



**RUOKAVIRASTO**  
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

Tutkimuksia  
**2/2020**

# Riskinarviointi suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH)





# **Riskinarviointi suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH)**





# Kuvailulehti

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Julkaisija</b>                    | Ruokavirasto, riskinarvioinnin yksikkö  |
| <b>Tekijät</b>                       | Tero Hirvonen, Mirja Hokkanen, Antti Mikkela, Petra Pasonen, Liisa Uusitalo, Maijaliisa Erkkola, Liisa Korkalo, Pirkko Tuominen |
| <b>Julkaisun nimi</b>                | Riskinarviointi Suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH)           |
| <b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b> | Ruokaviraston tutkimuksia 2/2020  |
| <b>Julkaisuaika</b>                  | 9/2020  |
| <b>ISBN PDF</b>                      | 978-952-358-016-9   |
| <b>ISSN PDF</b>                      | 2490-1180   |
| <b>Sivuja</b>                        | 29  |
| <b>Kieli</b>                         | Suomi   |
| <b>Asiasanat</b>                     | Polysykliset aromaattiset hiilivedyt, elintarvikkeet, riskinarviointi, lapset   |
| <b>Kustantaja</b>                    | Ruokavirasto  |
| <b>Taitto</b>                        | Ruokavirasto, käyttäjäpalvelujen yksikkö  |
| <b>Julkaisun jakaja</b>              | Sähköinen versio: ruokavirasto.fi   |

## Tiivistelmä

Riskinarvioinnissa tarkasteltiin leivästä, muroista ja myseleistä sekä savustetuista liha- ja kalatuotteista peräisin olevien PAH-yhdisteiden aiheuttamaa syövän riskiä sekä lainsäädännöllisten rajojen potentiaalista vaikutusta PAH-altistukseen. Ruoankäyttöaineistona käytettiin DAGIS-tutkimuksessa kerättyjä ruokapäiväkirjoja (n=815) Uudellamaalla ja Keski-Pohjanmaalla. Elintarvikkeiden PAH-pitoisuustiedot olivat peräisin tieteellisestä kirjallisuudesta sekä Evirassa vuosina 2012–2017 tehdyistä analyyseistä. Altistuksen arvioinnissa käytettiin bayesiläistä mallinnusta. Riskinluonnehdinnassa laskettiin turvamarginaali (MOE) EFSA:n julkaisemien BMDL<sub>10</sub>-annoskuvaajien (BMDL<sub>10</sub>(bentso[a]pyreeni)=0,07 mg/kg/päivä; BMDL<sub>10</sub>(PAH4)=0,34 mg/kg/päivä) ja altistuksen osamääränä. Hyväksyttävän turvamarginaalin alarajana oli 10 000. Keskiarvoaltistus oli bentso[a]pyreenille 1 400 pg/kg/päivä ja PAH4:lle 8 100 pg/kg/päivä, kun käytettiin elintarvikkeiden keskimääräistä pitoisuutta. Vastaavasti altistuksen 97,5. persentiilit olivat 2 700 pg/kg/päivä ja 14 000 pg/kg/päivä. Turvamarginaalien 2,5. persentiilit olivat bentso[a]pyreenille 263 000 ja PAH4:lle 24 000, joten PAH-yhdisteet eivät aiheuta tarkastelluista elintarvikkeista terveystarve-riskiä suomalaisille 3–6-vuotialle lapsille.

# Beskrivning

|  |   |
|--|---|
| <b>Utgivare</b>                            | Livsmedelsverket, enheten för riskvärdering   |
| <b>Författare</b>                          | Tero Hirvonen, Mirja Hokkanen, Antti Mikkilä, Petra Pasonen, Liisa Uusitalo, Maijaliisa Erkkola, Liisa Korkalo, Pirkko Tuominen |
| <b>Publikationens titel</b>                | Riskbedömning av finländska barns exponering för polycykliska aromatiska kolväten i livsmedel (PAH)                             |
| <b>Publikationsseriens namn och nummer</b> | Livsmedelsverkets forskningsrapporter 2/2020  |
| <b>Utgivningsdatum</b>                     | 9/2020  |
| <b>ISBN PDF</b>                            | 978-952-358-016-9   |
| <b>ISSN PDF</b>                            | 2490-1180   |
| <b>Sidantal</b>                            | 29  |
| <b>Språk</b>                               | Finska  |
| <b>Nyckelord</b>                           | Polycykliska aromatiska kolväten, livsmedel, riskbedömning, barn  |
| <b>Förläggare</b>                          | Livsmedelsverket  |
| <b>Layout</b>                              | Livsmedelsverket, enheten för interna stödtjänster  |
| <b>Distribution</b>                        | Elektronisk version: livsmedelsverket.fi  |

## Referat

I riskbedömningen granskades risken för cancer som orsakas av PAH-föreningar från bröd, frukostflingor och müsli samt rökt kött och fiskprodukter samt den potentiella effekten av gränser i lagstiftningen för PAH-exponering. Som material om matanvändning användes matdagböcker (n=815) som samlades in i DAGIS-studien i Nyland och Mellersta Österbotten. Livsmedlens PAH-halter kom från vetenskaplig litteratur samt analyser som gjordes på Evira under åren 2012–2017. Vid bedömningen av exponering användes bayesiansk modellering. I riskkaraktiseringen beräknades en säkerhetsmarginal (MOE) som en andel av BMDL<sub>10</sub>-dosdeskriptorer (BMDL<sub>10</sub>(bens[a]pyren)=0,07 mg/kg/dag; BMDL<sub>10</sub>(PAH4)=0,34 mg/kg/dag) som publicerats av EFSA samt av exponeringen. Den nedre gränsen för en godtagbar säkerhetsmarginal var 10 000. Den genomsnittliga exponeringen var 1 400 pg/kg/dag för bens[a]pyren och 8 100 pg/kg/dag för PAH4 då man använde den genomsnittliga halten i livsmedlen. På motsvarande sätt var 97,5-percentilerna vid exponeringen 2 700 pg/kg/dygn och 14 000 pg/kg/dygn. Säkerhetsmarginalernas 2,5-percentiler var 263 000 för bens[a]pyren och 24 000 för PAH4, varför PAH-föreningarna i de granskade livsmedlen inte utgör någon hälsorisk för finländska barn i åldern 3–6 år.

## Description

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Publisher</b>                     | Finnish Food Authority, Risk Assessment Unit  |
| <b>Authors</b>                       | Tero Hirvonen, Mirja Hokkanen, Antti Mikkilä, Petra Pasonen, Liisa Uusitalo, Maijaliisa Erkkola, Liisa Korkalo, Pirkko Tuominen |
| <b>Title of publication</b>          | Risk assessment of Finnish children's exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods                               |
| <b>Series and publication number</b> | Finnish Food Authority Research Reports 2/2020  |
| <b>Publications date</b>             | 9/2020  |
| <b>ISBN PDF</b>                      | 978-952-358-016-9   |
| <b>ISSN PDF</b>                      | 2490-1180   |
| <b>Pages</b>                         | 29  |
| <b>Language</b>                      | Finnish   |
| <b>Keywords</b>                      | Polycyclic aromatic hydrocarbons, foods, risk assessment, children  |
| <b>Publisher</b>                     | Finnish Food Authority  |
| <b>Layout</b>                        | Finnish Food Authority, In-house Services Unit  |
| <b>Distributed by</b>                | Online version: <a href="http://foodauthority.fi">foodauthority.fi</a>  |

### Abstract

The cancer risk caused by PAHs in bread, cereals, mueslis and smoked meat and fish products and the potential effect of the maximum levels set for PAH exposure in legislation was examined in the risk assessment. The food records (n=816) collected in the DAGIS study in Uusimaa and Central Ostrobothnia were used as the material on food consumption. The details of PAH concentrations of foods were obtained from scientific literature and from analyses conducted at the Finnish Food Safety Authority Evira between 2012 and 2017. Bayesian modelling was used in assessing the exposure. In the risk characterisation, the safety margin (MOE) was calculated as the quotient of the BMDL<sub>10</sub> dose descriptors published by EFSA (BMDL<sub>10</sub> (benzo[a]pyrene)=0.07 mg/kg/day; BMDL<sub>10</sub> (PAH4)=0.34 mg/kg/day) and the exposure. The lowest limit of the acceptable safety margin was 10,000. The average exposure to benzo[a]pyrene was 1,400 pg/kg/day and to PAH4 8,100 pg/kg/day, based on their average concentrations in foods. Correspondingly, the 97.5th percentiles of exposure were 2,700 pg/kg/day and 14,000 pg/kg/day. The 2.5th percentile of the safety margin was 263,000 for benzo[a]pyrene and 24,000 for PAH4. In conclusion, PAHs in the examined foods do not cause a health risk to Finnish children aged 3–6 years.

# Sisällys

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Johdanto ja tavoitteet.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2 Vaaran tunnistaminen.....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1 PAH-yhdisteet ja niiden lähteet.....  | 8         |
| 2.2 PAH-yhdisteet elintarvikkeissa .....  | 8         |
| 2.3 PAH-yhdisteet muissa lähteissä .....  | 9         |
| 2.4 PAH-yhdisteisiin liittyviä säädöksiä.....   | 10        |
| 2.5 PAH-yhdisteiden kinetiikka elimistössä ja vaikutukset ihmiseen.....                                     | 10        |
| 2.5.1 Toksikokinetiikka .....   | 10        |
| 2.5.2 Toksisuus .....   | 10        |
| 2.5.2.1 Genotoksisuus .....   | 10        |
| 2.5.2.2 Syöpävaarallisuus .....   | 11        |
| 2.5.3.2 Lisääntymistoksisuus.....   | 12        |
| 2.5.4.2 Vaikutukset lapsiin .....   | 12        |
| <b>3 Vaaran kuvaus .....</b>  | <b>13</b> |
| 3.1 Annosvaste ja toksikologiset vertailuarvot .....  | 13        |
| <b>4 Altistuksen arviointi .....</b>  | <b>14</b> |
| 4.1 Ruoankäyttöaineistot.....   | 14        |
| 4.2 Elintarvikkeiden kemialliset analyysit .....  | 14        |
| 4.2.1 Näytteet .....  | 14        |
| 4.2.2 Menetelmät .....  | 14        |
| 4.2.3 Menetelmävalidointi ja laadunvarmistus .....  | 15        |
| 4.2.4 Elintarvikkeiden PAH-pitoisuudet kirjallisuudesta .....   | 15        |
| 4.2.5 PAH-pitoisuudet Evirassa tehdyissä analyyseissä .....   | 15        |
| 4.3 Tilastolliset menetelmät.....   | 18        |
| <b>5 Elintarvikkeiden mallinnetut pitoisuudet, PAH-pitoisten elintarvikkeiden käyttö ja PAH-altistus 20</b> |           |
| 5.1 Pitoisuudet elintarvikkeissa.....   | 20        |
| 5.2 Ruoankäyttö .....   | 21        |
| 5.3 Altistus.....   | 21        |
| 5.4 Lainsäädännöllisten rajojen potentiaalinen vaikutus PAH-altistukseen .....                              | 23        |
| <b>6 Riskin kuvaus .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>7 Pohdinta .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>8 Johtopäätökset.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>9 Viitteet .....</b>   | <b>28</b> |



# 1 Johdanto ja tavoitteet

---

PAH-yhdisteet ovat syöpävaarallisia ja niitä voidaan havaita elintarvikkeissa eri analyysitekniikoihin perustuvilla menetelmillä. Niinpä PAH-yhdisteet ovat olleet vuosikymmeniä mielenkiinnon kohteina tieteellisessä tutkimuksessa sekä elintarvikkeiden riskinarvioinnissa, kemiallisessa analytiikassa ja elintarvikevalvonnassa.

