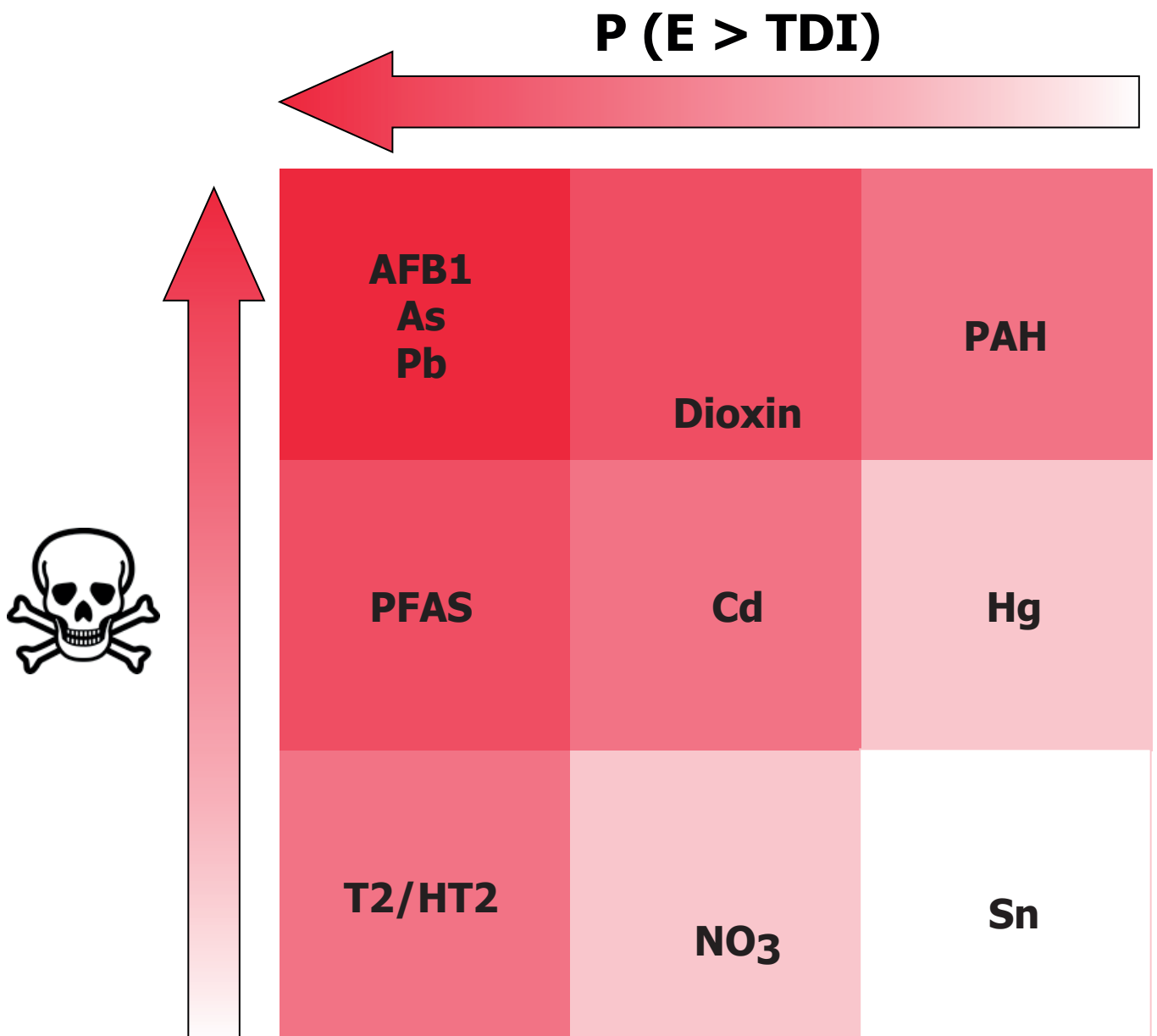




Ruoan tärkeimmät vierasaineet Suomessa – terveysriskit ja tiedonpuutteet



Ruokaviraston tutkimuksia 1/2021

Ruoan tärkeimmät vierasaineet Suomessa – terveystriskit ja tiedonpuutteet



RUOKAVIRASTO
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

Erityisesti kiitämme projektin asiantuntija- ja yhteistyöryhmän jäseniä jo projektin aikana saaduista kommenteista ja aineistoista:

- Mari Lukkariniemi (ETL ry., nykyisin MTK)
- Marika Jestoi, Marja Raatikainen, Annika Nurttila, Kaija-Leena Saraste ja Merja Virtanen (Ruokavirasto)

Lisäksi kiitämme lämpimästi muita asiantuntijoita heidän asiantuntemuksestaan ja arvokkaista kommenteistaan raportin kirjoittamisvaiheessa:

- Elina Pahkala (MMM)
- Terhi Virtanen (ETL ry)
- Marina Heinonen (Helsingin yliopisto)
- Minna Anthoni, Kati Hakala, Arja Heinonen, Mirja Hokkanen, Kirsi-Helena Kanninen, Pertti Koivisto, Marjo Kolmonen, Kaisa Kukkonen, Satu Mykkänen, Jukka Ranta, Tiina Ritvanen, Kirsi-Maarit Siekkinen, Sari Sippola ja Annikki Welling (Ruokavirasto)
- Jaakko Mannio (SYKE)
- Riikka Airaksinen, Panu Rantakokko ja Päivi Ruokojärvi (THL)

Kuvailulehti

Julkaisija	Ruokavirasto
Tekijät	Johanna Suomi, Liisa Uusitalo, Kimmo Suominen, Tero Hirvonen, Tia Heikkinen, Pirkko Tuominen
Julkaisun nimi	Ruoan tärkeimmät vierasaineet Suomessa – terveysriskit ja tiedonpuutteet
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ruokaviraston tutkimuksia 1/2021
Julkaisuaika	9/2021
ISBN PDF	978-952-358-024-4
ISSN PDF	2490-1180
Sivuja	141
Kieli	Suomi (ja englanninkielinen yhteenvetoluku)
Asiasanat	Vierasaine; kontaminantti; priorisointi; elintarvikkeet; valvonta
Kustantaja	Ruokavirasto
Taitto	Ruokavirasto, käyttäjäpalvelujen yksikkö
Julkaisun jakaja	Sähköinen versio: ruokavirasto.fi

Tiivistelmä

Tämän työn tarkoituksena oli asettaa suomalaisen kuluttajan kannalta tärkeysjärjestykseen ne elintarvikkeiden vierasaineet, joiden pitoisuuksia valvotaan asetuksen (EY) N:o 1881/2006 nojalla tai jotka mainitaan Euroopan Komission monitorointisuosituksissa. Tärkeysjärjestys määrytyi aineen aiheuttaman terveyshaitan vakavuuden ja suurkuluttajalle koituvan riskin suuruuden perusteella. Tärkeimmiksi arvioitiin syöpävaaralliset aineet (ympäristömyrkyt, homemyrkyt tai prosessoinnissa syntyvät aineet), joille altistutaan siinä määrin, että syöpien lisääntyminen väestössä on todennäköistä. Kerta-annoksella haitallisista vierasaineista tärkeimmät olivat soluhengityksen salpaavat tai sydämen lyöntitiheyttä hidastavat vierasaineet, joille altistuminen saattaisi pahimmillaan johtaa riskiryhmään kuuluvan kuolemaan. Valvonnan suunnittelun tueksi kartoitettiin myös, mistä elintarvikeryhmistä kunkin vierasaineen pitoisuuksien seuranta ja määrittäminen olisi oleellista kansallisesta näkökulmasta. Arviossa otettiin huomioon ainekohtaisen prioriteettilistan lisäksi kansallisten aineistojen ikä ja kattavuus, vierasaineiden pitoisuudet eri elintarvikeryhmissä, kuluttajien suurimmat altistuslähteet sekä se, poikkeavatko Suomessa mitatut pitoisuudet selkeästi EU-keskiarvoista. Raporttiin sisältyy englanninkielinen yhteenvetoluku tärkeimmistä tuloksista.

Beskrivning

Utgivare	Livsmedelsverket
Författare	Johanna Suomi, Liisa Uusitalo, Kimmo Suominen, Tero Hirvonen, Tia Heikkinen, Pirkko Tuominen
Publikationens titel	De viktigaste främmande ämnena i livsmedel i Finland – hälsorisker och kunskapsbrister
Publikationsseriens namn och nummer	Livsmedelsverkets forskningsrapporter 1/2021
Utgivningsdatum	9/2021
ISBN PDF	978-952-358-024-4
ISSN PDF	2490-1180
Sidantal	141
Språk	Finska
Nyckelord	Främmande ämnen; livsmedel; prioritering; kontroll
Förläggare	Livsmedelsverket
Layout	Livsmedelsverket, enheten för interna stöd tjänster
Distribution	Elektronisk version: livsmedelsverket.fi

Referat

Syftet med detta arbete var att göra upp en lista där de främmande ämnen i livsmedel som övervakas med stöd av förordningen (EG) nr 1881/2006 eller som nämns i Europeiska kommissionens monitoreringsrekommendationer räknas upp enligt deras betydelse särskilt med tanke på konsumenter i Finland. Ämnenas prioriteringsordning fastställdes utifrån allvarlighetsgraden av den hälsoolägenhet som ämnet orsakar och utifrån den risk som storkonsumenter utsätts för. Den viktigaste gruppen av ämnen bedömdes vara cancerframkallande ämnen (miljögifter, mögelgifter eller ämnen som uppkommer vid processer), för vilka människor exponeras i en omfattning som gör att det är sannolikt att förekomsten av cancer ökar i befolkningen. De viktigaste främmande ämnena som är skadliga redan efter en enda dos var främmande ämnen som blockerar cellandningen eller gör hjärtfrekvensen långsammare och som vid exponering i värsta fall skulle kunna leda till dödsfall bland personer som tillhör en riskgrupp. Som stöd för planeringen av övervakningen kartlades dessutom de livsmedelsgrupper i vilka det nationellt sett skulle vara viktigast att följa upp och mäta förekomsten av respektive främmande ämne. I bedömningen beaktades inte bara den ämnesspecifika prioriteringslistan, utan också de nationella underlagens ålder och täckning, förekomsterna av främmande ämnen i olika livsmedelsgrupper, de största exponeringskällorna för konsumenter samt huruvida de koncentrationer som mäts i Finland avviker tydligt från EU-medelvärdena. I rapporten finns ett kapitel med ett sammandrag av de viktigaste resultaten på engelska.

Description

Publisher	Finnish Food Authority
Authors	Johanna Suomi, Liisa Uusitalo, Kimmo Suominen, Tero Hirvonen, Tia Heikkinen, Pirkko Tuominen
Title of publication	Key food contaminants in Finland – health risks and information gaps
Series and publication number	Finnish Food Authority Research Reports 1/2021
Publications date	9/2021
ISBN PDF	978-952-358-024-4
ISSN PDF	2490-1180
Pages	141
Language	Finnish
Keywords	contaminant; prioritization; foodstuffs; monitoring
Publisher	Finnish Food Authority
Layout	Finnish Food Authority, In-house Services Unit
Distributed by	Online version: foodauthority.fi

Abstract

The aim of this project was to prioritize from Finnish consumers' perspective the food contaminants controlled under Regulation (EC) No 1881/2006 or referred to in the European Commission's monitoring recommendations. This prioritization of contaminants was based on the seriousness of the health effects of each compound and the level of risk for high users. As the highest priority group were identified carcinogenic compounds (environmental toxins, mycotoxins or compounds formed during food processing), the exposure level of which is sufficient to make an increased incidence of cancers in the population probable. The most important contaminants that are harmful in a single dose were those that inhibit cellular respiration or slow down the heart rate, exposure to which could in the worst-case scenario be lethal to a consumer in an at-risk group. To support the planning of monitoring, the food groups in which monitoring and determination of contaminant concentrations would be the most essential nationally were also identified. In addition to a list of substance specific priorities, the factors taken into account in the assessment included the age and coverage of national data sets, concentrations of contaminants in different food groups, key sources of consumer exposure and whether concentrations measured in Finland differ clearly from EU averages. The report includes an English summary of the main findings.

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät	8
1 Projektin tausta, tavoitteet ja rajaus	10
2 Vierasaineriskien priorisoinnin periaatteet	12
2.1 Toksikologisista vertailuarvoista ja altistusmarginaalista.....	12
2.2 Lyhyt katsaus olemassa olevista priorisointimenetelmistä	13
2.3 Tässä projektissa käytetty menetelmä	15
3 Elintarvikkeiden vierasaineet: altistus, vaikutukset ja luokittelu	18
3.1 Metallit ja puolimetallit	18
3.1.1 Mitä vierasaineisiin kuuluvat metallit ja puolimetallit ovat ja missä niitä esiintyy	18
3.1.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta	19
3.1.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu	21
3.2 Mykotoksiinit	22
3.2.1 Mitä mykotoksiinit ovat ja missä niitä esiintyy	22
3.2.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta	24
3.2.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu	25
3.3 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet	28
3.3.1 Mitä sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet ovat ja missä niitä esiintyy	28
3.3.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta	29
3.3.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu	30
3.4 Ympäristömyrkyt	32
3.4.1 Mitä ympäristömyrkyt ovat ja missä niitä esiintyy	32
3.4.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta.....	33
3.4.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu.....	34
3.5 Prosessissa syntyvät vierasaineet	36
3.5.1 Mitä prosessissa syntyvät vierasaineet ovat ja missä niitä esiintyy.....	36
3.5.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta	37
3.5.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu	38
3.6 Muut projektissa tutkitut haitalliset aineet	40
3.6.1 Mitä muita haitallisia vierasaineita projektissa tutkittiin ja missä niitä esiintyy	40
3.6.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta.....	40
3.6.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu.....	41
4 Vierasaineiden viranomaisvalvonta Suomessa	42
4.1 Metallit ja puolimetallit	42
4.2 Mykotoksiinit	44
4.3 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet	46
4.4 Ympäristömyrkyt.....	47
4.5 Prosessissa syntyvät vierasaineet.....	48
4.6 Muut projektissa tutkitut aineet	49
5 Prosessin ja varastoinnin vaikutukset vierasaineiden pitoisuuksiin	50
6 Vierasaineiden prioriteettilista toksisuuden ja suomalaisten altistusmäärien perusteella	56

7 Arvio kansallisten pitoisuustietojen hankkimisen prioriteettijärjestyksestä	61
7.1 Vierasaineen seurannan kannalta oleelliset elintarvikeryhmät	61
7.2 Tiedon puutteet ja arvio kansallisten tietojen merkityksestä.....	68
7.3 Arvioon liittyvät epävarmuudet ja virhelähteet.....	82
7.4 Tulevaisuuden näkymiä	83
8 English summary.....	84
8.1 Aims of the project	84
8.2 Prioritization of chemical hazards: literature and approach used in this study.....	84
8.3 Materials and methods	85
8.4 Priority list based on toxicity and dietary exposure of Finns	85
8.5 Main conclusions on national data collection needs.....	87
9 Viitteet / References	88
9.1 Vierasaineriskien priorisointi / Prioritization	88
9.2 Metallit / Metals	89
9.3 Mykotoksiinit / Mycotoxins	92
9.4 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet / Other contaminants produced by fungi or plants.....	96
9.5 Ympäristömyrkyt / Environmental contaminants	98
9.6 Prosessissa syntyvät vierasaineet / Process contaminants	99
9.7 Muut haitalliset aineet / Other harmful compounds.....	103
Liite 1 Tarkempi katsaus tutkittujen aineiden toksikologisiin vaikutuksiin sekä viipymään elimistössä	104
L1.1 Metallit ja puolimetallit	104
L1.2 Mykotoksiinit	108
L1.3 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet	113
L1.4 Ympäristömyrkyt	118
L1.5 Prosessissa syntyvät vierasaineet	121
L1.6 Muut haitalliset aineet	128
Liite 2 Luvussa 6 esitetyn vierasaineiden prioriteettilistan taustalla olevat oletukset ja kuvaukset aineistoista	130
L2.1 Karsinogeeniset ja/tai lisääntymiselle toksiset aineet sekä hormonihäiriköt	130
L2.2 Aineet, jotka ovat toksisia tärkeille elimille	134
L2.3 Lieviä tai ohimeneviä fysiologisia vaikutuksia aiheuttavat aineet.....	137
L2.4 Kerta-annoksella oireita aiheuttavat aineet	139
Liite 3 Kehon kokonaiskuormitus -menetelmä	141

Lyhenteet ja määritelmät

ADI	Hyväksyttävä päiväsaanti. Käytännössä samantyyppinen arvo kuin TDI, mutta vierasaineille määritetään yleensä TDI ja lisäaineille ADI.
ARfD	Lyhytaikaisen (akuutin) altistuksen toksikologinen vertailuarvo (Acute Reference Dose)
ATSDR	Yhdysvaltain sosiaali- ja terveysministeriön alaisuudessa toimiva myrkyllisten aineiden ja tautirekisterien virasto (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
BMD	Annoksen raja-arvo, jolla annos-vaste -kuvaajalla vaste kasvaa etukäteen määrätyn osuuden altistumattoman väestön vastetasosta. Vasteen kasvumäärä merkitään alaindeksillä, esim. BMD ₀₁ tarkoittaa vasteen olevan 1 % korkeampi kuin altistumattomilla. Vaste voi olla esimerkiksi elinvarion esiintyvyys väestöryhmässä tai elimellisen merkkiaineen määrä virtsassa.
BMDL	BMD-arvon (benchmark dose) epävarmuuteen liittyvän luottamusvälin alaraja
DALY	Haittapainotettu elinvuosi (disability-adjusted life year). Tautitaakan yksikkö, joka mittaa eri sairauksien ja riskitekijöiden merkitystä koko väestölle aiheutuvan haitan kannalta eli se sisältää ennen aikaisten kuolemien takia menetetyt elinvuodet ja sairauden takia vajaakuntoisena eleyt elinvuodet
EFSA	Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen
EDC	Hormonitoimintaa häiritsevä yhdiste (endocrine disrupting compound)
genotoksinen	Perimää vaurioittava
karsinogeeninen	Syöpää aiheuttava
kg rp	Kilogrammaa elimistön painokiloa kohden
kongeneeri	Samantyyppisten yhdisteiden johdokset, esimerkiksi eri määriä klooria sisältävät muuten rakenteeltaan samanlaiset yhdisteet
LD50	Annos, joka tappaa puolet tutkituista eläimistä
LOQ	Analyysimenetelmän määrittäjäraja
MB, middle bound	Tulosten käsittelytapa, jossa määrittäjärajan alle olevat arvot korvataan puolikkaalla määrittäjärajan pitoisuudesta (0,5 * LOQ).
MoE	Altistumismarginaali (margin of exposure); NOAEL/altistus tai BMDL/altistus
neurotoksinen	Hermostoa vaurioittava
NOAEL	(Kokeen suurin) Haittavaikutusta aiheuttamaton annos (no observed adverse effect level).
TDI	Siedettävä päiväsaanti
toksisuus	Myrkyllisyys
toksikodynamiikka	Toksikodynamiikka kuvaa myrkyllisten aineiden vaikutusmekanismia tai vaikutustapaa elimistössä.

toksikokinetiikka	Toksikokinetiikka tutkii myrkyllisen aineen imeytymistä, jakautumista elimistössä, metaboliaa ja erittymistä. Toisin sanoen se kuvaa, kuinka nopeasti aine kulkeutuu elimistöön ja elimistöstä, ja mitkä prosessit vaikuttavat siihen elimistössä.
TTC	Toksikologisen riskin kynnyisarvo (Threshold of Toxicological Concern)
TWI	Siedettävä viikkosaanti
UB, upper bound	Tulosten käsittelytapa, jossa määrittämissä alle olevat arvot korvataan määrittämissä pitoisuudella (1,0 * LOQ).
Vierasaine	Elintarvikkeen vierasaineella tarkoitetaan ainetta, jota ei ole tarkoituksella lisätty elintarvikkeeseen, mutta jota siinä kuitenkin esiintyy mainitun elintarvikkeen tuotannon ja teollisen tuotannon, jalostuksen, valmistuksen, käsittelyn, pakkaamisen, kuljetuksen tai varastoinnin seurauksena tai ympäristön saastumisen vuoksi. Ulkopuoliset aineet, kuten hyönteisten jäänteet ja eläinten karvat eivät sisälly tähän määritelmään.
Vierasaineasetus	Komission asetus (EY) N:o 1831/2003 ja sen päivitykset. Enimmäismäärärajoja koskevat tiedot perustuvat konsolidoituun asetusversioon päiväyksellä 1.7.2020.
vrk	Vuorokausi
VYR	Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR ry. Vilja- ja öljykasvitoimintaa kehittävä, koko ketjun toimijoiden yhteinen yhdistys.

1 Projektin tausta, tavoitteet ja raja

Vierasaineilla eli kontamineilla tarkoitetaan elintarvikkeisiin päätyneitä ei-toivottuja aineita. Niiden pitoisuuksia elintarvikkeissa hallitaan lainsäädännöllä (EY N:o 1881/2006 muutoksineen eli ns. vierasaineasetus). Euroopan Komissio on antanut lisäksi lukuisia suosituksia muiden vierasaineiden monitoroimiseksi. Komission suosituksesta tehtyjen analyysien tuloksia käytetään päätöksenteon tukena, kun EU-tasolla päätetään lainsäädännöllisistä enimmäismääristä. Vierasaineita ei valvota tai monitoroida kaikista elintarvikeryhmistä, joissa niitä voi esiintyä, vaan valvonta kohdistuu pitoisuuksien tai altistumisen kannalta oleellisimpiin tuotteisiin.

Vierasaineasetuksessa on määritelty kullekin elintarvikkeelle tai elintarvikeryhmälle sallittu (ainetai aineryhmäkohtainen) enimmäismäärä vierasainetta. Mikäli valvonnassa tai omavalvonnassa havaitaan nämä raja-arvot ylittäviä tuotteita, niitä ei päästetä markkinoille. Valvontatoimien lisäksi Suomessa on annettu kuluttajille ohjeita elintarvikkeiden turvallisesta käytöstä. Suuri osa näistä ohjeista liittyy vierasaineiden saannin rajoittamiseen. Ohjeet on julkaistu Ruokaviraston sivuilla: www.ruokavirasto.fi/turvallisenkaytonohjeet ja niitä päivitetään tarvittaessa uusien riskinarviointien perusteella.

Ruokavirasto analysoi elintarvikkeissa esiintyviä vierasaineiden pitoisuuksia. Analyseja tehdään sekä lainsäädännöllä hallittavista vierasaineista että niistä yhdisteistä, joille ei ole vielä määritelty raja-arvoja. Kartoitustutkimuksilla saadaan kansallista näkökulmaa vierasaineiden esiintyvyydestä, ja toistaiseksi lainsäädännön ulkopuolelle jäävistä aineista hankitaan tarkempaa tietoa kohdennetuilla tutkimusprojekteilla. Pitoisuustutkimuksiin käytettävissä olevat resurssit pienenevät jatkuvasti, ja siksi Ruokaviraston toimeenpanema seuranta halutaan suunnata tehokkaammin tämän projektin antamien tulosten avulla.

Projektiin sisällytettiin lainsäädännössä ja monitorointisuosituksissa mukana olevien aineiden vuoksi myös muutama muu vierasaine, jotka ovat olleet esillä mediassa tai kansainvälisissä tutkimuksissa ja joiden epäiltiin nousevan Suomessakin keskusteluun lähivuosina. Näitä ovat muun muassa alumiini ja ftalaatit. Vierasaineiden luetteloon pyydettiin vierasainevalvonnan asiantuntijoiden (MMM ja Evira) kommentteja projektin käynnistysvaiheessa 2016. Elintarvikkeissa esiintyviä kasvinsuojeluaine- tai lääkejäämiä ei käsitelty projektissa.

Vierasaineita analysoidaan laajasti myös toimijoiden omavalvonnassa. Näin varmistetaan tuotteiden olevan niille määrättyjen enimmäismäärärajojen mukaisia. Lisäksi toimijoille on EU-lainsäädännössä asetettu velvoitteita seurata joidenkin sellaistenkin vierasaineiden pitoisuuksia, joille ei ole toistaiseksi asetettu enimmäismäärärajoja, sekä soveltaa vähentämistoimenpiteitä ns. ALARA-periaatteen (as low as reasonably achievable, ”niin matala kuin kohtuudella saavutettavissa”) toteuttamiseksi. Tässä raportissa toimijoiden omavalvontaan viitataan vain satunnaisesti, sillä pääpaino on viranomaisvalvonnassa ja riskinarvioinnissa. Omavalvonnan tuloksia saadaan viranomaisten (mukaan lukien Euroopan elintarviketurvallisuusvirasto EFSA:n) käyttöön lähinnä erillisten tietopyyntöjen kautta, ja toimijoiden tuottamien aineistojen julkisuusperiaatteet ovat erilaisia kuin viranomaisaineistojen. Maininta joidenkin pitoisuusaineistojen niukkuudesta ei siis välttämättä tarkoita, ettei analyseja olisi tehty teollisuuden tai esimerkiksi yliopistojen laboratorioissa: tämä tieto ei vain ole päätöksenteon käytettävissä samalla tavoin kuin viranomaisten tuottamat aineistot.

Tässä raportissa esitellään ensin lyhyesti vierasaineiden aiheuttamien riskien priorisoinnin periaatteita ja kuvataan tutkimuksessa käytetty menetelmä. Luvussa 3 on lyhyet esittelyt tutkituista aineista vierasainetyypeittäin. Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten kuluttajien altistusmääristä ja terveysvaikutuksista toksikologisine vertailuarvoineen on koottu tiiviisti taulukoiksi, ja tarkempia kuvauksia aineiden terveysvaikutuksista on Liitteessä 1. Luvussa 4 kerrotaan vierasaineiden viranomaisvalvonnasta Suomessa ja luvussa 5 prosessoinnin vaikutuksista vierasaineiden pitoisuuksiin.

Priorisoinnin tulokset esitetään kahdella tavalla: luvussa 6 on vierasaineiden myrkyllisyyteen (haittavaikutusten vakavuuteen) ja kuluttajien altistusmääristä arvioituun riskiin perustuva ainetason merkittävyysjärjestys, jonka yksityiskohtia tarkennetaan Liitteessä 2, ja luvussa 7 arvioidaan kansallisten pitoisuustietojen hankkimisen prioriteettijärjestystä. Luvussa 7 esitetään taulukkomuodossa kunkin vierasaineen kannalta oleellimmat elintarvikeryhmät ja tiedon puutteet siten, että riskin suuruuden ja aineen haittavaikutusten vakavuuden kannalta oleellimmat vierasaineet ovat ylimpänä. Taulukon tietoja tarkennetaan alaluvussa, jossa käsitellään myös kansallisten pitoisuusaineistojen kattavuutta ja mahdollisia eroja muissa maissa todettuihin pitoisuuksiin.

Aineistoina raportissa on käytetty julkaistuja tietoja aineiden toksisuudesta ja kuluttajien altistumisesta sekä Suomen viranomaisvalvonnassa (Ruokavirasto, Tullilaboratorio) vuosina 2010–2016 analysoitujen näytteiden pitoisuuksia. Tietoja on osittain päivitetty myös tuoreemmilla mittaustuloksilla. Kansallisia aineistoja on käytetty arvioitaessa saatavilla olevien pitoisuustietojen kattavuutta, ikää ja eroja EU-alueen julkaistuihin keskiarvoihin. Tiedot aineiden toksisuudesta perustuvat kirjallisuuteen. Mikäli yksilöaineistoon perustuvia arvioita suomalaisten altistuksesta ei ollut saatavilla jollekin aineelle, projektissa tehtiin astetta karkeampi arvio altistuksen suuruudesta EFSA:n Comprehensive Food Consumption Database -tietokannassa julkaistujen ruoankäytön tunnuslukujen sekä kansallisten pitoisuustietojen avulla. Tietokannassa julkaistut tunnusluvut perustuvat Suomessa tehtyihin tutkimuksiin DIPP (Kyttälä ym. 2008) ja Finravinto 2012 (Helldán ym. 2013).

2 Vierasaineriskien priorisoinnin periaatteet

2.1 Toksikologisista vertailuarvoista ja altistusmarginaalista

Tässä osiossa esitellään priorisoinnin toksikologisen osuuden periaatteita osittain yksinkertaistaen ja tiivistäen. Yksityiskohtaisemmin BMD-menetelmään voi tutustua esimerkiksi EFSA:n tiedekomitean julkaisussa (EFSA 2017), johon sisältyy havainnollinen kuva BMDL-arvon määrittämisestä.

Vierasaineiden priorisoinnissa oleellinen tieto koskee aineille määritettyjä toksikologisia vertailuarvoja. Useimmat niistä perustuvat eläinkokeisiin, joissa eläimille annetaan tunnettuja määriä tutkittavaa ainetta. Kutakin tutkittavista annoksista saa ryhmä eläimiä, ja niiden terveysvasteita seurataan tutkimuksen aikana ja niiden päättyessä. Eläinkokeen tuloksena aineelle voidaan määrittää NOAEL eli suurin annos, jolla haittavaikutusta ei esiinny, tai LOAEL eli pienin annos, jolla haittavaikutus on todettavissa. Näihin arvoihin eivät vaikuta muut annos–vastekäyrän pisteet.

Nykyisin eläinkokeiden tuloksista määritetään mieluummin niin kutsuttu benchmark dose -arvo BMD. BMD-arvoa mallinnettaessa otetaan huomioon kaikki kokeen tulokset, eivät vain vasteen ilmenemisen alarajalla olevat. Vaste voi olla esimerkiksi tietyn syöpätyypin esiintyvyys, merkkiaineen pitoisuus ruumiinnesteessä tai jokin muu mitattavissa oleva tekijä. Väestössä (tai koe-eläinpopulaatiossa) on tietty perustaso haittavaikutuksen esiintyvyydelle sellaisillakin, jotka eivät altistu tutkittavalle aineelle lainkaan, ja BMD mittaa vierasaineen saantiin liittyvää muutosta mallinnuksen määrittämästä perustasosta (EFSA 2017). Usein käytetään 10 % muutosta perustasosta (BMD_{10}) sellaisille tekijöille, jotka ovat mitattavissa kyllä/ei -periaatteella: kasvain joko on tai ei ole, eläimen tiineys keskeytyy tai ei keskeydy. BMD_{10} on siis esimerkiksi annos, jolla 10 % tutkituista eläimistä saa elinaikanaan tietyn kudoksen kasvaimen, kun kasvainten spontaani ilmaantuvuus on poistettu laskuista. Jatkuvammin muuttuville tekijöille kuten veren kolesterolipitoisuudelle on voitu määrittää myös muita muutosprosentteja. Muutoksen suuruus esitetään aina alaindeksinä. Jos BMD on määritetty, toksikologisenä vertailuarvona käytetään BMDL-arvoa eli sen luottamusvälin alarajaa.

Joihinkin harvoille vierasaineille on pystytty määrittämään toksikologisia vertailuarvoja myös ihmisillä. Ne on saatu seurantatutkimuksista, joissa altistusta on arvioitu jälkikäteen esimerkiksi hiuksiin kertyneiden vierasainemäärien perusteella. Joitakin akuuttiin eli lyhytkestoiseen altistukseen liittyviä haittavaikutuksia on tutkittu myös ryhmillä vapaaehtoisia, jotka ovat nauttineet tunnettuja määriä vierasainetta ja joiden terveysvasteita on tämän jälkeen seurattu.

NOAEL- tai BMDL-arvosta määritetään siedettävän päiväsaannin enimmäisarvo TDI tai akuutille vaikutukselle ARfD käyttämällä turvakerrointa, joka ottaa huomioon toksikokineettiset ja toksikodynaamiset erot koe-eläimen ja ihmisen välillä sekä keskiarvoihmisen ja herkän yksilön väliset erot. Usein turvakertoimena on 100, eli TDI on esimerkiksi NOAEL/100, mutta koeasetelmasta ja siihen liittyvästä epävarmuudesta riippuen se voi olla suurempikin. Jos vertailuarvo perustuu ihmisistä tehtyihin havaintoihin, turvakerron voi olla pienempi kuin 100, sillä lajien välisiä eroja kuvaava kerroin jää pois. Määritelmän mukaan enintään TDI-arvon suuruinen altistus tarkoittaa mitätöntä terveyshaitan riskiä. PMTDI eli väliaikainen suurin siedettävä päiväsaanti määritellään samoin kuin TDI, mutta toksikologisen aineiston rajallisuuden vuoksi arvon määrittänyt kansainvälinen asiantuntijaorganisaatio pitää sitä alustavana arvona.

Genotoksisille, karsinogeenisille aineille määritetään altistusmarginaali (MoE, Margin of exposure) jakamalla BMDL-arvo altistuksen suuruudella. MoE-lähestymistapaa voi käyttää myös muille aineille, joiden aiheuttamien vaikutusten ilmenemiselle ei ole kynnyksarvoa. Yleisesti riittäväksi katsotaan eläinkokeessa määritettyyn BMDL-arvoon vertaamalla laskettu MoE vähintään 10 000 (siis BMDL/altistus $\geq 10\ 000$).

Joskus vierasaineelle ei ole vielä kyetty määrittämään mitään edellä mainituista toksikologisista vertailuarvoista. Tällöin suuntaa antava arvio altistukseen liittyvän riskin suuruudesta voidaan tehdä aineen kemiallisen rakenteen perusteella. Toksikologisen riskin kynnyksarvo (TTC) on laajaan toksikologiseen tietokantaan perustuva arvio siitä, minkä suuruista altistusta voidaan pitää riskiltään vähäisenä, jos aineen tiedetään sisältävän tietynlaisia kemiallisia rakenteita. Mikäli altistus aineelle arvioidaan suuremmaksi kuin rakenteen perusteella määräytyvä TTC, tarkemman toksikologisen tiedon hankkiminen tästä aineesta on välttämätöntä riskin suuruuden arvioimiseksi.

T25 on karsinogeeniselle aineelle se pitkäaikaisessa altistuksessa saatu annos, jolla 25 %:lle eläimistä kehittyy elinaikanaan kasvain tiettyyn kudokseen, kun spontaanisti ilmaantuvien kasvainten osuus on laskettu pois. Se määritellään hiukan yksinkertaisemmalla menetelmällä kuin BMD (tässä tapauksessa BMD₂₅).

Tässä raportissa on käytetty priorisointiosiossa altistusmarginaali-termiä hiukan edellä kuvattua laajemmin, jotta eri tavoin määriteltyihin toksikologisiin raja-arvoihin on voitu viitata yhdellä sanalla. Lyhyesti kuvattuna kaikissa tapauksissa on kuitenkin arvioitu toksikologisen vertailuarvon ja altistuksen suhdetta ja sitä, kuinka suuri se on suhteessa riskiltään mitättömäksi katsottuun altistukseen. Jos aineelle on määritetty TDI tai sille käytetään TTC-arvoa, riskiltään mitättömäksi katsottu altistus on enintään sen suuruinen.

2.2 Lyhyt katsaus olemassa olevista priorisointimenetelmistä

Tässä katsauksessa tarkastellaan vain kemiallisia elintarvikevaaroja ja niihin liittyvää riskiä. Vastaavia menetelmiä on kehitetty myös mikrobiologisille elintarvikevaaroille.

Elintarvikkeiden kemiallisten riskien priorisointiin tai vakavuusluokitteluun (risk ranking) on käytetty useita erilaisia menetelmiä, joista osa on julkaistu vasta tämän tutkimuksen aikana. Van der Fels-Klerx ym. (2018) kuvaavat katsausartikkelissaan yhtätoista eri lähestymistapaa ja niiden soveltuvuutta eri käyttötarkoituksiin, vahvuuksia ja heikkouksia. Eri luokittelumenetelmillä on erilaiset vaatimukset tarvittavien lähtötietojen laadulle ja määrälle, ja niiden toteuttamiseen tarvittavat resurssit (työmäärä ja muut kustannukset) vaihtelevat vähäisistä suuriin.

Riskisuhdemenetelmässä välttämättömiä aineistoja ovat tutkittavien vaarojen pitoisuus- ja esiintyvyytiedot, ruoankäyttöaineistot ja toksikologiset vertailuarvot. Menetelmän käyttöön ei kuitenkaan tarvita epidemiologia aineistoja eikä tietoa aineiden annosvasteista, kunhan toksikologinen vertailuarvo eli terveysvaikutukseen perustuva viitearvo (health-based guidance value, HBGV) on kyetty määrittämään. Riskisuhdemenetelmän resurssivaatimukset ovat kohtalaiset ja tulokset semikvantitatiivisia. Tulosten tyypillinen esittämisumuoto on taulukko (Van der Fels-Klerx ym. 2018).

Ruotsin Livsmedelsverket on julkaissut oman riskisuhteisiin perustuvan luokittelumenetelmänsä, jonka nimi on **Risk Thermometer** (Sand ym 2015). Siinä krooniseen altistukseen eli yhtä päivää pitemmällä aikavälillä tapahtuvaan altistukseen liittyvän terveyshaitan riski on luokiteltu viiteen eri luokkaan. Eri vakavuusastetta edustavien terveyshaittojen vertailussa on käytetty haitan vakavuudella säädettyä

altistusmarginaalia. Siihen sisältyy tavanomainen toksikokineettisen ja toksikodynaamisen osuuden sisältävä turvakerron, joka huomioi koe-eläimen ja ihmisen erot sekä keskivertoihmisen ja herkän yksilön erot. Lisäksi siihen sisältyy ylimääräinen kerroin, jonka suuruus riippuu haittavaikutuksen vakavuudesta ja joka voi olla yhdestä sataan.

Stroheker ym. (2017) kehittivät **menetelmän elintarvikkeiden raaka-aineissa esiintyvien kemiallisten vaarojen priorisointiin**. Arviossa huomioitiin riskiluokka ja vaikutusluokka. Altistukseen perustuva riskiluokittelu oli neliportainen ja toksisten vaikutusten luokittelu neljään luokkaan tapahtui päätöksentekopuun perusteella.

Norjan elintarvikeviranomaisen VKM julkaisi vuoden 2019 lopussa raportin (VKM 2019), jossa tehtiin kansallisesta näkökulmasta vastaava luokittelu kuin tässä raportissa **haitallisten aineiden prioriteetin määrittämiseksi** ja oleellisimpien tutkittavien elintarvikeryhmien tunnistamiseksi. VKM:n raportissa käsitellyt haitalliset aineet olivat osittain päällekkäisiä tässä raportissa tutkittujen kanssa, mutta luettelot eivät ole täysin yhtenevät. Priorisointiluokittelussa VKM käytti kolmiportaisia kategorioita altistuksen ja siedettävän saannin suhteelle tai toksisuudelle ja altistuksen suuruudelle, herkkien ryhmien olemassaololle, toksisuustietojen kattavuudelle ja altistuksen määrittämiseksi tarvittavien aineistojen riittävydelle. Kunkin kategorian pisteet laskettiin yhteen, ja tutkittava aine saattoi saada pisteet 2–9.

Stornetta ym. (2015) kehittivät **menetelmän elintarvikevaara–elintarvike -yhdistelmien priorisointiin** ja sovelsivat sitä mykotoksiineille. Menetelmässä huomioitiin elintarvikevaaran toksisuus sen NOEL- tai BMDL-arvon kautta. Altistuksen arvioinnissa käytettiin EFSA:n julkaisemia ruoankäyttötutkimusten tunnuslukuja tyypillisen kerta-annoskoon selvittämiseksi, ravintotaseita kulutuksen toistuvuuden huomioimiseksi ja sveitsiläisten laboratorioiden analysoimien näytteiden pitoisuuksia. Prioriteettiindeksi laskettiin kullekin elintarvikkeelle ja vaaralle altistusmarginaalin tapaan toksisuuden vertailuarvosta ja edellä kuvatulla tavalla määritetystä altistuksesta.

