB	Ni LB
Tee	6	5	5	2	5	2	2 197	480	13 327	2	1	3 554
Kahvi	9	4	6	3	3	11	51	63	11	5	0	232
Viini	8	13	47	7	7	13	332	1	25	5	1	60
Olut	2	3	5	5	2	7	0	0	1	2	1	7
Siideri	3	2	2	2	1	2	823	2	8	4	0	0
Gini	1	1	1	1	1	2	80	0	2	1	0	9
Väkevät alkoholijuomat	3	4	3	3	3	6	80	2	16	3	1	9
Tonicvesi	2	1	1	19	1	2	2	1	2	0	0	2
Glögi	1	1	1	1	1	2	80	2	5	5	3	36
Talousvesi	7	7	7	6	8	7	19	0	0	0	0	2
Pullovesi	32	30	31	31	3	6	51	0	0	0	0	4
Maustekastikkeet	9	31	32	9	13	7	2 187	27	29	58	2	250
Mausteet	5	24	25	1	1	8	522 200	25	739	66	0	1 374
Yrtit	1	96	82	1	2	2	139 000	41	40	100	20	490
Suola	1	1	1	1	1	1	940	13	168	39	32	30
Laihdutusvalmis- teet	1	1	1	1	1	2	16 000	25	632	40	2	320
Yhdistelmäruoat	146	9	120	4	118	113	1 877	112	7	11	0	95
Makeutusaineet	1	8	12	2	1	2	16 000	0	1	0	4	154
Ravintolisät	1	160	160	6	150	14	40 000	78	1 009	1 910	5	2 263
Valmistusaineet	1	48	50	33	43	1	0	22	62	45	12	100



RUOKAVIRASTO

Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

ruokavirasto.fi