Kansainvälinen syöpätutkimusinstituutti (IARC) julkaisi ensimmäisen monografian PAH-yhdisteistä jo vuonna 1973 (IARC, 1973). EFSA on julkaissut lausunnon elintarvikkeiden PAH-yhdisteistä vuonna 2008 (EFSA, 2008). Suomessa on julkaistu raportti PAH-yhdisteiden saannista vuonna 1999 (Hietaniemi ym. 1999). Ensimmäinen EU:n laajuinen asetus PAH-yhdisteille asetuista elintarvikkeiden enimmäispitoisuuksista on vuodelta 2006 (c).

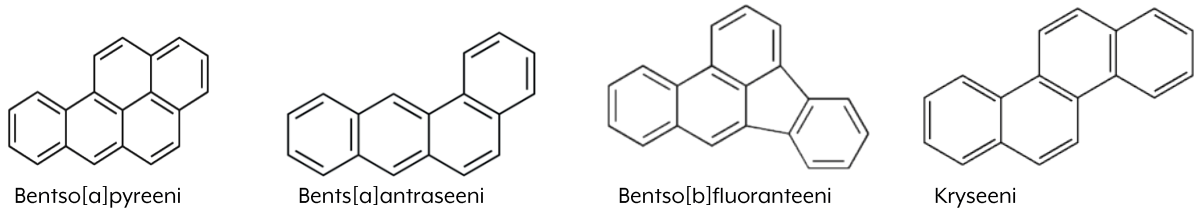
Tämän riskinarvioinnin tavoite on arvioida suomalaisten lasten altistumista PAH-yhdisteille ja verrata sitä altistumisen viitearvoihin sekä arvioida muuttuneen lainsäädännön potentiaalista vaikutusta altistumiseen. Uudessa lainsäädännössä (asetus EY 1327/2014) annettiin jäsenmaille mahdollisuus hakea savustetuille liha- ja kalatuotteille korkeampia PAH-yhdisteiden pitoisuusrajoja kuin asetuksessa EY 1881/2006.

Riskinarvioinnin vaaran tunnistamiseen liittyvä osuus perustuu pääosin EFSA:n (EFSA, 2008) ja IARC:in raportteihin (IARC, 2010), joita referoidaan lyhyesti.

## 2 Vaaran tunnistaminen

### 2.1 PAH-yhdisteet ja niiden lähteet

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) ovat iso ryhmä yhdisteitä, joissa on kaksi tai useampia aromaattisia renkaita (Kuva 1.). Ne koostuvat vain hiilestä ja vedystä. Useimmilla biologisesti aktiivisilla PAH-yhdisteillä on kahdesta kuuteen toisiinsa liittyntä aromaattista rengasta (IARC, 2010).



**Kuva 1.** Rakennekuvat neljästä tässä raportissa mukana olevasta PAH-yhdisteestä, joiden summaa käytetään kokonaisaltistuksen mittarina.

Tässä raportissa keskitytään neljään yhdisteeseen ((benzo[a]pyreeni (B[a]P), kryseeni, bents[a]antraseeni, bentso[b]fluoranteeni), sillä EFSA on määritellyt näiden summan (PAH4) ja bentso[a]pyreenin kuvaamaan syöpävaarallisten PAH-yhdisteiden kokonaisaltistusta (EFSA, 2008). PAH4:ään yhdisteiden yhdistelmä on valittu siten, että kyseisten yhdisteiden pitoisuuksien korrelaatio elintarvikkeissa on mahdollisimman pieni (EFSA, 2008). EFSA:an lähetetyissä, jäsenmaista kerätyistä pitoisuustiedoista on havaittu, että vain noin 50 % näytteistä havaittiin bentso[a]pyreeniä, vaikka muita syöpävaarallisia PAH-yhdisteitä havaittiin merkittäviä määriä. Vaikka bentso[a]pyreeniä ei havaittu, 30 %:ssa näistä näytteistä havaittiin kuitenkin syöpävaarallisia ja genotoksisia PAH-yhdisteitä. Näistä yleisin oli kryseeni.

PAH-yhdisteitä syntyy pääasiassa orgaanisen materiaalin epätäydellisessä palamisessa tai pyrolyysissä (pyrolyysillä tarkoitetaan kuumuuden aiheuttama materiaalien (esim. elintarvikkeiden hajoamista)) sekä monissa teollisissa prosesseissa (IARC, 2010). Siten PAH-yhdisteiden sekä luonnollisia, että ihmisen toiminnan aiheuttamia lähteitä ovat mm. metsäpalot, tulivuoret, puun, jätteiden, kaasun ja hiilen poltto, metallien jalostus, liikenne. PAH-yhdisteet esiintyvät pääsääntöisesti monimutkaisissa seoksissa, joissa voi olla satoja yhdisteitä. Seosten koostumus vaihtelee PAH-yhdisteiden syntyntavan mukaisesti.

PAH-yhdisteet ovat kiinteitä huoneenlämpötilassa. Ne liukenevat huonosti veteen, mutta hyvin orgaanisiin liuottimiin. Siten vedessä PAH-yhdisteet ovat pääosin sitoutuneita hiukkasiin. PAH-yhdisteet eivät haihdu herkästi, joten myös ilmassa ne ovat yleensä sitoutuneita hiukkasiin.

### 2.2 PAH-yhdisteet elintarvikkeissa

PAH-yhdisteet päätyvät elintarvikkeisiin monin tavoin (EFSA, 2008). Pienimolekyyliset PAH-yhdisteet voivat konsentroitua ilmasta vahapintaisten kasvien ja hedelmien pinnalle. Suurimolekyyliset PAH-yhdisteet voivat päätyä elintarvikkeisiin laskeutuneena ilmasta, esim. veteen ja edelleen ravintoketjun myötä kaloihin. PAH-yhdisteitä voi päätyä elintarvikkeisiin myös savustaminen seurauksena ja elintarvikkeita kuumennettaessa (esim. grillaaminen) tai kuivatessa, mikäli palamistuotteet (esim. savu) ovat suorassa kosketuksessa elintarvikkeisiin.

Ruoka on koko väestössä suurin PAH-yhdisteiden lähde (IARC, 2010). Suurimpia PAH4-pitoisuuksia eurooppalaisissa elintarvikkeissa on havaittu puristemassaöljyssä, mausteissa, ravintolisissä sekä kuivatussa teessä (EFSA, 2008). Nämä elintarvikkeet ovat kuitenkin melko pieniä PAH-yhdisteiden lähteitä, sillä niiden kulutus on vähäistä. EFSA:n tekemässä lausunnossa (EFSA, 2008), joka sisältää myös laajan altistuksenarvioinnin, suurimpia elintarvikkeiden PAH4-lähteitä EU-maissa olivat viljatuotteet sekä kalat ja äyriäiset. EU-maiden keskiarvoaltistus oli B[a]P:lle 235 ng/päivä ja PAH4:lle 1 168 ng/päivä. Suomalaisilla vastaavat altistukset olivat 185 ng/päivä ja 978 ng/päivä. EU-maiden 97,5. persentiiliin B[a]P-altistus oli 389 ng/päivä ja PAH4-altistus 2 068 ng/päivä. Suomalaisien vastaavat luvut olivat 231 ng/päivä ja 1 155 ng/päivä. Suomalaisien PAH-altistus oli yhdisteestä ja jakauman pisteestä (keskiarvo vs. 97,5. persentiili) riippuen joko pienin tai toiseksi pienin. Lausunnossa ei mainittu erikseen eri väestöryhmien altistuksen suuruutta.

EU:n ulkopuolisista maista altistuksesta on vain vähän vertailukelpoista tietoa, varsinkin lapsista (Domingo & Nadal 2015). Suurimmassa osassa altistukseen oli otettu mukaan vain pieni joukko elintarvikkeita (esim. vain öljyt tai kasvikset) tai vain rajallinen joukko väestöstä. Pienin bentso[a]pyreenin saanti oli Taijuanissa Kiinassa vuonna 2009 (0,002 µg/päivä) ja suurin Xuanweissa ja Fuyuanissa Kiinassa vuonna 2009 (0,46 µg/päivä). Jälkimmäisissä kahdessa maakunnassa on Kiinan korkein keuhkosityöpäsairastuvuus.

### 2.3 PAH-yhdisteet muissa lähteissä

Elintarvikkeiden lisäksi PAH-yhdisteille voi altistua mm. tupakansavun, ilman, veden, maaperän ja lääkkeiden välityksellä (IARC, 2010).

Tupakoitsijoille tärkein altistumisen lähde on tupakansavu (IARC, 2010). PAH-yhdisteitä havaitaan laajasti myös ympäristön ilman epäpuhtauksina, jotka sitoutuvat pääasiassa hiukkasiin mutta niitä voidaan havaita myös kaasufaasissa (erityisesti pienimolekyylisissä PAH-yhdisteissä). Ympäristöilman (sekä ulkona että sisätiloissa) suurimmat PAH-lähteet ovat lämmitys hiilellä, puulla tai muilla biomassoilla. Ulkoilmassa PAH-lähteitä ovat myös moottoriajoneuvojen pakokaasu (erityisesti dieselmoottoreista), teollisuuden päästöt sekä metsä- ja muut tulipalot. Sisäilmassa PAH-yhdisteitä syntyy mm. ruoanlaitossa ja tupakoinnissa.

Ilmassa PAH-yhdisteet pysyvät kaasufaasissa noin vuorokauden. Sen sijaan hiukkasiin liittyvät PAH-yhdisteet pysyvät ilmassa viikkoja. Suurin osa vedessä olevista PAH-yhdisteistä on peräisin pintavesistä, erityisesti kaupunkialueilla. Ympäristön vedessä olevat PAH-yhdisteet ovat peräisin mm. sadeveden mukana ilmasta ja asfaltin kulumisesta syntyvistä hiukkasista. Teollisuuden jätevedet voivat myös sisältää PAH-yhdisteitä. Osa vesistöjen PAH-yhdisteistä päättyy sedimenttiin. Myös öljyvahingot tuottavat vesiin PAH-yhdisteitä.

PAH-yhdisteille altistuminen työpaikoille johtuu pääasiassa hengityksen ja ihon kautta (IARC, 2010). Teollisuusprosessit, joihin liittyy kivihiilen kumentamista (esim. koksaukset) tai polttamista, sekä kivihiilituotteiden, kuten kivihiilitervan ja kivihiilitervatuotteiden tuotanto ja käyttö ovat tärkeimpiä PAH-altistumisen lähteitä. Työntekijät altistuvat PAH-yhdisteille eniten kivihiilitervan tuotantolaitoksissa, koksamoissa, bitumintuotantolaitoksissa, alumiinituotantolaitoksissa, kivihiiliteollisuuslaitoksissa ja yhdyskuntajätteen polttolaitoksissa. Altistuminen voi johtua myös moottorin pakokaasujen hengittämisestä ja sellaisten tuotteiden käytöstä, jotka sisältävät PAH-yhdisteitä kuten kaivosteollisuudessa, öljynjalostuksessa, metallintyöstössä, kemianteollisuudessa, kuljetuksissa ja sähköteollisuudessa.

## 2.4 PAH-yhdisteisiin liittyviä säädöksiä

EU-lainsäädännössä (EY 1881/2006 muutoksineen) on asetettu B[a]P:lle ja PAH4:lle enimmäismäärät mm. öljyille ja rasvoille, kaakaopavuille ja niistä saaduille tuotteille, kookosöljylle, savustetulle lihalle ja savustetuille lihavalmisteille, savustetulle kalanlihalle ja savustetuille kalastustuotteille.

Suomella on 2020 myönnetty määräaikainen poikkeus sallia omilla markkinoillaan perinteisesti savustettua lihaa ja lihatuotteita sekä kalaa ja kalastustuotteita, joille sovelletaan suurempia PAH-enimmäispitoisuuksia (B[a]P 5 µg/kg ja PAH4 30 µg/kg). Yleisesti näiden tuotteiden enimmäispitoisuudet ovat B[a]P:lle 2 µg/kg ja PAH4:lle 12 µg/kg. Tuotteiden on oltava savustettu kotimaassa ja ne on sallittu kulutukseen vain Suomessa. Suomi on maa- ja metsätalousministeriön toimesta hakenut Suomelle pysyvää poikkeusta kesällä 2017 perinteisesti savustetulle lihalle ja lihavalmisteille sekä perinteisesti savustetulle pienelle kalalle ja niistä valmistetuille kalastustuotteille.