Irlannin elintarviketurvallisuusvirasto (FSAI 2019) julkaisi niin ikään oman **kemiallisten elintarvikevaarojen luokittelumallinsa**, jossa huomioidaan aineen toksisuus ja vaikutusten vakavuus, kuluttajan altistus tietystä elintarvikkeesta sekä lainsäädäntöön liittyvät tekijät. Viimeksi mainittu sisältää muun muassa enimmäismäärärajat, monitorointisuositukset tai tavallista tiheimmän tuontielintarvikevalvonnan tarpeen. Kukin kolmesta mallissa olevasta tekijästä pisteytettiin omalla skaalallaan, ja aine–elintarvike -yhdistelmien prioriteettijärjestystä varten kerrottiin toksisuus- ja altistuspisteet keskenään ja lisättiin tuloon lainsäädäntötekijäpisteet.

van Asselt ym (2013) asettivat antibioottiriskit tärkeysjärjestykseen (**risk ranking**) Alankomaissa altistuksen, aineiden ADI-arvojen ja mikrobilääkeresistenssin vakavuuden perusteella. Antibioottijäämien esiintyvyyttä elintarvikkeissa arvioitiin sekä mittaustuloksista että eläimille annettujen lääkkeiden määrän perusteella. Arvio tehtiin väestön keskivertotilanteen kannalta, eli altistuksen kannalta riskiryhmässä olevia (eniten altistuvat) ei erityisesti huomioitu. Riskin kvantifiointi tehtiin kaavalla:

$(A + B) * (C + 1) * (D + E)$, missä

A on antibiootin toksisuus, B antimikrobiresistenssitekijä, C tutkitun elintarvikkeen kulutuksen todennäköisyys, D eläimille annettu määrä lääkettä ja E evidenssi antibioottijäämistä lopputuotteessa. Kullekin näistä tekijöistä annettiin pisteitä nolasta kolmeen, ja suurimmat pisteet tarkoittivat suurinta riskiä.

Sumner ja Ross (2002) puolestaan kehittivät **semikvantitatiivisen, kemiallisia ja mikrobiologisia vaaroja tarkastelevan työkalun** kalan ja meriruoan riskinarviointiin sekä riskien priorisointiin. Taulukkopohjainen työkalu arvioi sairastumisriskin todennäköisyyttä päivää kohti ja vuoden aikana kirjallisuustietojen tai asiantuntija-arvioiden perusteella, ja elintarvikevaara–elintarvike -yhdistelmät jaettiin kolmeen riskiluokkaan. Työkalun sovellus painottui biologisiin elintarvikevaaroihin, joten se on tyypiltään erilainen kuin muut tässä käsitellyt priorisointimenetelmät.

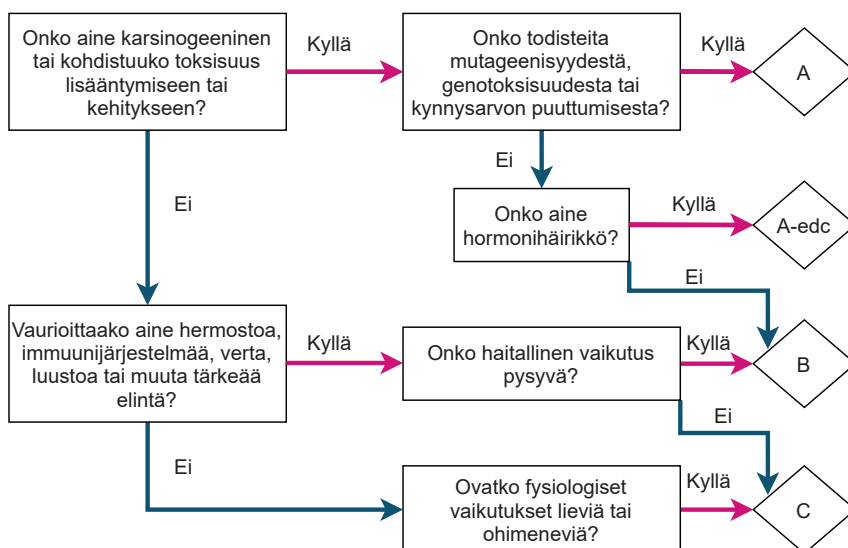
2.3 Tässä projektissa käytetty menetelmä

Tässä raportissa käytetty menetelmä vierasaineiden priorisoimiseksi yhdistelee Ruotsin (Sand ym. 2015) ja Norjan (VKM 2019) elintarviketurvallisuusviranomaisten sekä Stroheker ym. (2017) lähestymistapoja. Priorisointimenetelmä kuuluu lähinnä Van der Fels-Klerxin ryhmän (2018) luokkaan riskisuhdemenetelmät.

Vierasaineet luokiteltiin haittavaikutustensa mukaan. Kun useat vierasaineet voivat vaurioittaa elimistöä usealla eri tavalla, luokittelu tehtiin sen vaikutuksen perusteella, johon matalin aineelle määritetty NOAEL tai BMDL-arvo perustuu tai jota EFSA piti oleellisimpana TDI-arvoa tai vastaavaa terveysperusteista viitearvoa määrittäessään.

Pitkällä aikavälillä ilmenevien toksikologisten vaikutusten luokitteluun käytettiin Livsmedelsverketin Risk Thermometer -menetelmää jonkin verran yksinkertaisempaa päätöksentekopuuta, kuva 1, jonka periaate oli viitteen (Stroheker ym. 2017) mukainen. Artikkelissa esitetystä luokittelusta poikettiin siinä, että lisääntymiseen vaikuttavat hormonihäiriköt poimittiin omaksi alaryhmäkseen A-EDC. Ryhmittelyssä oletettiin aineella olevan ihmiseen kohdistuva terveysvaikutus, ellei ole todisteita siitä, etteivät eläinkokeiden havainnot koske ihmistä esimerkiksi pötsin puuttumisen vuoksi.

Akuutit eli jo yhdestä annoksesta aiheutuvat toksikologiset vaikutukset jaoteltiin vain kahteen ryhmään: hengenvaaralliset reaktiot ja tätä lievemmät vaikutukset. Kroonisia ja akuutteja riskejä arvioitiin erikseen, koska niiden keskinäinen vertailu on ongelmallista.



Kuva 1. Vierasaineiden toksisuusluokittelussa käytetty päätöksentekopuu, joka perustuu Stroheker ym. (2017) esittämään jaotteluun, mutta jossa hormonitoimintaan vaikuttavat aineet on erotettu omaksi joukokseen. Kyllä-nuolet on piirretty punaisiksi ja ei-nuolet sinisiksi. Tätä päätöksentekopuuta käytettiin pitkällä aikavälillä ilmenevien terveysvaikutusten luokitteluun. Kerta-annoksella ilmenevät terveysvaikutukset jaoteltiin kahteen ryhmään: hengenvaaralliset tai sitä lievemmät vaikutukset.

Ryhmittelyn jälkeen koottiin saatavilla oleva tieto suomalaisten lasten ja aikuisten altistuksesta vierasaineille. Ensisijaisena lähteenä olivat Suomessa kansallisilla aineistoilla tehdyt riskinarvioinnit ja toissijaisena EFSA:n laatimien raporttien yhteydessä julkaistut, EU-maista koottujen pitoisuustietojen avulla lasketut altistuksen arvioinnit. Mikäli kattavaa altistuksen arviointia ei ollut aineelle tehty, suomalaisten altistukselle laskettiin karkea arvio EFSA:n Comprehensive Food Consumption Database -tietokannan tunnuslukujen ja suomalaisten valvonta-aineistojen pitoisuustietojen avulla. Tietokanta sisältää suomalaisten 1-vuotiaiden sekä 3–6-vuotiaiden lasten osalta DIPP-tutkimuksen (Kyttälä ym. 2008) ruokapäiväkirjoista ja aikuisten osalta Finravinto 2012 -tutkimuksen (Helldán ym. 2013) haastatteluista lasketut tunnusluvut eri elintarvikeryhmien käytölle. Nämä tunnusluvut ovat saatavilla sekä karkealla elintarvikealaryhmäjaottelulla että yksityiskohtaisemmin. Koska yksilötason tietoja ei ole avattu, kulutuksen 95. prosenttipisteen käyttö vierasainetta sisältäville elintarvikkeille voi yliarvioida niiden aineiden saantia, joita esiintyy useassa elintarviketyypissä.

Mikäli vierasainetta esiintyy tyypillisesti enintään kahdessa elintarvikeryhmässä, karkea arvio suurkuluttajan altistuksesta laskettiin Suomessa mitattujen näytteiden pitoisuuskeskiarvon ja näiden elintarvikkeiden kulutuksen 95. prosenttipisteen avulla. Mikäli vierasainetta esiintyy useammassa elintarvikeryhmässä, arvion laskemiseen käytettiin Riskinarviointiyksikön kehittämää Pikalaskentavälinettä. Se sisältää EFSA:n julkaisemat ruoankäytön tunnusluvut FoodEx2-luokittelun tason 2 mukaisten elintarvikealaryhmien kuten ”juurekset” tai ”tuotantoeläinten paitsi lintujen liha” tasolla. Koska kukaan ei voi olla kaikkien elintarvikeryhmien suurkuluttaja, suurkuluttajien altistus laskettiin ottamalla kulutuksen 95. prosenttipistettä vastaavat tiedot kahdesta suurimman altistuksen tuottavasta elintarvikeryhmästä ja keskiarvokulutusta vastaavat tiedot kaikista muista. Arvioon liittyvien epävarmuuksien vuoksi Pikalaskentavälineen tuottamia altistusarvioita voi pitää oikean suuruusluokan osoittavina, mutta ei sen tarkempina. Niihin turvauduttiin lähinnä arvioitaessa lasten altistusta Fusarium-homeiden tuottamille mykotoksiineille, kun aikuisten altistuksesta oli olemassa kansallinen riskinarviointi vuodelta 2008.

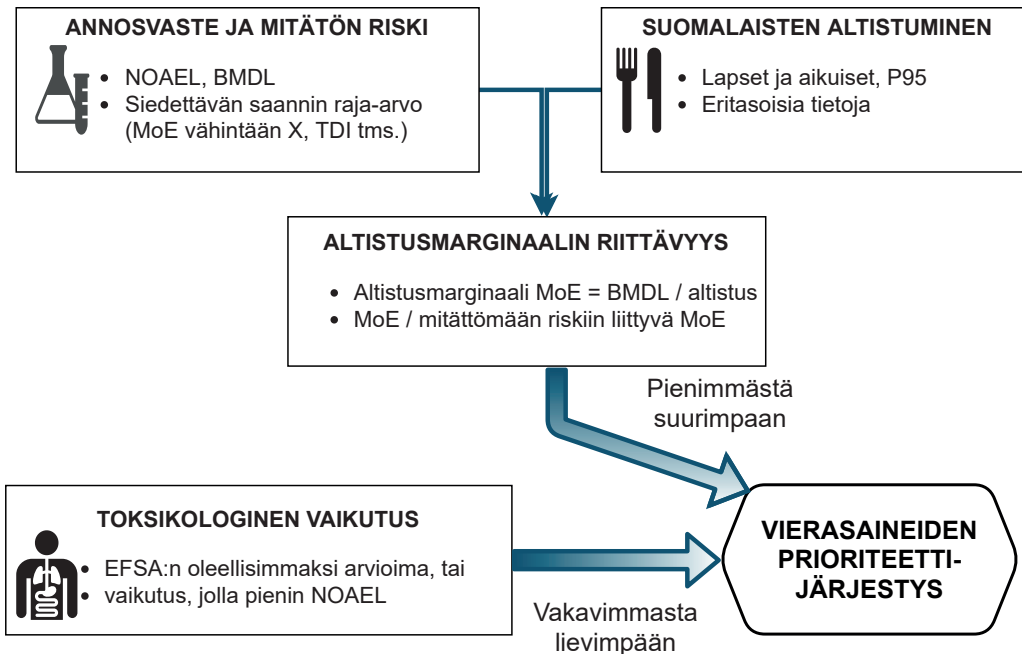
Altistus suhteutettiin mitättömän riskin altistustasoon kuten siedettävän päiväsaannin enimmäismäärään tai altistukseen, jolla altistumismarginaali (MoE, margin of exposure) on EFSA:n määrittämän vähimmäismäärän suuruinen. MoE lasketaan jakamalla toksikologinen raja-arvo kuten NOAEL tai benchmark dose tutkitun kuluttajaryhmän altistuksella.

Eriytyypisille vaikutuksille mitättömään riskiin tarvittava MoE on eri suuruinen: karsinogeenisille aineille riittävänä pidetty MoE suhteessa eläinkokeella määritettyyn raja-arvoon on tyypillisesti 10 000, kun taas ei-genotoksisille ja ei-karsinogeenisille aineille tyypillisesti riittää MoE 100. Mitättömän riskin altistus karsinogeeniselle aineelle olisi siis enintään 1/10 000 aineelle eläinkokeessa määritetystä kynnsarvosta (benchmark dosesta). Jos aineisto perustuu ihmisistä tehtyihin havaintoihin, MoE 10 tai sitäkin pienempi voi olla riittävän suuri. Altistumismarginaalin tarvittavaan suuruuteen vaikuttavat toksikologista raja-arvoa määritettäessä käytössä olleen aineiston laatu ja arviot siitä, millaisia ovat tutkitun (eläin)populaation ja ihmisten toksikokineettiset ja toksikodynaamiset erot.

Siedettävän päiväsaannin enimmäismäärää (TDI) määritettäessä edellä kuvattu turvakerroin on jo sisällytetty arvoon, joten TDI-arvoon verrattaessa riittää, että altistus on enintään sen suuruinen.

Vierasaineet asetettiin prioriteettijärjestykseen toksikologisen ryhmänsä (A–C) ja mitättömän riskin tasoon suhteutetun altistusmääränsä perusteella luokitellen (kuva 2). Ylinnä listalla olivat ryhmän A ne vierasaineet, joilla altistus suhteessa mitättömän riskin altistustasoon oli suurinta.

Lopuksi tutkituille vierasaineille tunnistettiin kirjallisuuden tai kansallisten arvioiden perusteella suomalaisten lasten ja aikuisten tärkeimmät altistuslähteet sekä ne elintarvikeryhmät, joissa vierasaineen pitoisuudet voivat olla suurimpia. Elintarvikeryhmien tunnistamisen osalta priorisointi oli saman periaatteen mukaista kuin norjalaisten (VKM 2019) menetelmässä. Samalla tunnistettiin pitoisuustietojen tai toksikologisten tietojen puutteet, jotka voivat vaatia tarkempia tutkimuksia kansallisesti tai kansainvälisesti. Tätä arvioinnin vaihetta esittää kuva 3.



Kuva 2. Vierasaineiden priorisoinnissa huomioitut tekijät: toksikologisen vaikutuksen vakavuus ja riskin suuruus. Toksikologisen vaikutuksen arviointi on esitetty kuvassa 1. Riskin suuruus on kuvassa esitetty altistusmarginaalin riittävyyden kautta. Mitä pienempi altistusmarginaali on suhteessa mitättömän riskin altistusmarginaaliin, sitä suurempi riski on.



Kuva 3. Kansallisten pitoisuustietojen hankkimisen tärkeysjärjestystä arvioitaessa huomioitut tekijät. Tarkastelu tehtiin kullekin aineelle elintarvikeryhmätasolla, esimerkiksi "viljat ja viljatuotteet", ja vierasaineiden keskinäinen järjestys määräytyi riskin suuruuden ja terveyshaitan vakavuuden perusteella.

3 Elintarvikkeiden vierasaineet: altistus, vaikutukset ja luokittelu

Luvussa 3 esitellään tiiviisti raportissa tutkittujen vierasaineiden priorisoinnissa huomioidut terveyshaitat, toksikologiset vertailuarvot sekä arviot suomalaisten suurkuluttajien altistuksesta. Aine-esittely perustelee kullekin vierasaineelle käytetyn toksisuusluokan. Tarkemmat kuvaukset vierasaineiden toksikologisista ominaisuuksista on koottu Liitteeseen 1 ja yksityiskohdat pitoisuus- ja altistusaineistoista sekä raportissa käytetyistä oletuksista Liitteeseen 2.

Riskin suuruuden arviointiin käytettiin altistusjakauman 95. prosenttipistettä (P95) kuvaamaan vierasainetta sisältävien tuotteiden suurkuluttajan tilannetta. P95-altistuksen käyttö tarkoittaa, että 95 %:lla tarkastelun kohteena olevasta ikäryhmästä altistus on enintään koostetaulukossa esitetyn arvon suuruinen. Priorisointivaiheessa huomioitiin suomalaisista lapsista ja aikuisista enemmän altistuva ikäryhmä. Käytännössä nämä luvut yliarvioivat altistusta laskennassa käytettyjen oletusten vuoksi, kuten siksi, että osassa arvioiden perustana olevista elintarvikenäytteistä pitoisuudet olivat alle menetelmän määrittämissä rajat (LOQ). Altistus oli arvioitu ns. upper bound eli UB-menetelmän mukaisesti. Siinä menetelmän herkkyydestä johtuvat puuttuvat havainnot lasketaan keskiarvoa määritettäessä määrittämissä rajat (<LOQ = LOQ).

Riskin suuruuden arvioinnissa käytettiin tarkinta saatavilla ollutta altistusarviota, vaikka se olisi perustunut valtaosin muualla kuin Suomessa mitattuihin näytteisiin. Projektissa laskettiin myös karkeita arvioita suomalaisten pitoisuustietojen ja ruoankäytön tunnuslukujen avulla, mutta näihin nojaututtiin suuremman epävarmuuden vuoksi vain, jos tarkempaa tietoa ei ollut saatavilla. Arvioon liittyvä epävarmuus on tuntematon etenkin kirjallisuuden perustuvissa tiedoissa kuluttajien altistuksen suuruudesta, ja siksi priorisointiin liittyy epätarkkuutta.

Raportin viitteet on jaoteltu luvussa 9 aineryypin mukaan.

3.1 Metallit ja puolimetallit

3.1.1 Mitä vierasaineisiin kuuluvat metallit ja puolimetallit ovat ja missä niitä esiintyy

Metallit ja puolimetallit ovat alkuaineita, ja siksi niitä esiintyy maankuoressa luontaisesti. Niiden pitoisuudet vaihtelevat alueittain maaperän ominaisuuksien mukaan. Metallisten yhdisteiden siirtymiseen maaperästä kasviin ja edelleen kasvinsyöjään, tai veteen ja siitä eläinkuntaan, vaikuttaa moni tekijä. Niitä ovat aineen kemiallinen muoto, maaperän tyyppi (etenkin tuliperäisyys lisää useiden raskasmetallien pitoisuuksia maaperässä) ja pH-arvo, kasvilaji ja -lajike sekä ruoaksi käytetty eläimen osa. Ihmisen toiminnan, kuten teollisuuden, biosidien käytön, fossiilisten polttoaineiden polton ja lannoitteissa epäpuhtautena olevien metallien, vaikutuksesta ympäristön pitoisuudet kohoavat paikallisesti tai jopa maailmanlaajuisesti, ja näin elintarvikkeiden raaka-aineisiinkin kertyy korkeampia pitoisuuksia kuin vain luontaisista määristä kertyisi. Suomella on poikkeuslupa rajoittaa kansallisesti lannoitteiden kadmiumpitoisuuksia, sillä täällä maaperän ominaisuudet edistävät kadmiumin kertymistä ja kuluttajien, erityisesti lasten, altistus ylittää siedettävän saannin enimmäismäärän. Lyijyä sisältävästä bensiinistä luopuminen 1990-luvulla on osaltaan vähentänyt suomalaisten elintarvikkeiden lyijypitoisuuksia.

Elohopea ja osin muutkin metallit ovat leviämismekanismiltaan ympäristömyrkyjä, mutta ne käsitellään tässä raportissa omana ryhmänään.

Syötävään ruokaan voi päätyä alumiinia myös muista lähteistä kuin ympäristöstä kasvun aikana: Metallista alumiinia käytetään elintarvikkepakkauksissa ja ruoanvalmistukseen tarkoitetuissa välineissä, joista elintarvikkeeseen irtoavia määriä seurataan. Lisäksi alumiiniyhdisteitä käytetään muun muassa elintarvikkeparanteina, vedenparannuksessa, lääkkeiden osana ja deodoranteissa. Suun kautta ihmiseen päätyvä alumiini ja alumiiniyhdisteet kuuluvat ainakin kolmeen eri tavoin säädeltyyn ryhmään. Pakkausmateriaaleista mahdollisesti elintarvikkeisiin irtoava alumiini kuuluu pakkauslainsäädännön alle. Lisäaineasetus (EY N:o 1333/2008) puolestaan määrittelee elintarvikkeiden lisäaineena tai niiden osina käytetyt ja käyttösovelluksiltaan sekä sallituilta enimmäismääriltään tunnetut alumiiniyhdisteet. Tässä tutkimuksessa käsitellään ainoastaan vierasaineena esiintyvää alumiinia, mikä voi aliarvioida kuluttajan kokonaisaltistusta.

Elintarvikkevalvonnan kannalta oleellisin epäorgaanisen tinan lähde ovat tinatusta pellistä valmistetut säilyketölkkit ja niistä elintarvikkeisiin liukeneva tina. Valtaosa (yli 90 %) epäorgaanisen tinan saannista on peräisin säilyketölkkeistä ja vastaavista kontaktimateriaaleista irronneesta tinasta (Hallikainen ym. 2013). Tinoa esiintyy myös orgaanisina tinayhdisteinä eli organotinana, jotka ovat paljon epäorgaanisia tinayhdisteitä myrkyllisempiä. Ne eivät kuitenkaan sisälly vierasaineasetukseen eivätkä Euroopan Komission monitorointisuositukseen, ja suomalaisten altistus on vähäistä (Hallikainen ym. 2013), joten organotina on jätetty tämän raportin ulkopuolelle.

Arsenia esiintyy ympäristössä ja elintarvikkeissa useina eri yhdisteinä. Yleisesti ottaen epäorgaaniset arseeniyhdisteet, kuten arseeni(III)trioksidi As_2O_3 , arseeni(V)pentoksidi As_2O_5 , arseniitti ja arseniatti, ovat myrkyllisempiä kuin orgaaniset arseeniyhdisteet. Vedessä arseenin katsotaan esiintyvän ainoastaan epäorgaanisena, mutta kalan pääasiallinen arseenikomponentti, arsenobetaiini, on ruoasta saatavina määrinä käytännössä haitaton. Muissa elintarvikkeissa on epäorgaanisen arseenin osuudelle kokonaisarsenin käytetty vakiokerrointa 70 %, ellei analyysimenetelmä ole erotellut epäorgaanista arsenia (EFSA 2014; Suomi ym. 2020).

Elohopeaa esiintyy sekä epäorgaanisina suoloina että orgaanisina yhdisteinä, joista elintarvikkeissa on merkittävin veden antimissa esiintyvä metyylielohopea. Elohopeapitoisuudet analysoidaan yleensä kokonaiselohopeana. Veden antimien eli kalojen, äyriäisten ja nilviäisten pääkomponentti on metyylielohopea, mutta niissä esiintyy myös epäorgaanisia elohopeayhdisteitä. Muissa elintarvikkeissa katsotaan olevan vain epäorgaanista elohopeaa.

Eläimissä suurimmat raskasmetallipitoisuudet ovat sisäelimissä. Riistan lihasta suositellaan leikattavaksi pois lyijyhaulin osumakohta, mutta haulien siruja voi levitä laajemmallekin lihaan. Kansliapäällikkö Husu-Kallion blogikirjoituksessa MMM:n sivuilla (13.11.2019) todetaan haavakanavan ympäristöön leviävän 10–40 % lyijyluodista.

Tässä luvussa käsitellyistä metalleista ja puolimetalleista, tinaa lukuun ottamatta, on julkaistu kaksi kansallista riskinarviointia (Suomi ym. 2015 sekä Suomi ym. 2020), joissa aineiden terveysvaikutuksia ja suomalaisten lasten ja aikuisten altistusta käsitellään paljon laajemmin kuin tässä raportissa on mahdollista tehdä.

3.1.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta

Epäorgaanista tinaa lukuun ottamatta arviot suomalaisten kuluttajien altistuksesta tutkituille metalleille perustuvat kansallisiin riskinarviointeihin. Lasten raskasmetallialtistusta koskevassa

riskinarvioinnissa oli altistusta arvioitu ns. middle bound -skenaariolla, eli määritysrajan alle oleville näytteille oli käytetty pitoisuutena määritysrajan puolikasta. Siksi arviot ovat suhteessa hiukan pienemmät kuin aikuisten raskasmetallialtistusta koskevat, jotka oli laskettu tässä työssä muuten käytetyllä upper bound -skenaariolla. Arvio laskettiin myös EFSA:n raporteissa julkaistuilla, valtaosin keskieurooppalaisiin pitoisuuksiin perustuvilla upper bound -skenaarion lukuarvoilla. Koska prioriteettijärjestys ei niitä käyttäen selvästi muuttunut, tässä raportissa esitetään vain kansalliseen arvioon perustuvat lukemat.

Taulukko 1. Suomalaisten lasten (enemmän altistuva ryhmä vaihtoehtoista 1-vuotiaat tai 3–6-vuotiaat) ja aikuisten altistus tutkituille metalleille ja puolimetalleille. Skenaariot UB = upper bound, MB = middle bound.

Aine	Altistus, P95 (µg/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
Alumiini	58,9	aikuiset	Finravinto 2012, pitoisuustiedot valtaosin kirjallisuudesta, UB	1
Epäorg. arseeni	0,96	1 v	DIPP, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, MB	2
	0,91	1 v	DIPP, EU-alueen pitoisuustiedot, UB	3
	0,26	aikuiset	Finravinto 2012, EU-alueen pitoisuustiedot, UB	3
	0,37	aikuiset	Finravinto 2012, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, UB	1
Metyylielohopea	0,07	1 v	DIPP, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, MB	2
	0,11	aikuiset	Finravinto 2012, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, UB	1
Epäorg. elohopea	0,2	1 v	DIPP, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, MB	2
	0,077	aikuiset	Finravinto 2012, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, UB	1
Kadmium	0,69	1 v	DIPP, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, MB	2
	0,29	aikuiset	Finravinto 2012, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, UB	1
Lyijy	0,98	1 v	DIPP, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, MB	2
	0,44	aikuiset	Finravinto 2012, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, UB	1
Nikkeli	4,74	aikuiset	Finravinto 2012, kotimaisia pitoisuustietoja täydennetty kirjallisuudesta, UB	1
	13,1	3–6 v	DIPP, EU-maista kootut pitoisuustiedot, UB	4
Epäorg. tina	1600	3–6 v	DIPP- ja Finravinto 2012 -aineistojen tunnusluvut kasvisten, hedelmien ja mehujen kulutuksesta (worst case -oletus: kaikki ko. ryhmien tuotteet tölkitettyjä), Suomessa mitatut pitoisuudet	tämä työ
	790	aikuiset		

(1) Suomi ym. 2020

(2) Suomi ym. 2015

(3) EFSA 2021

(4) EFSA 2020

3.1.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu

Vierasaineiden toksikologiaa ja viipymää elimistössä on käsitelty laajemmin Liitteessä 1. Taulukkoon 2 on koottu kunkin vierasaineen se terveysvaikutus, jonka perusteella EFSA on määrittänyt sille riskinarvioinnissa käytetyn toksikologisen vertailuarvon (terveysperustaisen ohjearvon). Joillekin aineille on määritetty useita vertailuarvoja: esimerkiksi lyijylle on määritetty BMDL-arvot myös munuaisvaurion kehittymiselle ja verenkiertoelimistön vaurioihin liittyvälle verenpaineen nousulle. Taulukossa esitetyt arvot ovat pienimmät aineelle määritetyistä vertailuarvoista. Ainoana poikkeuksena on epäorgaaninen arseeni, jolle EFSA on vuoden 2009 arviossaan määrittänyt BMDL₀₁-arvon sijasta arvovälin 0,30–8,0 µg/kg rp/vrk. Näin laajaan arvoväliin vertaaminen on vaikeaa johtopäätösten teon kannalta, joten arseenille käytettiin vertailuarvona WHO:n ja FAO:n yhteisen asiantuntijaelimen JECFA:n myöhemmin määrittämää arvoa. Kadmiumille altistuminen on liitetty osteoporoottisten murtumien tautipaineen kasvuun menopaussin ohittaneilla naisilla jo 50 % siedettävästä viikkosaannista ylittävänä määrinä. Kadmiumille on siksi taulukossa kaksi riviä, mutta osteoporoosi-riskiä on tarkasteltu vain aikuisväestölle.

Taulukko 2. Metallien ja puolimetallien terveysperustaiset ohjearvot sekä terveyshaitta, jonka perusteella arvo on määritetty. Terveysperustaisia ohjearvoja ovat siedettävä viikkosaanti (TWI) tai siedettävä päiväsaanti (TDI), benchmark dose -arvon alempi luottamusraja (BMDL), haittavaikutuksia aiheuttamaton annos (NOAEL) ja pienin haittavaikutuksia aiheuttava annos (LOAEL). TWI- ja TDI-arvot sekä akuutin altistuksen ARfD-arvo sisältävät jo turvakertoimen, joten niitä pienempi altistus on riskiltään merkityksetön. Muille vertailuarvoille tarvittu turvakertoimet mitättömän riskin altistuksen määrittämiseksi vaihtelevat välillä 2,5–30 000. Ainekohtaisessa priorisoinnissa käytetyt luokat A, A-edc, B ja C on perusteltu neljännessä sarakkeessa. Viikkoa kohden ilmoitetuille vertailuarvoille on suluissa merkitty yhtä päivää vastaava annos, jotta vertailu taulukkoon 1 olisi helpompaa.

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Alumiini, Al	1000 µg/kg rp/viikko (TWI) (1) (= 143 µg/kg rp/vrk)	Keskushermostovauriot ihmisellä	B: vakava elinvaurio, mutta sille kynnysarvo
Arseeni, As (epä-organinen)	3,0 µg/kg rp/vrk (BMDL _{0,5} , JECFA) (2)	Keuhkosityövän (ja muiden syöpien, hiukan suuremmilla annoksilla) esiintymisriskin kasvu. Mitättömän riskin annos määritettiin samoilla kertoimilla kuin Ruotsissa (Sand ym. 2015), turvakertoimenä oli siis 1 000.	A: karsinogeeni eikä kynnysarvoa
Elohopea, Hg (epä-organinen)	4,0 µg/kg rp/viikko (TWI) (3) (= 0,571 µg/kg rp/vrk)	Munuaisvaurio: koe-eläimen munuaisten painon kasvusta turvakertoimella johdettu raja-arvo ihmiselle	B: vakava elinvaurio, mutta sille kynnysarvo
Elohopea, Hg (metyyli-elohopea MeHg)	1,3 µg/kg rp/viikko (TWI) (3) (= 0,186 µg/kg rp/vrk)	Kehityksenaikaiset keskushermostovauriot ihmisellä	B: vakava elinvaurio, mutta sille kynnysarvo
Kadmium, Cd	2,5 µg/kg rp/viikko (TWI) (4) (=0,357 µg/kg rp/vrk)	Munuaisvaurio: merkkiaineen erittyminen virtsaan ihmisellä	B: vakava elinvaurio, mutta sille kynnysarvo
Kadmium, Cd	0,5 µg/g kreatiniinia (vastaa noin 50 % TWI-arvosta) (5)	Osteoporoottisten murtumien tautipaine vähintään kolminkertaistuu altistuksen kasvaessa 50 % TWI:stä→75 % TWI:stä	B: vakava elinvaurio, mutta sille kynnysarvo
Lyijy, Pb	0,50 µg/kg rp/vrk (BMDL ₀₁) (6)	Kehityksenaikaiset keskushermostovauriot ihmisellä, ei kynnysarvoa. Altistus vastaa veren pitoisuutta 12 µg/l.	A: sikiövauriot eikä kynnysarvoa

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Nikkeli, Ni	13 µg/kg rp/vrk (TDI) (7)	Sikiökuolleisuuden kasvusta rottakokeessa johdettu raja-arvo ihmiselle; epidemiologisissa aineistoissa ei ole havaittu työperäisenkään nikkeli-altistuksen vaikuttavan ihmisen hedelmällisyyteen	B: vakava elinvaurio, mutta sille kynnyсарvo
Nikkeli, Ni	0,14 µg/kg rp/vrk (LOAEL/30) (7)	Ihmisillä pienin kosketusihottuman tyyppisiä oireita aiheuttava annos (LOAEL 4,3 µg/kg rp/vrk) jaettuna riittäväksi katsotulla turvakertoimella 30	Akuutti luokka 2: muut kuin hengen-vaaralliset oireet
Tina, Sn (epä-organinen)	14000 µg/kg rp/viikko (TWI) (8) (= 2000 µg/kg rp/vrk)	Ruoansulatuselimistön vaivat	C: lievät ja ohimenevät vaikutukset

(1) EFSA 2008 (2) JECFA 2011 (3) EFSA 2012 (4) EFSA 2009 (5) Engström 2011
 (6) EFSA 2010 (7) EFSA 2020 (8) JECFA 2006

3.2 Mykotoksiinit

3.2.1 Mitä mykotoksiinit ovat ja missä niitä esiintyy

Mykotoksiinit ovat homeiden tuottamia myrkyllisiä aineita. Tässä luvussa käsitellyt homemyrkyt syntyvät useiden eri homesienten tuottamina. Niitä esiintyy pääasiassa kasvukunnan tuotteissa, mutta osa myrkyistä voi päätyä rehun kautta myös eläinperäisiin elintarvikkeisiin.

Aspergillus-suvun eri homesienet voivat tuottaa aflatoksiineja, okratoksiineja, sitriniiniä ja sterigmatokystiiniä. *Alternaria*-suvun homesienet ovat yleisiä kasvintuhoojia viljoissa, öljysiemenissä, hedelmissä ja vihanneksissa. Ne tuottavat alternariatoksiineja, joista tässä raportissa tarkastellaan alternariolia (AOH), alternariolimonometyylieetteriä (AME), tenuatsonihappoa (TeA) ja tentoksiinia (TEN), joiden toksisuudesta EFSA:lla (EFSA 2016) on eniten tietoa.

Fusarium-home eli punahome on lauhkeassa ilmastossa viihtyvä ja kasvaa erityisesti viljoissa tuottaen useita toksiineja, joista vierasaineina valvotaan deoksinivalenolia, fumonisiinejä, T2- ja HT2-toksiineja sekä zearalenonia. *Penicillium*-homeet voivat tuottaa okratoksiineja, patuliinia ja sitriniiniä. Sitriniiniä syntyy myös *Monascus purpureus* -punahiivan tuottamana, ja siksi sitä on havaittu riisipohjaisista ravintolisistä, joita on käytetty Aasiassa myös elintarvikkeiden värjäämiseen. Lupiinia vaivaavat *Diaporthe toxica* -homeet tuottavat fomopsiineja.

Aflatoksiineja tuottavia homesieniä esiintyy erityisesti kuumassa ja kosteassa ilmastossa. Niistä *Aspergillus flavus* on laajemmalle levinnyt. Sitä esiintyy etenkin kasvin maanpäällisissä osissa ja se tuottaa B-aflatoksiineja. *A. parasiticus* on sopeutuneempi maaympäristöön ja tuottaa sekä B- että G-aflatoksiineja. Yleisin ja haitallisin aflatoksiineista on aflatoksiini B1 (AFB1). Aflatoksiini M1 (AFM1) on AFB1:n tärkein metaboliitti ihmisissä ja eläimissä, ja sitä voi erittyä maitoon, jos eläintä on syötetty kontaminoituneella rehulla. Kokonaisaflatoksiinit (AF total) tarkoittaa tavallisesti aflatoksiinikongeneerien AFB1, AFB2, AFG1 ja AFG2 summaa (EFSA 2020).

Suomalaisten lehmien maidossa esiintyy ajoittain AFM1:tä, mikäli rehu on saastunut AFB1:llä. Muita aflatoksiineja esiintyy EU-alueella lähinnä tuontituotteissa, mutta ilmastomuutos saattaa tehdä Euroopan sopivammaksi näille homesienille. Aflatoksiineja todetaan usein pähkinöissä

ja maapähkinöissä, maississa, riisissä (etenkin tumma basmatiriisi), maissi- ja soijajauhoissa, muissa viljoissa ja viljatuotteissa, mausteissa, viikunoissa, eräissä tuontirehuissa ja rehujen raaka-aineissa (Hallikainen ym. 2013). Suurin osa kuluttajien altistuksesta eri puolilla maailmaa tulee kontaminoituneista maissista, maapähkinöistä tai riisistä (JECFA 2017). EFSA:n arviossa viljatuotteiden osuus kokonaisaltistuksesta oli useissa maissa yli 50 % ja muita suuria lähteitä olivat muun muassa yrtit, makeiset ja hedelmätuotteet; pähkinöiden osuus ylitti 25 % kokonaisaltistuksesta vain joissakin aikuisväestöä koskevissa tutkimuksissa (EFSA 2020).

Fusarium-toksiineista deoksinivalenoli (DON) ja sen metaboliitit kuten 3-asetyyli-DON, 15-asetyyli-DON ja DON-3-glukosidi ovat yleisesti Euroopassa esiintyviä mykotoksiineja. Deoksinivalenoli on parhaiten tunnettuja mykotoksiineja. Sitä ja sen johdannaisia esiintyy yleisimmin vehnässä, ohrassa, kaurassa, rukiissa ja maississa (EFSA 2017).

Fumonisiineja esiintyy erityisesti lämpimässä ilmastossa kasvavassa maississa (EFSA 2005), ja niitä on löydetty myös riisistä (JECFA 2016). Fumonisiiniyhdisteitä tunnetaan ainakin 12 erilaista, joista yleisimmin ruoassa esiintyviä ovat fumonisiini B1, B2, B3 ja B4 (JECFA 2016). Lisäksi fumonisiineja esiintyy suurina pitoisuuksina kryptisessä muodossa eli tavallisilla analyysimenetelmillä erottumattomina. Mykotoksiinien kryptiset muodot tunnetaan huonosti eikä niiden myrkyllisyydestä ole riittävästi tietoa. Matriisin yhdisteisiin kovalenttisesti sitoutuneet mykotoksiinien reaktiotuotteet tai prosessoinnin yhteydessä kovalenttisia sidoksia muodostaneet mykotoksiinit ovat toksikologiselta profiililtaan samanlaisia kuin fumonisiini B1, mutta niiden potenssi on pienempi eli samansuuruinen annos tuottaa heikomman vaikutuksen.

T2- ja HT2-toksiinit ovat trikotekeenien yhdisteryhmään kuuluvia seskviterpeenejä, joita esiintyy viljoissa. Sienet, kasvit ja eläimet muodostavat näistä toksiineista monenlaisia metaboliitteja, joiden esiintymistä elintarvikkeissa ei tunneta hyvin (EFSA 2017).

Zearalenonia ja sen yhdisteitä esiintyy kasvikunnan tuotteista erityisesti viljoissa ja viljatuotteissa. Joissakin tutkimuksissa näitä mykotoksiineja on havaittu pieninä määrinä myös eläinkunnan tuotteissa, etenkin maksassa (EFSA 2016). Yhdysvalloissa ja joissakin muissa maissa zearalenonin estrogeeniagonistisesti vaikuttavaa aineenvaihduntatuotetta zeranolia käytetään nautojen kasvun edistämiseen (Mukherjee ym 2014).

Suomessa viileän ilmaston vuoksi okratoksiineja tuottavat lähinnä *Penicillium*-homeet, joista tärkeimpiä okratoksiinien lähteitä ovat *P. verrucosum* ja *P. nordicum*, mutta lämpimämmässä ilmallassa okratoksiinien tuottoon osallistuvat *Aspergillus*-suvun luokkiin *Circumdati* ja *Nigri* kuuluvat lajit (EFSA 2006; Marin ym 2013). Okratoksiineja voi esiintyä viljojen lisäksi muissakin kasvikunnan tuotteissa kuten hedelmissä ja mausteissa.