## 2.5 PAH-yhdisteiden kinetiikka elimistössä ja vaikutukset ihmiseen

### 2.5.1 Toksikokinetiikka

Rasvaliukoisina PAH-yhdisteet imeytyvät melko hyvin ruoansulatuskanavasta (EFSA 2008). Ne jakaantuvat koko elimistöön siten, että pitoisuudet ovat suurimmat rasvakudoksessa. PAH-yhdisteet erittyvät konjugoituneina glutationiin, glukuronihappoon ja sulfaattiin virtsan ja ulosteen kautta.

B[a]P ja muut PAH-yhdisteet imeytyvät tehokkaasti ruoansulatuskanavasta ruoan rasvoinnin liuenneina (EFSA, 2008). Imeytymistä helpottaa suolen ontelossa olevat sappisuolat. Rotalla pienestä annoksesta B[a]P:tä imeytyy n. 30–50 %. Ruoansulatuskanavassa on myös melko paljon sapen kautta tulleita PAH-yhdisteiden metaboliitteja. Ainakin B[a]P:n tiedetään rotalla ja hiirellä läpäisevän istukan.

Merkittävin PAH-metabolian entsyymi on mikrosomaalinen oksidaasi (microsomal mixed function oxidase), joka hapettaa poolittomat PAH-yhdisteet pooliksi hydroksi- ja epoksidijohdoksiksi (EFSA, 2008). Epoksidit metaboloidaan entsyymaattisesti edelleen dihydrodieleiksi ja fenoleiksi. Myös sikiön kudoksilla on kyky metaboloida PAH-yhdisteitä, mutta metabolia on hitaampaa kuin aikuisilla.

PAH-yhdisteet eliminoituvat metabolian jälkeen pääosin ulosteen kautta (EFSA, 2008). Pieni osa eritetään myös virtsan kautta.

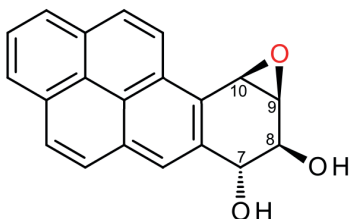
### 2.5.2 Toksisuus

Tässä raportissa keskitytään pitkäaikaisvaikutuksiin (genotoksisuus sekä syöpä- ja lisääntymivaarallisuus), sillä esim. B[a]P:n LD<sub>50</sub>-arvo on >1 600 mg/kg, joten on epätodennäköistä, että tavanomaisessa ruoassa olevat PAH-yhdisteet voisivat aiheuttaa akuuttia toksisuutta. Muut kuin suun kautta aiheutuvat (iho- ja hengitystiealtistus) vaikutukset jäävät tämän raportin ulkopuolelle, sillä ne eivät ole oleellisia elintarvikeperäisiin PAH-yhdisteisiin liittyvään riskiin.

#### 2.5.2.1 Genotoksisuus

PAH-yhdisteiden syöpävaaralliset ja mutageeniset vaikutukset aiheutuvat niiden metaboloitumisesta kemiallisesti reaktiivisiksi välituotteiksi, jotka sitoutuvat solujen makromolekyyleihin (erityisesti DNA:han) (EFSA, 2008). Syöpävaarallisuuden ja mutageenisyyden on havaittu liittyvän erityisesti niihin PAH-yhdisteisiin, joiden molekyyliarakenteessa on syvennys (bay-region) rengasrakenteiden välissä (esim. B[a]P:n metaboliitti, Kuva 2.). Näihin syvennyksiin muodostuu PAH-yhdisteiden metaboliassa dioliepoksidi, jotka muuttuvat helposti epoksidirenkään auetessa elektrofiiliseksi karboniumioneiksi.

Karboniumionit ovat alkyloivia ja sitoutuvat siksi kovalentisti DNA-emästen ja proteiinien nukleoofiiliisiin kohtiin.



**Kuva 2.** *Benso[a]pyreeni-7,8-dihydrodioli-9,8-epoksidi*

PAH-DNA-adduktiitit ovat DNA-vaurioita, jotka voivat muuttua periytyviksi mutaatioksi joko epäonnistuneen DNA:n korjauksen tai virheellisen DNA-synteesin takia (IARC, 2010). Dioliepoksidi-DNA-adduktiitit korjautuvat elimistössä leikkaamalla kyseinen nukleotidi pois solun korjausentsyymeillä. PAH-yhdisteiden dioliepoksidiitit ovat mutageenisia bakteereissa sekä aiheuttavat DNA:han pistemutaatioita tai kromosomiberraatioita ihmisten ja muiden nisäkkäiden soluviljelmässä. Ne aiheuttavat myös iho-, keuhko- ja maksakasvaimia, kuten varsinaiset PAH-yhdisteetkin. Lisäksi PAH-yhdisteet ja niiden dioliepoksidiitit aiheuttavat mutaatioita karsinogeneesiin liittyvissä geeneissä, kuten proto-onkogeeneissä ja tuumorisuppressorigeeneissä. Genotoksisten vaikutusten lisäksi jotkut dioliepoksidiitit aiheuttavat nisäkkäsoluissa apoptoosin (ohjelmoitu solukuolema) tai solusyklin pysähtymisen.

PAH-yhdisteiden on todettu aiheuttavan myös epigeneettisiä muutoksia (Martin & Fry 2018). Niiden on todettu aiheuttavan DNA:n hypometylaatiota sekä yleisesti, että geenispesifisesti (esim. APC, HIN1, ESRI, TWINI). Em. geenien hypometylaatio voi aiheuttaa mm. syövän syntyä.

### 2.5.2.2 Syöpävaarallisuus

PAH-yhdisteillä tehdyissä karsinogeenisuuskokeissa kasvaimia on yleensä havaittu altistusreittiin liittyen, ts. mahakasvaimia suun kautta altistettaessa ja ihokasvaimia ihoaltistuksessa (EFSA, 2008). PAH-yhdisteet ovat kuitenkin aiheuttaneet kasvaimia myös altistusreittein ulkopuolella, esim. keuhkokasvaimia annettaessa kivihiilitervaseoksia. EFSA:n PAH-yhdisteitä koskevassa lausunnossa (EFSA, 2008) on keskitytty eläinkokeisiin, jotka on tehty suun kautta annostelemalla ja joissa kokeen laatu oli EFSA:n raportin kirjoittajien mukaan hyväksyttävä. Näitä kokeita on kaksi, joista yksi on tehty B6C3F1-hiirillä ja toinen Wistar-rotilla. Hiirillä tehdyssä kokeessa annettiin eri ryhmille bentso[a]pyreeniä ja kahta kivihiilitervaseosta. Annoskuvaaja on mallinnettu vain em. eläinkokeiden perusteella.

Bentso[a]pyreeni aiheutti hiirillä tilastollisesti merkittävästi kohonneen sairastuvuuden etumahakasvaimiin annoksilla 25 ja 100 mg/kg/päivä. Etumahakasvainten esiintyvyydessä oli annosvaste. Lisäksi havaittiin kasvaimia myös ruokatorvessa ja kielessä, mutta tilastollisesti merkitsevästi vain korkeimman annostason ryhmässä (100 mg/kg/päivä) verrattuna ainoastaan liuotinta saaneeseen ryhmään. Ensimmäinen kivihiilitervaseos aiheutti hiirillä tilastollisesti merkitsevästi kohonneen sairastuvuuden verrokkiryhmään verrattuna keuhkojen ja etumahan kasvaimiin rehun pitoisuuksilla 0,3–1,0 % (1,0 % oli yli annostaso) ja toinen kivihiilitervaseos 0,1–0,3 % pitoisuuksilla (1,0 % ylin annostaso) keuhkojen kasvaimia ja annostasolla 0,3%. B[a]P aiheutti hiirillä siis vain ruoansulatuskanavan kasvaimia ja kivihiilitervaseokset myös keuhkojen kasvaimia. Wistar-rotilla B[a]P aiheutti verrokkiryhmään verrattuna tilastollisesti merkittävästi kohonneen sairastuvuuden etumahan ja maksan kasvaimiin annostasolla 10–30 mg/kg/päivä (30 mg/kg/päivä korkein annostaso) sekä korvakäytävän kasvaimiin annostasolla 30 mg/kg/päivä.

IARC (2010) on arvioinut, että bentso[a]pyreeni on syöpävaarallinen ihmiselle (ryhmä 1). Bents[a]antraseeni, bentso[b]fluoranteeni ja kryseeni on luokiteltu mahdollisesti ihmiselle syöpävaaralliseksi (luokka 2B). On huomattava, että IARC:in arviossa on otettu huomioon huomattavasti laajempi eläinkoeaineisto kuin EFSA:n lausunnossa, sillä mukana ovat myös kokeet, joissa on käytetty muuta annostelutapaa kuin rehun mukana annostelua.

### 2.5.2.3 Lisääntymistoksisuus

PAH-yhdisteiden lisääntymistoksisuutta on tutkittu vain vähän (FAO/WHO/2005). Hiirten hedelmällisyys oli heikentynyt yhden sukupolven kokeessa jälkeläisillä, joiden emot saivat letkuttamalla (gavage) B[a]P:tä yli 10 mg/kg/päivä. B[a]P aiheutti tiineillä hiirillä endometriumin morfologian heikentymistä ja pienentynyttä implantaatiopaikkojen määrää kohdussa annoksilla 0,2–20 mg/kg/päivä sekä seerumin estradiolin ja progesteronin pitoisuutta (Zhao ym. 2015). Hermostoputken sulkeutumishäiriö on liittynyt altistukseen PAH-yhdisteille sekä epidemiologisissa ihmistutkimuksissa, että eläinkokeissa (Langlois ym. 2012). Lisääntymistoksisuuden perusteella ei ole arvioitu annoskuvaajaa.

### 2.5.2.4 Vaikutukset lapsiin

Vaikutuksia lapsiin tai koe-eläimiin ennen täysikasvuisuutta on tutkittu vain vähän. Xun ym. tutkimuksessa (2014) havaittiin, että ennen murrosikää saatu B[a]P-altistus aiheutti täysikasvuisten (60 vrk-ikäisten) uroshiirten kivesten spermatogeneettisissä soluissa mutaatioita enemmän kuin altistamattomissa uroshiirissä. Vaikutuksissa oli selvä annosvaste.

Chenin ym. (2012) tutkimuksessa vastasyntyneitä rotanpoikasiasia altistettiin B[a]P:lle koko kehityksen ajan. Havaittiin, ettei B[a]P vaikuttanut neuromotoriseen kehitykseen poikasena. Sen sijaan täysikasvuissa rotissa B[a]P aiheutti lokomotorisen aktiivisuuden häiriön ja spatiaalisen oppimisen heikentymisen. Lapsena saadulla suurella PAH-yhdisteiden altistuksella voi siis olla pitkäkestoisia vaikutuksia, mutta tutkimuksen vähäisyydestä johtuen johtopäätöksiä ei voida vielä tehdä.

## 3 Vaaran kuvaus

---

### 3.1 Annosvaste ja toksikologiset vertailuarvot

EFSA on määrittänyt annosvasteen mallintamisessa viiteannoksen (benchmark dose, BMD) perinteisen NOAEL:in sijaan, sillä BMD ottaa paremmin huomioon kaiken saatavilla olevan annosvastetiedon (EFSA, 2008). Varsinkin kun päätetapahtumana on syöpä, NOAEL:in määrittäminen on hankalaa, sillä kasvaimia havaitaan yleensä myös pienillä annostasoilla ja jopa verrokkiryhmässä.

Viiteannos arvioidaan matemaattisella mallilla, joka perustuu eläinkoeaineistoon (EFSA, 2008). Malli pyrkii löytämään pienimmän mitattavan vasteen kemikaalin haittavaikutuksessa, yleensä sen kemikaalialtistuksen tason, joka aiheuttaa sairastuvuudessa 5 %:n tai 10 %:n lisäyksen verrokkiryhmään verrattuna. Viiteannoksen alaraja (BMDL) on viiteannoksen 95 %:n luottamusvälin alaraja. Luottamusväli ottaa huomioon tutkimukseen liittyvän epävarmuuden. BMDL:n luottamusvälin alaraja, johon liittyy 10 % sairastuvuuden lisäys verrokkiryhmään verrattuna on  $BMDL_{10}$ .  $BMDL_{10}$ :tä pidetään sopivana annoskuvaajana kemikaaleille, jotka ovat sekä genotoksia, että syöpävaarallisia (kuten tässä riskinarvioinnissa mukana olevat PAH-yhdisteet).

EFSA mallinsi sekä B[a]P:lle, että PAH4:lle  $BMDL_{10}$ :n perustuen osiossa 1.4.3 kuvattuun aineistoon (EFSA, 2008). B[a]P:n  $BMDL_{10}$  on 0,07 mg/kg rp./päivä ja PAH4:n 0,34 mg/kg rp./päivä.

## 4 Vaaran tunnistaminen

### 4.1 Ruoankäyttöaineistot

Ruoankäyttöaineisto on peräisin DAGIS-tutkimuksesta ([www.dagis.fi](http://www.dagis.fi)). Tutkimus on kuvattu tarkemmin julkaisussa Lehto ym. 2018. Osana DAGIS-hanketta tehtiin poikkileikkaustutkimus 3–6-vuotiaiden suomalaisten päiväkotilasten ruokavaliosta. Yhteensä 864 (24 % kutsutuista) lasta osallistui DAGIS-tutkimukseen 66 päiväkodista kahdeksan kunnan alueelta. Kunnat olivat: Porvoo, Loviisa, Vantaa, Hyvinkää, Lohja, Seinäjoki, Kauhajoki ja Kurikka. Ruoankäyttöaineisto (n=815) koostui kahdesta ruokapäiväkirjajaksosta. Ensimmäinen ruokapäiväkirjajakso (kolme peräkkäistä päivää) kerättiin syyskuun 2015 ja huhtikuun 2016 välisenä aikana. Ruokapäiväkirjan täyttivät lasten huoltajat ja päiväkotien henkilökunta. Toiseen ruokapäiväkirjajaksoon (kaksi perättäistä päivää) osallistui osa ensimmäiseen jaksoon osallistuneista lapsista. Toinen päiväkirjajakso kerättiin kesäkuun ja syyskuun 2016 välillä.

Ruokien annoskokoarviointiin kehitettiin ja validoitiin annoskuvakirja, jossa on yleisimpien suomalaisten lasten käyttämien ruokien annoskokokuvia (Nissinen ym. 2015). Kotona täytettävässä ruokapäiväkirjalomakkeessa oli sarake ruoille ja juomille sekä ruoan kypsennysmenetelmä. Kaikki ruokapäiväkirjat tarkistivat ja tallensivat Helsingin yliopiston tutkimusavustajat käyttäen AivoDiet-ohjelmistoa. Tutkimusavustajat olivat ravitsemustieteen pääaineopiskelijoita. Kun aineistosta oli poistettu puutteellisesti täytetyt ruokapäiväkirjat, ensimmäisen kirjanpitojakson ruokapäiväkirja saatiin 813 lapselta (kolme päivää: n=767; kaksi päivää: n=37; yksi päivä: n=9). Toisen kirjanpitojakson ruokapäiväkirja saatiin 206 lapselta (kaksi päivää: n=204; yksi päivä: n=2). DAGIS-tutkimukseen osallistuneet lapset punnittiin tutkimuksen alussa.

### 4.2 Elintarvikkeiden kemialliset analyysit

#### 4.2.1 Näytteet

Tässä tutkimuksessa näytteinä käytettiin vuosina 2012 ja 2016 Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran kemian yksikössä analysoituja valvontanäytteitä (savustetut kalat, savustetut lihat, öljyt ja rasvat) sekä riskinarviointia täydentäviä näytteitä vuodelta 2016 (leivät, murot ja myslit). Kuntaviranomaiset ottivat valvontanäytteet ja ne käsiteltiin komission asetuksen ((EY) 333/2007, muutos (EU) N:o 836/2011) mukaisesti. Näytteitä savustetuista kala- ja lihatuotteista otettiin riskiperusteisesti siten, että näytteeksi valittiin perinteisellä savustuksella tuotettuja tuotteita. Nestesavustuksella tuotetut tuotteet eivät olleet mukana. Täydentävät näytteet haettiin kaupasta valikoiden mahdollisimman kattavasti tuotteita halutuista tuotekategorioista. Perusnäytteitä otettiin kahdesta eri erästä, kaksi kappaletta kustakin erästä. Kunkin tuotteen eri erien perusnäytteet yhdistettiin ja homogenoitiin kokoomanäytteiksi kemian laboratoriossa. Kokoomanäytteestä otettiin osa laboratorionäytteeksi analyyseihin.

#### 4.2.2 Menetelmät

PAH4-yhdisteet ja niiden summa määritettiin käyttäen akkreditoitua ISO 17025 menetelmää, joka soveltuu PAH-yhdisteiden määrittämiseen elintarvikkeista. Menetelmä perustuu soveltaen julkaisuun (Veyrand ym. 2007). Analysoituihin matriiseihin kuuluivat leivät, murot, myslit, savustettu kala ja liha sekä rasvat ja öljyt. Kiinteät elintarvikkeet (leivät, murot, myslit, kala ja liha) kylmäkuivattiin ja



yhdisteet uutettiin matriisista käyttäen hyväksi nopeutettua liuotinuuttotekniikkaa (ASE®). Uuton jälkeen näytteet puhdistettiin kiinteäfaasiuuttopylväällä. Rasvoille ja öljyille kylmäkuivausta ei tarvittu, vaan niiden käsittely alkaa suoraan puhdistuksella kiinteäfaasiuuttopylväällä. Puhdistuksen jälkeen yhdisteet analysoitiin kaasukromatografi-tandemmassaspektrometrillä. Tulosten laskennassa PAH4-yhdisteet kvantitoitiin sisäisiä standardeja vastaan signaalin pinta-alan mukaan.

#### 4.2.3 Menetelmävalidointi ja laadunvarmistus

Menetelmän validointi tutkimuksessa mukana olleille elintarvikematriiseille suoritettiin käyttäen komission päätöstä (EY) nro 657/2002 ohjeistuksena. Validoinnissa tarkasteltiin seuraavia validointiparametrejä: spesifisyys, selektiivisyys, lineaarisuus, toistettavuus, sisäinen uusittavuus, takaisinsaanto, havaitsemisraja (LOD), määrittäysraja (LOQ) sekä mittausepävarmuus. Menetelmän oikeellisuutta on arvioitu useissa eri vertailumittauksissa. FAPASin järjestämässä vertailutestissä savustetulle lihalle z-arvot bentso(a)pyreenille, bentso(a)antraseenille ja bentso(b)fluoranteenille olivat -0,7, 0,1 ja -0,4. Käytetty analyysimenetelmä täyttää komission asetuksen ((EY) 333/2007, muutos (EU) N:o 836/2011) asettamat suoritusarvovaatimukset PAH4-yhdisteille.

Menetelmän laadunvarmistus toteutettiin ajamalla jokaisen näyteajon yhteydessä laadunvarmistusstandardeja sekä väkevöity nollanäyte. Jokaiselle PAH4-yhdisteelle käytettiin omaa sisäistä standardia varmistamaan oikea tunnistus. Lisäksi kromatografisen piikin retentioajan ja ionisuhteiden täytyi täyttää niille määritetyt vaatimukset.

#### 4.2.4 Elintarvikkeiden PAH-pitoisuudet kirjallisuudesta

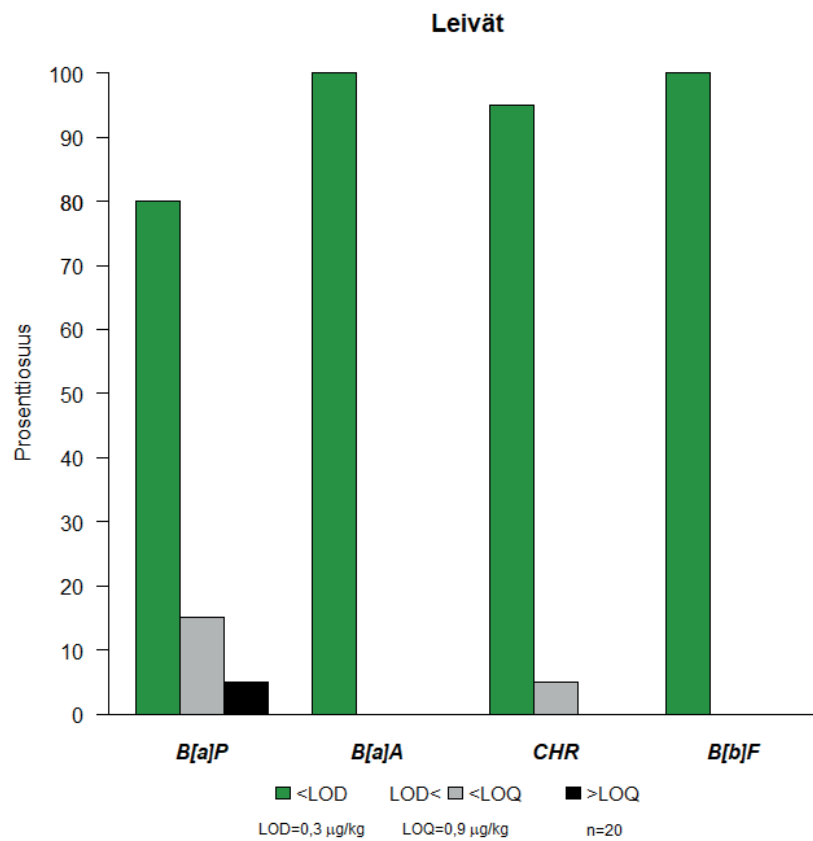
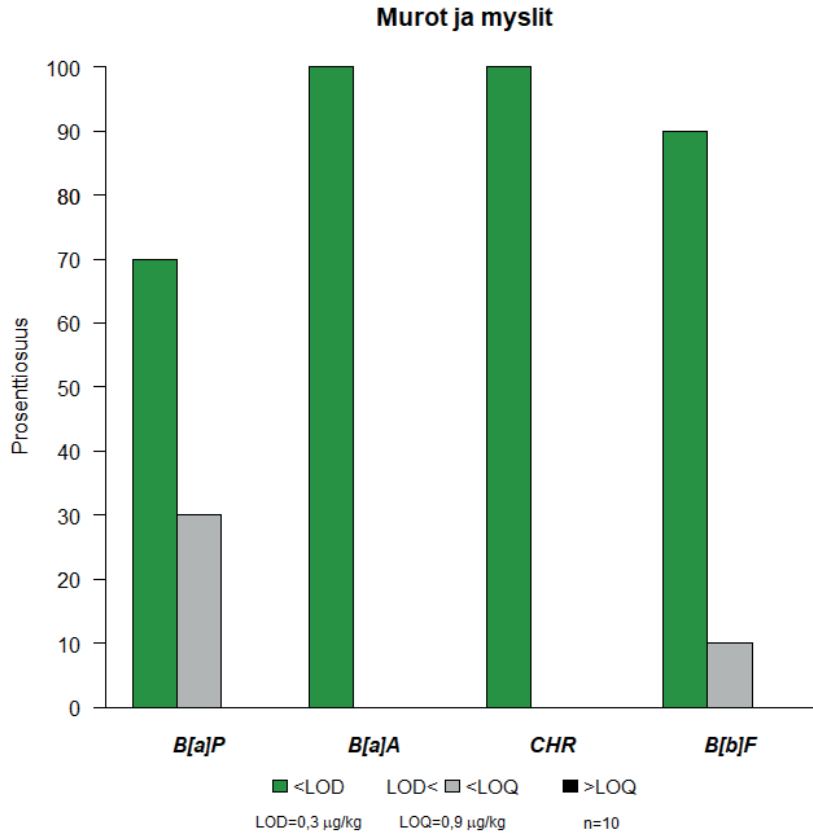
Taulukossa 1. on esitetty Pubmed-tietokannasta ja Ruotsin Livsmedelsverketin kotisivuilla löytyneet elintarvikkeiden PAH-pitoisuudet. Eivirassa tehtyjen analyysien tulokset on esitetty kuvassa 3. Pitoisuudet olivat pienimpiä leivässä ja suurimpia grillatussa lihassa.