Patuliinia esiintyy useissa hedelmissä kuten viinirypäleissä, appelsiineissa ja päärynässä, mutta sen tärkein lähde ihmisellä ovat omena ja omenatuotteet. Patuliinia muodostuu erityisesti hedelmissä, joiden pinta on vaurioitunut. Hedelmämehujen alkoholikäyminen tuhoaa patuliinia (Komission suositus K(2003)2866), joten sitä ei ole käymisen avulla saaduissa tuotteissa, ellei niihin ole käymisen jälkeen lisätty omenamehua.

Sitriniiniä muodostuu useiden eri homeiden ja hiivojen tuottamana erityisesti varastointiaikana, ja useimmin sitä esiintyy viljoissa, mutta sitriniinipitoisuuksia on havaittu myös muissa kasvikunnan tuotteissa sekä pilaantuneissa maitotuotteissa (EFSA 2012). Punahiivan avulla valmistetuissa riisipohjaisissa ravintolisissä on myös havaittu sitriniiniä.

Sterigmatokystiini muistuttaa rakenteeltaan aflatoksiinia, ja niitä molempia tuottavat samansukuiset homeet. Sterigmatokystiiniä esiintyy pääasiassa kasvikunnan tuotteissa.

3.2.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta

Mykotoksiinialtistusta koskevat tiedot Taulukossa 3 perustuvat pääosin EFSA:n kansallisista ruoankäyttötiedoista ja EU-jäsenmaiden luovuttamista pitoisuustiedoista laskettuihin maakohtaisiin arvioihin. Suomalaisten aikuisten altistusta *Fusarium*-toksiineille on arvioitu kansallisessa riskinarvioinnissa, mutta lasten altistusta ei ole arvioitu kansallisesti, vaan sille laskettiin suuntaa antava arvio tässä työssä käytettävissä olevien kulutus- ja pitoisuustietojen avulla. Sitriiniin, sterigmatokystiiniin ja fomopsiinien saantia ja siihen liittyvää riskiä ei ole toistaiseksi kyetty arvioimaan edes Euroopan tasolla.

Taulukossa 3 on aflatoksiini M1:lle laskettu myös karkea arvio suomalaisesta maidosta mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa käyttäen. Priorisoinnissa käytettiin EFSA:n kokonaisruokavalioista tulevan altistuksen arviota, mutta karkea arvio osoittaa, että eurooppalaiset keskiarvopitoisuudet voivat yliarvioida etenkin tämän mykotoksiinin riskiä.

Taulukko 3. Suomalaisten lasten (enemmän altistuva ryhmä vaihtoehtoista 1-vuotiaat tai 3–6-vuotiaat) ja aikuisten altistus tutkituille mykotoksiineille. Tässä työssä tehdyt arviot ovat karkeita ja lukuarvot suuntaa antavia.

Aine	Altistus, P95 (µg/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
Aflatoksiinit (AF total)	0,011	3–6 v	Suomen ruoankäyttötiedot (koko ruokavalio) ja EU-alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvot	1
	0,0095	aikuiset		
Aflatoksiini B1	0,0066	3–6 v	Suomen ruoankäyttötiedot (koko ruokavalio) ja EU-alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvot	1
	0,0049	aikuiset		
Aflatoksiini M1	0,0024	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot (koko ruokavalio) ja EU-alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvot	1
	0,0005	aikuiset		
	0,000079	lapset	Suomen ruoankäyttötiedoista maidon P95-kulutus ja valvontanäytteiden keskiarvo, jossa <LOQ = 0	tämä työ
Alternariatoksiini AOH	0,11	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot ja EU-alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvot	2
	0,041	aikuiset		
Alternariatoksiini AME	0,058	1 v		
	0,026	aikuiset		
Alternariatoksiini TeA	0,530	3–6 v		
	0,360	aikuiset		
Alternariatoksiini TEN	0,052	3–6 v		
	0,029	aikuiset		
Fomopsiinit	ei tietoja		Ei tietoa pitoisuuksista elintarvikkeissa (EFSA)	

Aine	Altistus, P95 (µg/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
Deoksinivalenoli	7,1	1 v	Viljojen ja lastenruokien kulutuksen tunnusluvut ja Suomessa mitatut näytteet	tämä työ
	0,18	aikuiset	kansallinen riskinarviointi	3
T2- ja HT2-toksiinit	2,00	1 v	Viljojen ja lastenruokien kulutuksen tunnusluvut ja Suomessa mitatut näytteet	tämä työ
	0,060	aikuiset	kansallinen riskinarviointi	3
Zearalenoni	0,50	1 v	Viljojen ja lastenruokien kulutuksen tunnusluvut ja Suomessa mitatut näytteet	tämä työ
	0,050	aikuiset	kansallinen riskinarviointi	3
Fumonisiinit	3,26	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot ja EU-alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvot	4
	0,99	aikuiset		
Oktratoksiini A	0,022	3–6 v	Suomen ruoankäyttötiedot ja EU-alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvot	5
	0,011	aikuiset		
Patuliini	0,49	1 v	suomalaisten ruoankäytön tunnusluvut ja Suomessa mitatut näytteet	tämä työ
	0,27	aikuiset		
Sitriniini	ei tietoja		Ei tietoa kuluttajien altistuksesta (EFSA)	
Sterigmatokystiini	ei tietoa		Pitoisuudet liian matalia altistuksen arvioimiseksi (EFSA)	

(1) EFSA 2020 (2) EFSA 2016 (3) Rautala ym. 2008 (4) EFSA 2014 (5) EFSA 2020

3.2.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu

Vierasaineiden toksikologiaa ja viipymää elimistössä on käsitelty laajemmin Liitteessä 1. Taulukkoon 4 on koottu kunkin vierasaineen se terveysvaikutus, jonka perusteella EFSA on määrittänyt sille riskinarvioinnissa käytetyn toksikologisen vertailuarvon (terveysperustaisen ohjearvon). Oktratoksiini A on arvioitu kahden terveysvaikutuksen mukaan, sillä ei ole varmuutta siitä, onko sen genotoksisuus suoraa. Sen tarkastelu genotoksisena karsinogeeninä voi siis yliarvioida todellista riskiä.

Taulukko 4. Mykotoksiinien terveystasot ja terveyshaitta, jonka perusteella arvo on määritetty. Terveystasot ovat siedettävä viikkosaanti (TWI) tai siedettävä päiväsaanti (TDI), benchmark dose -arvon alempi luottamusraja (BMDL), haittavaikutuksia aiheuttamaton annos (NOAEL), pienin haittavaikutuksia aiheuttava annos (LOAEL) sekä toksikologisen riskin kynnysarvo (TTC). TWI- ja TDI-arvot, TTC sekä akuutin altistuksen ARfD-arvo sisältävät jo turvakertoimen, joten niitä pienempi altistus on riskiltään merkityksetön. Muille vertailuarvoille tarvittavat turvakertoimet mitättömän riskin altistuksen määrittämiseksi vaihtelevat välillä 2,5–30 000. Ainekohtaisessa priorisoinnissa käytetyt luokat A, A-edc, B ja C on perusteltu neljännessä sarakkeessa.

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Aflatoksiini B1	0,40 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (1)	Maksasyövän ilmenemisen BMDL ₁₀ urosrotilla. Riittävä altistusmarginaali 10 000, kuten genotoksisilla aineilla yleensä.	A: genotoksinen karsinogeeni
Aflatoksiinit: kokonais-aflatoksiinit (B1, B2, G1 ja G2)	0,40 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (1)	Aflatoksiini B1:n vertailuarvo. Kongeneerit B2, G1 ja G2 ovat vähemmän myrkyllisiä, mutta niille ei ole raportoitu tarkkoja annosvasteita.	A: genotoksinen karsinogeeni (niukasti tietoa joistakin kongeneereistä)
Aflatoksiini M1	0,40 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) ja potenssikerroin 0,1 (1)	Aflatoksiini B1:n vertailuarvo ja M1:n vähäisemmästä myrkyllisyydestä johtuva potenssikerroin.	A: genotoksinen karsinogeeni
Alternariatoksiinit AOH (alternarioli) ja AME (alternarioli-monometyyli-eetteri)	0,0025 µg/kg rp/vrk (TTC) (2)	Ei ainekohtaisia toksisuustutkimuksia. Toksikologisen riskin kynnysarvo (TTC) rakenteen perusteella: toksiinien rakenteessa on genotoksisille aineille tyypillisiä piirteitä.	A: genotoksinen karsinogeeni
Alternariatoksiinit TeA (tenuatsonihappo) ja TEN (tentoksiini)	1,5 µg/kg rp/vrk (TTC) (2)	Ei ainekohtaisia toksisuustutkimuksia. Toksikologisen riskin kynnysarvo (TTC) rakenteen perusteella: toksiinit kuuluvat Cramer-luokkaan II tai III. Eivät genotoksisia.	B: vakavat elinvauriot
Fomopsiinit	Riittämätön tieto annos-vaste-suhteista (3)	Munuais- ja keskushermostovaurioita, lampaalla LOAEL 12,5 µg/kg rp/vrk. Tieto genotoksisuudesta puutteellista.	A: mahdollisesti genotoksinen karsinogeeni
Fusarium-toksiinit: Deoksinivalenoli	1 µg/kg rp/vrk (TDI) (4)	Hiirikokeessa havaitun painonnousun hidastumisen ja turvakertoimen avulla määritetty arvo neljän DON-yhdisteen summalle.	varmuuden vuoksi B: genotoksinen <i>in vitro</i> ilmeisesti oksidatiivisen stressin kautta; TDI-arvon perustana oleva vaikutus olisi luokkaa C
Fusarium-toksiinit: Deoksinivalenoli	8 µg/kg rp/ateria (ARfD) (4)	Ihmisellä oksentelun laukaisevan annoksen NOAEL-arvosta turvakertoimella määritetty viitearvo neljän DON-yhdisteen summalle.	Akuutti luokka 2: muut kuin hengenvaaralliset oireet

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Fusarium-toksiinit: Fumonisiinit	1 µg/kg rp/vrk (TDI) (5)	Jyrsijäkokeissa havaitun maksa- ja munuaistoksisuuden ja turvakertoimen avulla määritetty arvo neljän fumonisiinin summalle.	B: vakavat elinvauriot
Fusarium-toksiinit: T2- ja HT2-toksiinit	0,02 µg/kg rp/vrk (TDI) (6)	Rottakokeessa havaitun immunotoksisuuden ja hematotoksisuuden (valkosolujen määrän väheneminen) sekä turvakertoimen avulla määritetty arvo	C: veriarvojen muuttuminen
Fusarium-toksiinit: T2- ja HT2-toksiinit	0,3 µg/kg rp (ARfD) (6)	Minkillä todettu oksennusreaktio	Akuutti luokka 2: muut kuin hengenvaaralliset oireet
Fusarium-toksiinit: Zearalenoni	0,25 µg/kg rp/vrk (TDI) (7)	Siialla todetun estrogeeniaktiiviteetin ja turvakertoimen avulla määritetty arvo zearalenonille, sen 26 nimetylle yhdisteelle sekä tietyille aineenvaihduntatuotteille yhteensä. Määrä on ilmoitettu zearalenoni-ekvivalentteina.	A-edc: luokiteltu hormonihäiriköksi estrogeeninkaltaisten ominaisuuksien vuoksi; vaikutuksella saattaa tosin olla kynnsarvo
Okratoksiini A	14,5 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (8)	Rottakokeen munuaissyöpien ilmenemisen BMDL ₁₀ . Riittävä altistusmarginaali 10 000, kuten genotoksisilla aineilla yleensä.	A: genotoksinen karsinogeeni; ei varmaa, että genotoksisuus suuraa
Okratoksiini A	4,73 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (8)	Siialla todettu munuaisvaurioiden kehittyminen.	B: vakavat elinvauriot
Patuliini	0,4 µg/kg rp/vrk (PMTDI) (9)	Eläinkokeissa todettu vaikutuksia lisääntymisterveyteen ja karsinogeenisyyttä. Karsinogeenisyydestä ei silti ole riittävästi tietoa (10).	A: voi vaurioittaa kromosomeja. Aineella on ilmeisesti kynnsarvo, joten luokittelu on varovainen.
Sitriiniini	0,2 µg/kg rp/vrk (NOAEL/100) (11)	Lyhytkestoisen (3 kk) rottakokeen munuaistoksisuuden NOAEL jaettuna turvakertoimella. Aineiston rajoitteiden vuoksi EFSA ei määrittänyt TDI-arvoa. Genotoksisuutta ja karsinogeenisyyttä ei voi sulkea pois saatavilla olevan toksikologisen aineiston perusteella.	B: vakavat elinvauriot
Sterigmatokystiini	160 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (12)	Maksatoksinen useilla eläimillä, lisäksi karsinogeeninen ja genotoksinen. Riittävä altistusmarginaali 10 000, kuten genotoksisilla aineilla yleensä.	A: genotoksinen karsinogeeni (itsessään tai aineenvaihduntatuotteet)

(1) EFSA 2020 (2) EFSA 2016 (3) EFSA 2012 (4) EFSA 2017 (5) EFSA 2018 (6) EFSA 2017
(7) EFSA 2016 (8) EFSA 2020 (9) JECFA 1995 (10) Pal ym 2017 (11) EFSA 2012 (12) EFSA 2013

3.3 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet

3.3.1 Mitä sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet ovat ja missä niitä esiintyy

Ergotalkaloideja muodostuu viljakasvien ja heinien tähkissä loisivan *Claviceps purpurea* -sienen rihmastopakhoissa, joita sanotaan torajyviksi, koska ne ovat tummanruskeita ja torahampaan kaltaisia. Tärkeimpiä ergotalkaloideja ovat ergometriini, ergotamiini, ergosiini, ergokristiini, ergokryptiini ja ergokorniini, ja monitorointi suositellaan keskitettäväksi niihin. Jokaisella näistä on myös biologisesti epäaktiivinen -iniinimuoto, siis ergometriniini jne. (EFSA 2017). Näytteistä, joista oli määritetty kvantitatiivisesti ainakin osa näistä kahdestatoista ergotalkaloidista, yleisimpiä olivat ergotamiini, ergosiini ja ergokristiini, ja yllä luetellut kuusi monitoroinnissa keskeistä ergotalkaloidia muodostivat kokonaispitoisuudesta keskimäärin 75 % (EFSA 2017). Osa ergotalkaloideista on hyvin myrkyllisiä ihmisille ja kotieläimille, ja torajyvät ovatkin aiheuttaneet vuosisatojen aikana laajoja myrkytys- eli ergotismiepidemiaita, joissa oireita ovat sekavuus, raajojen kärkiosien kuolio ja jopa kuolema. Viimeisin ergotismiepidemia on esiintynyt Etiopiassa 2001 (Hallikainen ym. 2013). Toisaalta ergotalkaloidien vaikutuksia on hyödynnetty myös lääkinällisesti, ja niinpä torajyvää on 1900-luvun puolivälissä viljelty mm. migreenilääkkeiden raaka-aineeksi (Hannukkala).

Ergotalkaloidien määrää ei voi päätellä torajyvien läsnäolosta, sillä näkyvät torajyvät eivät aina johda määritysrajan ylittäviin ergotalkaloidipitoisuuksiin, ja välillä pitoisuudet kohoavat ilman näkyviä torajyviä (EFSA 2017). Ergotalkaloidit eivät tietävästi kerry eläimen syötäviin kudoksiin, joten niiden tutkiminen muista elintarvikkeista kuin viljoista ja viljatuotteista ei ole aiheellista. Torajyvämyrkyksestä kärsivien eläinten, kuten Ruokaviraston tammikuussa 2020 julkaiseman uutisen hirvieläinten (<https://www.ruokavirasto.fi/laboratoriopalvelut/ajankohtaista-laboratoriopalveluista/tynkakorvia-ja-kuoliosorkkia--torajyvämyrkytys-hirvielaimissa/>), liha voi eläimen kunnosta riippuen olla kuitenkin syömäkelvotonta.

Erukahappo on omega-9-rasvahappoihin kuuluva *cis*-13-dokoseenihappo. Sitä esiintyy korkeina pitoisuuksina ristikukkaisten (*Brassicaceae*) heimon kuuluvien kasvien siemenissä, joissa sen osuus kaikista rasvahapoista saattaa olla jopa 60 %. Ristikukkaisia kasvilajeja, joiden siemeniä käytetään elintarvikkeina, ovat esimerkiksi rypsi, rapsi ja sinappi. Viljelyyn käytetään kuitenkin jalostettuja lajikkeita, jotka sisältävät vain hyvin pieniä määriä erukahappoa. Erukahappoa esiintyy pieninä määrinä luontaisesti myös kalassa ja muissa merenelävissä, ja rehussa esiintyvää erukahappoa voi kulkeutua eläinperäisiin elintarvikkeisiin (EFSA 2016).

Nitraatti, NO₃⁻, on typen kiertokulkuun liittyvä luonnossa esiintyvä yhdiste, jota käytetään maataloudessa lannoitteena ja jota kasvit tuottavat myös itse. Korkeimmat luontaiset pitoisuudet ovat lehtivihannesten lehdistä, kun taas yleisesti ottaen juuriosassa on vähemmän nitraattia. Pitoisuudet vaihtelevat kuitenkin suuresti kasvilajikkeen, kasvuolosuhteiden ja elintarvikkeen prosessoinnin myötä. Nitraattia käytetään myös lisäaineena (E251, E252), mutta altistus lisäainekäytöstä on huomattavasti vähäisempi kuin luontaisista lähteistä saatava altistus (Suomi ym. 2013).

Oopiumalkaloideja ovat muun muassa morfiini, kodeiini, thebaiini ja oripaviini, mutta tässä raportissa keskitytään vain kahteen ensimmäiseen, joista on eniten toksikologista tietoa. Oopiumalkaloideja esiintyy luontaisesti oopiumunikossa (*Papaver somniferum* L.). Alkaloidien kertyminen unikkoon riippuu sekä perimästä että ympäristö-/viljelyolosuhteista. Kypsissä unikonsiemenissä ei normaalisti ole hartsia, joka sisältää oopiumalkaloideja, mutta ne voivat kontaminoitua alkaloideilla kasvintuhoojien vaikutuksesta tai keruun aikana (EFSA 2018). Unikonsiemenistä on jalostettu sekä paljon alkaloideja sisältäviä, lääkkeiden raaka-aineiksi tarkoitettuja lajikkeita, että elintarvikekäyttöön vähemmän alkaloideja sisältäviä. Lääkinällisiin tarkoituksiin viljeltyjä unikonsiemeniä käytetään kuitenkin

sivutuotteena elintarvikkeissa. Oopiumalkaloideja voi siis esiintyä myös unikonsiemeniä sisältävissä (leipomo- ym.) tuotteissa.

Pyrrrolitsidiinialkaloideit ovat yhdisteitä, joita kasvit tuottavat suojautuakseen kasvinsyöjiltä. Niitä tunnetaan yli 600 erilaista, ja yli 6 000 kasvilajin tiedetään tuottavan niitä. Euroopan komission kokoama lista keskeisimmistä elintarvikkeissa esiintyvistä pyrrrolitsidiinialkaloideista sisältää 28 eri yhdistettä. Elintarvikkeista erityisesti tee ja yrttijuomat, hunaja ja kasvipölyt sekä siitepölyä sisältävät ravintolisät voivat sisältää runsaasti pyrrrolitsidiinialkaloideja.

Vetycyanidi (HCN) eli syaanivety, syaanivetyhappo tai sinihappo on väritön, syttyvä, vesiliukoinen ja hyvin myrkyllinen yhdiste. Sitä muodostuu syaanidisuolojen, esimerkiksi kaliumsyaanidin, reagoissa happojen kuten mahahapon kanssa. Sen kiehumispiste on vain hiukan huoneenlämpöä korkeampi, joten metallien pintakäsittelyn yhteydessä tai hyönteismyrkkikäytössä työntekijä voi altistua myös hengitysilman kautta. Työperäinen altistus jää kuitenkin tämän raportin ulkopuolelle. Tässä raportissa syaanideja koskeva osio painottuu kasviksissa luontaisesti esiintyviin syanogeenisiin yhdisteisiin. Ne ovat aineita, joita kasvi tuottaa ns. sekundäärisinä aineenvaihduntatuotteina suojautuakseen syödyksi tulemiselta ja jotka elimistössä tai jo ennen elimistöön joutumistakin voivat entsyymireaktion seurauksena vapauttaa vetycyanidia (Abraham ym. 2016). Syanogeenisiä glykosideja on mm. kassavassa, durrassa, pellavansiemenissä, limapavuiissa, nuorissa bambunversoissa, omenahedelmien siemenissä, kirsikassa ja karvasmantelissa sekä valmistusprosessista riippuen jääminä näistä valmistetuissa tuotteissa, esim. marsipaanissa. Amygdaliini, jota on omenahedelmien kivissä, kirsikassa ja karvasmantelissa, tuottaa karvaan makuista ja karvasmantelilta tuoksuvaa bentsaldehydiä. Kassavassa ja pellavassa esiintyvä linamariini on mautonta.

Tetrahydrokannabinoli (THC) on hampukkakasvin (*Cannabis sativa L.*) tuottama yhdiste, joka tuoreessa kasvissa esiintyy pääasiassa ei-psykoaktiivisessa prekursorimuodossaan. Ihmisravinnossa tetrahydrokannabinolia saattaa esiintyä hampukkakasvista valmistettujen tuotteiden ohella eläinperäisissä elintarvikkeissa kuten maidossa ja maitovalmisteissa sekä lihassa ja kananmunissa, joihin se voi päätyä eläinten rehujen mukana (EFSA 2015). THC:n siirtymisestä rehusta eläimen kudoksiin tai muniin on kuitenkin vielä riittämättömästi tietoa, joten EFSA ei kyennyt arvioimaan kuluttajien altistusta näistä lähteistä. Rajallinen aineisto lypsylehmistä antaa viitteitä siitä, että maitoon erittyä noin 0,1–0,15 % eläimen nauttimasta THC:stä (EFSA 2015).

Tropaanialkaloideit ovat rakenteeltaan alkaloideja, joissa on tropaanirengas $C_8H_{15}N$. Niitä tunnetaan yli 200 erilaista ja niitä tuottavat muun muassa ristikkukkasikasvit ja koisokasvit. Joitakin ryhmän alkaloideista on käytetty lääkeaineina, huumausaineina tai myrkkyinä: esimerkiksi atropiini eli (\pm)-hyoskyamiini ja kokaiini ovat tropaanialkaloideja. Tutkituimpia elintarvikkeissa esiintyviä tropaanialkaloideja ovat niin sanotut belladonna-alkaloideit eli (-)-hyoskyamiini ja (-)-skopolamiini. Tropaanialkaloideja päätyy elintarvikkeisiin kontaminaationa rikkakasvien siementen mukana. Esimerkiksi sekä skopolamiinia että hyoskyamiinia sisältävä hulluruoho kasvaa yleisenä lämpimässä ilmastossa, ja sen siemeniä on löydetty esimerkiksi linssien, soijan, hirssin, auringonkukansiementen ja tattarin joukosta. Hullukaalia kasvaa puolivillinä Suomessakin, mutta toistaiseksi melko harvinaisena.

Elintarvikkeiden tropaanialkaloidipitoisuuksista on niukasti tietoa. Uusimmassa tropaanialkaloidi-raportissaan (EFSA 2018) EFSA pystyi arvioimaan atropiinin ja skopolamiinin ohella useiden muiden hulluruoho-tropaanialkaloidien (ns. Datura-alkaloideit) saantia Euroopassa. Tärkeimpiä altistuskäsitteitä olivat viljatuotteet. Arvion mukaan eniten altistuvat lapset saattavat saada ravintonsa mukana akuutin altistuksen vertailuarvon ylittäviä määriä tropaanialkaloideja, mutta arvioon liittyy paljon analyysimenetelmien herkkyydestä johtuvaa epävarmuutta.

3.3.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta

Tässä raportin osassa käsitellyt vierasaineet ovat elintarvikekäytössä olevien kasvien tai niissä loisivien sienten tuottamia yhdisteitä. Ympäristöolosuhteilla kuten kosteudella ja maaperän laadulla on suuri vaikutus näiden vierasaineiden esiintymiseen.

Kaikki taulukossa 5 käsitellyt toksiinit poistuvat elimistöstä tunneissa tai enintään päivissä, joten ne eivät ole kertyviä.

Taulukko 5. Suomalaisten lasten (enemmän altistuva ryhmä vaihtoehtoista 1-vuotiaat tai 3–6-vuotiaat) ja aikuisten altistus tutkituille sienten tai kasvien tuottamille vierasaineille.

Aine	Altistus, P95 (µg/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
Ergotalkaloidit	0,86	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot (DIPP ja Finravinto 2012) ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	1
	0,26	Aikuiset		
Erukahappo	6480	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot (DIPP ja Finravinto 2012) ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	2
	4090	Aikuiset		
Nitraatti	3920	1 v	DIPP ja pääosin Suomessa mitatut näytteet	3
	1480	aikuiset	Finravinto 2007 ja pääosin Suomessa mitatut näytteet	
Morfiini	127	lapset	Öljysiementen käyttö-suosituksen mukainen unikonsiementen käyttö ja EFSA:n raporttoimien pitoisuuksien P95	tämä työ
	54	aikuiset		
Kodeiini	14	lapset		
	6	aikuiset		
Pyrrrolitsidiinialkaloidit	<1	yleisarvio	EFSA:n yleisarvio altistuksesta	4
Syanogeeniset glykosidit (syanidi-ekvivalentteina)	160	1 v	DIPP- ja Finravinto 2012 -aineistojen pellavankulutuksen P95 ja mehun kulutus, kirjallisuustieto pellavan ja kirsikkamehun pitoisuuksista	tämä työ
	191	aikuiset		
Tetrahydrokannabinoli	0,13	1 v	EFSA:n worst case -arvio	5
	0,029	aikuiset		
Tropaani-alkaloidit	0,038	3–6 v	Suomen ruoankäyttötiedot, EU-maista kootut pitoisuustiedot (skopolamiini ja atropiini yhteensä)	6
	0,014	aikuiset		

(1) EFSA 2017 (2) EFSA 2016 (3) Suomi ym. 2013 (4) EFSA 2016 (5) EFSA 2015
(6) EFSA 2018

3.3.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu

Vierasaineiden toksikologiaa ja viipymää elimistössä on käsitelty laajemmin Liitteessä 1. Taulukkoon 6 on koottu kunkin vierasaineen se terveysvaikutus, jonka perusteella EFSA on määrittänyt sille riskinarvioinnissa käytetyn toksikologisen vertailuarvon (terveysperustaisen ohjearvon).

Taulukko 6. Sienten ja kasvien tuottamien vierasaineiden terveysperustaiset ohjearvot sekä terveyshaitta, jonka perusteella arvo on määritetty. Terveysperustaisia ohjearvoja ovat siedettävä viikkosaanti (TWI) tai siedettävä päiväsaanti (TDI), benchmark dose -arvon alempi luottamusraja (BMDL), haittavaikutuksia aiheuttamaton annos (NOAEL) ja pienin haittavaikutuksia aiheuttava annos (LOAEL). TWI- ja TDI-arvot sekä akuutin altistuksen ARfD-arvo sisältävät jo turvakertoimen, joten niitä pienempi altistus on riskiltään merkityksetön. Muille vertailuarvoille tarvittavat turvakertoimet mitättömän riskin altistuksen määrittämiseksi vaihtelevat välillä 2,5–30 000. Ainekohtaisessa priorisoinnissa käytetyt luokat A, A-edc, B ja C on perusteltu neljännessä sarakkeessa.

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Ergotalkaloidit	0,6 µg/kg rp/vrk (TDI) (1)	Verisuonten supistumisesta johtuvat elinvauriot. Arvo on määritetty rottakokeesta ja koskee ergotalkaloidien summaa	B: vakavat elinvauriot; myös joitakin hormonitoimintaan vaikuttavia ominaisuuksia
Ergotalkaloidit	1 µg/kg rp/vrk (ARfD) (1)	Verisuonten supistuminen sekä sekavuus. Arvo on määritetty rottakokeesta ja koskee ergotalkaloidien summaa	Akuutti luokka 1: myrkytysoireet voivat aiheuttaa sikiön tai aikuisen kuoleman
Erukahappo	7000 µg/kg rp/vrk (TDI) (2)	Rasvan kertyminen sydänlihakseen vastasyntyneillä porsailla ja nuorilla rotilla; vaikutus on palautuva.	C: sydänlihaksen rasvoittuminen on palautuva tila
Nitraatti	3700 µg/kg rp/vrk (ADI) (3)	Methemoglobinemia ja siihen liittyvä elimistön hapenkuljetuskyvyn häiriintyminen (rottakokeessa). ADI-arvo on määritetty nitraatti-ionina.	C: elintarvikkeista saatavina määrinä methemoglobinemian asteeseen liittyvät terveysvaikutukset ohimeneviä
Oopiumalkaloidit: morfiini ja kodeiini	10 µg/kg rp/vrk (ARfD) (4)	Huumaavat keskushermostovaikutukset ihmisellä. ARfD on määritetty morfiinin ja kodeiinin summalle morfiiniekvivalentteina, joiden laskemiseksi kodeiinialtistus kerrotaan 0,2:lla	Akuutti luokka 2: muut kuin hengenvaaralliset oireet
Pyrrrolitsidiinialkaloidit	237 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (5)	Maksatoksinen useilla eläimillä, aineenvaihduntatuotteet karsinogeenisiä ja genotoksisia. Riittävä altistusmarginaali 10 000, kuten genotoksisilla aineilla yleensä.	A: genotoksinen karsinogeeni (aineenvaihdunnan jälkeen)

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Pyrrrolitsidiinialkaloidit	2000 µg/kg rp/vrk (LOAEL) (5)	Pienin kerta-altistuksella pikkulapselle terveystahaittoja (maksavaurio, kuolema) aiheuttanut annos.	Akuutti luokka 1: altistus voi tappaa
Syaanivety ja syanogeeniset glykosidit	20 µg/kg rp/vrk (ARfD) (6)	Soluhengityksen estyminen, tajuttomuus ja jopa kuolema. ARfD on määritetty ihmiselle haitattomana pidetystä veren syaniditasosta turvakertoimella. Syanogeenisten glykosidien osalta määrät ilmoitetaan syanidiekvivalenteina	Akuutti luokka 1: altistus voi tappaa
Tetrahydrokannabinoli	1 µg/kg rp/vrk (ARfD) (7)	Keskushermostovaikutukset ja sydämen lyöntitiheyden kasvu.	Akuutti luokka 2: muut kuin hengenvaaralliset oireet.
Tetrahydrokannabinoli	730 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (7)	Jyrsijäkokeissa pitkäaikaisaltistuksella todettu kiimakierron piteneminen eli hormonitoimintaan kohdistuva vaikutus	A-edc: vaikutukset lisääntymiseen liittyviin hormoneihin
Tropaani-alkaloidit (atropiini ja skopolamiini)	0,016 µg/kg rp/vrk (ARfD) (8)	Sydämen toiminnan häiriöt. Raja-arvo määritetty vapaaehtoisilla ihmisillä tehdyssä tutkimuksessa todetun sydämen lyöntitiheyden hidastumisen NOAEL-arvosta jaettuna turvakertoimella. Atropiinin ja skopolamiinin vaikutukset arvioidaan yhtä suuriksi.	Akuutti luokka 1: altistus voi tappaa (riskiryhmää sydämen hidasyöntisyydestä kärsivät)

(1) EFSA 2017 (2) EFSA 2016 (3) EFSA 2010; EFSA 2017 vahvistaa arvion (4) EFSA 2018
 (5) EFSA 2017 (6) EFSA 2016 (7) EFSA 2015 (8) EFSA 2018

3.4 Ympäristömyrkyt

3.4.1 Mitä ympäristömyrkyt ovat ja missä niitä esiintyy

Ympäristömyrkyt (ympäristökontaminantit) ovat ihmisen toiminnan seurauksena tarkoituksellisesti tai vahingossa syntyviä yhdisteitä, jotka hajoavat ympäristössä vain hyvin hitaasti. Eläinten elimistöön päädyttyään näillä aineilla on taipumus kertyä, sillä niiden erittyminen on hidasta.

Bromattuihin palonsuoja-aineisiin kuuluvia PBDE-yhdisteitä käytetään syttymisherkkyyden vähentämiseen mm. muoveissa, vahtomuoveissa, elektroniikassa ja tekstiileissä. Tukholman sopimus kieltää kansainvälisesti 5-, 8- ja 10-bromattujen PBDE-yhdisteiden käytön. PBDE-yhdisteet ovat rasvaliukoisia ja siis liukenevat heikosti veteen. Niiden puoliintumisaika ympäristössä voi olla useita vuosia, ja kymmenbromattu BDE-209 on käytännössä hajoamaton hapettomissa ja valottomissa olosuhteissa kuten sedimentissä. Se voi kuitenkin muuntua brominpoiston seurauksena

7–9-bromatuiksi yhdisteiksi, jotka voivat olla toksisempia kuin BDE-209. Ympäristöstä PBDE-yhdisteitä voi päätyä elintarviketjuun, jossa niitä esiintyy eläinperäisissä elintarvikkeissa, etenkin rasvaisissa tuotteissa kuten eläinrasvoissa ja rasvapitoisissa kaloissa. Ravinnon lisäksi kuluttaja voi altistua näille aineille mm. huonepölyn välityksellä.

Dioksiineilla (PCDD/F) tarkoitetaan kloorisubstituoituja dibentso-p-dioksiineja ja furaaneja. Laajasta yhdisteryhmästä vain seitsemäntoista 2,3,7,8-substituoitua kongeneeria ovat toksikologisesti merkittäviä. Dioksiineja ei ole koskaan valmistettu tarkoituksellisesti, mutta niitä muodostuu esimerkiksi epätäydellisessä palamisessa ja eräissä teollisuusprosesseissa kuten selluloosan kloorivalkaisussa. Palamis- ja teollisuusprosessien kehittyminen on viime vuosikymmenien aikana vähentänyt dioksiinien muodostumista ja pääsyä ympäristöön. Polykloorattuja bifenyylejä eli PCB-yhdisteitä on käytetty mm. elektroniikkalaitteissa ja hydraulikkaneiteinä. Nykyisin ne on kansainvälisesti kielletty Tukholman sopimuksella, mutta pysyvyytensä vuoksi niitä esiintyy edelleen ympäristössä. Dioksiinin kaltaiset PCB:t (dl-PCB) ovat yhdisteitä, joilla on rakenteessaan *orto*-asemassa 0-1 klooriatomia, ja joilla on dioksiinin kaltaisia ominaisuuksia. Siksi niitä arvioidaan usein yhdessä dioksiinien kanssa. Dioksiinien ja dl-PCB-yhdisteiden pitoisuus elintarvikkeissa ilmoitetaan yleensä WHO:n myrkyllisyyskertoimella (WHO-TEQ, toxicity equivalent), jolloin jokaisen yksittäisen kongeneerin pitoisuus tuotteessa kerrotaan sille määritetyllä myrkyllisyyskertoimella (WHO-TEF, toxic equivalency factor). Tässä raportissa esitetyt tulokset on laskettu vuoden 2005 TEF-arvoilla (WHO-TEQ-2005).

Suurin osa ihmisten altistuksesta dioksiineille ja dl-PCB-yhdisteille saadaan eläinperäisistä elintarvikkeista, aikuisilla etenkin kala- ja lihatuotteista ja lapsilla maitotuotteista. Rasvaisissa perunavalmisteissa pitoisuudet ovat pienet, mutta niiden suuren kulutuksen vuoksi niistä saatava altistus voi olla merkittävää etenkin pikkulapsilla (EFSA 2018).

Perfluorattuja alkyyliryhmiä (PFAS) on käytetty muun muassa sammutusvaahdoissa sekä vettä hylkivinä aineina tekstiiliteollisuudessa ja pakkausmateriaaleissa. Riskinhallinnan kannalta tärkeimpiä PFAS-yhdisteitä ovat perfluoro-oktanosulfonaatti (PFOS) ja perfluoro-oktaanihappo (PFOA). PFAS-yhdisteitä voi päätyä elintarvikkeiden raaka-aineisiin maaperästä ja vedestä sekä eläinten rehusta, ja valmistuksen sekä kuljetuksen aikana prosessoinnissa käytetyistä laitteistoista tai pakkausmateriaalista. Oleellimmat elintarvikeryhmät kuluttajan altistuksen kannalta ovat eläinperäiset tuotteet sekä juomavesi.

Perkloraattia (ClO_4^-) tulee ympäristöön luonnollisista lähteistä ja ihmisen toiminnasta, esimerkiksi luonnonlannoitteiden ja keinolannoitteiden (chilensalpietari) käytöstä sekä kasteluvdestä (EFSA 2014). Sitä voi syntyä myös juomaveden kloorauksessa. Maaperän perkloraatti kertyy kasveihin tehokkaasti niiden juurien kautta. Niinpä sen oleellimmat esiintymislähteet ovat vihannekset, etenkin lehtivihannekset, hedelmät ja niistä valmistetut tuotteet, vaikka myös maitotuotteissa on todettu perkloraattijäämiä (EFSA 2014).

3.4.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta

Ympäristömyrkyt ovat usein hitaasti hajoavia ja elimistöön kertyviä haitta-aineita. Pysyvien orgaanisten haitta-aineiden (POP) lisäksi on aineita, jotka hajoavat melko nopeasti mutta joita syntyy jatkuvasti lisää, jolloin niiden määrät ympäristössä eivät pääse vähenemään.

Taulukko 7. Suomalaisten lasten (enemmän altistuva ryhmä vaihtoehtoista 1-vuotiaat tai 3–6-vuotiaat) ja aikuisten altistus tutkituille ympäristömyrkyille. Huom. yksikkönä on nanogramma/kg rp/vrk. 1 ng = 0,001 µg tai 1000 pg. PFAS-yhdisteitä koskevat altistusarviot on määritetty laskemalla määrittämissä olevien näytteiden pitoisuudeksi 0, sillä EFSA piti tätä realistisempänä kuin analyysimenetelmän herkkyden puutteiden vuoksi noin kahta kertaluokkaa suurempia tuloksia tuottavaa UB-skenaariota.

Aine	Altistus, P95 (ng/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
PBDE (BDE-99; BDE-47; BDE-209; BDE-153)	6,2; 16; 18; 3,2	1–3 v	Suomen ruoankäyttötiedot ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	1
	0,6; 1,7; 2,6; 0,5	Aikuiset	Ruotsin ruoankäyttötiedot (aikuisten suomalaisten tietoja ei saatavilla) ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	
Dioksiinit, dl-PCB (Total WHO-TEQ)	0,0047	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot (DIPP ja Finravinto 2012) ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	2
	0,0030	Aikuiset		
Dioksiinit (PCDD/F WHO-TEQ)	0,0018	1 v		
	0,0011	Aikuiset		
PFOS	2,5	1 v	Suomen ruoankäyttötiedot (DIPP ja Finravinto 2012) ja EU-maista kootut pitoisuus-tiedot (Huom! LB-arvio.)	3
	2,0	Aikuiset		
PFOA	5,4	1 v		
	1,1	Aikuiset		
PFOA+PFOS+PFHxS+ PFNA	9,6	1 v		4
	3,0	3–6 v		
	2,2	Aikuiset		
Perkloraaatti	660	1v	Suomen ruoankäyttötiedot (DIPP ja Finravinto 2012) ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	5
	250	Aikuiset		

(1) EFSA 2011 (2) EFSA 2018 (3) EFSA 2018 (4) EFSA 2020 (5) EFSA 2017

3.4.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu

Vierasaineiden toksikologiaa ja viipymää elimistössä on käsitelty laajemmin Liitteessä 1. Taulukkoon 8 on koottu kunkin vierasaineen se terveysvaikutus, jonka perusteella EFSA on määrittänyt sille riskinarvioinnissa käytetyn toksikologisen vertailuarvon (terveysperustaisen ohjearvon). Elimistöön kertymisen vuoksi monille näistä aineista käytetään elimistön kokonaiskuormitukseen perustuvaa lähestymistapaa, joka on kuvattu tarkemmin Liitteessä 3. Taulukossa on PFOS ja PFOA esitetty erillisinä riveinä vuoden 2018 arvion perusteella ja täydennetty alle ajantasaisin, tätä kirjoitettaessa julkaistun EFSA:n useita PFAS-yhdisteitä kattavan raportin tieto.

Suomalaisten lasten seerumin dioksiinipitoisuuksia mitattaessa (Rantakokko ym. 2020) on havaittu, että 97 %:lla 7–9-vuotiaista lapsista ne ovat olleet pienempiä kuin EFSA:n vertailuarvon perustana oleva kriittinen pitoisuus 7 pg TEQ/g rasvaa, eli altistus on ollut vähäisempää kuin EFSA:n elintarvikkeiden pitoisuuksista ja ruoankäytöstä laskien tehty arvio (Taulukko 7), jota on käytetty priorisoinnissa. Huomio ilmeisestä yliarviosta on lisätty prioriteettilista-taulukon 13 yhteyteen.

Taulukko 8. Ympäristömyrkköjen terveysperustaiset ohjearvot sekä terveyshaitta, jonka perusteella arvo on määritetty. Terveysperustaisia ohjearvoja ovat siedettävä viikkosaanti (TWI) tai siedettävä päiväsaanti (TDI), benchmark dose -arvon alempi luottamusraja (BMDL), haittavaikutuksia aiheuttamaton annos (NOAEL) ja pienin haittavaikutuksia aiheuttava annos (LOAEL). TWI- ja TDI-arvot sekä akuutin altistuksen ARfD-arvo sisältävät jo turvakertoimen, joten niitä pienempi altistus on riskiltään merkityksetön. Muille vertailuarvoille tarvittut turvakertoimet mitättömän riskin altistuksen määrittämiseksi vaihtelevat välillä 2,5–30 000. Ainekohtaisessa priorisoinnissa käytetyt luokat A, A-edc, B ja C on perusteltu neljännessä sarakkeessa. Viikkoa kohden ilmoitetuille vertailuarvoille on suluisa merkitty yhtä päivää vastaava annos, jotta vertailu taulukkoon 7 olisi helpompaa.

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Bromatut palonsuoja-aineet: BDE-99	9 µg/kg rp/vrk (kehon kokonaiskuormitus -BMDL ₁₀) (1)	Kehityksenaikaiseen neurotoksisuuteen liittyvä kehon kokonaiskuormituksen BMDL ₁₀ , jolle riittävä altistusmarginaali on 2,5. Muille PBDE-yhdisteille vertailuarvot ovat suurempia (BDE-47: 232 µg/kg rp/vrk; BDE-153: 62 µg/kg rp/vrk)	A-edc: aineet vaurioittavat kehittyvää keskushermostoa ja häiritsevät hormonitoimintaa
Dioksiinit, furaanit ja dioksiinin kaltaiset PCB-yhdisteet	2 pg TEQ/kg rp/viikko (TWI) (2) (= 0,29 pg/kg rp/vrk)	Nuorten poikien altistukseen liittyvä sperman laatu aikuisena	A-edc: aineet häiritsevät hormonitoimintaa
Perfluoroalkyloidut aineet: PFOS	13 ng/kg rp/viikko (TWI) (3) (= 1,86 ng/kg rp/vrk)	Seerumin kokonaiskolesterolin nousu aikuisilla ja lasten immuunivasteen heikkeneminen	B: vakavat elinvauriot. Ihmisellä ei ole kyetty osoittamaan vaikutusta hormonitoimintaan
Perfluoroalkyloidut aineet: PFOA	6 ng/kg rp/viikko (TWI) (3) (= 0,857 ng/kg rp/vrk)	Seerumin kokonaiskolesterolin nousu (myöhemmin (4) todettu, että yhteys ei välttämättä ole suora)	B: vakavat elinvauriot. Ihmisellä ei ole kyetty osoittamaan vaikutusta hormonitoimintaan
Perfluoroalkyloidut aineet: neljä PFAS-yhdistettä	4,4 ng/kg rp/viikko (TWI) (4) (= 0,629 ng/kg rp/vrk)	Immuunivasteen heikkeneminen ihmisillä. TWI-arvo on asetettu yhdisteiden PFOA, PFOS, PFNA ja PFHxS yhteisannille.	B: vakavat elinvauriot. Ihmisellä ei ole kyetty osoittamaan vaikutusta hormonitoimintaan
Perkloraaatti	0,3 µg/kg rp/vrk (TDI) (5)	Kilpirauhasen toimintahäiriö, joka estää jodin ottoa	B: vakavat elinvauriot

(1) EFSA 2011 (2) EFSA 2018 (3) EFSA 2018 (4) EFSA 2020 (5) EFSA 2014

3.5 Prosessissa syntyvät vierasaineet

3.5.1 Mitä prosessissa syntyvät vierasaineet ovat ja missä niitä esiintyy

Joitakin vierasaineista syntyy elintarvikkeiden valmistusprosessin aikana. Tässä luvussa käsitellään niiden lisäksi joitakin elintarvikkeiden pakkausmateriaaleista irtoavia yhdisteitä, joita päätyy elintarvikkeisiin myös muita reittejä.

Akryyliamidi on pienimolekyylinen vesiliukoinen yhdiste, jota syntyy elintarvikkeisiin asparagiinin ja pelkistävien sokereiden välisessä reaktiossa. Se vaatii syntyäkseen matalan kosteusprosentin ja korkean lämpötilan (+ 120 °C). Muitakin muodostumismekanismeja on ehdotettu, mutta niiden merkityksestä ei ole varmuutta. Akryyliamidia on sallittua käyttää teollisuudessa myös elintarvikkeiden pakkausmateriaaleissa, mutta Suomessa se on harvinaista. Elintarvikkeissa sitä syntyy korkeassa lämpötilassa paahdettuihin ruokiin, kuten kahviin, kekseihin, ranskanperunoihin sekä sipseihin. Vähäisemmissä määrin sitä on havaittu myös muista elintarvikkeista, kuten viljapohjaisista lastenruuista, sekä leivistä (EFSA 2015).

Etyylikarbamaatti (uretaani) on karbamidihapon etyyliesteri, jota voi muodostua fermentoituihin elintarvikkeisiin. Sitä muodostuu alkoholituotteisiin, etenkin tiettyihin hedelmäbrandyihin, jossa syanogeeniset glykosidit muuntuvat vetysyanidiksi, vetysyanaatiksi ja viimein reagoivat etanolin kanssa (EFSA 2007). Toinen mahdollinen muodostumismekanismi on etanolin reaktio urean kanssa. Ureaa muodostuu fermentoimisprosesseissa, jossa mikro-organismit käyttävät aminohappoja typen lähteenä. Elintarvikkeista etyylikarbamaattia esiintyy leivässä, jogurtissa, kimchissa ja soijassa, mutta huomattavasti vähäisemmissä määrin kuin alkoholituotteissa. Alkoholijuomia nauttivien henkilöiden päiväsaanti on yli kolme kertaa muista elintarvikkeista kertyvän saannin suuruinen, ja kaikkein suurinta se on hedelmäbrandyja nauttivilla (EFSA 2008).

Furaanit ovat syklisiä eettereitä, joita voi muodostua useita aineenvaihduntareittejä pitkin elintarvikkeiden lämpökäsittelyn aikana. Mahdollisia lähtöaineita ovat muun muassa karotenoidit, C-vitamiini, aminohapot, hiilihydraatit sekä monitydyttymättömät rasvahapot (EFSA 2017). Furaania esiintyy eniten kahvissa sekä elintarvikkeissa, joita on lämpökäsitelty astiassaan, kuten vauvanruoassa ja lihasäilykkeissä. Sitä on havaittu kuitenkin myös viljatuotteista ja kekseistä, joita ei lämpökäsitellä suljetussa astiassa. Furaaniyhdisteitä on myös ollut osana elintarvikkeparanteita, mutta nykyisin 2-metyylifuraania sekä 2,5-dimetyylifuraania ei enää käytetä aromeina (EFSA 2017).

Tässä työssä käsitellään metyyylifuraaneista kolmea: 2-metyylifuraania, 3-metyylifuraania ja 2,5-dimetyylifuraania. Metyylifuraaneja ei ole tutkittu yhtä paljon kuin furaaneja, mutta niiden oletetaan olevan samaa haitallisuusluokkaa kuin furaanin (EFSA 2017). Metyylifuraaneja on havaittu kahvista 4 kertaa enemmän kuin furaania, joten furaanin ja metyyylifuraanien yhdessä muodostamaa riskiä tulee tutkia tarkemmin. Vauvojen ja lasten tärkeimmät furaanin lähteet ovat teollinen lastenruoka ja viljapohjaiset aamupalat, aikuisilla puolestaan alkoholittomat juomat kuten kahvi.

3-monoklooripropaani-1,2-dioli eli 3-MCPD ja 2-monoklooripropaani-1,3-dioli eli 2-MCPD ovat glyserolin kloorattuja johdoksia. Niitä ja niiden rasvahappoestereitä syntyy kasviöljyjä prosessoitaessa (EFSA 2016). 3-MCPD:n ja 2-MCPD:n muodostumisen ja hajoamisen yhteydessä syntyy glysidolia, jonka muodostuminen tapahtuu riippumattomasti MCPD-rasvahappoesterien synnystä.

Glysidyyliesterit ovat glysidolin rasvahappojohdannaisia, joita syntyy virrehajuja ja -makuja poistavassa sekä säilyvyyttä parantavassa öljyjen deodorisointiprosessissa (EFSA 2016). Deodorisointiprosessi suoritetaan kuumissa lämpötiloissa (180–270 °C) ja korkeassa paineessa.

Kuumennuksessa öljyn mono- ja diasyyli glyseridit voivat muodostaa epoksidirakenteita (Destailats ym. 2012), joista yksi on glysidyyliesteri. Glysidyyliesterien muodostumismekanismi öljyissä liittyy hydroksiryhmän hapen sekä viereisen esteriryhmän happiatomin välisiin uudelleenjärjestäytymisreaktioihin (Destailats ym. 2012). Glysidyyliesterien määrän on havaittu kasvavan eksponentiaalisesti, kun diasyyli glyserolien määrä öljyssä ylittää 4 % (Craft 2012). Täten etenkin palmuöljystä on havaittu suuria pitoisuuksia glysidyyliestereitä, sillä sen diasyyli glyserolien määrä vaihtelee 4–12 % välillä (EFSA 2016). Glysidyyliestereitä on havaittu erityisesti palmuöljystä ja vähäisempinä määrinä muista kasviöljyistä kuten soija-, auringonkukka-, rypsi-, saksanpähkinä- ja kookosöljystä. Niitä esiintyy myös näistä öljyistä valmistetuissa leivonnaisissa, kekseissä, margariineissa sekä eineksissä.

Melamiini on orgaaninen emäs, 2,4,6-triamino-1,3,5-triatsiini, jota valmistetaan ureasta. Sitä käytetään esimerkiksi muovin valmistamisessa. (EFSA 2010). Melamiinia joutuu elintarvikkeisiin kontaminaationa kontaktimateriaaleista kuten muoveista, säilyketölkkien päällysteistä, paperista, kartongista ja liimasta. Elintarvikkeiden melamiini voi olla peräisin myös palonestoaineesta, kasvinsuojeluaineesta tai eläinlääkkeestä. Melamiinin joukossa saattaa esiintyä rakenteellisesti samankaltaisia yhdisteitä kuten syanuurihappoa. Elintarvikkeiden syanuurihappokontaminaatiota tapahtuu klooria sisältävien desinfiointiaineiden käytön seurauksena. Melamiinia on myös lisätty elintarvikkeisiin tahallisesti väärennöstaroituksessa tuotteen mitatun tyyppipitoisuuden kasvattamiseksi, ja näihin tapauksiin liittyy vakavia myrkytystiloja.

PAH-yhdisteitä eli polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä muodostuu orgaanisten yhdisteiden epätäydellisessä palamisessa. Niitä kertyy elintarvikkeisiin pääosin kahta reittiä pitkin: ympäristöstä sekä elintarvikkeiden kuumennuskäsittelyistä. Ympäristöstä elintarvikkeisiin päätyvät PAH-yhdisteet voivat olla joko ihmisen toiminnasta syntyneitä, kuten pakokaasut, tai luonnollisesti metsäpaloissa tai tulivuorissa muodostuneita. Elintarvikkeisiin niitä muodostuu etenkin kuumennuskäsittelyissä, kuten kuivaamisessa, grillaamisessa, savustamisessa tai paahtamisessa. PAH-yhdisteet ovat rakenteellisesti hieman erilaisia, mutta niitä kaikkia yhdistää aromaattinen rengasrakenne. PAH-yhdisteiden tärkeitä saantilähteitä ovat viljapohjaiset tuotteet ja kalatuotteet (EFSA 2008). Elintarvikkeissa PAH-yhdisteitä esiintyy muun muassa eläinperäisissä rasvoissa, eläinten lihoissa ja kaloissa, lastenruuissa, kahvissa ja viljatuotteissa, jotka on kuivattu korkeissa lämpötiloissa (IARC 2010, EFSA 2008). Ympäristöstä PAH-yhdisteitä voi päätyä lihoihin, kahviin ja hedelmien kuoriosiin. PAH-yhdisteistä tutkitaan yleensä vain joitakin karsinogeenisyyden kannalta oleellisia. Tässä työssä keskitytään bentso(a)pyreenin lisäksi neljän yhdisteen (PAH4: bentso(a)pyreeni, kryseeni, bentso(a)antraseeni ja bentso(b)fluoranteeni) summaan.

3.5.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta

Prosessissa syntyvien vierasaineiden ryhmään sisältyy myös pakkausmateriaalista irtoavia aineita siltä osin kuin ne on mainittu vierasaineasetuksessa. Joitakin pakkausmateriaalista irtoavia aineita on käsitelty myös tämän raportin muissa luvuissa, jos niiden luokittelu muihin ryhmiin on ollut aiheellista.

Taulukko 9. Suomalaisten lasten (enemmän altistuva ryhmä vaihtoehdoista 1-vuotiaat tai 3–6-vuotiaat) ja aikuisten altistus tutkituille prosessissa syntyville vierasaineille.

Aine	Altistus, P95 (µg/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
Akryyliamidi	2,2	3–6 v	Suomen ruoankäyttö, EU-maista kootut pitoisuustiedot	1
	0,9	aikuiset		
Etyylikarbamaatti	0,56	aikuiset	Korkein altistusskenaario (hedelmäbrandyja nauttivat), EU-maista kootut pitoisuustiedot	2
Furaani ja 2,3-metyylifuraanit	0,65	1 v	Suomen ruoankäyttö (DIPP ja Finravinto 2012) ja EU-maista kootut pitoisuustiedot	3
	4,5	aikuiset		
3-MCPD	2,5	vauvat	Middle bound -arvio (määritysrajan alle olevat näytteet laskettu arvona 50 % määritysrajasta)	4
	0,9	aikuiset		
Glysidoli	2,1	vauvat		
	0,7	aikuiset		
Melamiini	90	1–2 v	Suomen ruoankäyttö ja EU-maista kootut pitoisuudet, skenaario.	5
	9,0	aikuiset		
PAH: bentso(a) pyreeni	0,0067	leikki-ikä	Suomen ruoankäyttötiedot (DAGIS) ja Suomessa mitatut pitoisuudet, altistuksen P97,5	6

(1) EFSA 2015 (2) EFSA 2007 (3) EFSA 2017 (4) EFSA 2016 (5) EFSA 2010
(6) Hirvonen ym. 2020

3.5.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu

Vierasaineiden toksikologiaa ja viipymää elimistössä on käsitelty laajemmin Liitteessä 1. Taulukkoon 10 on koottu kunkin vierasaineen se terveysvaikutus, jonka perusteella EFSA on määrittänyt sille riskinarvioinnissa käytetyn toksikologisen vertailuarvon (terveysperustaisen ohjearvon).

Taulukko 10. Prosessissa syntyvien vierasaineiden terveysperustaiset ohjearvot sekä terveyshaitta, jonka perusteella arvo on määritetty. Terveysperustaisia ohjearvoja ovat siedettävä viikkosaanti (TWI) tai siedettävä päiväsaanti (TDI), benchmark dose -arvon alempi luottamusraja (BMDL), haittavaikutuksia aiheuttamaton annos (NOAEL) ja pienin haittavaikutuksia aiheuttava annos (LOAEL). TWI- ja TDI-arvot sekä akuutin altistuksen ARfD-arvo sisältävät jo turvakertoimen, joten niitä pienempi altistus on riskiltään merkityksetön. Muille vertailuarvoille tarvittu turvakertoimet mitättömän riskin altistuksen määrittämiseksi vaihtelevat välillä 2,5–30 000. Ainekohtaisessa priorisoinnissa käytetyt luokat A, A-edc, B ja C on perusteltu neljännessä sarakkeessa.

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Akryyliamidi	170 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (1)	Neoplastiset muutokset hiirellä. Akryyliamidi on mahdollisesti genotoksinen, ja sen aineenvaihduntatuote glysidamidi vahva mutageeni.	A: karsinogeeni, genotoksinen
Etyylikarbamaatti	1000 µg/kg rp/vrk (LOAEL) (2)	Neoplastiset muutokset keuhkoissa ja eräissä rauhasissa (hiirikoe). Karsinogeenisyyden lisäksi mutageenisyyttä.	A: karsinogeeni
Furaani ja 2-, 3-metyylifuraanit	1310 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (3)	Hiirikokeen BMDL ₁₀ maksasyövän esiintyvyydelle. Lisäksi kolangiofibroosia eli sappitiehyiden sidekudostumista BMDL ₁₀ -arvolla 64 µg/kg rp/vrk.	A: karsinogeeni, tosin mekanismi voi olla epäsuora
3-MCPD, 2-MCPD ja niiden esterit	0,8 µg/kg rp/vrk (TDI) (4)	Munuaistoksisuus ja kivesvauriot rottakokeissa. Arvo 3-MCPD:lle, sillä muiden toksisista vaikutuksista ei ole kylliksi tietoa.	B: vakavat elinvauriot
Glysidoli	10200 µg/kg rp/vrk (T25-arvo) (4)	Rottien vatsakalvossa havaitut neoplastiset muutokset. Glysidoli on karsinogeeni ja genotoksinen. T25-arvoon nähden turvallinen altistusmarginaali on vähintään 25 000.	A: genotoksinen karsinogeeni
Melamiini	200 µg/kg rp/vrk (TDI) (5)	Kiteisten kompleksien muodostuminen virtsarakkoon (ihmisellä munuaiskivien esiintyminen)	B: vakavat elinvauriot
PAH-yhdisteet: bentso(a)pyreeni	70 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (6)	Neoplastiset muutokset ja muut sarkoomat hiirikokeessa	A: genotoksinen karsinogeeni
PAH-yhdisteet: PAH4	340 µg/kg rp/vrk (BMDL ₁₀) (6)	Neoplastiset muutokset ja muut sarkoomat hiirikokeessa	A: genotoksinen karsinogeeni

(1) EFSA 2015 (2) EFSA 2008 (3) EFSA 2017 (4) EFSA 2016 (5) EFSA 2010 (6) EFSA 2008

3.6 Muut projektissa tutkitut haitalliset aineet

3.6.1 Mitä muita haitallisia vierasaineita projektissa tutkittiin ja missä niitä esiintyy

Bisfenoli A (BPA) on orgaaninen kemikaali, jota käytetään polymeerimateriaalien valmistuksessa sekä tietyissä paperituotteissa kuten kassakuittien lämpöpaperissa. BPA:sta valmistettua PC-muovia käytetään mm. elintarvikepakkausten, ruokailuvälineiden ja mikroaaltouunia kestävien astioiden valmistukseen. BPA-pohjaisia epoksifenolihartseja käytetään ruoka- ja juomatölkkiä sekä asuinalueiden juomavesivarastojen sisäpinnoitteena ja lisäksi elintarvikekontaktimateriaalien raaka-aineiden valmistusprosessissa (EFSA 2015).

Elintarvikkeisiin BPA päätyy kontaktimateriaaleista. Kuluttajien kokonaisaltistuksessa muita merkittäviä lähteitä ruoan ja veden ohella ovat kosmetiikasta ja lämpöpaperista ihokosketuksen kautta tuleva altistus sekä hengitysilmastasta tuleva altistus (EFSA 2015), mutta tässä raportissa ainetta käsitellään vain elintarvikeperäisen altistuksen kannalta.

Myös ftalaatit ovat muovin valmistuksessa ja muovisten elintarvikekontaktimateriaalien tukiaineina käytettyjä yhdisteitä (EFSA 2019), jotka voivat siirtyä elintarvikkeisiin kontaktimateriaaleista. Niitä päätyy elintarvikkeisiin merkittävässä määrin myös ympäristöstä. Ftalaatteja on useita erilaisia, ja tässä työssä keskitytään niistä neljään, joista on riittävästi tietoa: dibutyyliftalaatti DBP, butyylibentsyyliftalaatti BBP, bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti DEHP, di-isononyliiftalaatti DINP ja diisodekyliiftalaatti DIDP.

Mineraaliöljyjen hiilivedyt (MOH) on hyvin laaja ryhmä hiilivetyjen seoksia. Riskinarvioinnin kannalta ryhmä on käsiteltävä kahtena erillisenä alaryhmänä. Tyydyttyneet mineraaliöljyhiilivedyt (mineral oil saturated hydrocarbons, MOSH) koostuvat suoraketjuisista ja haaroittuneista alkaaneista tai alkyylisubstituoiduista rengasalkaaneista. Aromaattiset mineraaliöljyhiilivedyt (mineral oil aromatic hydrocarbons, MOAH) koostuvat alkyylisubstituoiduista polyaromaattisista hiilivedyistä, jotka ovat haitallisempia kuin MOSH. MOH-seosten tarkka kemiallinen koostumus on usein epävarma. Ne päätyvät elintarvikkeisiin yleensä pakkausmateriaaleista (erityisesti kierrätysmateriaalit), elintarvikkeiden lisäaineista ja valmistuksen apuaineista sekä ympäristöperäisistä lähteistä (mm. voiteluöljyt). Koska pakkaus ja prosessointi vaikuttavat aineiden esiintymiseen, niitä voi olla useimmissa elintarvikeluokissa. MOSH-yhdisteiden pitoisuusvaihtelu tuoteryhmien välillä ja myös tuoteryhmien sisällä on hyvin suurta. EFSA (2012) totesi, että osassa leivistä ja muista ihmisille tarkoitetuista viljatuotteista esiintyy korkeita MOSH-pitoisuuksia näitä yhdisteitä sisältävien jyvien kiillotusaineiden käytön vuoksi. EFSA arvioi myös, että altistus MOAH-yhdisteille on arviolta 20 % MOH-kokonaisaltistuksesta. Kasviöljyissä ja öljysiemenissä niiden osuus voi kuitenkin olla 30–35 % (EFSA 2012).

3.6.2 Priorisoinnissa käytetyt arviot suomalaisten altistuksen suuruudesta

Pakkausmateriaaleista irtoavia aineita säädellään muiden asetusten kuin vierasaineasetuksen nojalla, ja elintarvikkeisiin päätyviin määriin vaikuttaa moni tekijä. Vaikka pakkausmateriaaleista irtoavat hormonitoimintaa häiritseviksi epäillyt aineet kuten bisfenoli A ja ftalaatit ovat osin erilaisia kuin tämän raportin muut aineet ja aineryhmät, niitä käsiteltiin tässä lyhyesti Komission suosituksen (EU) 2019/794 nojalla.

Taulukko 11. Suomalaisten lasten (enemmän altistuva ryhmä vaihtoehdoista 1-vuotiaat tai 3–6-vuotiaat) ja aikuisten altistus tutkituille aineille.

Aine	Altistus, P95 (µg/kg rp/vrk)	Ikäryhmä	Mihin aineistoon perustuu	Viite
Bisfenoli A	0,82	1 v	EU-maista kootut pitoisuustiedot ja EU-alueen keskimääräinen ruoankäyttö	1
	0,24	Aikuiset		
Ftalaatit: DEHP, DINP, BBP ja DBP, DEHP-ekvivalentteina	5,3	1 v	EU-maista kootut pitoisuustiedot ja Suomen ruoankäyttö	2
	2,4	Aikuiset		
Mineraaliöljy MOAH	64	3–6 v	EU-maiden keskimääräinen ruoankäyttö ja EU-maista kootut pitoisuudet	3
	24	aikuiset		
Mineraaliöljy MOSH	320	3–6 v		
	120	aikuiset		

(1) EFSA 2015 (2) EFSA 2019 (3) EFSA 2012

3.6.3 Toksikologiset vertailuarvot, kriittisimmät terveysvaikutukset ja luokittelu

Vierasaineiden toksikologiaa ja viipymää elimistössä on käsitelty laajemmin Liitteessä 1. Taulukkoon 12 on koottu kunkin vierasaineen se terveysvaikutus, jonka perusteella EFSA on määrittänyt sille riskinarvioinnissa käytetyn toksikologisen vertailuarvon (terveysperustaisen ohjearvon).

Taulukko 12. Bisfenolin, ftalaattien sekä mineraaliöljyjen hiilivetyjen terveysperustaiset ohjearvot sekä terveyshaitta, jonka perusteella arvo on määritetty. Terveysperustaisia ohjearvoja ovat siedettävä viikkosaanti (TWI) tai siedettävä päiväsaanti (TDI), benchmark dose -arvon alempi luottamusraja (BMDL), haittavaikutuksia aiheuttamaton annos (NOAEL) ja pienin haittavaikutuksia aiheuttava annos (LOAEL). TWI- ja TDI-arvot sekä akuutin altistuksen ArfD-arvo sisältävät jo turvakertoimen, joten niitä pienempi altistus on riskiltään merkityksetön. Muille vertailuarvoille tarvittavat turvakertoimet mitättömän riskin altistuksen määrittämiseksi vaihtelevat välillä 2,5–30 000. Ainekohtaisessa priorisoinnissa käytetyt luokat A, A-edc, B ja C on perusteltu neljännessä sarakkeessa.

Aine	Vertailuarvo (mikä?)	Vaikutus, johon arvo perustuu	Luokka ja perustelu
Bisfenoli A	4 µg/kg rp/vrk (TDI) (1)	Munuaisten painon kasvu hiirikokeessa	B: vakavat elinvauriot
Bisfenoli A	0,7 µg/kg rp/vrk (TDI) (2)	Metabolijärjestelmiin kohdistuvat (hormonihäiriö-)vaikutukset	A-edc: hormonihäiriö
Ftalaatit: DBP, BBP, DEHP ja DINP	50 µg/kg rp/vrk (TDI) (3)	Rottakokeessa havaitut kivesvauriot ja peräaukon ja sukuelinten välimatkan lyheneminen, joka viittaa hormonitoiminnan häiriintymiseen. Kriittinen vaikutus sikiön testosteronitason alenema.	A-edc: hormonihäiriö
Ftalaatit: DIDP	150 µg/kg rp/vrk (TDI) (3)	Maksavaurio eläinkokeessa	B: vakavat elinvauriot
Mineraaliöljyjen hiilivedyt: MOAH	Annos-vastetietoja vertailuarvon määrittämiseksi ei ole (4)	Aineet itse tai niiden aineenvaihduntatuotteet ovat genotoksisia karsinogenejia.	A: genotoksinen karsinogeeni
Mineraaliöljyjen hiilivedyt: MOSH	19000 µg/kg rp/vrk (NOAEL) (4)	Mikrogranuloomien (mikroskooppisten tulehdusten) esiintyminen; ihmisillä ei ole havaittu kertymiseen liittyviä tulehdusreaktioita	C: muita luokkia lievemmat terveyshaitat

(1) EFSA 2015 (2) DTU 2015 (3) EFSA 2019 (4) EFSA 2012

4 Vierasaineiden viranomaisvalvonta Suomessa

Vierasaineita valvotaan vierasaineasetuksessa (EY No 1881/2006) eri elintarvikkeille määriteltyjen enimmäismäärärajojen perusteella. Ruokavirasto valvoo eläinperäisten tuontielintarvikkeiden pitoisuuksia ja Tullilaboratorio kasviperäisiä elintarvikkeita sekä kolmasmaatuonnista että sisämarkkinoilta. Kansallisessa vierasainevalvontaohjelmassa on otettu säännöllisesti näytteitä eri tuotantoeläimistä ja niiden tuotteista (kuten kananmuna ja hunaja) useiden vierasaineasetuksessa lueteltujen haitta-aineiden sekä lääkejäämien tutkimiseksi. Lisäksi vilja- ja öljyketjun toimijoiden Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR ry tekee vuosittain tutkimuksia viljoissa esiintyvien vierasaineiden määrästä.

Viranomaisvalvonnan toteumaa raportoidaan säännöllisesti EU-tasolla ja valvonnan tuloksista yksittäisten näytteiden tasolla tehdään vuosittain tiedonsiirtoa EFSA:n arvioissaan käyttämään tietokantaan (<http://www.efsa.europa.eu/en/science/data>). EFSA julkaisee tunnuslukuja arvioihinsa sisällyneestä pitoisuusaineistosta raporttiansa liitteissä.

Säännöllisten valvontatoimien lisäksi viranomaisten laboratorioissa tehdään projektityyppisiä tutkimuksia vierasaineiden esiintyvyydestä myös sellaisissa elintarvikkeissa, joille ei ole enimmäismäärärajoja tälle aineelle. Niiden tuloksia on raportoitu EFSA:n tietokantaan, mutta toistaiseksi ei välttämättä kaikista projekteista.

Kunnissa tehdään vierasaineiden valvontaa Oiva-valvontajärjestelmän avulla. Vierasaineisiin liittyvät Oiva-arviointiohjeet 17.12–17.16. Ohjeiden avulla tarkastetaan toimijan vierasaineiden hallintaa koskevan omavalvonnan riittävyys ja sopivuus sekä arvioidaan toimijan omavalvonnan toteutumista pistokokein esimerkiksi 1–3 tuotteen avulla. Ruokavirasto ohjaa kuntien valvontaa. Kuntien valvontayksiköt ottavat Ruokaviraston pyynnöstä vuosittain näytteitä kasvi- ja eläinperäisistä elintarvikkeista vierasainetutkimuksiin. Niitä on viime vuosina tehty vaihdellen sellaisista vierasaine-elintarvikkeyhdistelmistä, joille on enimmäismääräraja vierasaineasetuksessa.

Euroopan Komissio on antanut monitorointisuosituksia joidenkin vierasaineiden esiintyvyyden selvittämiseksi. Kooste mykotoksiineja ja kasviperäisiä toksiineja koskevista monitorointisuosituksesta on saatavilla osoitteessa: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_plant_toxins_compilation_agreed_monitoring_en.pdf

Valvontaa ja monitorointisuosituksia koskevat tiedot on tässä luvussa jaoteltu samoihin ainekohtaisiin ryhmiin kuin luvussa 3.

4.1 Metallit ja puolimetallit

Useille tässä raportissa mainituista metalleista ja puolimetalleista on vierasaineasetuksessa määritelty enimmäispitoisuusrajoja monille eri elintarvikkeille tai elintarvikeryhmille. Eniten rajoitteita on kadmium- ja lyijypitoisuuksille.

Tullilaboratorio valvoo raskasmetalleja tehostetusti pähkinöistä, pavuista ja siemenistä ja ravintolisistä, sekä säännöllisesti viljatuotteista, hedelmistä ja vihanneksista, ruokavalmisteista

ja lastenruoasta. Muista elintarvikeryhmistä tehdään pistokoevalvontaa. Ruokavirasto valvoo eläinperäisten tuontielintarvikkeiden raskasmetallipitoisuuksia. Lisäksi Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR tutkii säännöllisesti kotimaisten viljojen raskasmetallipitoisuuksia, ja elintarvikkeiden raskasmetalleja on tutkittu useissa viranomaistutkimuksissa.

Kadmiumia ja lyijyä on tähän asti valvottu säännöllisesti myös vierasainevalvonnan ohjelmassa naudon, sian, lampaan, hevosen, tarhariaistan (poro, villisika) ja riistan lihasta sekä sisäelimestä, siipikarjan maksasta, kasvatetusta kalasta, munista ja maidosta. Euroopan Komissio on lisäksi suositellut, että kadmiumin vähentämiseen tähtävien toimien vaikutusta on seurattava.

Epäorgaaniselle arseenille on vierasaineasetuksessa enimmäismääräraja erilaisissa riisituotteissa ja lapsille tarkoitetuissa riisipohjaisissa tuotteissa tai niiden raaka-aineissa. Arseenipitoisuudet mitataan vielä usein kokonaisarseenina, mutta Ruokavirastossa on käytössä validoitu menetelmä epäorgaaniselle arseenille. Sitä on käytetty eri arseeniyhdisteiden (sekä epäorgaanisten että orgaanisten) määrittämiseen riisipohjaisista tuotteista. Euroopan Komissio antoi suosituksen arseenin laajasta monitoroinnista vuosina 2016–2018.

Elohopeapitoisuuksia rajoitetaan vierasaineasetuksen nojalla eri kaloissa ja kalatuotteissa, äyriäisissä ja nilviäisissä. Elohopeapitoisuuksien valvonnasta myös joistakin elintarvikkeista, joissa elohopea esiintyy epäorgaanisina yhdisteinään, on ollut keskustelua, mutta Euroopan Komissio ei ole toistaiseksi asettanut enimmäismäärärajoja niille. Mahdollisesti metsäsieniä lukuun ottamatta elohopeapitoisuudet (epäorgaaninen elohopea) kotimaisissa elintarvikkeissa ovat tyypillisesti matalia, ja metyylielohopean pitoisuudet muissa kuin vierasaineasetuksessa valvotuissa elintarvikkeissa ovat käytännössä mitättömiä. Petokalojen metyylielohopeapitoisuuksissa on alueellista vaihtelua, ja kotimaisillakin kaloilla pitoisuudet voivat paikallisesti olla sallitun raja-arvon tuntumassa tai ylittää sen.

Nikkelille ei ole asetettu enimmäismäärää vierasaineasetuksessa eikä sitä ole toistaiseksi sisällytetty Komission monitorointisuosituksiin. Talousvesiasetuksessa nikkelille on määritetty raja-arvo 20 µg/l (Valviran ohje 5/2020).

Vilja-alan yhteistyöryhmä VYR tutkii säännöllisesti kotimaisten viljojen raskasmetallipitoisuuksia, mukaan lukien nikkelpitoisuuksia, ja nikkeli on määritetty useissa viranomaistutkimuksissa osana raskasmetallien analyysipakettia, vaikka velvoitetta valvontaan ei olekaan. Suomalaisten elintarvikkeiden nikkelpitoisuuksista ei ole vielä kylliksi tietoa kattavaan vertailuun, vaikka Ruokavirastossa pitoisuuksia onkin määritetty kaikista eläinperäisistä elintarvikkeista. Viljojen ja monien muiden elintarvikeryhmien nikkelpitoisuudet vaikuttaisivat olevan jossakin määrin EFSA:n raportoimia, lähinnä saksalaisia, pitoisuuskeskiarvoja korkeammat. Osittain havainto voi johtua määrittämisrajoista, jotka heijastuvat MB- tai UB-arvioihin.

Vierasaineasetuksessa on asetettu epäorgaaniselle tinalle enimmäismääriä säilyketölkeissä oleville elintarvikkeille: lapsille tarkoitetuissa tuotteissa enimmäismäärä on 50 mg/kg, tölkkijuomissa 100 mg/kg ja muissa säilykkeissä 200 mg/kg. Suomessa analysoiduissa purkitetuissa hedelmissä havaittiin vuosina 2010–2015 joitakin enimmäismäärän ylityksiä; korkein mitattu pitoisuus oli ananassäilykkeessä, 555 mg/kg. Hedelmäsalaateissa ja -soseissa pitoisuudet olivat pienempiä kuin 200 mg/kg. Ananasmehusta ei mitattu määritysrajan ylittäviä tuloksia. Eurooppalaisista tinapitoisuuksista ei ole julkaistu vertailukelpoisia tietoja, sillä esim. EFSA:n raportissa (EFSA 2005) yksilöidyt pitoisuudet olivat kokonaisruokavaliotutkimuksesta, jossa näytteenotto kohdistetaan toisella tavalla kuin valvontanäytteiden otossa ja jossa pitoisuusmääritykset tehdään syöntivalmiista

ruoasta. Tiedetään silti, että kaikkialla EU:ssa voi ajoittain esiintyä enimmäismäärän ylittäviä pitoisuuksia purkkiruoissa, etenkin happamissa ananassäilykkeissä.

EU-alueella ei ole toistaiseksi asetettu raja-arvoja elintarvikkeiden vierasaineena esiintyvälle alumiinipitoisuuksille, eikä se ole Komission monitorointisuositusten piirissä. Alumiinia esiintyy vierasaineena pieniä määriä useimmissa elintarvikkeissa. Suurimmat keskiarvopitoisuudet on mitattu teenlehdistä, yrteistä, mausteista ja kaakaopavusta valmistetuista tuotteista (EFSA 2008). Alumiiniyhdisteitä valvotaan kuitenkin usean muun, tämän tutkimuksen ulkopuolelle jäävän lainsäädännön piirissä. Elintarvikeparanteita koskevassa lainsäädännössä (EU No 1333/2008 ja direktiivi 95/2/EC) on hyväksytty elintarvikkeiden lisäaineiksi joitakin alumiiniyhdisteitä, mutta niiden sallittuja käyttökohteita sekä enimmäiskäyttömääriä ja tätä kautta kuluttajan altistusta on rajoitettu voimakkaasti viime vuosina (Suomi ym. 2018). Direktiivi 98/83/EY antaa juomaveden alumiinipitoisuudelle laatusuosituksen 0,20 mg/l, mutta jatkuva valvonta on tarpeen vain, mikäli alumiinia käytetään kemiallisessa saostuksessa. Valviran mukaan Suomen pinta- ja pohjavesien tyypilliset alumiinipitoisuudet ovat selvästi alle laatusuosituksen, mutta alunasavimailta tulevissa vesissä tai korkean fluoripitoisuuden yhteydessä voi esiintyä korkeita alumiinipitoisuuksia. Komission asetuksessa (EU) N:o 10/2011 on annettu raja-arvoja muovisista materiaaleista elintarvikkeeseen siirtyvien metallien, mm. alumiinin, enimmäismäärille.

4.2 Mykotoksiinit

Osa raporttiin sisällyvistä mykotoksiineista valvotaan vierasaineasetuksen nojalla eri elintarvikkeista, mutta osalle ei ole toistaiseksi asetettu enimmäismäärärajoja.

Aflatoksiineille on määritelty enimmäismäärärajoja kolmella tavalla: pelkälle aflatoksiini B1:lle, pelkälle aflatoksiini M1:lle tai aflatoksiinien summalle. Enimmäismääriä on asetettu eri pähkinöille ja maapähkinöille, kuivatuille hedelmille, viljoille ja viljat tuotteille, maidolle (vain AFM1), mausteille ja lastenruoille. Korkeimmat AFBI-enimmäismäärät ovat eräille puupähkinöille ja aprikoosinsiemenille, jotka ennen käyttöä on vielä lajiteltava tai käsiteltävä muilla fysikaalisilla menetelmillä: 0,012 mg/kg. Lastenruoalle suurin AFBI-enimmäismäärä on 0,00010 mg/kg. Lisäksi kansallinen asetus MMM 880/2016 määrää aflatoksiineille enimmäismäärän 0,005 mg/kg kaikille niille elintarvikkeille, jotka eivät sisälly vierasaineasetukseen.