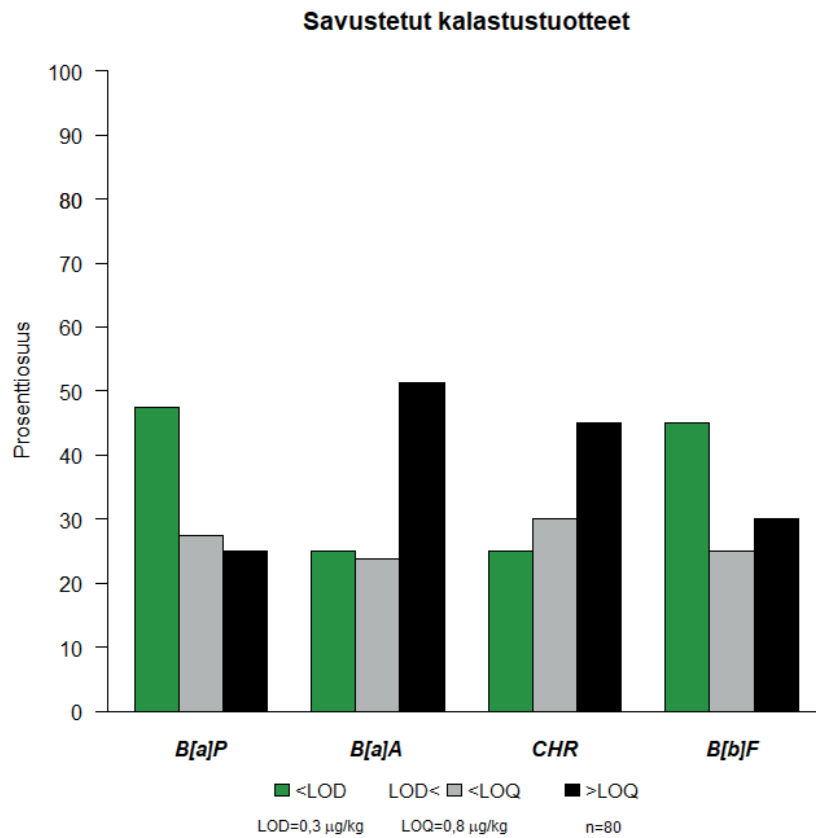
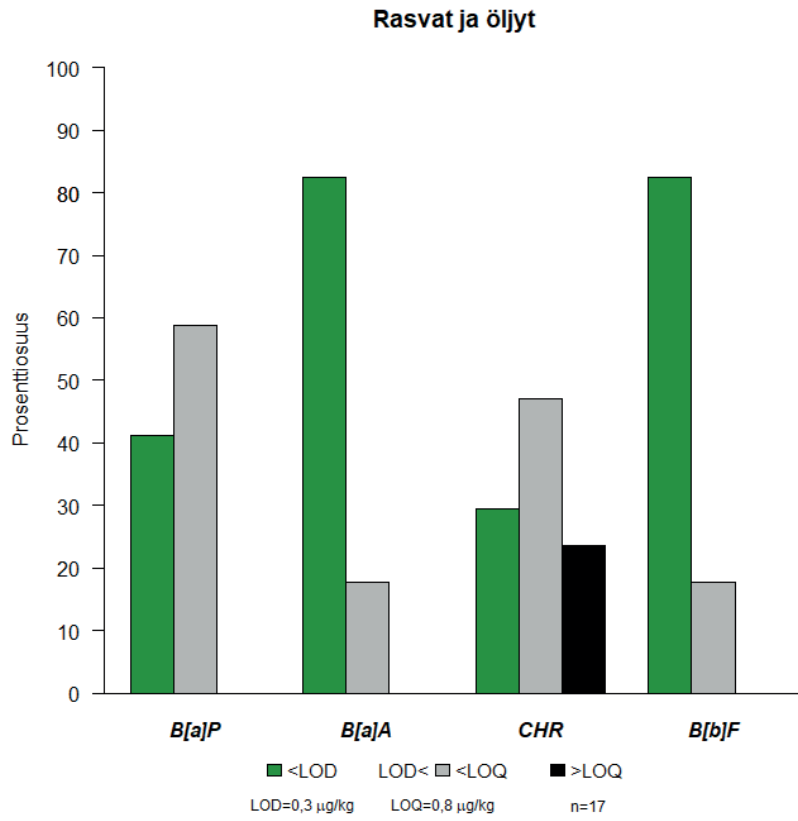
*Taulukko 1. Elintarvikkeiden PAH-pitoisuuksia kirjallisuudesta.*

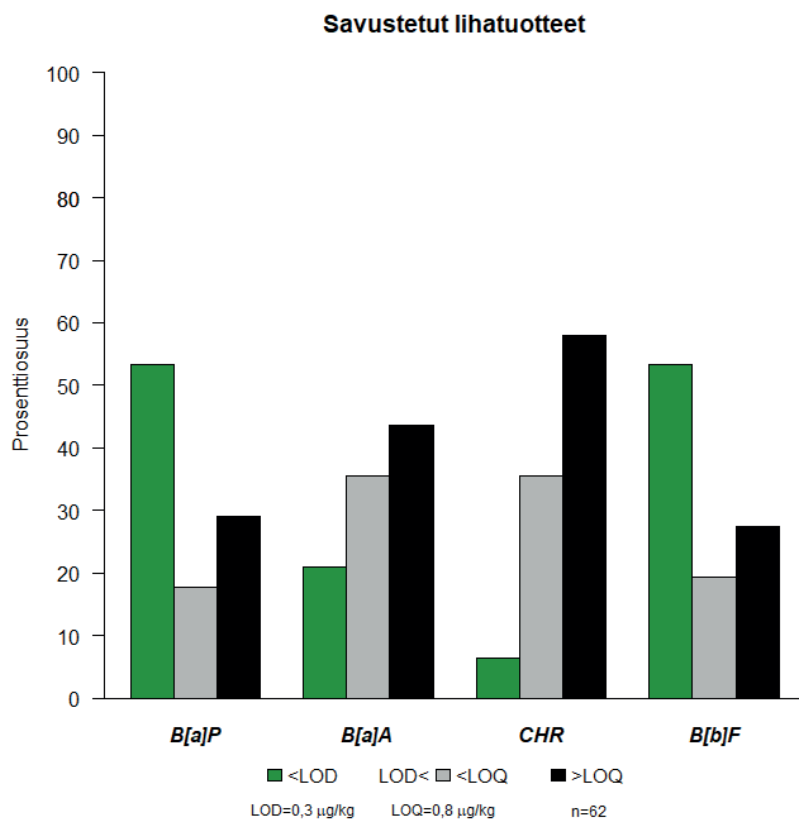
| Elintarvikeryhmä  | Näytteiden lukumäärä | Keskiarvopitoisuus (vaihteluväli) |                  | Viite               |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|
|                   |                      | B[a]P                             | PAH4             |                     |
| Rasvat ja öljyt   | 50                   | 0,19 (0,03–1,41)                  | 1,21 (0,19–6,82) | Wretling ym. 2013   |
| Grillattu liha    | 15                   | 0,48 (0,03–3,29)                  | 3,41 (0,34–18,9) | Wretling ym. 2013   |
| Grillattu makkara | 11                   | 0,21 (0,05–0,67)                  | 1,35 (0,35–3,80) | Wretling ym. 2013   |
| Leipä             | 6                    | 0                                 | 0,36 (0,26–0,59) | Ciecierska ym. 2013 |

#### 4.2.5 PAH-pitoisuudet Eivirassa tehdyissä analyyseissä

Kuvassa 3. on esitetty PAH-pitoisuudet Eivirassa tehdyissä analyyseissä. Savustetuissa liha- ja kalatuototteissa oli selvästi enemmän määrittäysrajat (LOD/LOQ) ylittäviä pitoisuuksia kuin muissa elintarvikkeissa.







**Kuvat 3.** Eivirassa vuosina 2012–2017 tehtyjen elintarvikkeiden PAH-analysien tulokset. Prosenttiosuus kuvaa sitä osuutta näytteistä, jotka

### 4.3 Tilastolliset menetelmät

Tutkittujen elintarvikeryhmien bentso[a]pyreeni-pitoisuudet mallinnettiin gammajakauman avulla käyttämällä aineistona seurantaohjelmista ja kirjallisuudesta saatuja pitoisuusmittauksia. Joidenkin elintarvikeryhmien osalta aineisto sisälsi runsaasti pieniä havaitsemisrajan (LOD) tai määrittämissä (LOQ) alle jääneitä mittauksia. Pienet pitoisuudet sisällytettiin malliin sensuroituina havaintoina, jolloin kaikki havainnot noudattavat samaa todennäköisyysjakaumaa. Elintarvikeryhmien PAH4-pitoisuudet mallinnettiin gammajakaumalla, jossa aineistona oli kustakin näytteestä mitatun neljän PAH-yhdisteen summa. PAH4-pitoisuuden mallintamisessa toteamisrajan alle jääneet mittaukset korvattiin nollan ja toteamisrajan keskiarvolla ja määrittämissä alle jääneet toteamisrajan ja määrittämissä keskiarvolla eli niin sanotuilla middle bound -arvoilla.

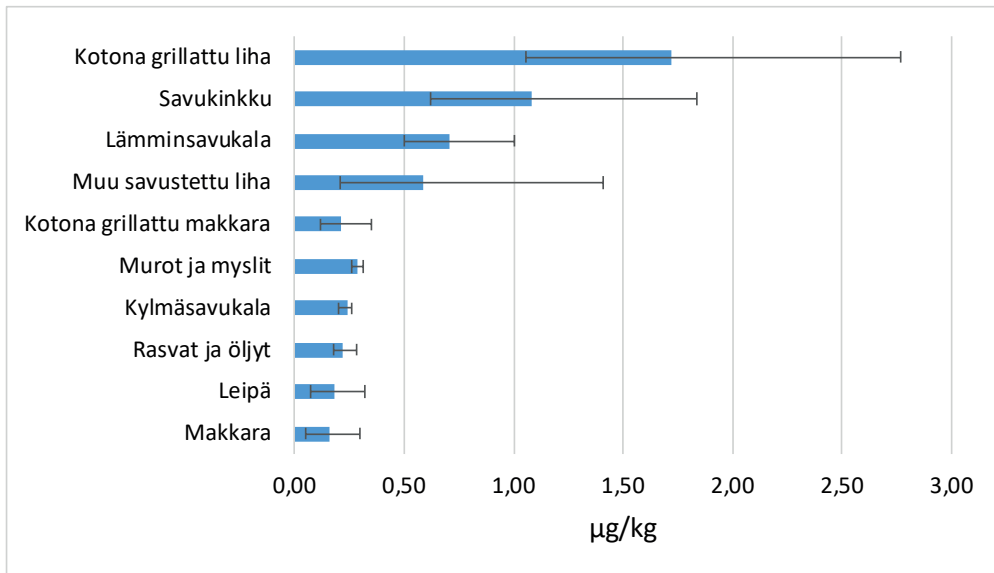
Kulutuksen arvioinnissa hyödynnettiin DAGIS-aineistoa, joka sisältää tiedot 815 lapsen ruoankäytöstä 1–5 vuorokauden ajalta. Kulutuspäivien pitkän aikavälin keskiarvoinen päiväannos mallinnettiin hierarkkisen log-normaali-mallin avulla. Malli huomioi yksilön annoskoon vaihtelun kulutuspäivien välillä sekä yksilöiden välisen vaihtelun keskimääräisessä annoskoossa. Kunkin elintarvikeryhmän kulutuspäivien osuus kaikista päivistä (kulutusfrekvenssi) arvioitiin binomialisella logit-mallilla, jossa satunnaisefektit kuvaavat yksilöiden välistä vaihtelua kulutusfrekvenssissä. Pitkän aikavälin keskiarvokulutus saatiin ennusteena kulutuspäivien keskiarvoisen päiväannoksen ja kulutusfrekvenssin tulona.