Suomen nykyilmasto ei sovellu hyvin *Aspergillus*-homeen kasvulle, ja siksi kotimaisissa tuotteissa ei juuri esiinny aflatoksiineja (pois lukien tuontirehun kontaminaatiosta johtuvat AFM1-pitoisuudet maidossa). Kotimaisessa maidossa havaitaan vuosittain yksittäisiä aflatoksiini M1:tä sisältäviä näytteitä. Määrittämisessä tehdään ensin seulonta ELISA-testillä, jonka toteamisraja on 5 ng/kg (eli 0,000005 mg/kg), ja mahdolliset positiiviset näytteet varmistetaan nestekromatografilla. Kansallisen vierasainevalvonnan maitonäytteistä havaitut aflatoksiinitulokset kuvastavat sitä, että mitattavia pitoisuuksia esiintyy satunnaisesti Suomessa. Tämän raportin aineistoon kuuluvista vuosina 2014–2016 tutkituista 320 maitonäytteestä havaittiin yhdessä reittimaidossa ja kolmessa tilatankissa vähäisiä AFM1-pitoisuuksia. Lower bound -keskiarvo (<LOQ = 0) kaikkien maitonäytteiden pitoisuuksille oli 0,11 ng/kg, ja jos AFM1:tä olisi esiintynyt jokaisessa ei-positiivisessa näytteessä ELISA-testin toteamisrajaa vastaavana pitoisuutena, keskiarvo olisi silti ollut vain 10 % maidossa sallitusta aflatoksiini M1:n enimmäismäärästä.

Tuontituotteissa aflatoksiinipitoisuudet ovat todennäköisesti samaa luokkaa kuin EU:ssa yleisesti. Aiemmin on havaittu, että noin 20 %:ssa tutkituista tuontituote-eristä on esiintynyt pieniä aflatoksiinijäämiä (Hallikainen ym. 2013). 2010-luvun alkupuolella mitattujen sisämarkkina- ja kolmasmaatuontinäytteiden joukossa on ollut joitakin pähkinänäytteitä, joiden aflatoksiinipitoisuudet

ylittivät noin 50-kertaisesti sallitun enimmäismäärän. Mikäli nämä tuotteet olisivat päässeet markkinoille, 30 g:n suuruinen annos olisi tuottanut BMDL-arvoa suuremman kerta-altistuksen, joka ei kuitenkaan olisi aiheuttanut akuuttia vaaraa ja jonka merkitys pitkällä aikavälillä on kyseenalainen.

Alternariatoksiineille ei ole vielä asetettu lainsäädännöllisiä enimmäismääriä, mutta ne sisältyvät Euroopan Komission mykotoksiineja ja kasvipärisiä toksiineja koskeviin monitorointisuosituksiin. Suositus ei tarkenna elintarvikeryhmiä, joihin monitorointia olisi erityisesti kohdistettava, mutta tärkeimmiksi analysoitaviksi alternariatoksiineiksi on nimetty AOH ja AME, ja lisäksi TeA-, TEN- ja ALT-pitoisuuksien tutkiminen on Komission mukaan aiheellista. Suomessa ei ole toistaiseksi tutkittu alternariatoksiinien pitoisuuksia elintarvikkeissa.

Suomessa ei seurata säännöllisesti elintarvikkeiden fomopsiinipitoisuuksia, eikä fomopsiinille ole enimmäismäärärajoja EU-alueella. Australiassa ja Uudessa-Seelannissa on enimmäismäärärajoitus 5 µg/kg fomopsiini A:lle lupiininsiemenissä ja niistä johdetuissa elintarvikkeissa (FAO 2004). Euroopan Komissio on sisällyttänyt monitorointisuosituksiinsa lupiiniperäisten elintarvikkeiden ja rehujen fomopsiinin valvonnan, sillä niistä ei ole riittävästi pitoisuustietoja altistuksen arvioimiseksi. Lupiinia sisältävien elintarvikkeiden käyttötietoja ei liioin ole kylliksi saatavilla, eikä fomopsiinien myrkyllisyydestä tai annos-vaste-suhteista eri eläimille ole riittävästi tietoa riskinarvioinnin tekemiseksi (EFSA 2012).

Vierasaineasetuksessa on enimmäismääriä deoksinivalenolipitoisuuksille eri viljoissa ja viljatuotteissa, mukaan lukien viljapohjaiset lastenruoat, zearalenonipitoisuuksille viljoissa, viljatuotteissa (myös lapsille tarkoitettut) sekä viljatuotteista valmistetuissa kasviöljyissä sekä fumonisiinien B1 ja B2 summalle maississa ja erilaisissa maissituotteissa. T2- ja HT2 -toksiinit mainitaan vierasaineasetuksessa viljojen kohdalla, mutta niille ei ole määrätty enimmäispitoisuutta. Euroopan Komissio suosittelee lisätiedon hankkimista deoksinivalenolijyhdisteistä ja niiden esiintymisestä.

Okratoksiini A:lle (OTA) on vierasaineasetuksessa enimmäismääriä viljoille ja viljatuotteille, rusinan tyyppisille kuivahedelmille, kahvipavuille ja kahville, viinille ja rypälemehulle, (viljapohjaisille) lastenruoille, mausteille ja lakritsille sekä lakritsiuutteelle. Lastenruokien enimmäismäärä on 0,00050 mg/kg, ja korkein enimmäismäärä erityiskäyttöön tarkoitettua lakritsiuutetta lukuun ottamatta on yrttihaudukkeeksi tarkoitettulle lakritsinjuurelle, 0,020 mg/kg. Italiassa (EFSA 2020) on suositeltu kansallista raja-arvoa sianlihalle havaitun todennäköisesti ympäristöperäisen kontaminaation vuoksi. Suomessa vierasainevalvonnan näytteenotossa vuosina 2014–2016 ei havaittu yhtään määritysrajan ylittävää OTA-pitoisuutta. Aiemminkin on todettu (Hallikainen ym. 2013), että kotimaisesta viljasta okratoksiini A:ta löytyy harvoin ja silloinkin matalina pitoisuuksina, mutta tuontivalvonnan yhteydessä OTA:a on havaittu pieninä pitoisuuksina noin joka viidennessä vuonna 2012 tutkituista näyte-eristä.

Patuliinille on vierasaineasetuksessa enimmäismäärärajoja hedelmämehuissa ja -nektareissa, omenasta valmistetuissa tai omenamehua sisältävissä käymisen avulla valmistetuissa juomissa, lastenruoissa sekä omenavalmisteissa. Suomalaisista mehuista mitatut patuliinipitoisuudet näyttävät keskimäärin olevan jonkin verran pienemmät kuin muualla Euroopassa. Muissa kuin omenamehuissa pitoisuus jää Suomen tuloksissa usein alle määritysrajan. Suomessa on analysoitu patuliinipitoisuuksia myös kuivatuista hedelmistä, hilloista ja soseista, ja nekin jäävät useimmiten alle määritysrajan.

Sitriniinille on määritetty vierasaineasetuksessa enimmäisraja ainoastaan *Monascus purpureus* -punahiivalla fermentoituun riisiin perustuvilla ravintolisillä. Euroopan Komissio suosittelee sitriniinimonitorointia muutenkin, tarkentamatta suosituksessaan erityisesti seurattavia elintarvikkeita. Suomessa ei ole analysoitu elintarvikkeiden sitriniinipitoisuuksia.

Sterigmatokystiinille ei ole enimmäismäärärajoja vierasaineasetuksessa. Euroopan Komissio suositteli, että sen pitoisuuksia mitattaisiin muiden mykotoksiinianalyyysien yhteydessä.

4.3 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet

Ergotalkaloideille ei ole tätä kirjoitettaessa vielä määritetty vierasaineasetukseen viljoissa ja viljatuotteissa sekä viljapohjaisissa lastenruoissa sallittavien enimmäismäärien lukuarvoja (lower bound -laskentaan perustuva enimmäismäärä on tulossa heinäkuussa 2021). Käsittelemättömissä viljoissa esiintyvien torajyväpahkojen enimmäismäärä on 0,5 g/kg. Direktiivi 2002/32/EC asettaa jauhamatonta viljaa sisältävälle rehulle torajyvien enimmäismääräksi 1 mg/kg. Euroopan Komissio on suosittellut ergotalkaloidien monitorointia elintarvikkeista.

Vierasaineasetuksessa on rajoitettu erukahapon pitoisuuksia kasviöljyissä ja -rasvoissa sekä sinapissa. Sitä ei ole analysoitu Suomessa.

Nitraatille on määrätty vierasaineasetuksessa enimmäismääriä eri lehtivihanneksissa ja lastenruoissa. Lehtivihannesten enimmäismääriin vaikuttaa keruuajankohta, sillä talvella sallitaan valon vähäisyydestä johtuvia korkeampia pitoisuuksia. Talousvesiasetuksessa on myös raja-arvo nitraattipitoisuudelle. Nitraattia käytetään myös elintarvikkeiden (lihavalmisteteet, kalavalmisteteet, juustot) säilöntäaineena, mutta tällöin sitä valvotaan lisäaineasetuksen EY No. 1333/2008 mukaisesti, ja nämä saantilähteet jäivät tämän raportin ulkopuolelle.

EU-tasolla ei ole enimmäismääriä elintarvikkeiden oopiumalkaloidipitoisuuksille. Unkarissa on asetettu kansalliset enimmäismäärät 30 mg/kg morfiinille, 20 mg/kg noskapiinille, thebainille ja kodeiinille kullekin, ja 40 mg morfiinille ja noskapiinille yhteensä (EFSA 2011). EFSA:n v. 2018 raportissa suurin mitattu morfiinimäärä unikonsiemenissä oli 272 mg/kg. Euroopan Komissio on julkaissut suosituksen toimista pitoisuuksien alentamiseksi unikonsiemenissä ja niistä valmistetuissa tuotteissa.

Suomessa ei ole mitattu unikonsiementen oopiumalkaloidipitoisuuksia, tai ainakaan näitä tietoja ei ole välitetty EFSA:n tietokantaan vuoteen 2018 mennessä. EFSA:lle toimitetuissa suomalaisissa ruoankäyttötiedoissa ei ole liioin eritelty unikonsiementen käyttöä. Unikonsiemenet lasketaan öljykasvien siemeniin, joiden käytöstä on annettu kansallisesti suositus ”enintään 2 rkl (n. 15 g) öljykasvien siemeniä päivässä siemenlajia vaihdellen”.

Pyrrrolitsidiinialkaloideja ei valvota minkään asetuksen nojalla, mutta Euroopan Komissio on antanut monitorointisuosituksen, johon on sisällytetty hunajan, maitotuotteiden ja muiden elintarvikkeiden analysoinnille laatuvaatimuksena toivotut määritysrajat. Suomesta ei ole käytettävissä analyysitietoja elintarvikkeiden pyrrrolitsidiinialkaloidipitoisuuksista.

Vierasaineasetusta täydentävässä komission asetuksessa (EU) 2017/1237 enimmäismääräksi vetysyanidia loppukuluttajalle tarkoitetuissa aprikoosin siemenissä on määrätty 20 µg/kg. Enimmäismäärään lasketaan myös syanogeenisiin yhdisteisiin sitoutunut vetysyanidi, HCN.

Vetysyanidin määrää alkoholijuomissa on rajoitettu sekä väkeviä alkoholijuomia koskevalla asetuksella (EC No 110/2008), jossa kivihedelmistä (esimerkiksi luumu, kirsikka ja aprikoosi) valmistettujen väkevien alkoholijuomien suurimmaksi HCN-pitoisuudeksi on määrätty 7 g/100 l sataprosenttista alkoholia, että aromiaineasetuksella (EU No 1334/2008), jossa kaikkien alkoholijuomien suurimmaksi HCN-pitoisuudeksi on määrätty 35 mg/kg (3,5 g/100 kg) alkoholijuomaa riippumatta alkoholipitoisuudesta.

Koska internetissä liikkuu vastuuttomia, tappavan annoksen rajan huomattavasti ylittäviä kehotuksia aprikoosin siementen syömisestä, Suomessa on annettu EFSA:n arvion pohjalta suositus, jonka mukaan lapsille ei pidä antaa enemmän kuin 0,37 g aprikoosin siemeniä niiden sisältämän amygdaliinin vuoksi. (<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/elintarvikkeiden-luontaiset-myrkyt/aprikoosinsiementen-amygdaliini/>). Lisäksi Ruokavirastossa on arvioitu pellavansiementen linamariinista tulevaa altistusta ja todettu, että öljysiementen nykyinen suositeltu käyttömäärä riittää suojelemaan kuluttajaa. (<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/elintarvikkeiden-luontaiset-myrkyt/pellavansiementen-linamariini/>)

Euroopan Komission suositus ((EU) 2016/2115) toteaa, että tetrahydrokannabinolin sekä sen prekursorien pitoisuuksista elintarvikkeissa olisi saatava enemmän tietoa. Monitorointisuositus koskee hamppurehulla ruokituista eläimistä saatavia tuotteita sekä hampua sisältäviä elintarvikkeita.

Vierasaineasetuksessa on enimmäismäärä viljapohjaisten lastenruokien atropiini- ja skopolamiinipitoisuuksille. Kumpaakin saa esiintyä enintään pitoisuudessa 1,0 µg/kg. Euroopan Komission monitorointisuosituksessa neuvotaan kohdentamaan tropaanialkaloidien valvontaa viljatuotteisiin (erityisesti tattari, hirssi ja pikkulapsille tarkoitettut tuotteet), gluteenittomiin tuotteisiin, ravintoliisiin ja yrteihin sekä palkokasveihin ja öljysiemeniin. Tiedot tropaanialkaloidien pitoisuuksista EU:ssa myynnissä olevissa elintarvikkeissa ovat olleet hajanaisia, eikä Suomessa ole analysoitu elintarvikkeista tropaanialkaloideja, sillä esimerkiksi hulluruohoa kasvaa täällä vain vähän.

4.4 Ympäristömyrkyt

Euroopan Komissio suositteli (2014/118/EU) PBDE-yhdisteiden valvontaa elintarvikkeista vuosina 2014 ja 2015. Tarkoituksena oli koota tietoa niiden esiintymisestä useissa eri elintarvikkeissa, jotta voitaisiin arvioida kuluttajien altistusta ja eri ruoankäyttötapojen vaikutusta siihen. Pysyvää monitorointisuositusta ei ole, eikä PBDE-yhdisteille ole toistaiseksi lainsäädännöllisiä enimmäismäärärajoja.

Vierasaineasetuksessa dioksiineille ja dl-PCB-yhdisteille on enimmäismääriä erilaisille lihatuotteille, sisäelimille (maksat), kalalle ja kalatuotteille, äyriäisille, maidolle ja maitotuotteille, munille ja munatuotteille, lastenruoalle sekä eri eläinten rasvoille ja rasvaseoksille.

Suomella ja joillakin muilla mailla on poikkeuslupa pitää kansallisilla markkinoilla Itämeren kalaa, vaikka sen pitoisuudet voivat ylittää vierasaineasetuksen enimmäismäärät. Poikkeusluvan ehtona on dioksiini- ja dl-PCB-pitoisuuksien säännöllinen seuranta eri kalalajeista. Sitä on toteutettu noin viiden vuoden välein, viimeksi EU-kalat III -hankkeessa (Airaksinen ym. 2018). Suomessa valvotaan kalojen pitoisuuksia säännöllisesti, ja dioksiini- ja dl-PCB-pitoisuuksia on mitattu viimeisimmän vuosikymmenen aikana myös juustosta, kotieläinten ja riistan lihasta ja sisäelimistä, maidosta, öljyistä sekä kananmunista.

PFAS-yhdisteille eli perfluoroalkyloiduille aineille ei ole asetettu enimmäismäärärajoja vierasaineasetuksessa. Komissio julkaisi vuonna 2010 monitorointisuosituksen (2010/161/EC), jossa kehoitettiin jäsenmaita määrittämään PFOS:n ja PFOA:n pitoisuuksia alueellaan. EU-kalat III -tutkimuksen yhteydessä PFAS-yhdisteet analysoitiin 110 yhdistetystä kalanäytteestä, yhteensä 1050 kalasta (Airaksinen ym., 2018), ja lisäksi jonkin verran analyysseja on tehty muista eläinperäisistä tuotteista kuten lehmänmaidosta ja eri kotieläinten lihasta. EFSA:n tietokantaan viedyistä eri jäsenmaiden valvontanäytteistä raporttiin tehdyssä koosteessa (EFSA 2018) PFAS-pitoisuudet kalassa ja kalatuotteissa olivat toiseksi korkeimpia. Lihassa ja lihatuotteissa pitoisuudet olivat vielä

kertaluokkaa suurempia kuin kalassa. EFSA:n vuonna 2020 julkaiseman raportin pitoisuusaineistossa korkeimmat neljän PFAS-yhdisteen summapitoisuudet oli mitattu riistan sisäelimestä. Toiseksi suurimmat pitoisuudet, kertaluokkaa riistan sisäelimiä pienemmät, raportoitiin eri kalalajeista, vaikka tuotantoeläinten sisäelinten ja riistan lihan pitoisuudet olivat suuruudeltaan useisiin kalalajeihin verrattavia. Suomessa mitattujen (5 kpl/laji) kotieläinten lihanäytteiden PFAS-pitoisuudet olivat alle menetelmän määrittämissä, ja määrittämissä ylittäviä tuloksia on mitattu vain kaloista.

Vierasaineasetuksessa on perkloraatille enimmäismääriä seuraavissa tuoteryhmissä: hedelmät ja vihannekset, kuivatut tee sekä yrtti- ja hedelmäuutejuomat, äidinmaidonkorvikkeet, vieroitusvalmisteet ja pikkulasten erityisruokavalio- tai juomavalmisteet, vauvanruoat ja viljapohjaiset valmisruoat. Suomessa analyysia on tehty erityisesti kasvukunnan tuotteista, mutta mitattavissa olevia pitoisuuksia on havaittu viime vuosina lähinnä palkokasveista ja kurkuista.

4.5 Prosessissa syntyvät vierasaineet

Akryyliamidille ei ole enimmäismäärärajoja vierasaineasetuksessa, mutta jo SCF (Scientific Committee of Food) suositteli vuonna 2002, että akryyliamidipitoisuuksien tulisi olla mahdollisimman pienet, ja Euroopan komission suosituksen (2010/307/EU) mukaan EU-maiden täytyy valvoa pitoisuuksia tietyissä elintarvikekategorioissa. Tätä suositusta on uusittu ja laajennettu vuonna 2019 (Komission suositus (EU) 2019/1888).

EU-alueella ei ole toistaiseksi enimmäismääriä alkoholituotteiden etyylikarbamaattipitoisuuksille, mutta etyylikarbamaattia analysoidaan useissa EU-maissa alkoholijuomista ja fermentoiduista elintarvikkeista, ja kansallisia enimmäismääriä on asetettu. Esimerkiksi Tšekissä hedelmäbrandyssa saa olla etyylikarbamaattia enintään 400 µg/l. EU suosittaa noudattamaan hyvän tuotannon käytäntöjä, joissa etyylikarbamaatin taso alkoholijuomissa saadaan maksimissaan noin 1 mg/l pitoisuuteen (Euroopan Komissio 2010).

Vierasaineasetuksessa ei ole annettu raja-arvoja furaanille vielä vuonna 2020. Furaania analysoidaan kuitenkin etenkin viljapohjaisista tuotteista, kasviksista ja kasvispohjaisista tuotteista, vauvanruuista sekä yhdistelmäruuista, ja useissa EU-maissa tehtiin furaaneihin keskittyvää kartoitusta 2014–2016. Metyylifuraaneja ei ole analysoitu elintarvikkeista.

Vierasaineasetuksessa on enimmäismääriä 3-MCPD:lle hydrolysoituna kasviproteiinissa ja soijakastikkeessa. Vapaan glysidolin määrittämistä varten ei sen sijaan ole (EFSA 2016 mukaan) vielä validoitua menetelmää, vaan glysidolia on analysoitu vain glysidyyliesterimuodossa.

Melamiinille on vierasaineasetuksessa raja-arvoja jauhemaisten äidinmaidonkorvikkeiden ja vieroitusvalmisteiden enimmäispitoisuudelle sekä muiden elintarvikkeiden enimmäispitoisuudelle. Lisäksi muoveja koskevassa lainsäädännössä on pakkausmateriaalista irtoavalle melamiinille migraation raja-arvona 30 mg/kg ruokaa, ja Euroopan Komissio on suosittanut ((EU) 2019/794) pakkausmateriaalista irtoavien aineiden, muun muassa melamiinin, esiintyvyyden tarkempaa tutkimista. Saksan BfR on selvittänyt bambua matkivasta melamiini-formaldehydimateriaalista irtoavaa melamiinia ja todennut, että sitä irtoaa enemmän kuin tavanomaisesta melamiini-formaldehydihartsista (BfR 2020), joten eniten altistuvat eri-ikäiset kuluttajat voivat altistua TDI-arvon ylittävälle melamiinimäärille.

Vierasaineasetuksessa on enimmäismääriä PAH-yhdisteille etenkin sellaisissa elintarvikekategorioissa, joissa niitä esiintyy paljon, kuten rasvat ja äyriäiset. Raja-arvoja on asetettu myös lastenruoalle sekä kaloille ja lihoille. Syyskuussa 2020 Euroopan Komissio antoi asetuksen (EU) 2020/1255, jolla

tietyissä jäsenvaltioissa (ml. Suomi) markkinoille voidaan saattaa perinteisesti savustettuja lihoja, lihatuotteita ja kaloja, jotka on tarkoitettu kulutukseen Suomessa ja joiden PAH-yhdisteiden enimmäispitoisuustasot ovat korkeammat kuin ulkomaisille markkinoille tarkoitettujen vastaavien tuotteiden. Asetus mahdollistaa perinteisesti savustettujen tuotteiden tuotannon jatkumisen.

4.6 Muut projektissa tutkitut aineet

Bisfenoleita ja ftalaatteja ei valvota vierasaineasetuksen nojalla, mutta elintarvikkeiden kontaktimateriaaleista irtoaville määrille on asetettu enimmäismäärärajoja. Lisäksi Euroopan Komission suositus ((EU) 2019/794) koordinoitusta valvontasuunnitelmasta elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista siirtyvien tiettyjen aineiden esiintyvyyden määrittämiseksi suosittelee bisfenoli A-, bisfenoli S- sekä ftalaattipitoisuuksien tutkimista, jotta tuotteiden määräystenmukaisuudesta saataisiin lisää tietoa.

EFSA:n arvion vuoksi Euroopan Komissio on antanut suosituksen ((EU) 2017/84) mineraaliöljyjen hiilivetyjen seurannasta elintarvikkeissa ja elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuviin materiaaleissa ja tarvikkeissa. Seurannan olisi katettava eläinrasvat, leipä ja sämpylät, konditoriatuotteet, aamiaisviljatuotteet (esim. murot, myslit), makeiset (suklaa mukaan luettuna), kaakao, kalanliha, kalasäilykkeet, syötäväksi tarkoitettut jyvät, jäätelöt ja jälkiruoat, öljysiemenet, pastavalmisteet, viljatuotteet, kuivatut palkokasvit, makkarat, pähkinät, kasviöljyt sekä kyseisten tuotteiden kanssa kosketukseen joutuvat pakkausmateriaalit. Suosituksessa kehoitettiin EU-jäsenmaita myös tarkastelemaan mineraaliöljyhiilivetyjen mahdollisia lähteitä. Vierasaineasetuksessa ei toistaiseksi ole näille yhdisteille enimmäismäärärajoja.

5 Prosessoinnin ja varastoinnin vaikutukset vierasaineiden pitoisuuksiin

Raaka-aineiden prosessointi

Raaka-aineiden puhdistaminen on tehokas keino vähentää monien vierasaineiden pitoisuuksia lopputuotteessa. Mykotoksiineja tuottavat homeet esiintyvät raaka-aineessa tyypillisesti pistemäisesti, joten raaka-aineen puhdistaminen voi alentaa esim. viljan mykotoksiinipitoisuuksia merkittävästi poistamalla erän eniten kontaminoituneet kohdat elintarvikeketjusta. Samoin tropaanialkaloidien pitoisuuksia voidaan jossakin määrin kontrolloida sadon puhdistuksella ja kasvinsuojelutoimilla, koska tropaanialkaloidit joutuvat viljelykasvien joukkoon pääasiallisesti kontaminaationa. Rikkakasvien siemenet ovat pieniä, ja ne ovat hankalampia erotella pienten jyvien, esimerkiksi hirssin joukosta. EFSA:n referoimassa kirjallisuudessa on kuitenkin havaittu, ettei torajyvien poistaminen juurikaan vähennä ergotalkaloidien määrää, mutta tämän syystä ollaan erimielisiä. Torajyviä sisältävissä näytteissä ei välttämättä ole mitattavissa olevia määriä ergotalkaloideja, ja toisaalta ergotalkaloideja voi esiintyä näytteissä, joissa ei ole näkyviä torajyviä.

Tetrahydrokannabinolia esiintyy suurimpina pitoisuuksina hampukasvin kukinnoissa ja ylimmissä lehdissä, kun taas siemenissä sen pitoisuus on pieni. Hyvin puhdistetuissa siemenissä ja niistä puristetussa öljyssä tetrahydrokannabinolia onkin hyvin vähän (EFSA 2015).

Epäorgaaninen arseeni ja kadmium kertyvät erityisesti viljanjyvän (mukaan lukien täysjyväreisin) kuoriosiin, joten kuoren poistavat raaka-aineiden prosessointimenetelmät voivat pienentää tuotteen pitoisuuksia ja vastaavasti leseissä voi esiintyä kohonneita pitoisuuksia. Samoin mykotoksiineja esiintyy viljanjyvissä erityisesti ulkokuoreen kiinnittyneinä, joten niiden pitoisuudet ovat suurimmat viljan puhdistuksessa syntyvissä sivutuotteissa kuten leseissä.

Jauhamisprosessissa mykotoksiinit eivät häviä, mutta ne jakautuvat tasaisemmin ja näin laimenevat (Schaarschmidt ym 2018). Samoin raakojen unikonsiementen oopiumalkaloidipitoisuudet voivat eri prosessointivaiheissa (pesu, liotus, lämpökäsittely, jauhanta) vähentyä niin, että lopputuotteessa on mitattavissa enää 0–75 % alkuperäisistä pitoisuuksista (EFSA 2018).

Vierasaineiden pitoisuuksiin vaikuttavat myös toimenpiteet, jotka perustuvat aineiden liukoisuuteen. Erukahappo on rasvaliukoinen ja päättyy öljykasvia puristettaessa lähes kokonaisuudessaan öljyyn, joten sen pitoisuutta ei saa näin vähennettyä. Sitä vastoin vesiliukoista nitraattia voi poistaa kasviksista pesemällä: lehtivihannesten peseminen ennen käyttöä voi alentaa luontaisia nitraattipitoisuuksia jopa 15 % (EFSA 2008). Lisäksi kuoriminen tai salaattien uloimpien lehtien poisto alentaa pitoisuuksia.

Kasviöljyn käsittely sen kiinteyttämiseksi (tyydyttyneisyyden lisääminen esimerkiksi hydraamalla) voi vähentää alkuperäisen erukahapon pitoisuuksia. Hydrauksessa voi kuitenkin syntyä transrasvahappoja, jotka ovat terveydelle haitallisia.

Purasruohoöljyn käsittelyprosessin on havaittu poistavan valtaosan pyrrolitsidiinialkaloideista. Hunajassa esiintyviä pitoisuuksia voi vähentää suodattamalla siitepölyn pois, mikä on kuitenkin pakkausmerkinnöissä kerrottavaksi määritelty toimenpide (EFSA 2011).

Elintarvikkeiden valmistus

Elintarvikkeiden valmistuksella ei todennäköisesti ole merkittävää vaikutusta tutkittujen metallien ja puolimetallien pitoisuuksiin lukuun ottamatta sitä, että valmistuksessa haihtuva vesi voi lisätä lopputuotteessa mitattavissa olevia määriä suhteessa pienentyneeseen painoon. Kuumennus voi myös käynnistää reaktioita, joiden seurauksena elintarvikkeessa olevat orgaaniset arseeniyhdisteet muuttuvat myrkyllisemmiksi epäorgaanisiksi yhdisteiksi (esim. Laparra ym 2005) tai elohopeayhdisteet reagoivat toisikseen. Eri kypsennysmenetelmien vaikutuksista eri elintarvikemateriaaleihin (etenkin eri kalalajeihin ja -ruokiin) on liian vähän tietoa yksiselitteisten johtopäätösten tekemiseksi. Toisaalta on havaittu, että riisin peseminen ennen kypsennystä voi alentaa arseenipitoisuutta (Perelló ym 2008).

Alumiiniyhdisteiden käyttö elintarvikeparanteena sekä pakkausmateriaaleista mahdollisesti irtoava alumiini voivat lisätä tuotteen kokonaisalumiinipitoisuuksia, mutta tällöin kyseessä on muun lainsäädännön kuin vierasaineasetuksen kautta valvottava tilanne. Samantyyppinen tilanne on mineraaliöljyjen hiilivetyjen suhteen: MOSH-yhdisteitä esiintyy elintarvikkeiden lisäaineissa (pintakäsittelyyn hyväksytyt parafiinivahat) ja valmistuksen apuaineissa sekä esimerkiksi riisin ja makeisten pintakäsittelyssä käytetyissä öljyissä.

Erilaisten kuumennusmenetelmien vaikutus mykotoksiineihin riippuu yhdisteestä ja kuumennuksen määrästä.

Aflatoksiinit ovat hyvin pysyviä erilaisissa käsittelyissä, ja siksi kuumentaminen, paahtaminen tai muut valmistusprosessit eivät vähennä aflatoksiinipitoisuuksia elintarvikkeissa, vaan niitä esiintyy vielä leipomotuotteissakin tai paahtetuissa pähkinöissä (Marin ym. 2013).

Deoksinivalenoli ei merkittävästi hajoa paistamisen, keittämisen tai oluenvalmistuksen aikana, mutta niiden vaikutus deoksinivalenolin johdannaisten pitoisuuksiin tunnetaan huonommin (EFSA 2017). Samoin T2- ja HT2-toksiinit kestävät hyvin käsittelyä eivätkä hajoa esimerkiksi leipomisen tai paistamisen aikana, vaikkakin vaihtelua voi esiintyä prosessin yksityiskohtien mukaan. Ohran mallastus yleensä pienentää näiden toksiinien pitoisuuksia, vaikka myös ristiriitaisia tuloksia on raportoitu. (EFSA 2011, Marin ym. 2013) Myös zearalenoni kestää keittämistä ja muuta kuumennusta miedolla lämmöllä, mutta alkaa hajota noin 200 asteen lämpötilassa. Emäksisissä oloissa tai vesiliuoksessa hajoamista tapahtuu jo 150 asteessa. Valmistus ekstruusiomenetelmällä pienentää niin ikään zearalenonipitoisuutta (EFSA 2011).

Prosessointi voi johtaa fumonisiinien reagointiin niin, että osa alkuperäisestä määrästä on näkymättömissä kovalenttisesti matriisikomponentteihin sitoutuneena. Näin sitä ei välttämättä ole mahdollista analysoida, mutta monet näistä muokatuista fumonisiineista ovat edelleen myrkyllisiä.

Okratoksiini on hyvin pysyvä yhdiste, joka säilyy useimmissa ruoanvalmistusmenetelmissä. Pitoisuudet laskevat vasta, jos elintarvike kuumennetaan yli 250 °C lämpötilaan usean minuutin ajaksi (Marin ym. 2013 viitteinen). Hiivan fermentaatio voi alentaa OTA-pitoisuuksia leivässä, ja joissakin tutkimuksissa on edellä mainitun vastaisesti havaittu OTA-pitoisuuksien pienenevän leivän valmistuksessa jo matalammassakin lämpötiloissa (Schaarschmidt ym 2018 viitteinen). Toisaalla (EFSA 2020) on todettu 180 °C lämpötilaan kuumentamisen voivan vähentää pitoisuuksia jopa 90 %. Kahvissa paahtoaste vaikuttaa OTA-pitoisuuksiin, ja cafe lungossa (joka ehkä parhaiten vastaa suomalaistyyppistä kahvia) juomaan siirtyvät pitoisuudet ovat selvästi suurempia kuin espressossa tai ristretossa (EFSA 2020).

Prosessointimenetelmät, joihin liittyy alkoholikäymistä, tuhoavat patuliinia. Patuliinia esiintyy erityisesti pinnaltaan vaurioituneissa hedelmissä ja niistä valmistetuissa tuotteissa.

Elintarvikkeiden prosessointi voi vähentää sterigmatokystiinien määrää lopputuotteessa, mutta vaikutuksen suuruus riippuu elintarvikkeen tyypistä ja käytetyistä prosesseista. Esimerkiksi juuston valmistuksessa sterigmatokystiinien määrän vähenemiseen vaikuttavat maitotyyppi, hapatteen tyyppi ja säilytysaika. Toisaalta leivän valmistusprosessissa sterigmatokystiinien määrä pysyi jokseenkin vakiona.

Prosessoinnin vaikutus elintarvikkeiden sitriniinipitoisuuksiin tunnetaan huonosti (EFSA 2012). Sitriniinin tiedetään olevan herkkä lämmölle ja se alkaa hajota jo 70 asteen lämmössä pitkään kuumennettaessa. Yhdisteen on todettu hajoavan kokonaan 175 asteeseen kuumennettaessa. Kosteassa lämmössä hajoaminen tapahtuu alhaisemmissa lämpötiloissa. Yhteys ei kuitenkaan ole selvä; joidenkin tutkimusten mukaan lämpö saattaa lisätä sitriniinipitoisuutta. Toisaalta osa hajoamistuotteista on toksisempia kuin itse sitriniini.

Nitraatin kokonaispitoisuuksiin vaikuttaa elintarvikkeiden prosessointiin liittyvä mahdollinen lisäainekäyttö niihin elintarvikkeisiin, joihin lisäaineasetuksen (EY No 1333/2008) mukaan on sallittua lisätä natriumnitraattia tai kaliumnitraattia (E251, E252). Keittämisen vaikutus nitraattipitoisuuksiin vaihtelee (Suomi ym. 2013), mutta esimerkiksi pinaatin kypsentäminen alentaa sen nitraattimääriä etenkin, jos keitinvesi kaadetaan pois.

Pellavan linamariini imeytyy helpommin pellavansiemenrouheesta kuin kokonaisista siemenistä. Myrkyllisen syanidin vapautuminen on kuitenkin niin hidasta, että pitoisuudet elimistössä eivät kohoa vaaralliselle tasolle, ellei rouhetta syödä hyvin suuria kerta-annoksia. Myös kuumennus vähentää syaanivedyn muodostumista tai estää sen kokonaan paahdetuissa pellavatuotteissa, sillä se inaktivoi syaanivetyä vapauttavan beetaglukosidaasi-entsyymin (Abraham ym. 2016). Sama koskee myös muita kuumentamalla syanogeenisiä yhdisteitä sisältävistä raaka-aineista valmistettuja tuotteita. Siksi esimerkiksi marsipaanissa ja persipaanissa on vähemmän vapautuvaa syanidia kuin karvasmanteleissa ja aprikoosinsiemenissä. Kuumennus ei siis poista syanogeenisiä yhdisteitä, vaan ainoastaan vähentää vetysyanidin irtoamista niistä.

Tropaanialkaloidit vaikuttavat kestävästi kuivausta, lämpökäsittelyä ja ruoanvalmistusta melko hyvin.

Hampun sisältämät tetrahydrokannabinolin esiasteet dekarboksyloituivat tetrahydrokannabinoliksi kuumennettaessa, esimerkiksi keittämisen tai paistamisen aikana, mutta tuskin maidon pastöroinnin aikana. Tetrahydrokannabinolin muodostuminen riippuu siis käytetystä lämpötilasta ja muista olosuhteista.

Elintarvikkeiden valmistusprosessit voivat muuttaa rasvaliukoisten PBDE-yhdisteiden ja muidenkin organohalogenien pitoisuuksia, mikäli rasvapitoisuus pienenee. Kypsennyksen vaikutus niihin on elintarvikkeen tyypistä ja kypsennyksen menetelmästä riippuvaa (EFSA 2011). Valmistus- ja prosessointimenetelmät, jotka poistavat rasvaa elintarvikkeesta, todennäköisesti vähentävät myös tuotteen dioksiinipitoisuutta.

EU:n ulkopuolella käytetään perkloriittia sisältävää hypokloriittia elintarvikkeiden desinfiointiin. Tämä käytäntö on EU:ssa kielletty, vaikka joissakin tutkimuksissa on todettu, ettei hypokloriittikäsittely muuta merkittävästi jo ennestään kontaminoituneen lehtivihanneksen perkloriittipitoisuuksia (EFSA 2014). Hypokloriittiliuosta käytetään myös elintarvikelinjastojen desinfiointiin, joten tällainen linjasto on mahdollinen, vaikkakin huuhtelukäytäntöjen ansiosta epätodennäköinen, kontaminaatiolähde.

Prosessissa muodostuvia vierasaineita syntyy nimensä mukaisesti elintarvikkeiden prosessoinnin yhteydessä, joten olosuhteiden valinnalla voidaan jossakin määrin hallita niiden muodostumista.

Akryyliamidin pitoisuuksia elintarvikkeissa voi vähentää muun muassa pienentämällä kuumennusaikaa ja -lämpötilaa, vaikuttamalla substraatteihin, sekä hajottamalla jo syntynyt akryyliamidi. Khorshidian ym. (2020) spekuloiivat, että fruktoosi pelkistävänä sokerina muodostaa jopa kaksi kertaa enemmän akryyliamidia kuin glukoosi, ja myös EFSA:n mukaan fruktoosi muodostaa enemmän akryyliamidia kuin glukoosi. Oluen valmistuksessa maltaan keittämisvaiheessa voi syntyä pieniä määriä akryyliamidia (IARC 2010), mutta pitoisuudet vaihtelevat paljon. On mahdollista, että akryyliamidi saattaa hajota prosessoinnin aikana. Tummapaahteisessa kahvissa on vähemmän akryyliamidia mutta enemmän furaaneja kuin vähemmän paahdetussa (Lanz ym. 2006).

Tuoreimmat tutkimukset ovat keksineet uusia keinoja akryyliamidin vähentämiseen elintarvikkeissa esimerkiksi probioottien avulla. Mekanismeja on esitetty useita: asparaginaasientsyymien toiminta (Khorshidian ym. 2020), akryyliamidin sitoutuminen laktobasillien solukalvoon ja erittyminen ulosteen mukana (Khorshidian ym. 2020) tai se, että probiootit käyttäisivät akryyliamidia hiilen lähteenä metaboliassaan (Katarzynan ym. 2020). Nämä keinot eivät kuitenkaan sovellu kaikille elintarviketyypeille. Kahvin akryyliamidipitoisuuksien vähentäminen muuttamatta koko makuprofiilia on toistaiseksi lähes mahdotonta, ja perunalastut ovat myös ongelmallisia (Powers ym. 2017), etenkin pohjoismaisista perunalajikkeista valmistetut.

Alkoholijuomissa päämekanismit etyylikarbamaatin muodostumiseen ovat sitrulliinin tai urean reaktio etanolin kanssa (Zhao ym. 2013). Etyylikarbamaattipitoisuudet pienenevät, jos urean tai sitrulliinin pitoisuuksia voidaan vähentää. Riisin esikäsitellyllä kuten pesemisellä ja kiillotuksella on esitetty vähennettävän urean muodostumista. Gowdin ym. (2018) katsausartikkelissa todetaan, että lämpötilan monitoroinnilla on merkittävä vaikutus etyylikarbamaatin muodostumiseen prosessoinnin aikana. Antioksidanttien tai fenolisten happojen on todettu vähentävän etyylikarbamaatin muodostumista (Zhou ym. 2017; Hashiguchi ym. 2010). Niukkahappiset olosuhteet vähentävät vetysyanaatin ja siten etyylikarbamaatin muodostumista. Eri hiivakannoista syntyy eri määriä etyylikarbamaattia alkoholin valmistuksessa, ja maitohappobakteerienkin kannalla on merkitystä, sillä ne vapauttavat fermentoinnin yhteydessä arginiinista sitruliinia (EFSA 2008).

Furaanit ovat herkästi haihtuvia, ja siksi niiden pitoisuudet elintarvikkeissa voivat laskea säilytyksen ja avoimessa astiassa lämmittämisen aikana, etenkin jos ruokaa sekoitetaan kuumennuksen jälkeen. Haihtuvuutta heikentää, jos furaani on muodostanut sidoksia ruoan yhdisteiden kuten lipidien kanssa (EFSA 2017). Elintarvikkeen happamuus vaikuttaa furaanien muodostumiseen: happamissa olosuhteissa sokerien kyky muodostaa furaania heikkenee, mutta C-vitamiini reagoi furaaniksi herkemmin happamissa kuin emäksisissä oloissa (Limacher ym. 2007). Antioksidantit vähentävät ja hapettavat aineet lisäävät furaanin muodostumista vaikuttamalla rasvahappojen hapettumiseen (Becalski ja Seaman 2005).

Fysikaalisista tekijöistä lämpötilalla ja ajalla on suurin merkitys. Lyhytkestoinen lämpökäsittely korkealla lämpötilalla saattaa tuottaa enemmän furaania, kuten esimerkiksi 7 minuutin käsittely 150 °C:ssa tuottaa vähemmän furaania kuin 3,5 minuutin käsittely 190 °C:ssa (DTU 2009). EFSA (2017) on päättänyt, että tästä voi johtua kahvipapujen furaanipitoisuuden riippuvuus paahdoasteesta. Pikakahvijauheessa on havaittu 2-metyylifuraania moninkertaisesti suurempina pitoisuuksina kuin furaania, mutta lastenruoassa havaitaan enemmän furaania kuin metyyllifuraania (EFSA 2017). Kahvin säilyttäminen 8 tunnin ajan termospullossa vähensi furaanipitoisuuksia 98 % (Mesias ja Morales 2014). EFSA (2017) toteaa, että koska tomaattimehussa metyyllifuraanipitoisuus vähenee huomattavasti säilytyksen aikana, on todennäköistä, että metyyllifuraanit haihtuvat herkemmin kuin furaani.

Craftin ym. (2012) pohdinnan mukaan hedelmien ruhjoutuneissa osissa lipaasin aktiivisuus lisääntyy, mikä puolestaan lisää mono- ja diasyylyglyserolien määrää hedelmässä ja vaikuttaa glysidyyliesterien muodostumiseen. Saksalaisen tutkimusryhmän (2009) mukaan deodorisointiprosessin jakaminen kahteen osaan, jossa käsitellään ensin pitkäkestoisesti matalalla lämpötilalla ja sitten lyhytkestoisesti korkealla lämpötilalla, vähentää glysidyyliesterien muodostumista.

Prosessoinnissa käytettyjen laitteistojen voiteluöljyistä voi tuotteisiin päätyä MOH-yhdistejäämiä (EFSA 2012), vaikka tämä kontaminaatiolähde ei suoraan prosessoinnin tavasta johdukaan.

Kriittisiä parametreja PAH-yhdisteiden muodostumiseen elintarvikkeiden savustamisen aikana ovat lämpötila, kosteus, aika ja käytetyn savun laatu, johon vaikuttaa esimerkiksi puulajikkeen valinta (EFSA 2008). EU:n aromiaineasetuksella säädeltäviä savuaromeja käytetään nykyään korvaamaan perinteinen savustus, jotta altistumista PAH-yhdisteille voidaan välttää. Rasvaisten elintarvikkeiden grillauksessa PAH-yhdisteet muodostuvat rasvahappojen palamisessa. Etenkin suorassa tulesa grillaaminen edistää bentso(a)pyreenin syntyä. Larsson ym. (1983) havaitsi bentso(a)pyreeniä muodostuvan huomattavasti vähemmän hiilloksella grillattuun ruokaan, kuin liekissä grillattuun. Tärkeimpiä PAH-yhdisteiden muodostumista ehkäiseviä tekijöitä ovat etäisyys liekistä, grillausaika sekä rasvapitoisuus.

Kahvipapuja paahdettaessa PAH-yhdisteiden määrä kasvaa paahtoajan ja lämpötilan funktiona (Houessou ym. 2007), mutta koska ne eivät ole vesiliukoisia, niiden liukeneminen valmiiseen juomaan on epätodennäköistä.

Elintarvikkeiden tai niiden raaka-aineiden säilytys, varastointi ja jakelu

Varastointi voi lisätä tuotteen mykotoksiinipitoisuuksia, mikäli olosuhteet ovat otolliset niitä tuottavien homeiden kasvuille. *Alternaria*-suvun homesienet voivat pilata ruokia myös jääkaappilämpötiloissa (EFSA 2016). Useat mykotoksiinit, esimerkiksi monet *Fusarium*-toksiinit, ovat melko pysyviä eivätkä jo syntyneet myrkyt hajoa merkittävästi varastoinnin aikana.

Okratoksiini-kontaminaatio voi tapahtua sekä kasvukaudella että varasto-olosuhteissa. Ainakaan viikunoilla okratoksiini-kontaminaation ei ole havaittu liittyvän vääriin säilytysoloihin, joten pitoisuuksien minimointi on FRUCOM-asiantuntijatutkimuksen mukaan vaikeaa. Muille raaka-aineille erilaiset mekaaniset (jaottelu, seulonta, lämpökäsittelyt) ja visuaaliseen jaotteluun (vaurioituneiden tuotteiden poisto) perustuvat puhdistustoimet alentavat OTA-pitoisuuksia lopputuotteessa (EFSA 2020).

Jos keitettyjä nitraattipitoisia kasviksia säilytetään väärin (mikrobien kasvuun soveltuvissa oloissa, tai esimerkiksi kypsennetyn pinaatin säilytys ja uudelleenlämmitys), nitraatti voi pelkistyä nitriitiksi niin suurina määrinä, että syöjä voi saada methemoglobinemian oireita (EFSA 2010). Normaalioloissa pinaatti tai muukaan elintarvike ei sisällä niin suuria nitraatti- tai nitriittimääriä, että ne voisivat vaikuttaa kuluttajan terveyteen. Ainoastaan useita pinaattiaterioita päivässä syöville pikkulapsilla altistus voi nousta yli rajan, jolla terveydellisten haittavaikutusten riskiä ei voi enää täysin sulkea pois (EFSA 2010).

Elintarvikkeiden säilytyksen aikana pyrrolitsidiini-alkaloidit eivät vaikuta hajoavan merkittävässä määrin (EFSA 2015).

Kahvin akryyliamidipitoisuudet pienenevät huoneenlämmössä tapahtuvan säilytyksen aikana, mutta toisaalta furaania syntyy jo huoneenlämmössä.

Pakkausmateriaalit ja muut tuotantoketjun kontaktimateriaalit

Elintarvikkeiden pakkausmateriaaleista voi irrota ruokaan joitakin tässä tutkimuksessa käsitellyistä aineista. Alumiinia tai tinaa sisältävistä astioista liukenee näitä metalleja etenkin, jos elintarvike on hapan ja säilytysaika pitkä. Tinan liukenemiseen vaikuttavat myös mm. säilytyslämpötila (liukeneminen sitä suurempaa, mitä korkeampi lämpötila), säilyketökin sisään jäänyt happi, tinatun pellin laatu sekä eräät elintarvikkeissa esiintyvät aineet, esim. nitraatti ja sulfiitti (Hallikainen ym. 2013).

Mikäli elintarvikkeen pakkausmateriaalissa on epäpuhtautena PBDE-yhdisteitä, ne voivat siirtyä rasvaiseen ruokaan (EFSA 2011).

PFAS-yhdisteitä voi päätyä elintarvikkeisiin ympäristöperäisten lähteiden lisäksi pakkausmateriaaleista tai prosessoinnissa käytetyistä laitteistoista. Näiden lähteiden merkitys vaihtelee tuotteiden ja prosessien välillä.

Pakkausmateriaalit ja astiat on todettu mahdollisiksi melamiinikontaminaation lähteiksi. Melamiinin siirtymistä muoviasioista ruokaan on tutkittu melko runsaasti. Melaware-astiat ovat yleisiä lasten käyttöastioina kotien lisäksi päiväkodeissa ja kouluissa, ja niistä on todettu liukenevan melamiinia erityisesti happamiin ja kuumiin juomiin tai ruokiin. Kontaminaatio ei rajoitu uusiin astioihin, vaan sitä on mitattu jopa useita vuosia käytetyissä astioissa (EFSA 2010).

Mineraaliöljyhiilivetyjä päätyy elintarvikkeisiin pakkausmateriaaleista, etenkin kierrätyspahvista tai -paperista valmistetuista materiaaleista ja paperiin tai pahviin käytetyistä painomusteista. MOH-yhdisteitä käytetään myös muovintuotannossa mm. polystyreenin voiteluaineina ja pakkauksiin tai vahapaperiin käytettyinä kiinnikkeinä. Niitä esiintyy myös säilyketölkien valmistuksessa käytetyissä voiteluaineissa ja elintarvikkeiden vahapinnoitteissa.

Säilyttäminen voi olla yksi tapa vähentää PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. Tietyt pakkausmateriaalit (LDPE ja PET) voivat imeyttää itseensä PAH-yhdisteitä, mutta vaikutuksen suuruus vaihtelee eri elintarvikkeiden ja pakkausmateriaalien välillä (Simko ym. 2005). Valon avulla (fotodegradaatio) voi olla mahdollista hajottaa PAH-yhdisteitä.

Pakkausmateriaali ja elintarvikkeiden valmistusprosessissa käytettyjen laitteistojen materiaalit voivat lisätä elintarvikkeen BPA- ja ftalaattipitoisuutta.

6 Vierasaineiden prioriteettilista toksisuuden ja suomalaisten altistusmäärien perusteella

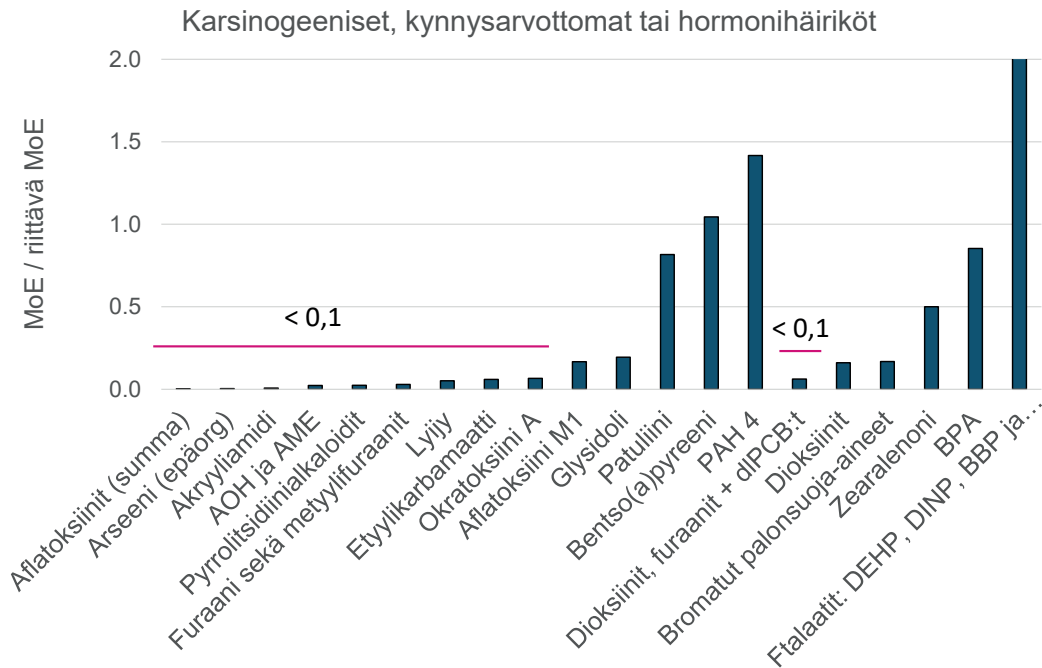
Luvussa 6 tarkastellaan ainekohtaista prioriteettijärjestystä. Aineet on asetettu järjestykseen vaikutusluokkiensa (vertaa Kuva 1) ja suomalaisten suurkuluttajien altistukseen liittyvän terveyshaitan riskin mukaan. Suurkuluttajien altistuksella tarkoitetaan määrää, jota suurempi altistus on enintään 5 %:lla tutkitusta ikäryhmästä. Altistusmarginaali (MoE, esimerkiksi BMDL/altistus) laskettiin sekä lapsille että aikuisille, ja prioriteettijärjestys määritettiin pienimmän altistusmarginaalin mukaan.

MoE suhteutettiin siihen arvoon, jota EFSA pitää mitättömään riskiin liittyvänä. Esimerkiksi jos suomalaisten lasten altistusmarginaali on 6 000 ja EFSA katsoo, että altistusmarginaalin pitäisi olla vähintään 10 000, suhdeluku on 0,6. Jaottelussa on käytetty kolmiportaista asteikkoa.

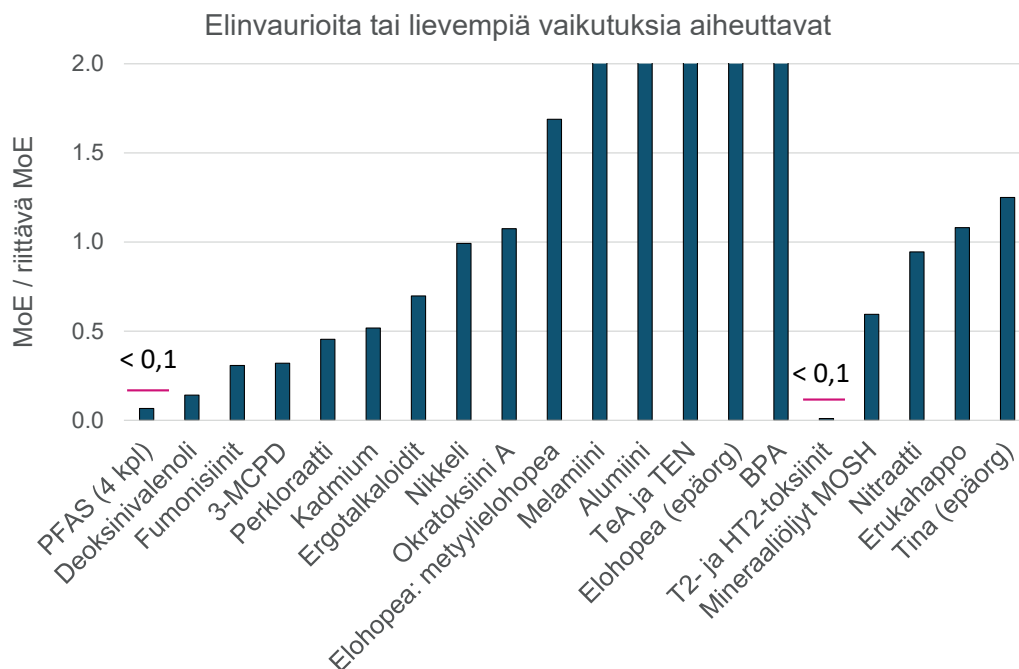
- MoE:n ja EFSA:n arvion mukaan riittävän MoE:n suhdeluku $\leq 0,1$ eli altistus on huomattavasti suurempaa kuin mitättömän riskin altistus
- Suhdeluku $0,1 < x < 1$ eli altistus on suurempaa kuin mitättömän riskin altistus ainakin toisella ikäryhmistä
- Suhdeluku on vähintään 1 eli altistukseen liittyvä terveyshaitan riski on mitätön.

Priorisoinnin osalta on huomattava, että käytetty mittari vaikuttaa lopputulokseen. Suomessa on toistaiseksi määritetty tautitaakkaa vain muutamalle kemialliselle elintarvikevaaralle. RUORI-hankkeessa (Suomi ym. 2019) arvioitiin, että suomalaisten nykyaltistuksella aiheutuva tautitaakka on aflatoksiinien osalta 10 haittapainotettua elinvuotta (DALY), lyijyn osalta 570 DALY ja dioksiinien osalta 22 DALY. Tautitaakanäkökulmasta järjestys olisi siis lyijy – dioksiinit – aflatoksiinit. Nyt tehdyssä priorisoinnissa on pyritty huomioimaan terveyshaitan todennäköisyys, mutta haittavaikutuksen (lyijyllä älykkyyden heikkenemiseen liittyvät kehityksenaikaiset keskushermostovauriot, aflatoksiineilla maksasyöpä, dioksiineilla hedelmällisyyteen vaikuttavat hormonitoiminnan häiriöt) painoarvoa eli vaikutusta elämänlaatuun ja menetettyihin elinvuosiihin ei ole ollut mahdollista huomioida.

Taulukkoihin 13 ja 14 on tiivistetty tärkeimmät tulokset yhdistekohtaisesta priorisoinnista, ja tulokset on esitetty myös kuvaajina (Kuvat 4–6). Liitteen 2 taulukoissa tarkennetaan kullekin yhdisteelle käytettyjä aineistoja sekä priorisoinnin taustaoletuksia. Ne on tarkoitettu erityisesti riskinhallinnan asiantuntijoiden päätöksenteon tueksi.



Kuva 4. Karsinogeeniset, kynnysarvottomat lisääntymiselle toksiset tai hormonitoimintaa häiritsevät vierasaineet (ryhmät A ja A-edc). Kuvaajan y-akseli on katkaistu pienimpien arvojen esittämiseksi, joten suhdelukuun 9 yltävä ftalaattipylväs ei näy kokonaisuudessaan. Punaisella viivalla on merkitty aineet, joiden suhdeluku on alle 0,1 eli altistus on huomattavasti suurempaa kuin mitättömään riskiin liittyvä altistus. Ryhmään A kuuluvat fomopsiini, sterigmatokystiini ja mineraaliöljyjen hiilivedyt MOAH puuttuvat kuvaajasta, sillä niistä ei ollut saatavilla kylliksi tietoa suhdeluvun arvioimiseksi.



Kuva 5. Elinvaurioita tai lievempiä terveyshaittoja aiheuttavat vierasaineet (ryhmät B ja C). Kuvaajan y-akseli on katkaistu pienimpien arvojen esittämiseksi, joten vierasaineilla melamiinista (suhdeluku 2,2) bisfenol A:han (BPA, suhdeluku 4,8) pylväs ei näy kokonaisuudessaan. Punaisella viivalla on merkitty aineet, joiden suhdeluku on alle 0,1 eli altistus on huomattavasti suurempaa kuin mitättömään riskiin liittyvä altistus. Okratoksiini A ja bisfenoli A (BPA) esiintyvät myös kuvassa 4. Ryhmään B kuuluva sitriini puuttuu kuvaajasta, sillä siitä ei ollut saatavilla kylliksi tietoa suhdeluvun arvioimiseksi.



Kuva 6. Kerta-annoksella terveyshaittoja aiheuttavat vierasaineet. Kuvaajan y-akseli on katkaistu pienimpien arvojen esittämiseksi, joten syanogeenisten glykosidien (suosituksen mukainen käyttö, suhdeluku 3), pyrrolitsidiinialkaloidien (20) ja tetrahydrokannabinolin (7,8) pylväät eivät näy kokonaisuudessaan. Punaisella viivalla on merkitty aineet, joiden suhdeluku on alle 0,1 eli altistus on huomattavasti suurempaa kuin mitättömään riskiin liittyvä altistus.

Taulukko 13. Vierasaineiden riskiluokittelu pitkäaikaiseen altistukseen liittyvien terveyshaittojen kannalta. Luokittelussa on huomioitu enemmän altistuva ikäryhmä (lapset tai aikuiset) ja käytetty ns. upper bound -skenaariota. Väestöstä 95 %:lla riski on enintään taulukossa kuvatun suuruinen. Oletuksia on kuvattu tarkemmin myöhemmissä alaluvuissa.

	Altistus huomattavasti suurempi kuin mitättömän riskin altistus	Altistus suurempi kuin mitättömän riskin altistus	Riski mitätön	Ei tietoa riskistä
Syöpää aiheuttavat tai sikiölle haitalliset aineet, joille ei ole kynnysarvoa	Aflatoksiinit Arseeni Akryyliamidi Furaani ja metyyli-furaanit Alternariatoksiinit AOH ja AME Lyijy Etyylikarbamaatti Okratoksiini A	Pyrrrolitsidiini-alkaloidit Aflatoksiini M1 Glysidoli Patuliini	Bentso(a)pyreeni PAH4 Sterigmatokystiini	MOAH Fomopsiinit
Hormoni-toimintaa häiritsevät aineet	Dioksiinit ja dl-PCB:t ^(*,1)	Dioksiinit ⁽²⁾ BDE-99 Zearalenoni Bisfenoli A	Ftalaatit (DEHP, DINP, BBP, DBP) Tetrahydro-kannabinoli	
Vakavia elinvaurioita tai kynnysarvoa suuremmalla altistuksella sikiövaurioita/syöpää aiheuttavat	PFAS-yhdisteet (4 kpl)	Deoksinivalenoli PFOA ja PFOS Fumonisiinit Kadmium Ergotalkaloidit Perkloraatti 3-MCPD	Nikkeli Okratoksiini A, ei-karsinogeeniset Metyyli- ja epäorg. elohopea Melamiini Alumiini Alternariatoksiinit TeA ja TEN Bisfenoli A	Sitriniini
Lievemmat tai palautuvat vaikutukset	T2- ja HT2-toksiinit	Nitraatti	Erukahappo Epäorgaaninen tina MOSH	

*) Kansallisen biomonitorointitutkimuksen (Rantakokko ym. 2020) perusteella riski on pienempi kuin tässä esitetty, EFSA:n elintarvikkeista saadun altistuksen toksikologiseen raja-arvoon perustuva arvio.

¹⁾ Dioksiinien ja dl-PCB -yhdisteiden summa, kokonais-TEQ

²⁾ Vain dioksiinit, kokonais-TEQ

Taulukko 14. Vierasaineiden riskiluokittelu elintarvikkeista saatavissa olevaan kerta-annokseen perustuvien terveyshaittojen kannalta. Mukana ovat vain ne aineet, joista voi aiheutua oireita jo yhdellä annoksella. Luokittelussa on huomioitu enemmän altistuva ikäryhmä (lapset tai aikuiset) ja käytetty ns. upper bound -skenaariota. Väestöstä 95 %:lla riski on enintään taulukossa kuvatun suuruinen. Oletuksia on kuvattu tarkemmin myöhemmissä alaluvuissa.

	Altistus huomattavasti suurempi kuin mitättömän riskin altistus	Altistus suurempi kuin mitättömän riskin altistus	Riski mitätön
Vaikutus voi olla tappava		Syanogeeniset glykosidit Tropaanialkaloidit	Ergotalkaloidit Syanogeeniset glykosidit suositusten mukaisilla käyttömäärillä Pyrrolitsidiini-alkaloidit
Vaikutus on lievempi	Nikkeli (allergiselle) T2- ja HT2-toksiinit Morfiini	Deoksinivalenoli	Kodeiini Tetrahydrokannabinoli

Tämän raportin ulkopuolelle on rajautunut joitakin vierasaineita, jotka on todettu mahdollisesti merkittäviksi vasta raportin kirjoitusvaiheen aikana. Tällaisia ovat esimerkiksi glykoalkaloidit, joiden pitoisuuksia perunassa rajoitetaan MMM:n asettamalla kansallisella raja-arvolla, mutta joille ei ole EU-lainsäädännössä raja-arvoja. Tätä raporttia kirjoitettaessa, kesällä 2020, EFSA laati arvon glykoalkaloideista ja katsoi niiden (akuutisti) aiheuttamiin ruoansulatuskanavan oireisiin liittyvän terveyshaitan riskin mitättömäksi, kun MoE suhteessa LOAEL-arvoon 1 mg/kg rp/vrk on vähintään 10. Lähinnä saksalaisiin ja alankomaalaisiin näytteisiin perustuvassa arviossaan EFSA totesi, että suomalaisilla suurkuluttajilla MoE on glykoalkaloidipitoisten ruokien käyttöpäivinä alle 10 (lapsilla noin 2). Taulukossa 14 glykoalkaloidit sijoittuisivat siis deoksinivalenolin seuraksi ruutuun Vaikutus on lievempi / Altistus on suurempi kuin mitättömään riskiin liittyvä altistus.

7 Arvio kansallisten pitoisuustietojen hankkimisen prioriteettijärjestyksestä

Taulukossa 15 a vierasaineet on asetettu riskin todennäköisyyden ja terveyshaitan vakavuuden mukaiseen prioriteettijärjestykseen, eli Taulukon 13 saraketta ylhäältä alas lukien. Ylinnä ovat siis vierasaineet, joille suomalaisten altistus on merkittävästi suurempaa kuin mitättömän riskin annos ja joiden terveyshaittana on karsinogeenisyys, kehityshäiriö tai hormonitoiminnan häiriö. Alinna ovat vierasaineet, joiden osalta riski on nykytietojen nojalla mitätön. Akuutteja vaikutuksia aiheuttavat vierasaineet ovat Taulukossa 15 b samalla tavoin järjestettynä. Taulukoihin on merkitty kunkin vierasaineen tärkeimpiä altistuslähteitä sekä elintarvikeryhmiä, joissa pitoisuudet voivat olla suuria. Lisäksi taulukossa esitetään kansallisten pitoisuustietojen (viranomaisaineistot) niukkuus tai vanhuus sekä Vierasaineasetuksen (konsolidoitu versio 1.4.2020) nojalla valvottavat ryhmät.

Taulukossa 16 tutkitut vierasaineet ovat aakkosjärjestyksessä, ja tärkeimmät altistuslähteet sekä suuria pitoisuuksia sisältävät elintarvikeryhmät on merkitty värikoodilla.

Tarkemmin tiedon puutteita ja kansallisten pitoisuustietojen edustavuutta (mukaan lukien aineistojen ikä) on käsitelty luvussa 7.2, jossa vierasaineet ovat aakkosjärjestyksessä.

7.1 Vierasaineen seurannan kannalta oleelliset elintarvikeryhmät

Taulukoissa 15 ja 16 elintarvikeryhmien nimet on lyhennetty seuraavasti:

VILJA = Viljat ja viljatuotteet; KASVIS= Vihannekset, juurekset, sienet; PERUNA= Tärkkelyspitoiset juurekset; PPS = Palkokasvit, pähkinät ja öljysiemenet; HEDELMÄT = Hedelmät, marjat ja niistä valmistetut tuotteet; LIHA = Liha ja lihavalmisteet sekä sisäelimet; KALA = Kala, äyriäiset ja nilviäiset; MAITO = Maito ja maitotuotteet; KARKKI = Sokeri ja makeiset; RASVA = Rasvat ja öljyt; MEHU = Hedelmä- ja kasvismehut; JUOMAT = Alkoholitottomat juomat (lukuun ottamatta mehuja ja maitopohjaisia juomia); ALKO = Alkoholijuomat; MAUSTE = Yrtit, mausteet ja maustekastikkeet; BABY = Imeväisille ja pikkulapsille tarkoitetut elintarvikkeet; ERITYIS = Erytisruokavaliot ja ravintolisät; MUNA = Kanamunat; VESI = Vesi.

Taulukko 15. Kooste terveyshaittoja aiheuttavien vierasaineiden tärkeistä lähteistä lapsilla ja aikuisilla, muita suurempia pitoisuuksia sisältävistä elintarvikkeista, tiedon puutteista sekä (EY) 1881/2006 nojalla tehdystä valvonnasta. Näiden lisäksi Oleellisia-sarakkeessa on lueteltu elintarvikeryhmät, joiden valvontaa pidettiin tärkeänä teollisuuden sekä viranomaisten edustajille tehdyssä kyselyssä tai tämän tutkimuksen tekijöiden arvion mukaan ja joita ei ole jo mainittu tiedon puutteissa. ”Osittain” tarkoittaa, ettei elintarvikeryhmä ole yhtä merkittävä kuin muut ruudussa mainitut, ja ”mahdollisesti”, että tiedot ovat epävarmoja tai perustuvat skenaarioon. Mikäli vierasaineesta ei ole tehty koko ruokavalion kattavaa kansallista riskinarviointia, altistustiedot perustuvat EFSA:n arvioihin ja EU-pitoisuuksiin, jotka voivat poiketa kotimaisten tuotteiden pitoisuuksista. Taulukossa a ovat pitkällä aikavälillä terveyshaittoja aiheuttavat aineet ja taulukossa b kerta-altistuksella haitalliset. Vierasaineet ovat prioriteettinsa mukaisessa järjestyksessä ja elintarvikeryhmien lyhenteet on selitetty leipätekstissä.

Vierasaine	Tärkeimpiä lähteitä	Suuria pitoisuuksia	Niukka/vanha tieto (viranomais-tutkimus)	Valvotaan	Oleellisia niukka tieto -kohdassa mainittujen lisäksi
Aflatoksiinit: kokonaisAF ja AFBI	VILJA; PPS; HEDELMÄT	VILJA; PPS; HEDELMÄT; MAUSTE		VILJA; PPS; HEDELMÄT; MAUSTE; BABY	JUOMAT; ALKO
Arseeni (epäorg)	VILJA; KALA; JUOMAT; BABY	VILJA; KASVIS; KALA; osittain BABY; ERITYIS; (porakaivo-) VESI	KALA (epäorg %); JUOMAT; BABY	VILJA	ALKO
Akryyliamidi	VILJA; PERUNA; JUOMAT, osittain BABY	VILJA; KASVIS; PERUNA; JUOMAT, osittain BABY	JUOMAT; BABY		
Furaani sekä 2-, 3-metyylifuraanit	VILJA; JUOMAT; BABY	VILJA; JUOMAT; BABY	VILJA; JUOMAT; ALKO; BABY		
Alternaria-toksiinit AOH ja AME	HEDELMÄT; RASVA	VILJA; KASVIS; PPS	VILJA; KASVIS; PPS; HEDELMÄT; RASVA		
Lyijy	VILJA; KASVIS; JUOMAT; BABY	LIHA; KARKKI; MAUSTE	JUOMAT; ERITYIS	VILJA; KASVIS; HEDELMÄT; LIHA; KALA; MAITO; KARKKI; RASVA; MEHU; ALKO; BABY	
Etyyli-karbamaatti	VILJA; JUOMAT	VILJA; JUOMAT; MAUSTE	VILJA; JUOMAT; MAUSTE		
Okratoksiini A	VILJA; LIHA; MAITO; KARKKI; MEHU, mahdollisesti muut juomat	HEDELMÄT; LIHA; KARKKI; MAUSTE; ERITYIS	LIHA; MAITO	VILJA; HEDELMÄT; KARKKI; JUOMAT; ALKO; MAUSTE; BABY	

Vierasaine	Tärkeimpiä lähteitä	Suuria pitoisuuksia	Niukka/vanha tieto (viranomais-tutkimus)	Valvotaan	Oleellisia niukka-tiedo-kohdassa mainittujen lisäksi
Dioksiinit ja furaanit+dIPCB:t	LIHA; KALA; BABY	LIHA; KALA; BABY	BABY	LIHA; KALA; MAITO; MUNA; RASVA; BABY	
Perfluoro-alkyloidut aineet (PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA)	HEDELMÄT; KALA; LIHA; MUNA; VESI	KALA; LIHA; MUNA	HEDELMÄT; LIHA; MUNA; BABY		
T2- ja HT2-toksiinit	VILJA; BABY	VILJA; BABY		VILJA	
Pyrrrolitsidiini-alkaloidit	KARKKI; JUOMAT; mahdollisesti ERITYIS	KARKKI; JUOMAT; mahdollisesti ERITYIS	KARKKI; JUOMAT; ERITYIS		
Aflatoksiini M1	MAITO	MAITO		MAITO	
Glysidoli	RASVA; BABY	VILJA; LIHA; RASVA; BABY	VILJA; LIHA; RASVA; BABY	RASVA; BABY	
Patuliini	HEDELMÄT; BABY	HEDELMÄT; MEHU; ALKO; BABY		HEDELMÄT; MEHU; ALKO; BABY	
Bromatut palonsuoja-aineet	RASVA	MUNA; BABY; ERITYIS	RASVA; ERITYIS; BABY		
Zearalenoni	VILJA; RASVA; BABY	VILJA; RASVA; BABY	RASVA	VILJA; RASVA; BABY	
Deoksinivalenoli	VILJA; BABY	VILJA; ALKO; BABY	VILJA; BABY	VILJA; BABY	
Fumonisiinit	VILJA; BABY; mahdollisesti ERITYIS	VILJA; KASVIS; LIHA; BABY	VILJA; KASVIS; LIHA; ERITYIS	VILJA; BABY	
Kadmium	VILJA; KASVIS; PERUNA; JUOMAT; BABY	KASVIS; PPS; LIHA; KARKKI; osittain ERITYIS	JUOMAT	VILJA; KASVIS; LIHA; KALA; KARKKI; BABY; ERITYIS	ALKO
Ergotalkaloidit	VILJA; BABY	VILJA; BABY		VILJA; BABY	
Perkloraatit	KASVIS; HEDELMÄT; MAITO	KASVIS; JUOMAT; ERITYIS; mahdollisesti BABY	MAITO; BABY		HEDELMÄT
3-MCPD, 2-MCPD, niiden esterit	VILJA; RASVA; BABY	VILJA; PERUNA; RASVA; MAUSTE; BABY	VILJA; PERUNA; RASVA; BABY	MAUSTE (3-MCPD)	

Vierasaine	Tärkeimpiä lähteitä	Suuria pitoisuuksia	Niukka/vanha tieto (viranomais-tutkimus)	Valvotaan	Oleellisia niukka-tiedo-kohdassa mainittujen lisäksi
Nitraatti	KASVIS; PERUNA; HEDELMÄT; BABY	VILJA; KASVIS; HEDELMÄT; MAUSTE; BABY	VILJA; HEDELMÄT	KASVIS; BABY	KASVIS; BABY
PAH: bentso(a) pyreeni ja PAH4	VILJA; LIHA; RASVA	VILJA; LIHA; KALA; KARKKI	HEDELMÄT; ALKO	HEDELMÄT; LIHA; KALA; KARKKI; RASVA; MAUSTE; BABY; ERITYIS	
Sterig-matokystiini	VILJA; BABY	VILJA; BABY	VILJA; BABY		
Ftalaatit: DEHP, DINP, BBP ja DBP	VILJA; LIHA; MAITO; RASVA; BABY	KASVIS; RASVA; ALKO	VILJA; KASVIS; LIHA; MAITO; RASVA; ALKO; BABY		
Nikkeli	VILJA; KASVIS; PPS; KARKKI	VILJA; KASVIS; PPS; KARKKI; ERITYIS	KASVIS; KARKKI		
Elohopea: metyylielohopea	KALA	KALA	(aluetaso, jotkin lajit)	KALA	
Melamiini	BABY	BABY		BABY; MYÖS MUUT ELINTARVIKKEET	
Alumiini	VILJA; KASVIS; KARKKI; JUOMAT	KALA; KARKKI; MAUSTE; ERITYIS	VILJA; KASVIS; KALA; KARKKI; MAUSTE; JUOMAT; ERITYIS		Alumiini lisäainekäytöstä
Alternariatoksiinit TeA ja TEN	KASVIS; BABY	KASVIS	KASVIS; BABY		
Elohopea: epäorgaaninen	KASVIS; LIHA; KALA; MEHU	KALA; KARKKI	KASVIS; LIHA; KARKKI; MEHU; JUOMAT; ALKO	KALA; ERITYIS	JUOMAT; ALKO
BPA	KASVIS; LIHA	VILJA; PPS; LIHA; KALA	VILJA; KASVIS; PPS; LIHA; KALA		
Mineraaliöljyt MOSH	VILJA; KALA; RASVA	VILJA; PPS; KALA; KARKKI; RASVA	VILJA; PPS; KALA; KARKKI; RASVA		
Erukahappo	VILJA; KALA; RASVA; BABY	VILJA; RASVA; MAUSTE; BABY	VILJA; KALA; RASVA; MAUSTE; BABY	RASVA; MAUSTE	

Vierasaine	Tärkeimpiä lähteitä	Suuria pitoisuuksia	Niukka/vanha tieto (viranomais-tutkimus)	Valvotaan	Oleellisia niukka-tieto-kohdassa mainittujen lisäksi
Tina (epäorg)	HEDELMÄT	HEDELMÄT; JUOMAT; BABY; mahdollisesti KASVIS; KALA	BABY	MEHU; JUOMAT; BABY; tölkitetyt tuotteet eri ryhmissä	Tölkitetyt elin-tarvikkeet
Mineraaliöljyt MOAH	VILJA; KALA; RASVA	VILJA; PPS; KALA; KARKKI; RASVA	VILJA; PPS; KALA; KARKKI; RASVA		
Fomopsiinit		PPS; mahdollisesti MAITO	PPS; MAITO		
Sitriiniini	VILJA	VILJA; PPS; HEDELMÄT	VILJA; PPS; HEDELMÄT	ERITYIS	

Taulukko 15 b. Kerta-altistuksella terveyshaittoja aiheuttavat vierasaineet prioriteettinsa mukaisessa järjestyksessä. Tähdellä (*) merkityt aineet esiintyvät myös taulukossa 15 a.

Vierasaine	Tärkeimpiä lähteitä	Suuria pitoisuuksia	Niukka/ vanha tieto (viranomais- tutkimus)	Valvotaan	Oleellisia niukka tieto -kohdassa mainittujen lisäksi
Syaanivety (ja syanogeeniset glykosidit)	VILJA; PPS; HEDELMÄT; MEHU	VILJA; PPS; HEDELMÄT; KARKKI	VILJA; PPS; MEHU		
Tropaani- alkaloidit	VILJA; BABY	VILJA; PPS; HEDELMÄT; BABY	VILJA; PPS; HEDELMÄT	BABY	
Ergotalkaloidit (*)	VILJA; BABY	VILJA; BABY		VILJA; BABY	
Nikkeli (*)	VILJA; KASVIS; PPS; KARKKI	VILJA; KASVIS; PPS; KARKKI; ERITYIS	KASVIS; KARKKI		
Oopiumalkaloidit	PPS	PPS	PPS; unikkotuotteet		
T2- ja HT2-toksiinit (*)	VILJA; BABY	VILJA; BABY		VILJA	
Deoksinivalenoli (*)	VILJA; BABY	VILJA; ALKO; BABY	VILJA; BABY	VILJA; BABY	
Pyrrrolitsidiini- alkaloidit (*)	KARKKI; JUOMAT; mahdollisesti ERITYIS	KARKKI; JUOMAT; mahdollisesti ERITYIS	KARKKI; JUOMAT; ERITYIS		
Tetrahydro- kannabinoli	mahdollisesti MAITO	mahdollisia LIHA; MAITO; KARKKI; RASVA; BABY	LIHA; MAITO; KARKKI; RASVA; BABY		

Taulukko 16. Elintarvikeryhmät, jotka ovat eri vierasaineiden tärkeitä lähteitä (punainen), sisältävät suuria pitoisuuksia tätä vierasainetta (sininen) tai ovat sekä tärkeitä lähteitä että mahdollisesti sisältävät suuria pitoisuuksia (musta). Vierasaineet ovat aakkosjärjestyksessä ja elintarvikeryhmät on lyhennetty samoin kuin taulukossa 15.