Eri elintarvikeryhmistä aiheutuvalle PAH-altistukselle (bentso[a]pyreeni ja PAH4) saatiin ennuste pitkän aikavälin keskiarvokulutuksen ja keskiarvoisen PAH-pitoisuuden tulona. Mallin tuloksena saatava todennäköisyysjakauma kuvaa vaihtelun tutkitun populaation kroonisessa PAH-altistuksessa sisältäen mallin parametreihin liittyvän epävarmuuden. Lisäksi mallin avulla laskettiin ennusteita sille, ylittääkö PAH-aineiden pitoisuus lainsäädännössä määrättyjä raja-arvoja eri elintarvikeryhmissä, ja kuinka suureksi altistus kasvaisi, jos PAH-aineiden pitoisuus olisi jossakin elintarvikeryhmässä arvioidun pitoisuusjakauman 97,5. persenttiilipisteen mukainen.

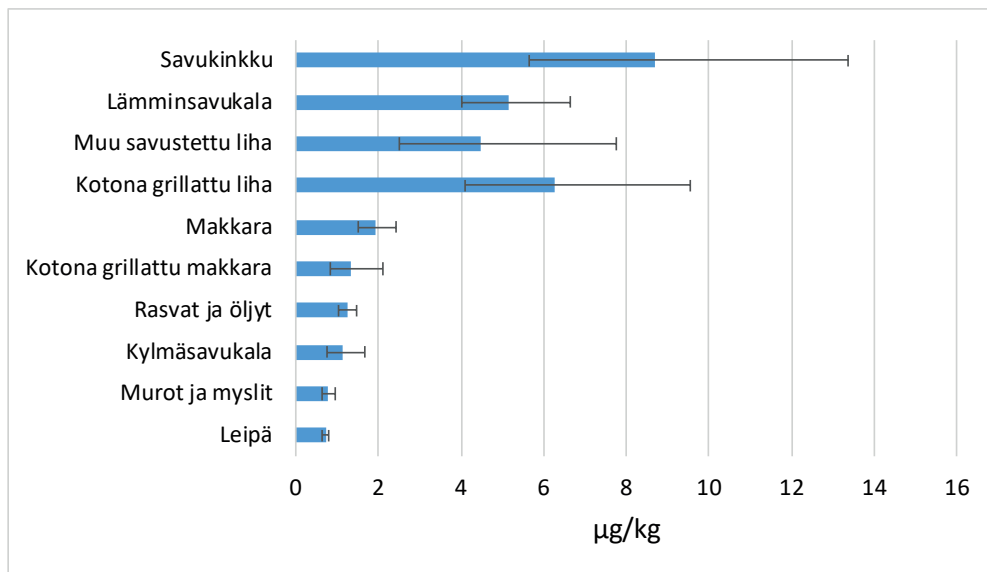
# 5 Elintarvikkeiden mallinnetut pitoisuudet, PAH-pitoisten elintarvikkeiden käyttö ja PAH-altistus

## 5.1 Pitoisuudet elintarvikkeissa

Selvästi suurimmat mallinnetut elintarvikkeiden B[a]P-pitoisuudet olivat kotona grillatussa lihassa, savukinkussa, lämminsavukalassa ja muussa savustetussa lihassa (Kuva 4.). Myös PAH4-pitoisuudet olivat suurimmat näissä elintarvikkeissa (Kuva 5.).



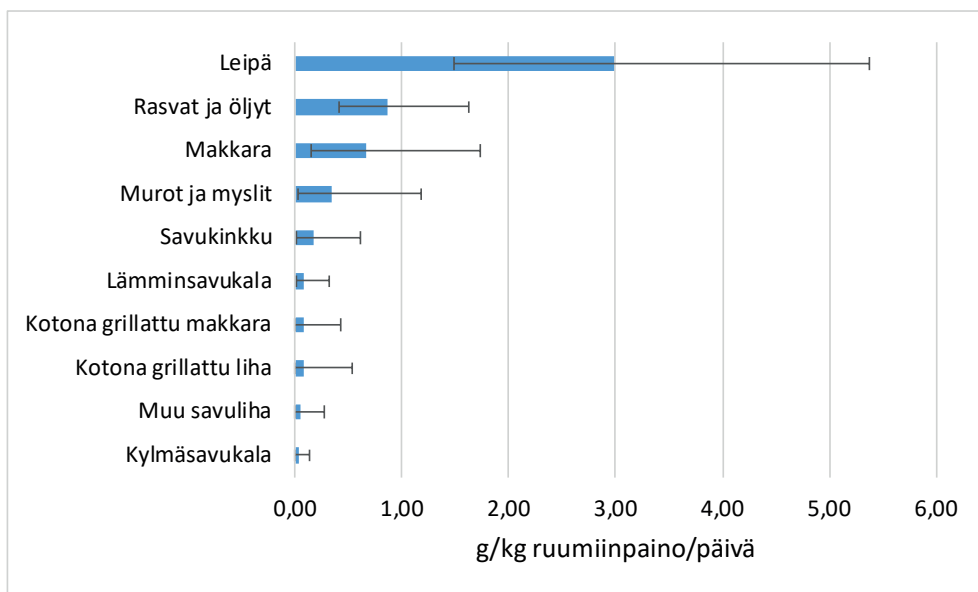
Kuva 4. Elintarvikkeiden mallinnetut keskimääräiset B[a]P-pitoisuudet 95 % todennäköisyysväleinen.



Kuva 5. Elintarvikkeiden mallinnetut keskimääräiset PAH4-pitoisuudet 95 % todennäköisyysväleinen.

## 5.2 Ruoankäyttö

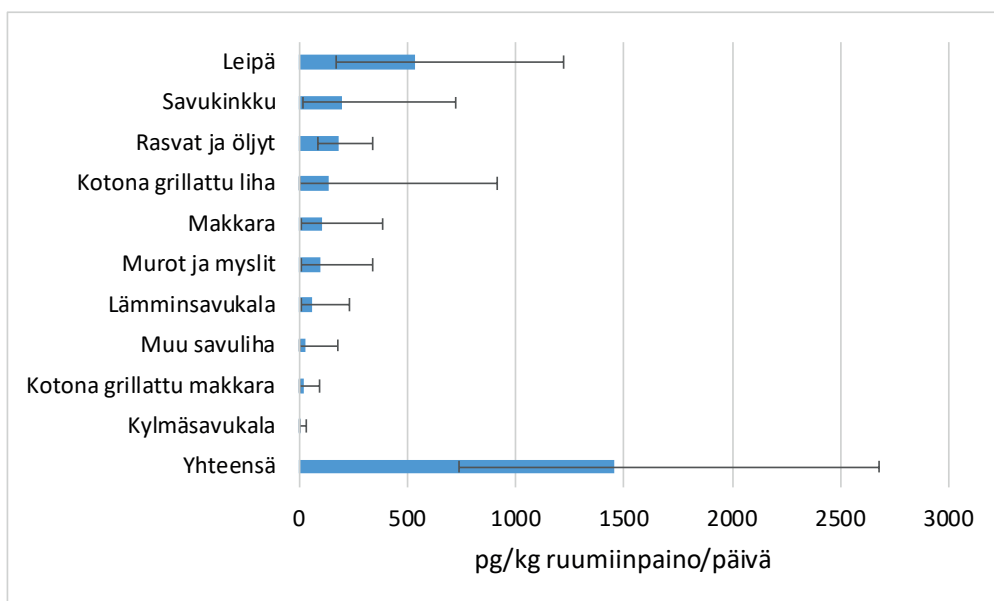
Selvästi eniten tutkituista PAH-pitoisista elintarvikkeista käytettiin leipää (Kuva 6.). Makkaran käyttö oli toiseksi suurinta.



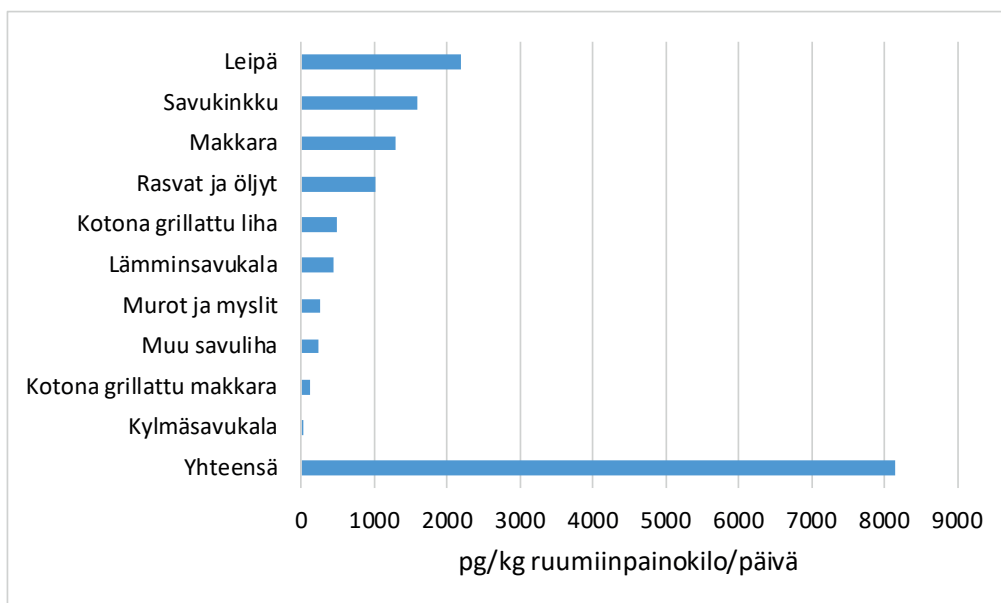
**Kuva 6.** Elintarvikkeiden pitkäaikaisen käytön mallinnetut keskiarvot (palkit) sekä 2,5. ja 97,5. persenttiilipisteet (viivat).

## 5.3 Altistus

Elintarvikeperäinen kokonaisaltistus B[a]P:lle oli n. 1 500 pg/kg rp./päivä skenaariossa, jossa kaikkien mukana olevien elintarvikkeiden pitoisuutena malleissa käytettiin niiden keskiarvopitoisuutta (Kuva 7.). Selvästi eniten B[a]P:tä tuli leivästä. Myös PAH4-altistuksesta eniten kertyi leivästä en suuren käyttömäärän takia (Kuva 8.), mutta merkittävästi PAH4-altistusta tuli myös savukinkusta ja makkarasta. PAH4:n kokonaisaltistus kaikista elintarvikkeista oli n. 8 000 pg/kg rp./päivä keskimääräisen pitoisuuden skenaariossa.

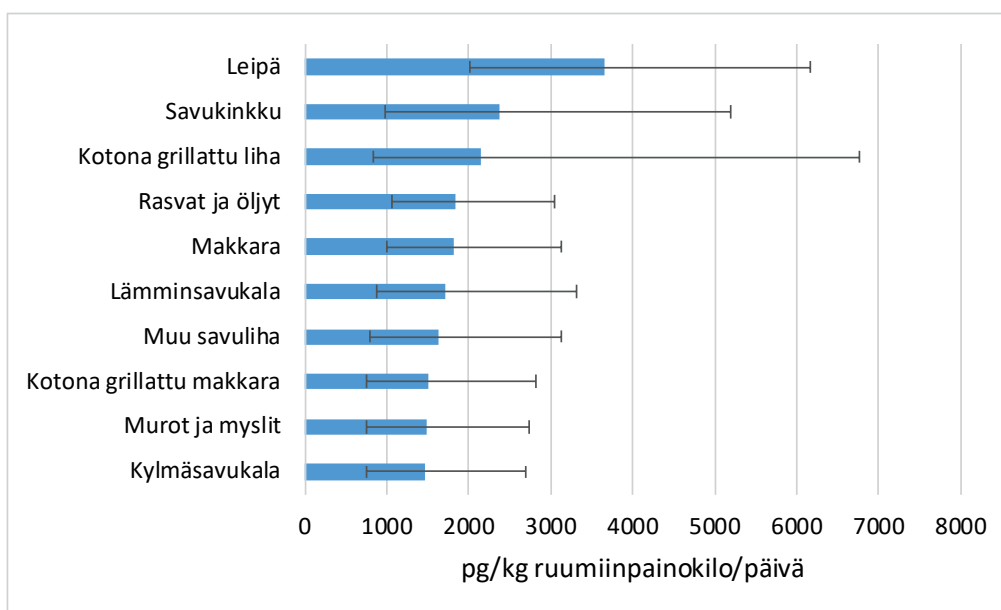


**Kuva 7.** B[a]P-altistuksen mallinnetut keskiarvot (palkit) sekä 2,5. ja 97,5. persenttiilipisteet (viivat) elintarvikkeittain, skenaarioissa, jossa käytetään elintarvikkeiden keskiarvopitoisuuksia kaikille elintarvikkeille.



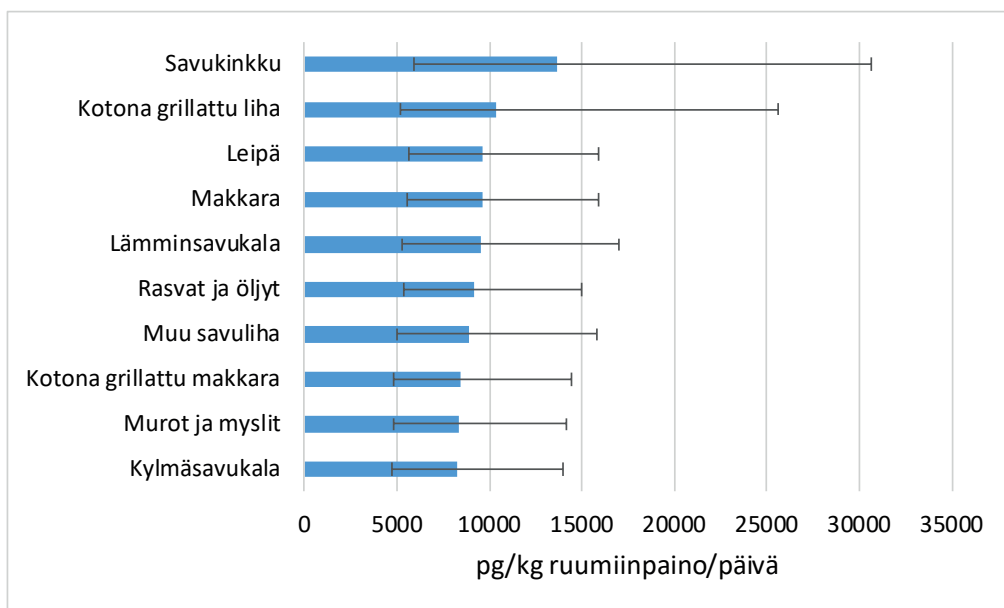
**Kuva 8.** PAH4-altistuksen mallinnetut keskiarvot (palkit) sekä 2,5. ja 97,5. persentiilipisteet (viivat) elintarvikkeittain skenaarioissa, joissa käytetään elintarvikkeiden keskiarvopitoisuuksia kaikille elintarvikkeille.

Kuvat 9. ja 10. kuvaavat elintarvikeperäistä kokonaisaltistusta skenaarioissa, joissa käytetään elintarvikkeen mallinnettua 97,5. persentiilipisteen pitoisuutta nimetylle elintarvikkeelle ja muille elintarvikkeille niiden keskimääräisiä pitoisuuksia. B[a]P:n kokonaisaltistuksen keskiarvo oli suurin skenaariossa, jossa käytettiin leivälle pitoisuuden 97,5. persentiilipistettä ja muille elintarvikkeille keskimääräistä pitoisuutta (Kuva 9.). B[a]p:n kokonaisaltistusten keskiarvot olivat näissä skenaarioissa runsaan tuhannen ja vajaan neljäntuhannen pg/kg/päivä välillä. Näissä skenaarioissa PAH4:n kokonaisaltistus oli suurinta skenaariossa, jossa käytettiin savukinkulle pitoisuuden 97,5. persentiilipisteen pitoisuutta ja muille elintarvikkeille keskiarvopitoisuutta. PAH4:n Kokonaisaltistukset vaihtelivat näissä skenaarioissa vajaan 10 000:n ja vajaan 15 000 pg/kg/päivässä välillä.



**Kuva 9.** B[a]P-kokonaisaltistuksen mallinnetut keskiarvot (palkit) sekä 2,5. ja 97,5. persentiilipisteet (viivat) elintarvikkeittain, skenaarioissa, joissa käytetään elintarvikkeen 97,5. persentiilipisteen pitoisuutta nimetylle elintarvikkeelle ja muille elintarvikkeille niiden keskimääräisiä pitoisuuksia.





**Kuva 10.** PAH4-kokonaisaltistuksen mallinnetut keskiarvot (palkit) sekä 2,5. ja 97,5. persentiilipisteet (viivat) elintarvikkeittain, skenaarioissa, jossa käytetään elintarvikkeen 97,5. persentiilipisteen pitoisuutta nimetyille elintarvikkeelle ja muille elintarvikkeiden keskimääräisiä pitoisuuksia muille elintarvikkeille.

#### 5.4 Lainsäädännöllisten rajojen potentiaalinen vaikutus PAH-altistukseen

Kylmäsavukaloista kaikissa näytteissä ja makkaroista lähes kaikissa näytteissä B[a]P-pitoisuus oli pienempi kuin alempi lainsäädännöllinen raja (Taulukko 2.). Sen sijaan varsinkin savukinkussa merkittävässä osassa näytteitä B[a]P-pitoisuus oli suurempi kuin lainsäädännöllinen raja. Taulukossa 3. on kuvattu lainsäädännöllisten pitoisuusrajojen mukaiset ennustetut B[a]P:n keskiarvopitoisuudet.

**Taulukko 2.** Todennäköisyys (P), että elintarvikkeen B[a]P-pitoisuus (C, µg/kg) on pienempi/suurempi kuin asetuksessa EY 1881/2006 (2 µg/kg) ja EY 1327/2014 (5 µg/kg) oleva raja.

|                | B[a]P<br>P(C<2) | B[a]P<br>P(2<C<5) | B[a]P<br>P(C>5) |
|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Kylmäsavukala  | 100,0 %         | 0,0 %             | 0,0 %           |
| Savukinkku     | 82,8 %          | 14,0 %            | 3,8 %           |
| Lämminsavukala | 90,8 %          | 8,2 %             | 1,0 %           |
| Muu savuliha   | 92,8 %          | 5,7 %             | 1,5 %           |
| Makkara        | 99,9 %          | 0,1 %             | 0,0 %           |

**Taulukko 3.** Ennustetut B[a]P:n keskiarvopitoisuudet (µg/kg) ja keskiarvopitoisuudet lainsäädännöllisiin pitoisuusrajoihin perustuvissa skenaarioissa.

|                | B[a]P | B[a]P <2 | B[a]P <5 |
|----------------|-------|----------|----------|
| Kylmäsavukala  | 0,24  | 0,24     | 0,24     |
| Savukinkku     | 1,08  | 0,49     | 0,84     |
| Lämminsavukala | 0,71  | 0,45     | 0,66     |
| Muu savuliha   | 0,59  | 0,32     | 0,48     |
| Makkara        | 0,16  | 0,16     | 0,16     |

Näytteiden PAH4-pitoisuuden suhde lainsäädännöllisiin rajoihin oli samankaltainen kuin B[a]P:n kohdalla. Kylmäsavukaloista kaikissa näytteissä ja makkaroista lähes kaikissa näytteissä PAH4-pitoisuus oli pienempi kuin alempi lainsäädännöllinen raja (Taulukko 4.). Sen sijaan varsinkin savukinkussa merkittävässä osassa näytteitä PAH4-pitoisuus oli suurempi kuin lainsäädännöllinen raja. Taulukossa 5. on kuvattu lainsäädännöllisten pitoisuusrajojen mukaiset ennustetut PAH4:n keskiarvopitoisuudet.

**Taulukko 4.** Todennäköisyys (P), että elintarvikkeen PAH4-pitoisuus (C, µg/kg) on pienempi/suurempi asetuksessa EY 1881/2006 (12 µg/kg) ja EY 1327/2014 (30 µg/kg) oleva raja.

|                | PAH4<br>P(C<12) | PAH4<br>P(12<C<30) | PAH4<br>P(C>30) |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Kylmäsavukala  | 100,0 %         | 0,0 %              | 0,0 %           |
| Savukinkku     | 75,8 %          | 19,2 %             | 5,0 %           |
| Lämminsavukala | 89,6 %          | 9,9 %              | 0,5 %           |
| Muu savuliha   | 92,3 %          | 7,2 %              | 0,5 %           |
| Makkara        | 100 %           | 0,0 %              | 0,0 %           |

Kuten voidaan odottaa, lainsäädännöllinen raja ei vaikuttaisi makkarasta tai kylmäsavukalasta tulevaan B[a]P- tai PAH4-Altistukseen (Taulukot 5. ja 6.). Sen sijaan muissa elintarvikkeissa alempi lainsäädännöllinen raja voisi alentaa huomattavasti savukinkusta, lämminsavukalasta ja muusta savulihasta tulevaa altistusta.

**Taulukko 5.** Ennustetut B[a]P:n keskiarvoaltistukset (95 % todennäköisyysväli) ja keskiarvoaltistukset lainsäädännöllisiin pitoisuusrajoihin perustuvissa skenaarioissa (pg/kg rp./päivä). Mallissa on käytetty elintarvikkeen keskimääräisiä pitoisuuksia.

|                | B[a]P        | B[a]P<2      | B[a]P<5      |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Kylmäsavukala  | 7 (0–32)     | 7 (0–32)     | 7 (0–32)     |
| Savukinkku     | 198 (14–723) | 89 (7–303)   | 153 (12–507) |
| Lämminsavukala | 60 (6–229)   | 40 (4–150)   | 57 (6–211)   |
| Muu savuliha   | 29 (0–175)   | 16 (0–87)    | 24 (0–129)   |
| Makkara        | 107 (10–383) | 107 (10–383) | 107 (10–383) |

**Taulukko 6.** Ennustetut PAH4:n keskiarvoaltistukset (95 % todennäköisyysväli) ja keskiarvoaltistukset lainsäädännöllisiin pitoisuusrajoihin perustuvissa skenaarioissa (pg/kg rp./päivä). Mallissa on käytetty elintarvikkeen keskimääräisiä pitoisuuksia.

|                | PAH4              | PAH4 <12          | PAH4 <30          |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Kylmäsavukala  | 33 (1–156)        | 33 (1–156)        | 33 (1–156)        |
| Savukinkku     | 1 591 (115–5 617) | 711 (54–2 408)    | 1 251 (98–4 152)  |
| Lämminsavukala | 438 (49–1 665)    | 331 (34–1 246)    | 432 (48–1 608)    |
| Muu savuliha   | 226 (5–1 218)     | 167 (4–910)       | 219 (5–1 162)     |
| Makkara        | 1 285 (282–3 443) | 1 285 (282–3 443) | 1 285 (282–3 443) |

## 6 Riskin kuvaus

Sekä skenaariossa, jossa käytettiin vain elintarvikkeiden keskimääräisiä pitoisuuksia (Taulukko 7.), että skenaarioissa, joissa käytettiin myös 97,5. persenttiin pitoisuuksia (Taulukko 8.), turvamarginaalit olivat pienimmilläänkin moninkertaisesti korkeampia kuin genotoksille karsinogeneeneille turvamarginaalin yleisesti käytetty epävirallinen viitearvo (MOE (margin of exposure)=10 000).