Vierasaine	VILJA	KASVIS	PERUNA	PPS	HEDELMÄT	LIHA	KALA	MAITO	KARKKI	RASVA	MEHU	JUOMAT	ALKO	MAUSTE	BABY	ERITYIS	MUNA
3-MCPD, 2-MCPD, niiden esterit	■		■							■					■		
Aflatoksiini M1								■									
Aflatoksiinit: kokonaisAF ja AFBI	■			■	■									■			
Akryyliamidi	■	■	■									■			■		
Alternariatoksiinit AOH ja AME	■	■		■	■					■							
Alternariatoksiinit TeA ja TEN		■													■		
Alumiini	■	■					■		■			■		■		■	
Arseeni (epäorg)	■	■					■					■			■	■	
BPA	■	■		■		■	■										
Bromatut palonsuoja-aineet										■					■	■	■
Deoksinivalenoli	■												■				
Dioksiinit ja furaanit+dIPCB:t						■	■								■		
Elohopea: epäorgaaninen		■				■	■		■		■						
Elohopea: metyylielehopea							■										
Ergotalkaloidit	■														■		
Erukahappo	■						■			■				■	■		
Etyylikarbamaatti	■												■	■			
Fomopsiinit				■				■						■	■		
Ftalaatit: DEHP, DINP, BBP ja DBP	■	■				■		■		■			■		■		
Fumonisiini	■	■				■									■	■	
Furaani sekä 2-, 3-metyylifuraanit	■											■			■		
Glysidoli	■					■			■	■					■		
Kadmium	■	■	■	■		■			■					■	■	■	
Lyijy	■	■				■			■				■	■	■	■	
Melamiini	■														■		
Mineraaliöljyt MOAH	■			■			■		■	■							
Mineraaliöljyt MOSH	■			■			■		■	■							
Nikkeli	■	■		■					■								■
Nitraatti	■	■	■		■				■					■	■		■
Okratoksiini A	■				■	■		■	■		■	■	■	■	■		■
Oopiumalkaloidit				■													
PAH: bentsopyreeni ja PAH4	■					■	■		■	■							
Patuliini	■	■			■	■					■		■		■		
Perkloraatti		■						■				■			■	■	
PFAS (PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA)					■	■	■										■
Pyrrrolitsidiinialkaloidit									■			■					■
Sitriniini	■			■	■												
Sterigmatokystiini	■														■		
Syaanivety (ja syanogeeniset glykosidit)	■			■	■				■		■						
T2- ja HT2-toksiinit	■														■		
Tetrahydrokannabinoli				■	■	■		■	■	■					■		
Tina (epäorg)		■					■					■			■		
Tropaanialkaloidit	■			■	■										■		
Zearalenoni	■									■					■		

7.2 Tiedon puutteet ja arvio kansallisten tietojen merkityksestä

Tässä luvussa tarkennetaan luvun 7.1 taulukon merkintöjä kustakin vierasaineesta aakkosjärjestyksessä.

Kansallisten pitoisuuksien jatkuvan seurannan tarpeesta voi todeta yleistäen seuraavaa:

- Joidenkin vierasaineiden, kuten mykotoksiinien, ergotalkaloidien ja nitraatin, pitoisuuksiin vaikuttavat sääolosuhteet. Siksi edellisten vuosien mittaustulokset ennustavat huonosti tulevien vuosien pitoisuuksia, ja jatkuva kansallinen seuranta on tarpeen niille aineille, joiden esiintyminen on Suomen ilmastossa mahdollista. Ilmastonmuutoksen myötä Suomen säätila voi tulla nykyistä suotuisammaksi eri mykotoksiinien ja mahdollisesti muidenkin sääolosuhteille herkkien vierasaineiden esiintymiselle.
- Ympäristössä pysyvästi esiintyvien vierasaineiden, kuten raskasmetallien ja joidenkin orgaanisten ympäristömyrkkyjen, pitoisuudet elintarvikkeissa muuttuvat hitaasti, ellei olosuhteissa tapahdu muutosta (esimerkiksi: uusi lajike, johon kertyminen on erilaista kuin aiempiin; uudentyyppiset lannoitteet). Siksi niiden seuranta vuosittain ei ole yhtä kriittistä, kunhan saatavilla on päätöksentekoon riittävää tietoa näiden aineiden esiintyvyydestä Suomen markkinoilla olevissa elintarvikkeissa. Se voidaan kerätä vuosittaisen seurannan sijaan esimerkiksi viiden vuoden välein toteutettavassa kartoitustutkimuksessa, kuten dioksiinipoikkeukseen liittyvän Itämeren kalojen pitoisuusseurannan osalta tehdään. Mikäli vierasaineen pitoisuuksien tiedetään vaihtelevan huomattavasti alueiden välillä, kuten elohopeapitoisuudet eri vesistöjen eri kalalajeissa, pitoisuusvaihtelun kartoittaminen on oleellista alueellisen päätöksenteon tueksi. Tällöin näkökulma on jonkin verran erilainen kuin raportissa käytetyssä koko valtakunnan tason tarkastelussa.
- Tässä yleistyksessä ei oteta huomioon muita seurannan toteutukseen liittyviä tekijöitä kuten viennin tai asetusten vaatimuksia.

3-MCPD, 2-MCPD ja niiden esterit

Suomessa on analysoitu rasvoista, valmisruoista sekä maustekastikkeista ainoastaan 3-MCPD:ä, ja sen pitoisuudet muissa EU-maissa vaikuttaisivat olevan osapuilleen samalla tasolla kuin Suomessa. Muiden MCPD-johdosten pitoisuuksista ei ole kansallisia tietoja. EFSA:n arvon (2016) perusteella oleellisimmat tutkittavat elintarvikeryhmät olisivat viljatuotteet ja peruna (lähinnä snack-tuotteet näissä ryhmissä), lastenruoka ja rasvat. Vapaan 3-MCPD:n pitoisuuksista viljoissa ja viljavalmisteeissa sekä imeväisille ja pikkulapsille tarkoitetuista elintarvikkeista ei ole paljonkaan tietoa Suomesta tai muualta EU:sta.

Aflatoksiinit

Muiden aflatoksiinien kuin AFBI:n toksisuudesta ei ole tarkkaa tietoa.

Suomessa mitatut pähkinöiden aflatoksiinipitoisuudet ovat samaa luokkaa tai pienempiä kuin EU-alueen aineistossa keskimäärin (EFSA 2018), mutta pistaasipähkinät muodostivat merkittävän osan altistuksesta kulutuksen tunnuslukuja ja Suomessa mitattuja pitoisuuksia käyttäen tehdyssä karkeassa arvioissa (tämä työ). Suomessa analysoiduissa (tuonti-)viljoissa pitoisuudet ovat huomattavasti EU-maista koottujen aineistojen keskiarvoa pienempiä. Kotimaisen maidon aflatoksiini MI-pitoisuudet ovat harvinaisia.

Aflatoksiineja on lähinnä tuontituotteissa, ja pitoisuudet vaihtelevat eräkohtaisesti. Valvonta EU:ssa ja Tullilaboratoriossa on tarpeen, mutta tuskin kotimaisten elintarvikkeiden valvonta muiden kuin aflatoksiini M1:n osalta. Jos rehuvalvonnalla saadaan aflatoksiinikontaminaatiot poistettua, maitoon ei päädy aflatoksiineja.

Akryyliamidi

Juomien (kahvi, olut, kaakao) ja lastenruokien kansalliset pitoisuustiedot (viranomaisaineistot) ovat niukkoja tai niitä ei ole. EU-maista raportoidut juomien pitoisuudet ovat olleet korkeahkoja, mahdollisesti kohdennetun valvontanäytteenoton vuoksi, ja ne ovat merkittävä altistuslähde perunatuotteiden ja viljatuotteiden ohella. Lastenruoat puolestaan ovat suuren käyttönsä vuoksi mahdollisesti merkittävä lähde pikkulapsille.

Kansallisia viranomaisten tuottamia pitoisuustietoja perunatuotteista (sipsit, ranskalaiset perunat) ja viljatuotteista on vuosilta 2011–2013. Teollisuus on tehnyt jatkuvasti omavalvontaa, sillä pohjoinen sijaintimme ja sen vaatimukset perunalajikkeille ovat haaste akryyliamidin määrän vähentämisessä, mutta näitä aineistoja saadaan viranomaisten käyttöön, esimerkiksi riskinarviointeihin, erillisillä tietopyynnöillä ja siksi niitä ei ole huomioitu tässä viranomaisvalvonnan näkökulmasta laaditussa raportissa. Oliivisäilykkeissä voi esiintyä korkeita pitoisuuksia, mutta tuontituotteina niiden pitoisuudet eivät nykytiedolla poikkea muista EU-maista.

Alternariatoksiinit

Alternariatoksiinien toksisuudesta ei ole yhdistespesifistä tietoa. EFSA (2016) käytti vertailussaan TTC-arvoja, jotka osoittivat mahdollista riskiä väestölle. Lisätutkimuksia toksisuudesta tarvitaan, mutta EFSA:n nykyisen arvion tulosten perusteella alternariatoksiinit nousevat EU-tasolla tarkemmin seurattaviksi, ja Euroopan Komissio on jo suositellut niiden monitorointia. Suomessa ei ole toistaiseksi selvitetty alternariatoksiinien pitoisuuksia elintarvikkeissa. *Alternaria*-suvun homesieniä esiintyy kuitenkin myös Suomessa, jossa ne aiheuttavat mm. lehtipoltetta perunakasvustoissa (Hannukkala verkkosivulla <http://www.vieraslajit.fi/lajit/MX.52910/show>).

Yleisimmät kontaminoivat alternariatoksiinit ovat kirjallisuudessa olleet TeA ja TEN (Fraeyman ym 2017). Samassa lähteessä mainittiin silti vehnän ja maissin olleen jopa yli neljäsosaltaan AOH:n ja AME:n kontaminoimaa, joskin pitoisuudet olivat jopa kaksi kertaluokkaa pienempiä kuin TEN- ja TeA-pitoisuudet. EFSA:n selvityksen mukaan (EFSA 2016) TeA havaittiin 15 %:ssa tutkituista noin kolmestasadasta rehu- ja raaka-ainenäytteestä, ja durrapohjaisesta lastenruoasta löytyi korkeita pitoisuuksia (jopa 1200 µg/kg).

Mykotoksiinipitoisuuksiin vaikuttavat kasvu- ja säilytysolosuhteet. Kansallisia pitoisuuksia erityisesti viljoista, kasviksista (varsinkin tomaatti ja tomaattituotteet), hedelmistä (varsinkin omenahedelmistä), kasvisrasvoista sekä näitä elintarvikeryhmiä sisältävistä lastenruoista olisi aiheellista kartoittaa sen arvioimiseksi, onko jatkuvalla seurannalla ja kansalliselle arviolle perusteita.

Alumiini

Vierasaineena esiintyvistä alumiinista on olemassa niukasti kansallisia pitoisuusaineistoja. Eurooppalaiset viranomaiset, kuten Ranskan ANSES, ovat julkaisseet omien alumiinikartoitustensa tuloksia, joita hyödynnettiin Suomen riskinarvioinnissa (Suomi ym. 2020). Näiden pitoisuustietojen perusteella suomalaisten riski on mitätön, mutta ei ole tietoa siitä, kuinka hyvin käytettävissä olleet aineistot kuvaavat Suomessa esiintyviä pitoisuuksia. Suuria altistuslähteitä ovat viljatuotteet, kasvikset, makeiset ja alkoholiittomat juomat, ja suuria pitoisuuksia voi esiintyä kalassa, makeisissa, yrteissä/mausteissa/maustekastikkeissa sekä ravintolisissä.

Koska (vierasaineena esiintyvä) alumiini ei ole sen paremmin vierasaineasetuksen kuin Komission monitorointisuositusten piirissä, kotimaisia viranomaistuloksia on olemassa niukasti. Vertailu Suomessa myynnissä olevien ja eurooppalaisten elintarvikkeiden välillä on siksi mahdotonta. Kokonaisarviossa olisi huomioitava vierasaineena esiintyvän alumiinin lisäksi elintarvikkeiden lisäaineista tuleva altistus sekä elintarvikkeisiin kuulumattomat altistuskähteet kuten närästyslääkkeet ja muut altistusreitit.

Arseeni, epäorgaaninen

Useimmat pitoisuustiedot koskevat kokonaisarseenia, ja epäorgaanisen arseenin osuus on määritetty toistaiseksi lähinnä riisipohjaisille tuotteille. Altistusrivion tulee ylimääräistä epävarmuutta, mikäli epäorgaanisen arseenin määrä arvioidaan tarkemman tiedon puuttuessa vakiokertoimella kokonaisarseenipitoisuudesta. Kansallisten riskinarviointien perusteella seuraavista ryhmistä on pitoisuuksien ja altistumämäärien valossa oleellista määrittää epäorgaanisen arseenin pitoisuuksia: viljatuotteet (etenkin riisi), juomat, kala ja merenelävät sekä lastenruoka.

Arseeniyhdisteet voivat reagoida toisiinsa kypsennyksen yhteydessä, ja tämä voi olla erityisen merkittävää kalan kannalta: suurin osa raakaa kalan kokonaisarseenista on vähiten myrkyllistä orgaanista arseenia, ja mikäli kypsennys lisää epäorgaanisen arseenin osuutta, kansalliset riskinarviointit aliarvioivat altistusta. Kalasta Suomessa mitatut kokonaisarseenipitoisuudet ovat olleet EU-aineistojen keskimääräisiä pitoisuuksia pienempiä.

Suurehkoksi altistuskähteeksi nousevan kahvin pitoisuustieto perustuu ruotsalaiseen muutamien näyttöjen tutkimukseen. Kasvisjuomien arseenipitoisuuksia ei ole analysoitu Suomessa. Riisijuomille annettu turvallisen käytön ohje perustuu ruotsalaisiin tuloksiin, ja kasvisjuomien suosion kasvun vuoksi pitoisuuksien kansallinen määrittäminen on tarpeen mahdollisten riskinhallintatoimien tarpeen arvioimiseksi.

Lastenruokaa koskevat mittaustulokset ovat valtaosin yli 10 vuotta vanhoja, joten niiden päivittäminen (ja epäorgaanisen arseenin tarkan osuuden määrittäminen) on tarpeen 2020-luvun alkupuolella.

Edellä mainitun kalan lisäksi myös perunassa, lastenruoassa, vedessä ja kananmunissa Suomessa mitatut kokonaisarseenipitoisuudet ovat olleet matalampia kuin EU-aineistoissa keskimäärin. Kotimaisissa viljoissa määritysrajat ovat suhteellisen korkeat, ja suuri osa mittaustuloksista on jäänyt alle määritysrajan. Sienien osin korkeat arseenipitoisuudet perustuvat SYKE:n tutkimuksiin, mutta nykyisillä käyttömäärillä altistus on hallinnassa, vaikka pitoisuudet jonkin verran muuttuisivatkin vuosien varrella. Hyvin korkeita pitoisuuksia sisältävät merilevät ovat tuontituotteita, ja niiden seuranta EU-sisämarkkinoilla ja/tai kolmasmaatuonnin yhteydessä voi olla aiheellista raja-arvojen puuttumisesta huolimatta, etenkin jos merilevätuotteiden suosio kasvaa nykyisestä. Kasvipöytäisissä ravintolisissä voi esiintyä korkeita arseenipitoisuuksia ja myös useita muita vierasaineita.

Kotimaisissa viljoissa esiintyvät arseenipitoisuudet ylittävät vain harvoin nykyisten analyysimenetelmien määritysrajan, mutta koska määritysrajat ovat osin korkeahkoja, middle bound -pitoisuuskeskiarvot nousevat hiukan korkeammiksi kuin EU:ssa (EFSA 2014). Myös Suomessa mitatut riisipitoisuudet olivat korkeampia kuin EFSA:n raportoimat keskiarvot. Lastenruoissa sitä vastoin suomalaiset pitoisuudet olivat EFSA:n keskiarvoja matalampia.

Muissa elintarvikeryhmissä, joille ei ole määritetty enimmäisarjaa, suomalaiset pitoisuudet olivat enimmäkseen hiukan EFSA:n raportoimia keskiarvoja matalampia niissä ryhmissä, joissa vertailu

oli mahdollista. ”Suomalaiset” pitoisuudet tarkoittavat joko Suomessa tuotettuja tai Suomessa analysoituja elintarvikkeita, joista näytteitä on tutkittu projekteissa tai viranomaisvalvonnassa.

Arvio suomalaisten altistuksesta perustuu veden osalta vesilaitosten analysoimiin pitoisuuksiin. Porakaivovedessä voi esiintyä alueellisesti merkittävästi suurempia pitoisuuksia, ja tällaista vettä nauttivien kuluttajien riski on selvästi suurempi kuin priorisoinnissa arvioitu.

Bisfenoli A

Bisfenoli A:ta (sekä vapaata että konjugoitua) on Suomessa mitattu yksittäisistä kala-, liha-, palkokasvi- ja kasvisnäytteistä. Suurimmassa osassa näytteitä pitoisuudet ovat olleet alle menetelmän määritysrajan. Konjugoitua bisfenoli A:ta on määritetty useammista näytteistä kuin vapaata muotoa.

Bisfenoli A:n tarkastelu pelkästään vierasainenäkökulmasta ei ole järkevää, vaan kokonaisanalyysissä on huomioitava myös pakkausmateriaaleista mahdollisesti irtoavat pitoisuudet, joita säädellään erikseen. Olosuhteet Suomessa eivät luultavasti poikkea muista EU-maista niin paljoa, että kansalliseen erillisarvioon olisi tarvetta ennen EU:n laajuisten lisätutkimusten tekemistä.

Bromatut palonsuoja-aineet (BDE-99, BDE-47, BDE-209, BDE-153)

Näitä yhdisteitä on Suomessa analysoitu 2010-luvulla kalasta, juustosta ja riistan maksasta sekä hevosen ja sian lihasta, öljyistä, maidosta ja munista. Riistan lihasta ja kotieläinten sisäelimistä pitoisuuksia mitattiin viimeksi 2007, lastenruoasta 2006. BDE-47:n, BDE-99:n ja BDE-153:n pitoisuudet kalassa ja lastenruoissa ovat 2010-luvun alun tietojen perusteella Suomessa keskimäärin pienemmät kuin muualla Euroopassa. BDE-183:n pitoisuudet ovat käytettävissä olevan tiedon perusteella kalassa suunnilleen samalla tasolla Suomessa ja muissa EU-maissa, mutta lastenruoissa ne näyttävät olevan Suomessa keskimäärin pienemmät. Suomalaiset pikkulapset syövät paljon lastenruokia, joten pienetkin pitoisuudet nostavat tämän elintarvikeryhmän helposti suureksi altistuslähteeksi, ja pitoisuustietojen päivittämiselle on tarvetta.

Kotimaisten ja EU-alueen pitoisuustietojen vertailtavuutta rajoittaa se, että muista maista kootut tiedot on valtaosin ilmoitettu elintarvikkeen rasvamäärää kohti. Tietoa pitoisuuksista eri kalalajeissa on muualta Euroopasta runsaasti, Suomestakin muutaman kalalajin osalta.

Terveyshaitan riski on EFSA:n arvion mukaan mahdollinen vain BDE-99 -altistuksen seurauksena. Tämän kongeneerin tärkeitä lähteitä EFSA:n mukaan ovat maitotuotteet, liha ja sisäelimet, rasvat ja kananmuna, ja suurehkoja pitoisuuksia voi esiintyä myös ravintolisissä (kalaöljypohjaiset tuotteet).

Deoksinivalenoli (DON)

EFSA:n määrittämä TDI perustuu neljän yhdisteen (DON, 3-Ac-DON, 15-Ac-DON ja DON-3-gluk) summaan. Suomessa on mitattu ennen vuotta 2016 vain kahta ensiksi mainittua, eivätkä pitoisuudet ole selkeästi poikenneet EU-keskiarvoista. Kaikkien neljän yhdisteen määrittäminen viljoista ja viljapohjaisista lastenruoista olisi tärkeää todellisen riskin selvittämiseksi. Ruokaviraston laboratorion saadun tiedonannon mukaan Vilja-alan yhteistyöryhmän tutkituttamista näytteistä on vuonna 2020 analysoitu jo kolme yhdisteistä ja vuonna 2021 on tavoitteena mitata kaikki neljä. DON-jäämiä on kirjallisuudessa raportoitu myös oluesta, jota ei ole Suomessa tutkittu.

DON-yhdisteiden pitoisuuksista viljoissa ja viljavalmisteissa on Suomesta melko kattavasti mittaustuloksia. Deoksinivalenolin ja 3-asetyyli-deoksinivalenolin pitoisuudet ovat käytettävissä

olevien aineistojen perusteella Suomessa suunnilleen samalla tasolla kuin EU-alueella keskimäärin. Vertailutuloksia deoksinivalenolin ja sen kaltaisten yhdisteiden pitoisuuksista rukiissa oli muista EU-maista niukalti tietoa saatavissa.

Kansallisessa altistuksen arvioinnissa (Rautala ym. 2008) aikuisten DON-altistus arvioitiin niin vähäiseksi, että terveyshaitan riski on mitätön. Suomalaisten lasten altistusta ei ole arvioitu tarkasti, joten tässä raportissa tehty karkea arvio, jonka ansiosta DON on prioriteettillisella melko korkealla, voi olla selvästi todellista suurempi. Toisaalta kahden DON-yhdisteen pitoisuustietojen puuttuminen lisää arvioon liittyvää epävarmuutta. Aikuisten altistuksesta ei vuoden 2008 kansallisen arvion perusteella olisi riskiä, vaikka altistus kaksinkertaistuisi, mutta lasten altistuksesta tarvittaisiin tarkempaa tietoa.

Suomalaisissa näytteissä esiintyy 3-Ac-DON:ia mitattavissa määrin vain harvakseltaan, mutta DON-pitoisuudet voivat satunnaisesti olla korkeita: yksittäisessä viljanäytteessä jopa 1400 µg/kg, vaikka suuri osa pitoisuuksista on ollut alle 50 µg/kg. Luken tutkimuksissa on havaittu kuivauksen, kuorinnan ja lajittelun vähentävän huomattavasti Fusarium-toksiinien (DON ja T2/HT2-toksiinit) pitoisuuksia viljoissa. Näiden käsittelytoimien vaikutukset voi olla tarpeen huomioida näytteenottovaiheen valinnassa, mikäli siitä ei ole erillistä ohjeistusta, sekä altistuksen arvioinnissa.

Kasvukauden ilmasto-olot vaikuttavat mykotoksiinien esiintymiseen, joten kansallinen ja jatkuva seuranta on aiheellista kaikille niille mykotoksiineille, joiden kasvulle otollisia olosuhteita esiintyy Suomessa.

Dioksiinit ja dl-PCB-yhdisteet

Kalat ja merenelävät ovat suurimpia altistuslähteitä. Pitoisuuksia Itämeren kaloissa seurataan säännöllisesti Suomen dioksiinipitoisuuden vuoksi, ja tuoreimmassa EU-kalat III -tutkimuksessa pitoisuudet olivat vähentyneet aiemmasta. Vaikka dioksiinien haitallisuudesta saadut tuoreet tiedot ovat johtaneet TWI-arvon huomattavaan madaltamiseen, kesällä 2020 julkaistussa kansallisessa tutkimuksessa alakouluikäisten lasten veren dioksiini- ja dl-PCB -pitoisuuksista havaittiin, että TWI-arvon pohjana oleva lasten NOEL-arvo ylittyi vain noin 3 %:lla tutkituista (Rantakokko ym. 2020). Toisaalta RUORI-raportissa (Suomi ym. 2019) arvioitiin THL:n uusimpien tulosten perusteella, että Itämeren kalasta saatu dioksiinialtistus aiheuttaa Suomessa vuosittain vain 22 DALYn suuruisen tautitaakan. DALY tarkoittaa haittapainotettua elinvuotta. Koko ravinnosta saatavasta dioksiinialtistuksesta ei ole ajantasaista kansallista arviota, joten priorisoinnissa käytettiin EFSA:n arviota, vaikka se edellä kuvatun mukaisesti voi yliarvioida terveyshaitan riskiä.

Eri kalalajien (myös kasvatettu kala) pitoisuuksia mitataan säännöllisesti. Lastenruokien ja poronlihan dioksiinipitoisuuksia on mitattu Suomessa 2005–2007, ja muita eläinperäisiä tuotteita kuten juustoja, maitoa, eri kotieläinten lihaa sekä kananmunia on analysoitu vuosina 2012–2018. Pitoisuudet eivät ole poikenneet selvästi EFSA:n julkaisemista EU-keskiarvoista.

Elohopea

Suomessa on analysoitu elohopeapitoisuuksia erityisesti kaloista, mutta sisävesien kaloista ja erityisesti särkikaloista on enimmäkseen liian vähän tietoa paikallisten suositusten tarpeen arvioimiseksi. Kaloista on mitattu kokonaiselohopea, ja metyylielohopea-altistus on arvioitu käyttämällä metyylielohopean osuudelle vakiokerrointa, vaikka lajien välillä on eroja. Tämä tuo arvioon epävarmuutta. Suurempi epävarmuuden lähde liittyy kalojen elohopeapitoisuuksien huomattavaan vaihteluun eri-ikäisten yksilöiden ja eri vesistöjen välillä ja siihen, kuinka hyvin

pitoisuusaineistot lähteineen kuvaavat suomalaisten kalankäyttöä. Paikalliskalastajien elohopea-altistus on luultavasti vesistöistä riippuen selvästi suurempaa kuin valtakunnallisten ruoankäyttötutkimusten kuvaaman väestön.

Suomessa mitatut viljojen ja maidon elohopeapitoisuudet ovat olleet jonkin verran EU-keskiarvoja pienempiä. Kansallisia pitoisuustietoja elohopeapitoisuuksista mehuissa, alkoholittomissa ja alkoholijuomissa, kasviksissa (lukuun ottamatta SYKE:n 2000-luvun alkuvuosina julkaisemaa tutkimusta sienistä) ja lihassa on niukasti tai ei lainkaan, samoin mahdollisesti korkeampia pitoisuuksia sisältävästä makeisten ryhmästä. Elohopea-altistus näistä ryhmistä on arvioitu eurooppalaisten keskiarvopitoisuuksien avulla. Suomalaisten epäorgaanisen elohopean saanti on kaikilla ikäryhmillä kohtuullista, eli riski on mitätön. Siksi epäorgaanisen elohopean pitoisuuksien selvittäminen ei ole kiireellistä.

Kaloissa (ja muissa veden antimissa) pitoisuuksiin vaikuttaa pyyntialueen lisäksi se, kuinka vanhasta petokalasta on kysymys. Korkeimmat pitoisuudet suomalaisissa kaloissa ovat tyypillisesti hauessa, joka on ainoa kotimainen kala, jolle sallittu enimmäismäärä on 1 mg/kg. Sama enimmäismääräraja on mm. tonnikalalle. Muissa kotimaisissa kaloissa saa olla elohopeaa enintään 0,5 mg/kg. Hauen Hg-pitoisuuskeskiarvot (SYKE:n ottamissa ympäristön tilaa mittaavissa näytteissä) ovat korkeampia kuin EFSA:n raportoimat keskiarvot, muiden kotimaisten kalojen keskiarvopitoisuudet ovat EFSA:n keskiarvoja matalampia.

Epäorgaanisen elohopean osalta suurin osa Suomessa mitatuista näytteistä (muut elintarvikkeet kuin kala) on ollut alle määritysrajan.

Ergotalkaloidit

Suomessa on mitattu (vuosina 2010–2015 EFSA:lle raportoidut näytteet) ohrassa jonkin verran EU-alueen keskimääräisiä pitoisuuksia suurempia määriä ergotalkaloideja, kun taas EFSA:n v. 2017 raportissa suurena altistuselähteenä erottuvan rukiin pitoisuudet sitä vastoin eivät poikkea EU-keskiarvosta. Lastenruokien pitoisuudet ovat olleet tyypillisesti alle menetelmän määritysrajan. Lapset ovat EFSA:n arvion mukaan eniten altistuva väestöryhmä ja kaupallisia lastenruokia käytetään suuria määriä, joten niiden seurannan jatkaminen on tärkeää.

Analyysimenetelmän herkkyys vaikuttaa riskiä koskeviin johtopäätöksiin, sillä EFSA:n arvioissa lapsilla altistus ylitti TDI-arvon vain UB-skenaariolla eli laskemalla määritysrajan alle olevat pitoisuudet määritysrajan suuruusina. Suomessa mitatuista näytteistä voitiin nyt laskea vain LB-pitoisuuksiin (määritysrajan alle olevat pitoisuudet laskettu nolliina, mikä voi aliarvioida altistusta) perustuva arvio ergotalkaloidien kokonaissaannista, mutta sen perusteella altistus jäisi alle TDI-arvon. Terveyshaitan riski on siis hyvin pieni.

Ergotalkaloidien määrä viljoissa vaihtelee merkittävästi eri vuosien välillä ja eri näytteidenkin välillä. Siksi vertailu on vaikeaa. Suomalaisten ruoankäyttötavat voivat johtaa keskimääräistä suurempaan ergotalkaloidialtistukseen, sillä EFSA:n tietokannan eurooppalaisia pitoisuustietoja käyttäen suomalaisten altistus on EU-mediaania korkeampaa.

Erukahappo

Erukahaposta ei ollut saatavilla Suomessa mitattuja analyysituloksia. Olennaiset tutkittavat elintarvikeryhmät ovat rasvat, kala, mausteet, viljatuotteet ja lastenruoat. Terveysriskin vähäisyyden vuoksi kansallisten pitoisuustietojen hankkiminen ei ole kiireellistä.

Etyylikarbamaatti

Pääasiallinen etyylikarbamaatin lähde, joka voi sisältää myös suuria pitoisuuksia, on alkoholijuomat ja niissä erityisesti kivihedelmistä valmistetut väkevät alkoholit. Kansallisia pitoisuustietoja näistä ei ole saatavilla. EFSA:n raportissa (2007) etyylikarbamaattia oli havaittu myös EU-maissa valmistetuissa leivissä, mutta niitäkään ei ole analysoitu Suomessa etyylikarbamaatin varalta.

Etyylikarbamaatin haitallisuudesta huolimatta on huomattava, että altistusta voi vähentää maltillisella alkoholinkäytöllä.

Fomopsiinit

EFSA ei ole raportoinut juurikaan tietoja fomopsiinien pitoisuuksista elintarvikkeissa, eikä Suomessa ole määritetty pitoisuuksia. Fomopsiineja esiintyy vain lupiininsiemenissä, joiden käyttö elintarvikkeena on toistaiseksi vähäistä. Lupiinijauhoa käytetään joidenkin gluteenittomien tuotteiden yhtenä raaka-aineena, joten käytön lisääntyminen erityisruokavalioita nauttivilla voi olla mahdollista. On mahdollista, että rehujen välityksellä näitä homemyrkkyjä päätyy myös kotieläimiin ja näiden maitoon tai sisäelimiin.

Tiedot fomopsiinien toksisuudesta ovat myös puutteellisia: muun muassa annos-vastetietoja ei ole kylliksi riskinarvioinnin tekemiseen.

Ftalaatit: DEHP, DINP, BBP ja DBP

Suomessa ei ole mitattu elintarvikkeiden ftalaattipitoisuuksia. Kirjallisuuden perusteella ftalaattien tärkeitä tai todennäköisiä lähteitä ovat viljatuotteet, liha, maito ja rasvat sekä lastenruoka. Muita elintarvikkeita suurempia pitoisuuksia voi esiintyä rasvoissa, alkoholijuomissa ja kasviksissa.

Ftalaatit päätyvät elintarvikkeisiin pakkausmateriaaleista, joten samoin kuin bisfenoli A:n kohdalla todettiin, niiden tarkastelu vain vierasainenäkökulmasta ei riitä. Ftalaattipitoisuudet elintarvikkeissa eivät luultavasti poikkea selvästi eri EU-maiden välillä, joten kansallisen arvion laatiminen ei ole kiireellistä.

Fumonsiinit

Muissa EU-maissa tehdyissä analyyseissa on mitattu satunnaisesti korkeita fumonsiinipitoisuuksia vehnässä, ohrassa ja kaurassa. Fumonsiinia tiedetään esiintyvän myös esim. gluteenittomissa tuotteissa, oluessa, soijassa, herneissä ja eräissä muissa kasviksissa sekä rusinoissa ja muissa kuivatuissa hedelmissä. Näiden kaikkien fumonsiinipitoisuuksista on Suomen osalta vähän tietoa. Kirjallisuudessa fumonsiinijäämiä on löytynyt myös sisäelimestä.

Suomessa pitoisuustiedot on analysoitu ja esitetty usein erikseen fumonsiini B1:n ja B2:n osalta, kun taas EU-alueelta on lukumääräisesti eniten tuloksia fumonsiinien summalle. Fumonsiini B2:sta on muualta Euroopasta hyvin niukasti pitoisuustietoja. Suomessa fumonsiinianalyysit ovat painottuneet vierasaineasetuksessa mainittuihin tuoteryhmiin, joissa pitoisuudet ovat useimpien maissituotteiden kohdalla pienemmät kuin EU-alueella keskimäärin.

EFSA on vuonna 2018 määrittänyt fumonsiineille aiempaa pienemmän TDI-arvon, ja EFSA:n arvion perusteella mahdollisena riskiryhmänä ovat lapset, sillä aikuisista vähintään 95 %:lla altistus on nykyistä TDI-arvoa vähäisempi. Käytettävissä olevat tiedot eivät riitä sen arviointiin, eroaako suomalaisten gluteenitonta ruokavaliota noudattavien lasten fumonsiini-altistus muista ikätovereistaan.

Furaani ja 2-, 3-metyylifuraanit

Furaanipitoisuuksia lasten valmisruoissa ja joissakin muissa elintarvikeryhmissä kartoitettiin kansallisesti 2007–2008. Metyylifuraaneja ei ole mitattu mistään elintarvikkeesta. Päivitetty kartoitus furaanien ja metyylifuraanien esiintyvyydestä olisi aiheellista tehdä, ja furaanien haihtuvuuden vuoksi pitoisuudet olisi mitattava myös lämmitetystä ruoasta.

Juomista tärkein lähde on kahvi, joka sisältyi edellä mainittuun kansalliseen kartoitukseen. Alkoholijuomissa korkeita pitoisuuksia voi esiintyä väkevissä alkoholijuomissa, joiden pitoisuuksista ei juuri ole kansallisia tietoja. Myös soijakastikkeessa pitoisuudet voivat olla muita elintarvikkeita suurempia, mutta tuontituotteena sen pitoisuuksien määrittäminen kansallisesti ei ole kriittistä.

Glysidoli

Glysidolin toksisuuden vertailuarvona on tässä työssä käytetty T25-arvoa tarkemman tiedon puuttuessa.

Glysidolia ei ole mitattu elintarvikkeista Suomessa, mutta EFSA piti arviossaan palmuöljyä tärkeänä lähteenä ja näin ollen glysidolia voi löytyä kasvirasvojen ohella kaikista sellaisista elintarvikkeista, joiden valmistuksessa on voitu käyttää palmuöljyä (lastenruoka, leivonnaiset, lihavalmisteet, kalavalmisteet, makeiset ja einekset). Palmuöljyn käytön laajuudesta ei ole tehty kansallista selvitystä.

Kadmium

Suomessa on mitattu kadmiumia laajasti ja säännöllisesti eri elintarvikkeista. Kansallisia viranomaistietoja puuttuu lähinnä alkoholittomista juomista (etenkin kasvisjuomat) sekä siipikarjan lihasta, josta kuitenkin saatiin kansallisen riskinarvioinnin laatimiseen teollisuuden omavalvontatietoja.

Merilevässä voi esiintyä hyvin korkeita kadmiumpitoisuuksia, joten sen seuranta on aiheellista sushin ja muiden merilevää sisältävien tuotteiden suosion ollessa nousussa.

Kotimaisten viljojen keskimääräiset kadmiumpitoisuudet ovat matalammat kuin EFSA:n raportoimat keskieuropalaisiin näytteisiin painottuvat keskiarvot. Myös muissa elintarvikeryhmissä Suomessa viranomaisten valvonnan tai tutkimusprojektien yhteydessä tutkijain näytteiden keskiarvopitoisuudet olivat tyypillisesti EFSA:n raportoimia keskiarvoja matalampia, lukuun ottamatta pellavansiemeniä. Pellavan kadmiumpitoisuus on kuitenkin madaltunut vuosien varrella tuottajien toimien ansiosta. Elintarvikkeiden pitoisuuksiin vaikuttaa osin myös Suomen poikkeuslupa rajoittaa kansallisesti lannoitteiden kadmiumpitoisuuksia. Mikäli lannoitteiden kadmiumpitoisuudet nousisivat EU:n lannoitelainsäädännön mukaisille tasoille, suomalaisten kadmiumaltistus kasvaisi selvästi (Salo ym. 2018).

Lyijy

Suomessa on mitattu lyijyä laajasti ja säännöllisesti eri elintarvikkeista. Suurehkoja altistuslähteitä, joista ei ole kansallisia pitoisuustietoja, ovat juomat (tee, kahvi) ja ateriatyyppiset laihdutustuotteet, jotka ovat suurelta osin tuontielintarvikkeita. Altistuslähteenä vähäisempiä elintarvikkeita, joista kansalliset viranomaistiedot puuttuvat, ovat siipikarjan liha ja jotkin muut juomat kuin edellä mainitut. Kaakaopavuista valmistetuissa tuotteissa voi olla myös korkeahkoja pitoisuuksia, mutta niiden valvonta EU-tasolla voi olla riittävää. Kasvipiperäisissä ravintolisissä ja mausteissa pitoisuudet voivat olla hyvin suuria muihin elintarvikeryhmiin verrattuna, samoin riistan sisäelimissä.

Kotimaisissa viljoissa ja useimmissa kasvikunnan tuotteissa, kaloissa, juomavedessä ja mehuissa pitoisuudet ovat olleet jonkin verran EU-maista raportoituja keskiarvopitoisuuksia pienempiä. Suomalaisen talousveden lyijypitoisuudet ovat huomattavasti matalammat kuin monissa Keski- ja Etelä-Euroopan maassa. Myös elintarvikkeista mitatut keskimääräiset lyijypitoisuudet ovat joko matalampia tai enintään samalla tasolla kuin EFSA:n (2012) raportoimat keskiarvopitoisuudet. Yksi suomalaisten elintarvikkeiden lyijypitoisuuksien alenemiseen vuosien varrella vaikuttanut tekijä on ollut lyijyä sisältävästä bensiinistä luopuminen jo 1990-luvulla.

Melamiini

Melamiini poikkeaa muista tässä raportissa käsitellyistä aineista siinä, että sitä päätyy elintarvikkeisiin vääreännösten (elintarvikepetosten) vuoksi. EU-jäsenmaiden analysoimat elintarvikenäytteet valikoituivat pääasiassa vääreännösepäilyjen perusteella eivätkä siten kuvaa melamiinin todellisia pitoisuuksia elintarvikkeissa. Melamiinikontaminaatiota voi tapahtua myös pakkausmateriaaleista, mutta elintarviketeollisuuden raportoimien pitoisuustietojen perusteella nämä taustapitoisuudet ovat pieniä, lähellä menetelmän määrittämissä. Suomalaiset viranomaiset eivät ole mitanneet elintarvikkeista melamiinia vuosina 2010–2015. Analyysit ovat tarpeen lähinnä vääreännöstapausten tunnistamiseen.

Mineraaliöljyt MOAH ja MOSH

Mineraaliöljyille ei ole asetettu lainsäädännöllisiä enimmäismääriä eikä niitä siksi ole valvottu Suomessa. MOSH-pitoisuuksien vaihtelu elintarvikeryhmien välillä ja sisällä oli EFSA:n (2012) raportoimien tietojen mukaan suurta. MOAH-pitoisuuksia ei ole raportoitu, mutta EFSA arvioi sen vaihtelevan elintarvikeryhmittäin alle yhdestä prosentista noin kolmasosaan mineraaliöljyjen kokonaispitoisuudesta.

Suurimpia MOAH- ja MOSH-pitoisuuksia esiintyy EFSA:n mukaan viljatuotteissa, öljysiemenissä, kalassa, makeisissa ja erityisesti rasvoissa. Tärkeitä altistuslähteitä ovat näistä rasvat, viljatuotteet ja kala.

Nikkeli

Nikkelipitoisuudet kotimaisissa viljoissa ovat osin korkeampia kuin EU-maissa keskimäärin, joten pitoisuuksien ajoittainen seuranta on aiheellista. Nikkelimääristä makeisissa ja kasviksissa on niukasti tai ei lainkaan kansallisia mittaustuloksia, vaikka ne ovat tärkeitä altistuslähteitä tältä osin eurooppalaisiin kirjallisuustietoihin perustuvan kansallisen riskinarvioinnin mukaan. Niiden määrittämiseen voi riittää kertaluontoinen tutkimus.