**Taulukko 7.** B[a]P- ja PAH4-altistuksen turvamarginaalit ( $MOE=BMDL_{10}/altistus$ ) elintarvikelähteittäin skenaariossa, jossa kaikille elintarvikkeille on käytetty keskiarvopitoisuutta.

|                          | MOE (B[a]P), tuhatta     | MOE (PAH4), tuhatta    |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Leipä                    | 1 308 (573–4 142)        | 156 (86–317)           |
| Savukinkku               | 3 535 (968–50 000)       | 214 (61–2 957)         |
| Kotona grillattu liha    | 5 185 (764–700 000)      | 697 (103–68 000)       |
| Makkara                  | 6 542 (1 828–70 000)     | 265 (99–1 206)         |
| Murot ja myslit          | 7 143 (2 053–10 000)     | 298 (370–17 895)       |
| Lämminsavukala           | 11 667 (3 057–116 667)   | 776 (204–6 939)        |
| Muu savuliha             | 24 138 (4 000–700 000)   | 1 504 (279–68 000)     |
| Kotona grillattu makkara | 38 889 (7 527–700 000)   | 2 982 (572–85 000)     |
| Kylmäsavukala            | 100 000 (21 875–700 000) | 10 303 (2 179–340 000) |
| Yhteensä                 | 482 (263–945)            | 42 (24–72)             |

**Taulukko 8.** B[a]P- ja PAH4-kokonaisaltistuksen turvamarginaalit ( $MOE=BMDL_{10}/altistus$ ) skenaarioissa, jossa käytetään elintarvikkeen 97,5. persenttiipisteen pitoisuutta nimetyille elintarvikkeelle ja muille elintarvikkeille keskiarvopitoisuuksia.

|                          | MOE, B[a]P, tuhatta | MOE, PAH4, tuhatta |
|--------------------------|---------------------|--------------------|
| Leipä                    | 192 (114–349)       | 25 (11–58)         |
| Savukinkku               | 296 (135–719)       | 33 (13–66)         |
| Kotona grillattu liha    | 327 (104–837)       | 35 (21–61)         |
| Makkara                  | 386 (224–697)       | 35 (21–61)         |
| Murot ja myslit          | 408 (211–805)       | 36 (20–64)         |
| Lämminsavukala           | 432 (224–879)       | 37 (23–63)         |
| Muu savuliha             | 464 (249–923)       | 38 (22–69)         |
| Kotona grillattu makkara | 474 (257–932)       | 40 (24–71)         |
| Kylmäsavukala            | 479 (259–943)       | 41 (24–71)         |

## 7 Pohdinta

---

Tulosten tulkinnassa tulisi ottaa huomioon, että savustettujen lihojen ja kalojen osalta pitoisuudet lienevät alemmat kuin vuosina 2012–2017 analysoidut, sillä elintarviketeollisuudessa on tehty kehitystyötä pitoisuuksien alentamiseksi. Siten nykyinen lasten PAH-altistus näistä lähteistä lienee jonkin verran raportoitua vähäisempää.

On myös huomioitava, että raportin aineisto ja menetelmät aiheuttavat rajoituksia tulosten yleistettävyydelle. Ruoankäyttömenetelmän heikkoutena on se, ettei lasten otos ollut satunnainen, sillä osallistujia rekrytoitiin ennalta mukaan suostuneiden päiväkotien kautta. Päiväkoteja kutsuttiin mukaan vain eteläisestä Suomesta ja Keski-Pohjanmaalta, joten raportin ruoankäyttöaineisto ei edusta koko Suomea.

Myös altistuksen mallintamisessa oli rajoitteensa. Suurin rajoite on se, ettei altistusta voitu mallintaa kaikista elintarvikeryhmistä. Maitotuotteiden, kananmunien ja kasvien jääminen altistuksenarvioinnin ulkopuolelle johtui siitä, ettei näistä elintarvikeryhmistä ole riittävästi julkaistua PAH-pitoisuustietoa. Suklaa ja kaakao jäi puolestaan mallintamisen ulkopuolelle, koska suklaan ja kaakaon osuuden arviointi leivonnaisissa osoittautui odotettua vaikeammaksi tehtäväksi.

Vaikka rajoitukset ja epävarmuudet voitaisiinkin ottaa huomioon, raportin johtopäätökset PAH-yhdisteiden aiheuttamasta terveysvaarasta tuskin muuttuisivat, sillä PAH-altistuksen turvamarginaalit olivat niin suuria.

Tuloksissa oli yksi selvä yllätys: PAH-altistus leivästä. Vaikka leivän pitoisuudet olivat pieniä savustettujen liha- ja kalatuotteiden pitoisuuksiin verrattuna, leipä oli ylivoimaisesti suurimpien käyttömäärien takia huomattava PAH-yhdisteiden lähde.

Joitakin tutkimuksia on tehty PAH-yhdisteiden esiintyvyydestä leivässä, mutta tutkimusten vähäisyydestä johtuen asiasta ei ole riittävästi tietoa. Tutkimusten mukaan paistouunissa puun poltossa muodostuva savu tuottaa PAH-yhdisteitä leivän pinnalle (Orecchio & Papuzza 2019). Lisäksi niitä voi muodostua leipään valmistuksen yhteydessä käytettävistä rasvoista (Dennis ym. 1991). Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi ei ole selvää mitkä muut tekijät kuin lämpötila ja raaka-aine vaikuttavat leivän PAH-pitoisuuteen. Ei myöskään tiedetä, syntykö muissakin kuumennetuissa viljatuotteissa (esim. leivonnaiset, laatikkoruoat) PAH-yhdisteitä ja kuinka paljon. PAH-yhdisteiden syntyä kuumennetuissa viljatuotteissa tulisikin tutkia lisää.

## 8 Johtopäätökset

---

Leivästä, muroista ja myseleistä sekä savustetuista liha- ja kalatuotteista peräisin oleva PAH-yhdisteiden altistus ei aiheuta terveysriskiä suomalaisille 3–6-vuotiaille lapsille. Leipä oli merkittävin PAH-yhdisteiden lähde. Lainsäädännölliset rajat PAH-yhdisteiden pitoisuuksille voivat alentaa merkittävästi PAH-altistusta savukinkusta, lämminsavukalasta ja muusta savulihasta.

## 9 Viitteet

---

Chen C, Tang Y, Jiang X, et al. Early postnatal benzo(a)pyrene exposure in Sprague-Dawley rats causes persistent neurobehavioral impairments that emerge postnatally and continue into adolescence and adulthood. *Toxicol Sci.* 2012;125(1):248–261. doi:10.1093/toxsci/kfr265

Ciecierska M, Obiedziński MW. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the bakery chain. *Food Chem.* 2013;141(1):1–9. doi:10.1016/j.foodchem.2013.03.006

Dennis MJ, Massey RC, Cripps G, Venn I, Howarth N, Lee G. Factors affecting the polycyclic aromatic hydrocarbon content of cereals, fats and other food products. *Food Addit Contam.* 1991;8:517-30.

Domingo JL, Nadal M. Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review of the scientific literature. *Food Chem Toxicol.* 2015;86:144–153. doi:10.1016/j.fct.2015.10.002

EFSA Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food I Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA J (2008) 724, 1-114.

IARC (1973). Certain Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heterocyclic Compounds???

IARC (2010). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 92:1–853. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono92.pdf>

Hietaniemi V, Ovaskainen M-L, Hallikainen A. PAH-yhdisteet ja niiden saanti markkinoilla olevista elintarvikkeista. Elintarvikeviraston tutkimuksia 6/1999.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2005 : Rome, Italy) Evaluation of certain food contaminants : sixty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (WHO technical report series; 930) [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43258/WHO\\_TRS\\_930\\_eng.pdf;jsessionid=0A524IADE39BF217D3B74C259C0B65BE?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43258/WHO_TRS_930_eng.pdf;jsessionid=0A524IADE39BF217D3B74C259C0B65BE?sequence=1)

Langlois PH, Hoyt AT, Lupo PJ, et al. Maternal occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and risk of neural tube defect-affected pregnancies. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol.* 2012;94(9):693–700. doi:10.1002/bdra.23045

Lehto E, Ray C, Vepsäläinen H, Korkalo L, Lehto R, Kaukonen R, Suhonen E, Nislin M, Nissinen K, Skaffari E, Koivusilta L, Sajaniemi N, Erkkola M, Roos E. Increased Health and Wellbeing in Preschools (DAGIS) Study-Differences in Children's Energy Balance-Related Behaviors (EBRBs) and in Long-Term Stress by Parental Educational Level. *Int J Environ Res Public Health.* 2018 Oct 21;15(10).

Martin EM, Fry RC. Environmental Influences on the Epigenome: Exposure- Associated DNA Methylation in Human Populations. *Annu Rev Public Health.* 2018;39:309–333. doi:10.1146/annurev-publhealth-040617-014629

Nissinen, K.; Sillanpää, H.; Korkalo, L.; Roos, E.; Erkkola, M. Annoskuvakirja Lasten Ruokamäärien Arvioinnin Avuksi [The Children's Food Picture Book]; University of Helsinki, Seinäjoki University of Applied Sciences, Samfundet Folkhälsan: Helsinki, Finland, 2015.

Nissinen K, Korkalo L, Vepsäläinen H, Mäkiranta P, Koivusilta L, Roos E, Erkkola M. Accuracy in the estimation of children's food portion sizes against a food picture book by parents and early educators. *J Nutr Sci*. 2018 Dec 27;7:e35.

Orecchio, Santino & Papuzza, Vera. Levels, fingerprint and daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bread baked using wood as fuel. *J Haz Materials*. 2008;164: 876-83.

Vanrooij JG, Bodelier-Bade MM, De Loeff AJ, Dijkmans AP, Jongeneelen FJ (1992). Dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons among primary aluminium workers. *Med Lav*. 83(5):519-29.

Veyrand B, Brosseau A, Sarcher L, et al. Innovative method for determination of 19 polycyclic aromatic hydrocarbons in food and oil samples using gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry based on an isotope dilution approach. *J Chromatogr A*. 2007;1149(2):333-344. doi:10.1016/j.chroma.2007.03.043

Wretling S, Eriksson A, Abrahamson Zetterberg L. Halt av polycykliska aromatiska kolveten (PAH) i livsmedel – matfetter, spannmålsprodukter, kosttillskott, choklad, grillat kött och grönsaker. Rapport 28/2013. Livsmedelsverket.

Xu G, McMahan CA, Walter CA. Early-life exposure to benzo[a]pyrene increases mutant frequency in spermatogenic cells in adulthood. *PLoS One*. 2014;9(1):e87439. Published 2014 Jan 29. doi:10.1371/journal.pone.0087439

Zhao Y, Chen X, Liu X, et al. Exposure of mice to benzo(a)pyrene impairs endometrial receptivity and reduces the number of implantation sites during early pregnancy. *Food Chem Toxicol*. 2014;69:244-251. doi:10.1016/j.fct.2014.04.021



# RUOKAVIRASTO

Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

---

[ruokavirasto.fi](http://ruokavirasto.fi)