Nikkelille ei ole määritetty enimmäispitoisuusrajoja elintarvikkeissa. EFSA:n tuoreimmassa (2020) nikkeliarviossa oli uusien tutkimusten perusteella muutettu TDI-arvoa yli nelinkertaiseksi aiempaan vuoden 2015 arvoon nähden. Uuteen arvoon 13 µg/kg rp/vrk verrattuna suomalaisten aikuisten nikkeli-altistus on mitättömän riskin tasolla yli 95 %:lla väestöstä. Suomalaisten lasten P95-altistus on EFSA:n tuoreen arvion mukaan UB-skenaariolla 13,1 ja LB-skenaariolla 11,6 µg/kg rp/vrk, joten lapsiväestölläkin TDI ylittyy enintään muutamalla prosentilla. Altistus on kuitenkin niin suurta, että nikkelille herkistyneiden kuluttajien iho-oireiden mahdollisuutta kerta-altistuksen seurauksena ei voi sulkea pois.

Nitraatti

Kasvisten, etenkin lehtivihannesten, nitraattipitoisuuksiin vaikuttaa kasvualustan ja lannoituksen lisäksi veden määrä ja valo. Suomen pohjoisesta sijainnista johtuvien ympäristösyiden (valon määrä

jne.) vuoksi nitraattipitoisuudet kasveissa, etenkin lehtivihanneksissa ja yrteissä, ovat helposti suurempia kuin EU-maissa keskimäärin. Sitä vastoin perunassa ja juureksissa suomalaisten tuotteiden nitraattipitoisuudet ovat tyypillisesti matalampia kuin EU:ssa, mutta näissä kasviksissa pitoisuudet eivät nouse yhtä korkeiksi kuin lehtivihanneksissa.

Nitraattipitoisuuksia kasviksissa (etenkin lehtivihannekset), lastenruoassa ja yrteissä mitataan säännöllisesti, ja perunasta on myös suomalaista pitoisuusaineistoa. Kansalliseen riskinarviointiin (Eviran tutkimuksia 2/2013) analysoitiin nitraattia myös mansikoista ja kolmesta omenanäytteestä, mutta muilta osin hedelmien ja marjojen pitoisuudet Suomessa ovat tuntemattomia. Omenoiden pitoisuudet olivat muista Euroopan maista raportoituja suurempia, mutta pienen näyttemäärän vuoksi se voi olla sattumaa. Viljoista ei ole liioin kansallisia pitoisuustietoja, ja suuren käytön vuoksi ne voivat olla kuluttajalle tärkeä altistuslähde.

Nitraatin terveyshaittoja ehkäistään valvonnan lisäksi suosituksilla, joita on annettu nitraatinkeräjäkasvien välttämiseksi pikkulasten ruoassa ja kypsennetyn pinaatin oikeasta käsittelystä (<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/kontaminantit/nitraatti/kuluttajan-mahdollisuudet-vahentaa-nitraatin-saantia/>).

Viljojen ja hedelmien sekä marjojen nitraattipitoisuuksien mittaaminen Suomessa voisi olla tarpeen kertaluontoisesti, ja paljon nitraattia sisältävien kasvien sekä enimmäismääriltään vähäisten lastenruokien jatkuva seuranta on perusteltua pitoisuuksien vuoksi.

Okratoksiini A

Okratoksiini A:n genotoksisuuden mekanismia ei tunneta tarkasti, joten suoran genotoksisuuden mukaisesti tehty arvio saattaa yliarvioida riskiä jonkin verran.

Suomessa on 2010-luvulla mitattu okratoksiinipitoisuuksia eri viljatuotteista, mausteista, kuivahedelmistä, teestä, viineistä, kaakaopohjaisista tuotteista, palkokasveista, mehuista ja lakritsista. Viljatuotteissa (tuontituotteet) pitoisuudet saattavat olla EU-maiden keskiarvopitoisuuksia korkeampia, muissa elintarvikkeissa matalampia. Vuosina 2014–2016 kotimaisista viljoista ja lastenruoista tutkituissa näytteissä ei ollut mitattavissa olevia pitoisuuksia. Aiemmin (Eviran julkaisuja 2/2013) on arvioitu, että okratoksiini A:ta esiintyy Suomessa harvoin. Pitoisuudet painottuvat siis tuontielintarvikkeisiin.

EFSAn tuoreessa (2020) raportissa suurehkoiksi altistuslähteiksi nousivat kinkku ja juusto, mahdollisesti säilytyksen aikaisen ympäristökontaminaation vuoksi. Okratoksiini A:ta ei ole Suomessa tutkittu näistä elintarvikeryhmistä, ja siksi voisi olla aiheellista kerätä pitoisuustietoja Suomessa kaupan olevista tuotteista sen selvittämiseksi, onko niissä merkkejä vastaavasta kontaminaatiosta. Eläinperäisten tuotteiden vierasainevalvonnassa Suomessa on mitattu okratoksiini A:ta myös munuaisista, mutta nämä tulokset eivät voi täysin sulkea pois säilytyksen aikana tapahtuvaa kontaminaatiota, vaikka niistä saakin kuvaa raaka-aineen laadusta.

Oopiumalkaloidit

Oopiumalkaloideja esiintyy unikonsiemenissä ja niitä sisältävissä tuotteissa. Suomessa ei ole mitattu morfiinin ja kodeiinin pitoisuuksia, eikä ruoankäyttöaineistoissa ole eritelty unikonsiementä omaksi tuotteekseen öljysiementen ryhmässä. Siksi altistusarvioon liittyy paljon epävarmuutta. EFSA:n raportoimilla P95-pitoisuuksilla ja oletuksella, että unikonsiemeniä syötäisiin tyypillisesti

puolet Finravinto-tutkimuksissa raportoidusta öljysiementen kulutuksesta, altistus on osapuilleen lyhytaikaisen altistuksen raja-arvon suuruista. Mikäli unikonsiementen kerta-annos olisi öljysiemenille annetun käyttösuosituksen enimmäismäärän suuruinen, morfiinialtistus voisi suurimpia pitoisuuksia sisältävien siemenerien kohdalla kohota niin suureksi, että jonkinasteista huumaavaa vaikutusta voisi esiintyä.

Unikonsiementen käytön laajuudesta ja Suomessa käytettyjen siemenlajikkeiden pitoisuuksista (mikäli elintarvikkeissa käytetyn unikonsiemenen kotimaisuusaste on merkittävä) tarvittaisiin lisää tietoa riskin tarkemmaksi arvioimiseksi.

PAH: bentso(a)pyreeni ja PAH4

Suomessa on mitattu PAH-yhdisteiden pitoisuuksia melko kattavasti, mutta pitoisuustietoja ei ole joistakin tuontielintarvikkeista, joita on mainittu muualla Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa polyaromaattisten hiilivetyjen lähteinä: kahvi, tee ja kaakao sekä kuivatut hedelmät. Niiden pitoisuudet tuskin merkittävästi poikkeavat muissa EU-maissa esiintyvistä, mahdollisesti kahvin paahtoasteen vaihtelusta johtuvia eroja lukuun ottamatta. Viljoista, kasviksista, kalasta ja lihavalmisteista Suomessa mitatut PAH-pitoisuudet ovat olleet hiukan EU-maista raportoituja keskiarvopitoisuuksia suurempia sillä tarkkuudella kuin vertailua oli mahdollista tehdä eri aineita koskevan raportoinnin vuoksi.

Kansallisessa riskinarvioinnissa merkittäviä PAH-yhdisteiden lähteitä olivat viljatuotteet, liha ja rasvat, ja muita elintarvikeryhmiä suurempia pitoisuuksia esiintyi viljatuotteissa, lihassa, kalassa ja makeisissa.

Patuliini

Patuliinia esiintyy erityisesti omenahedelmässä ja niistä valmistetuissa tuotteissa (lasten hedelmäsoseet, mehut). Myös viljoissa ja tomaattipyreessä voi olla patuliinia, vaikka vähemmän kuin hedelmässä.

Muissa EU-maissa tuoreista hedelmistä on mitattu verraten korkeita patuliinipitoisuuksia. Suomessa ei ole mitattu patuliinipitoisuuksia tuoreista hedelmistä, viljoista tai tomaattipyreestä, mutta mehuja, lasten hedelmäsoseita ja kuivahedelmiä analysoidaan säännöllisesti. Koska patuliinia tuottavia homeita kasvaa lähinnä vaurioituneissa tuorehedelmässä (mätänevissä omenoissa), terveyden kannalta merkittäviä pitoisuuksia esiintyy todennäköisemmin hedelmävalmisteissa kuin tuoreissa hedelmässä. EFSA:lle raportoitujen mehunäytteiden pitoisuudet ovat keskimäärin olleet pienempiä kuin EU-maista koottujen näytteiden keskiarvo.

PBDE, katso bromatut palonsuoja-aineet

Perfluoroalkyloidut aineet

PFOA ja PFOS on mitattu Suomessa enitenkaloista, viranomaisten analyyseissa muun muassa EU-kalat III -projektissa, jossa mitattiin tutkituista näytteistä myös PFHxS ja PFNA (Airaksinen ym. 2018), sekä SYKE:n julkaisuissa (Junttila ym. 2019; Siimes ym. 2019). Lisäksi PFAS-yhdisteiden pitoisuuksia on vuosina 2014–2020 mitattu hevosen, sian, naudan ja broilerin lihasta, sian rasvasta, eri kalalajeista ja maidosta. Näytemäärät ovat tyypillisesti olleet 5 kpl/elintarviketyyppi, joten vaikka tietoa on jo kertynyt, se on vielä niukkaa. Kotieläinten lihasta, sian rasvasta ja maidosta ei ole mitattu määräysrajan ylittäviä pitoisuuksia. EFSA:lle on toimitettu Suomesta PFOA- ja PFOS-pitoisuustietoja vuosilta 2009 ja 2010.

EFSA:n arviossa (2020) neljän PFAS-yhdisteen tärkeimmät lähteet olivat kala, hedelmät/hedelmävalmisteet ja kananmunat. Näistä elintarvikkeista, sekä lihasta (varsinkin riista ja sisäelimet) ja maidosta, olisi hyödyllistä saada edelleen tietoa Suomessa esiintyvistä pitoisuuksista. Toistaiseksi kirjolohen ja kotieläinten lihan pitoisuudet vaikuttavat jonkin verran EFSA:n tietokannan keskiarvoja pienemmiltä, maidon pitoisuudet ovat EFSA:llakin vähäiset. EFSA:n mukaan aikuisten kokonaisaltistuksesta neljälle PFAS-yhdisteelle valtaosa koostui PFOA:sta ja PFAS:sta; PFHxS:n osuus oli 10 % ja PFNA:n 4 %.

Kalojen osalta PFOA-, PFOS-, PFHxS- ja PFNA-pitoisuuksien seuranta osana säännöllistä EU-kalatutkimusta on aiheellista. Kotimaisen lihan, maidon, kananmunien ja hedelmien PFAS-yhdisteiden pitoisuuksien kansallinen seuranta muutamien vuosien välein voi olla aiheellista, sillä vaikka joistakin tuotteista on jo jonkin verran mittaustuloksia, aineisto on vielä liian niukkaa trendien tutkimiseen.

Perkloraatti

Perkloraattia on Suomessa mitattu useista kasvikunnan tuotteista, mutta vuosina 2010–2015 sitä havaittiin vain muutamasta palkokasvi- ja kurkkunäytteestä. EFSA:n arvion (2014) mukaan tärkeitä altistuslähteitä ovat kasvikset, hedelmät ja marjat, maitotuotteet. Pitoisuudet voivat olla muita elintarvikkeita suurempia kasviksissa, alkoholittomissa juomissa, erityisruokavaliotuotteissa tai ravintolisissä. Maitotuotteista ja lastenruoista ei ole analysoitu perkloraattia Suomessa, ja koska pikkulapset ovat riskiryhmää, lastenruokien pitoisuuksien ajoittainen tarkastelu olisi perusteltua.

Pyrrolitsidiinialkaloidit

Suomessa ei ole mitattu pyrrolitsidiinialkaloideja elintarvikkeista. EFSA:n arviossa (2017) tutkittiin lähteinä teejuomia (erityisesti yrttiteet) ja hunajaa. Myös kasviperäisissä ravintolisissä voi valmistukseen käytetystä kasvilajista riippuen olla pyrrolitsidiinialkaloideja. Pyrrolitsidiinialkaloidien esiintyminen hunajassa on todennäköisempää, jos mehiläiset ovat keränneet mettä näitä aineita sisältävistä kasveista kuten joistakin asteri- ja hernekasveista. Lisäksi EFSA totesi, että maidossa on satunnaisesti havaittu pieniä pyrrolitsidiinialkaloidijäämiä.

Sitriniini

Suomesta ei ole saatavilla tietoa elintarvikkeiden sitriniinipitoisuuksista, ja eurooppalaisetkin pitoisuustiedot ovat niukkoja. Sitriniiniä on raportoitu esiintyvän erityisesti viljoissa, ja sitä on havaittu myös muun muassa palkokasveista ja hedelmistä. Kirjallisuustietojen mukaan sitriniini hajoaa kuumennettaessa, joten suurin riski liittyy kypsentämättä syötäviin tuotteisiin edellä mainituissa ryhmissä.

Sterigmatokystiini

Sterigmatokystiiniä ei ole mitattu Suomessa. EFSA ei kyennyt tekemään riskinarviointia tästä aineesta, sillä pitoisuudet mitatuissa elintarvikkeissa olivat enimmäkseen alle määritysrajan eikä altistusta siksi ollut mahdollista arvioida. Mahdollisia altistuslähteitä ovat viljatuotteet, etenkin riisi ja aamiaismurot, sekä (viljapohjaiset) lastenruoat. Sterigmatokystiiniä on satunnaisesti todettu myös vihreissä kahvipavuisissa, mausteissa, pähkinöissä ja oluessa, ja sitä voi muodostua juuston pinnalle sen kypsytyksen aikana (EFSA 2013).

Syaanivety ja syanogeeniset glykosidit

Syanogeenisiä glykosideja on suuria määriä karvasmantelissa ja aprikoosinsiemenissä, joiden nauttiminen liiallisina määrinä voi johtaa kuolemaan. Niiden käyttö on kuitenkin Suomessa toistaiseksi vähäistä. Karvasmantelin pitoisuuksia ei ole tutkittu Suomessa, mutta siinä amygdaliinia

voi olla syanidiekvivalentteina jopa 4000 mg/kg (Abraham ym. 2016). Muita syanogeenisten glykosidien lähteitä, joiden käyttö Suomessa on niukkaa, ovat durra, maniikki ja voipavut. Keskivertokuluttajalle näitä olennaisempia lähteitä ovat öljysiemenet (pellavan linamariini), kivihedelmien siemenistä valmistettavat marsipaani ja persipaani. Myös kivihedelmistä valmistetuissa juomissa, kuten kirsikkamehussa, voi olla suurkäyttäjän kannalta merkittäviä pitoisuuksia. Uuden-Seelannin elintarviketurvallisuusvirasto NZFSA on mitannut kirsikkamehun syanidipitoisuudeksi 4,6 mg/kg (NZFSA 2017).

Suomessa on tutkittu pellavan linamariinipitoisuuksia 1990-luvulla, ja samassa yhteydessä myös usean muun öljykasvin siemenen sekä marsipaenin syanogeenisten glykosidien pitoisuuksia (Niemi & Hallikainen 1996). Marsipaanissa ja muissa siemenissä pitoisuudet olivat alle menetelmän määrittämissä, 5 mg/kg. Pellavassa havaitut pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin myöhemmässä kansainvälisessä julkaisussa (Abraham ym. 2016) mitattu keskiarvo 220 mg/kg, minkä perusteella silloisessa Eivirassa arvioitiin öljysiementen käyttösuosituksen riittävän suojaamaan kuluttajaa myös syanogeenisten glykosidien liialliselta saannilta. Kotimaisessa pellavassa esiintyviä linamariinipitoisuuksia olisi kuitenkin aiheellista kartoittaa uudelleen lähivuosina, sillä 1990-luvun jälkeen tuottajat ovat saaneet pellavan kadmiumpitoisuudet alenemaan, eikä ole tietoa siitä, onko linamariinin määrässä tapahtunut samalla muutoksia suuntaan tai toiseen. Kirsikasta ja muista kivihedelmistä valmistettujen mehujen ja alkoholijuomien pitoisuuden seuraaminen voi myös olla aiheellista suurkuluttajien terveyden turvaamisen kannalta, ja kassavan ja durran turvallisen käytön ohjeistukseen voi olla tarpeen kiinnittää huomiota.

Tässä raportissa suomalaisten altistumista arvioitiin sekä pelkistä pellavasta öljysiementen käyttösuosituksen mukaisella annoksella max 15 g/vrk että EFSA Comprehensive Food Consumption Database -tietokantaan vietyjen suomalaisten ruoankäyttötutkimusten akuutin pellavansiemenkäytön 95. prosenttipisteen ja kivihedelmämehun (ruoankäytössä luumu-, pitoisuuksissa edellä mainittu kirsikkamehu) yhteissaantina. Jälkimmäinen arvio on varovaisempi, koska harvinaisen mehun käyttö vastasi 48–70 % kokonaissaannista.

T2- ja HT2-toksiinit

Suomessa on määritetty pitoisuuksia viljatuotteista sekä lastenruoista, jotka ovat sekä pitoisuuksien että altistuksen kannalta oleelliset ryhmät. Näytteiden pitoisuudet ovat olleet enimmäkseen alle määrittämissä, mutta joissakin viljanäytteissä pitoisuudet ovat olleet muutamia kymmeniä µg/kg. T2- ja HT2 -toksiinien pitoisuudet viljoissa ovat suunnilleen samalla tasolla Suomessa ja muissa EU-maissa, joskin Suomessa kauran pitoisuudet ovat olleet hieman korkeammat. Lastenruokien osalta pitoisuusaineistot eivät ole täysin vertailukelpoisia. Rukiin T2- ja HT2 -pitoisuuksista on muista EU-maista vähän tietoa. T2- ja HT2 -toksiineista esiintyy myös modifioituja muotoja, mutta niiden pitoisuuksista ei ole suomalaisia analyysitietoja.

Samoin kuin deksinivalenolin kohdalla todettiin, suomalaisten lasten altistusta olisi tarpeen arvioida tässä työssä käytössä olleita ruoankäyttötietoja tarkemmalla aineistolla, ja jatkuva pitoisuuksien seuranta on aiheellista.

Tetrahydrokannabinoli

Tetrahydrokannabinolin pitoisuuksia ei ole mitattu suomalaisista elintarvikkeista, mutta sitä voi mahdollisesti esiintyä hampunsiemeniä sisältävissä tuotteissa sekä eläinperäisissä

elintarvikkeissa (maitotuotteet, liha, kananmunat), mikäli eläimet ovat nauttineet hamppurehua. EFSA:n (2015) mukaan tetrahydrokannabinolia tai sen esiasteita on todettu muutamasta liha- ja maitovalmistenäytteestä sekä suklaista, joista usea tuote sisälsi hampunsiemeniä. Tetrahydrokannabinolin analysointi suomalaisista elintarvikkeista on perusteltua lähinnä, jos kyseessä on hampunsiemeniä sisältävä tuote tai hamppurehulla ruokitusta karjasta peräisin oleva tuote. Haittavaikutuksen riski kuluttajalle on kuitenkin mitätön.

Tina (epäorgaaninen)

Elintarvikevalvonnan kannalta oleellisin epäorgaanisen tinan lähde ovat tinatusta pellistä valmistetut säilyketölkit ja niistä elintarvikkeeseen liukeneva tina.

Tinaa on Suomessa mitattu vuosina 2010–2015 erilaisista hedelmäsäilykkeistä, mehuista, rukiista ja tölkkikasviksista. Eurooppalaisista pitoisuuksista ei ole julkaistu vertailukelpoisia tietoja, mutta EU:ssa samoin kuin Suomessa voi ajoittain esiintyä enimmäismäärän ylittäviä pitoisuuksia purkkiruoissa. Yleisin ylittäjä on ananassäilyke happamuutensa vuoksi. Sekä tölkitysvaihe että varastointi- ja jakeluvaihe voivat lisätä epäorgaanisen tinan määrää tuotteessa, jos olosuhteet ovat tinan liukenemiselle otolliset ja erityisesti, jos säilytysaika on pitkä.

Tropaanialkaloidit

Suomessa ei ole analysoitu tropaanialkaloideja elintarvikkeista. Tropaanialkaloideja sisältävien kasvien kuten hulluruohon siemeniä voi päätyä muiden elintarvikkeiden joukkoon sadonkorjuun yhteydessä.

Tropaanialkaloideja (atropiini/hyoskyamiini ja skopolamiini) on EFSA:n raporteissa (EFSA 2013, EFSA 2018) osoitettu esiintyvän esimerkiksi tattarijauhoissa, viljapohjaisissa lastenruoissa, vehnäleseissä ja muissa viljavalmisteissa, öljykasvien siemenissä sekä marjoissa tai pienissä hedelmissä. Lisäksi tropaanialkaloideja löytyi teestä ja yrttiteestä valmistusaineineen ja popcornista.

Altistuksen tai pitoisuuksien kannalta oleellisia tutkittavia elintarvikeryhmiä ovat viljatuotteet, hedelmät, lastenruoat, palkokasvit sekä hedelmät ja marjat. Tropaanialkaloideja sisältävien rikkakasvien siemenillä tapahtuva kontaminaatio on todennäköisempää lämpimissä maissa kuin Suomessa, joten tuontielintarvikkeiden valvonta on erityisen tärkeää.

Zearalenoni (ZEN)

Kansallisessa altistuksen arvioinnissa (Rautala ym. 2008) aikuisten ZEN-altistus arvioitiin niin vähäiseksi, että terveyshaitan riski on mitätön. Suomalaisten lasten altistusta ei ole arvioitu tarkasti, ja tässä raportissa tehty karkea arvio, jonka ansiosta ZEN on prioriteettilistalla melko korkealla, voi olla selvästi todellista suurempi.

ZEN-pitoisuuksia on tutkittu sekä viljoista että viljapohjaisista lastenruoista parin vuoden välein. Suomessa pitoisuudet ovat olleet EU-keskiarvoa jonkin verran pienempiä lukuun ottamatta kaurahiutaleita, joiden pitoisuudet ovat olleet hieman suurempia. Kirjallisuuden perusteella myös kasviöljyissä (etenkin vehnänalkioöljy) voi esiintyä melko suuria ZEN-jäämiä, mutta näitä tuotteita ei ole analysoitu Suomessa.

Kasvukauden ilmasto-olot vaikuttavat mykotoksiinien esiintymiseen, joten kansallinen ja jatkuva seuranta on aiheellista kaikille niille mykotoksiineille, joiden kasvulle otollisia olosuhteita esiintyy Suomessa.

7.3 Arvioon liittyvät epävarmuudet ja virhelähteet

Taulukkoon 17 on koottu oleellisimpia tähän työhön ja sen aineistoihin liittyviä epävarmuuden lähteitä sekä arvioitu niiden vaikutusta tuloksiin.

Taulukko 17. Aineistoihin liittyvät epävarmuuden lähteet ja niiden vaikutus. (+) = yhden tai useamman vierasaineen riski on arvioitu todellista suuremmaksi, (-) = riski on arvioitu todellista pienemmäksi, (+/-) = vaikutusta arvioon ei voi tietää. Taulukossa ylinnä ovat ne tekijät, joihin liittyy eniten epävarmuutta.

Tekijä	Kommentti	Vaikutus
Arviot suomalaisten altistuksesta ovat laadultaan erilaisista lähteistä.	Piste-estimaatit ovat epätarkkoja.	+
	EU-keskiarvot eivät välttämättä kuvaa Suomessa esiintyviä pitoisuuksia tarkasti.	+/-
	Kansallisiin aineistoihin perustuvat probabilistiset riskinarvioinnit kuvaavat tarkimmin suomalaisten altistusta.	+/-, pienin vaikutus näistä kolmesta
Toksikologisen tiedon puutteet	Epävarmuus joidenkin vierasaineiden luokittelusta (esimerkiksi okratoksiini A)	+
	Ainekohtaisten toksikologisten vertailuarvojen puuttuminen (esimerkiksi alternariatoksiinit)	+/-
	Dioksiinien laskennallinen kertymä on suurempi kuin biologisten näytteiden perusteella Suomessa arvioitu.	+
	Koe-eläimestä ihmiseen tehtävä ekstrapolointi (johtaminen) on epävarmaa ja turvakertoimet ovat epävarmoja.	+/-
Toksikologinen luokittelu	Mahdolliset virheet vierasaineiden toksikologisessa luokittelussa	+/-
Priorisointimenetelmä	Luokittelu poikkeaa naapurimaiden (keskenään erilaisista) menetelmistä, koska yksityiskohtaisempaan luokitteluun ei ollut resursseja ja osa luvun 2 menetelmistä julkaistiin vasta tämän työn aikana.	+/-
	Vierasaineen riskiä on vertailtu eri ikäryhmille, sillä altistusmarginaali laskettiin sille ryhmälle, jonka P95-altistus oli suurinta.	+/-
Kansallisten pitoisuusaineistojen ikä ja kattavuus	Paljon vaihtelua aineiden välillä. Valtaosa arvioista perustuu vuosien 2010–2016 aineistoihin, ja uusimmissa tiedoissa voi olla puutteita. Pitoisuustiedoissa on huomioitu vain viranomaisaineistot, ei teollisuuden omavalvonnan tuloksia.	+/-

7.4 Tulevaisuuden näkymiä

Erilaisten kemiallisten aineiden toksisuudesta karttuu jatkuvasti uutta tietoa. Aineilla voi olla myös samanlaiset vaikutusmekanismit, jolloin altistuminen samanaikaisesti usealle samalla tavoin vaikuttavalle vierasaineelle voi olla yhteisvaikutukseltaan selvästi vakavampi kuin yhdisteitä erikseen tarkasteltaessa. Aineiden vaikutus voi olla summautuva ($1+1=2$), synergistinen eli toistensa vaikutusta lisäävä ($1+1>2$) tai antagonistinen eli toistensa vaikutusta vähentävä ($1+1<2$). Useiden aineiden yhteisvaikutuksia selvittäviä kumulatiivisia riskinarvioiteja on toistaiseksi tehty vasta vähän, sillä toksikologisen tiedon puutteet ovat rajoittavana tekijänä. Tutkimusta seosvaikutuksista tehdään kuitenkin eri tahoilla, joten myöhemmin voi olla mahdollista arvioida vierasaineiden riskejä sellaisina yhdistelminä, joille kuluttajat altistuvat. Tällä hetkellä tarvitaan kuitenkin vielä paljon lisätietoa, etenkin toksikokineettisistä ja toksikodynaamisista vaikutuksista ihmisellä. Elintarvikkeiden pitoisuuksista ja kuluttajien ruoankäytöstä arvioidun altistuksen lisäksi olisi tärkeää, etenkin kumulatiivisia vaikutuksia arvioitaessa, tutkia altistuksen suuruutta myös biologisista näytteistä.

Karttuvan tiedon vuoksi tässä raportissa tehty arvio vierasaineiden prioriteettijärjestyksestä toksisuuden ja suomalaisten suurkuluttajien altistuksen näkökulmasta on aiheellista päivittää noin vuonna 2030. Samalla päivitetään kooste kansallisten pitoisuustietojen tilasta (aineistojen kattavuus ja ikä) ja tarkastellaan myös muiden kuin viranomaisten tuottamien pitoisuusaineistojen saatavuutta ja hyödynnettävyyttä.

Päivityksen yhteydessä arvioidaan myös sellaisia vierasaineita, joita tässä raportissa ei ole vielä tarkasteltu. Uusiksi aineiksi valitaan sellaisia, jotka on päivitystyön alkuun mennessä todettu mahdollisesti huolta aiheuttaviksi Euroopan komission, EFSA:n vierasainepaneelin tai EFSA:n nousevien riskien asiantuntijaverkoston taholta ja joista on saatavilla riittävästi tietoa arvion tekemiseksi. Lisäksi kootaan tuolloin saatavilla oleva tieto vierasaineiden yhteisvaikutuksia käsittelevistä tutkimuksista.

8 English summary

8.1 Aims of the project

The aim of this project was to identify the contaminants referred to in legislation or monitoring recommendations that can be important in Finland. The prioritization of the contaminants is based on available data on the dietary exposure of consumers as well as on the toxicity of the contaminants. In addition, the project identifies contaminants and food groups for which more national occurrence data is needed. Based on the collected data, a priority order for gathering new occurrence data concerning these contaminants is also built.

The aim of this summary is to give the English-speaking reader an overview of the main results of the work. The Finnish report includes a detailed discussion on the health effects of the studied contaminants (Chapter 3 and Appendixes 1–2) as well as a detailed overview of the data gaps from the national point of view (Chapter 7.2). In addition, the Finnish report contains a discussion on the requirements of contaminant legislation and European Commission's monitoring recommendations, which is not included in this short summary. In the report, the references are grouped according to the compound group to give the reader an overview of the scope.

8.2 Prioritization of chemical hazards: literature and approach used in this study

Van der Fels-Klerx et al. (2018) published a review of 11 different prioritization methods and their needs, applicability, pros and cons. The approach used in this study is a risk ratio method, which requires data on occurrence of the hazards, consumption data to assess the exposure to the hazards, and health-based guidance values for all of the hazards.

The Swedish Risk Thermometer (Sand et al. 2015) divided chemical hazards into five groups based on their toxicology. We used a four-group system for chronic effects, mostly based on the decision tree published in (Stroheker et al. 2017), and a two-group system for acute effects. Only the most relevant health effect, generally the same effect on which EFSA's tolerable daily intake level is based, was considered for each contaminant. However, if the contaminant can be harmful to the consumer both in the acute and the chronic scenario, it was assessed for both.

The contaminants with chronic effects were divided into the following groups:

- a) compounds which are carcinogenic or toxic to reproduction and which do not have a threshold value,
- b) endocrine disrupting compounds,
- c) compounds that are toxic to important organs or processes,
- d) compounds with less serious or transient effects.

The contaminants with acute health effects were divided into two groups based on whether or not they can cause a fatal reaction in amounts that could be found in contaminated food.

The margin of safety between the health-based guidance value and high exposure (95th percentile according to upper bound scenario) of Finnish children and adults was determined and compared with the sufficient margin of safety for negligible risk. The age group with the higher risk was considered in the prioritization.

The contaminants were set in an order of priority by the seriousness of the health effect and by its probability. Carcinogenic compounds with dietary exposure much above the level where risk is negligible thus were the highest priority, while compounds causing only transient health effects and with minimal exposure were the lowest.

The contaminant – food group combinations used to prioritize the collection of national monitoring data were identified with a method that was fairly similar to the Norwegian approach (VKM 2019). Basing our work on the priority list of the contaminants, we considered for each contaminant its main sources of exposure, food groups where concentrations are higher than in other foods, food groups where the concentrations in Finland can be higher than the EU average, as well as gaps in the nationally available occurrence data or outdated data.

8.3 Materials and methods

The national monitoring data requested for this project comprised the years 2014 to 2016. In addition, the project utilized occurrence data collected in national risk assessments completed within the last 10 years. The EU average concentrations were collected from reports published by the European Food Safety Authority EFSA for comparison purposes.

In case the exposure to a contaminant had not been assessed in Finland (with national occurrence data and probabilistic assessment using food consumption data), the high exposure value of Finnish consumers was taken from reports published by EFSA. If the contaminant was only present in a few foods, a rough exposure assessment for different age groups in Finland was made using national monitoring data and P95 intake statistics published in the Comprehensive Food Consumption Database (freely available at EFSA website).

Toxicity data and assessment of sufficient margin of exposure for negligible risk were also based on data published in EFSA reports, with a few other international sources, such as JECFA, included for some contaminants.

8.4 Priority list based on toxicity and dietary exposure of Finns

Tables 1 and 2 show the ranking of contaminants based on the seriousness of the health effect and on the risk for high users (95th percentile of exposure, shortened P95). Table 1 includes compounds causing acute health effects and Table 2 includes those causing health damage over long-time exposure.

In both tables, a “low” risk consisted of those cases where the exposure was less than 10 times higher than the exposure EFSA considers to be of negligible risk; that is, for example, P95 exposure 1 to 10 times the TDI. If the high exposure of either children or adults exceeded this, the risk was considered to be moderate or higher.

Table 1. Risk ranking of contaminants for which a single exposure (intake during a single day) may cause harmful health effects. Risk to high users is considered.

	Moderate or higher risk	Low risk	Negligible risk
Potentially lethal effects		Cyanogenic glycosides(*) Tropane alkaloids	Ergot alkaloids Cyanogenic glycosides(**) Pyrrolizidine alkaloids
Effects milder than lethal	Nickel (for allergic individual) T2 and HT2 toxins Morphine	Deoxynivalenol	Codeine Tetrahydrocannabinol

(* Worst-case scenario from ordinary food. For people using apricot seeds as food, the risk can be significantly higher than this estimate.

(** If consumers limit their consumption of e.g. oilseeds to recommended levels.

Table 2. Risk ranking of contaminants based on chronic health effects and risk to high users.

	Moderate or higher risk	Low risk	Negligible risk
Carcinogenic or embryotoxic compounds with no threshold value	Aflatoxins Arsenic (inorg.) Acrylamide Furan and methyl furans AOH and AME (Alternaria toxins) Lead Ethyl carbamate Ochratoxin A	Pyrrolizidine alkaloids Aflatoxin M1 ⁽⁴⁾ Glycidol Patulin	Benzo(a)pyrene Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH4) Sterigmatocystine
Endocrine disrupting compounds	Dioxins and dl-PCBs ^(1,2)	Dioxins ⁽³⁾ BDE-99 Zearalenone Bisphenol A	Phtalates (DEHP, DINP, BBP, DBP) Tetrahydrocannabinol
Compounds causing serious organ damage and compounds causing cancer or damage to foetus at higher than threshold level exposure	PFAS compounds (4 PFAS)	Deoxynivalenol PFOA and PFOS Fumonisin Cadmium Ergot alkaloids Perchlorate 3-MCPD	Nickel Ochratoxin A ⁽⁵⁾ Methyl mercury and inorganic mercury Melamine Aluminium TeA and TEN (Alternaria toxins) Bisphenol A
Compounds causing less serious effects than the above, or reversible effects	T2 and HT2 toxins	Nitrate	Erucic acid Inorganic tin MOSH

⁽¹⁾ Based on a national biomonitoring study (Rantakokko et al. 2020) the risk is lower than the one presented here, which is based on the toxicological endpoint determined by EFSA for dietary exposure.

⁽²⁾ Total TEQ sum of dioxins and dl-PCBs

⁽³⁾ Total TEQ sum of dioxins only

⁽⁴⁾ With EU average concentrations. The risk is negligible if one uses concentrations measured in milk in Finland.

⁽⁵⁾ Based on non-carcinogenic effects. EFSA considers that there is no clear evidence of the direct genotoxicity of ochratoxin A. The risk may therefore be overestimated if it is assessed together with the other carcinogenic compounds.

There is no information available on the risk of mycotoxins fomopsins and citrinin and of mineral oil hydrocarbons MOAH.

8.5 Main conclusions on national data collection needs

The most critical food groups from the point of view of multiple contaminants were cereals and cereal products; foods for infants and young children; vegetables including roots; and meat and meat products. These food groups are consumed often and in large amounts and, consequently, they are an important source of exposure to many contaminants. For some contaminants, however, the national (governmental) occurrence data concerning these food groups were fragmentary or old.

Some comments on the occurrence data and data gaps concerning the contaminants with the highest risk:

- Inorganic arsenic: Fish contains high amounts of total arsenic, although the main component is a relatively nontoxic organic arsenic compound. While there are sufficient data on the total arsenic content in Finnish fish, more information is needed on the amounts of inorganic arsenic. Secondly, as the popularity of plant-based drinks (milk substitutes) increases, more information is needed on the concentrations and their typical variation.
- Acrylamide: The occurrence data on food for children and non-alcoholic drinks are scarce or in need of updating.
- Furans: Methyl furans have not been analysed nationally. The most recent study on furan occurrence in foods for children and in coffee dates back to 2008.
- Alternaria toxins: So far, these mycotoxins have not been analysed in Finland. More information is needed on their toxicity, as the current estimate of risk is based on a threshold value for substances with a certain type of structure rather than on animal tests performed with these substances.
- Hydrocyanic acid and cyanogenic glycosides: The national occurrence data on linamarin in oilseeds are old, and there is a need to assess whether the concentrations are still comparable with Central European concentrations.

As a general conclusion on the needs of ongoing national monitoring:

- The occurrence of some contaminants, such as mycotoxins, ergot alkaloids and nitrate, depends partly on weather conditions. Consequently, the results of previous years predict poorly the future results, and annual national monitoring is necessary for those compounds which can occur in food grown in Finland. Climate change is likely to create weather conditions in Finland that are more suitable for formation of mycotoxins and possibly also other contaminants affected by weather.
- Concentrations of contaminants persistently present in the environment, such as heavy metals and some organic pollutants, change slowly in food unless the conditions change: e.g. use of a new cultivar with a different uptake of contaminants than the previous cultivars; new types of fertilizers. This is why annual monitoring of these contaminants is not as critical as those discussed above, as long as the data on their occurrence in food available in Finland are sufficient for decision-making. The occurrence data can be collected e.g. in a larger study every 5 years, as is the current practice for monitoring the dioxin content of Baltic fish. If the concentrations of a contaminant are known to vary greatly between areas, e.g. mercury content in different fish species from different lakes, it is necessary to have sufficient data on local concentrations for local decision-making. In this case, the point of view is somewhat different from the country-level assessment mainly used in this report.

This generalization does not address other factors related to monitoring, such as the needs of exportation and legislative demands. The point of view is that of national production, although the comments on variation in concentration between the years are also relevant to imported foods.

9 Viitteet / References

Viitteet on koottu raportista sekä Liitteistä 1–2 ja jaoteltu alle aihepiirinsä mukaan.

9.1 Vierasaineriskien priorisointi / Prioritization

EFSA Scientific Committee, Hardy, A, Benford, D, Halldorsson, T, Jeger, MJ, Knutsen, KH, More, S, Mortensen, A, Naegeli, H, Noteborn, H, Ockleford, C, Ricci, A, Rychen, G, Silano, V, Solecki, R, Turck, D, Aerts, M, Bodin, L, Davis, A, Edler, L, Gundert-Remy, U, Sand, S, Slob, W, Bottex, B, Abrahamantes, JC, Marques, DC, Kass, G and Schlatter, JR, 2017. Update: Guidance on the use of the benchmark dose approach in risk assessment. *EFSA Journal* 2017; 15(1):4658, 41 pp.

FSAI. 2019. Report of the Scientific Committee of the Food Safety Authority of Ireland. FSAI Risk Ranking Model for Chemical Contaminants in Food.

Helldán A, Raulio S, Kosola M, Tapanainen H, Ovaskainen M-L, Virtanen S. 2013. Finravinto 2012 -tutkimus – The National FINDIET 2012 Survey. THL Raportti No. 16/2013. 187 pp.

Kyttälä P, Ovaskainen M, Kronberg-Kippilä C, Erkkola M, Tapanainen H, Tuokkola J, Veijola R, Simell O, Knip M, Virtanen SM. 2008. Lapsen ruokavalio ennen kouluikää. *Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B32/2008*.

Sand S, Bjerselius R, Busk L, Eneroth H, Sanner Färnstrand J, Lindqvist R. 2015. The Risk Thermometer - A tool for risk comparison. *Livsmedelsverkets rapportserie 8/2015*.

Stornetta A, Engeli BE, Zarn JA, Gremaud G, Sturla SJ. 2015. Development of a risk management tool for prioritizing chemical hazard-food pairs and demonstration for selected mycotoxins. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 72:257–265

Stroheker T, Scholz G, Mazzatorta P. 2017. A new global scientific tool for the assessment and prioritization of chemical hazards in food raw materials. *Food Control* 79:218-226.

Sumner J, Ross T. 2002. A semi-quantitative seafood safety risk assessment. *International Journal of Food Microbiology* 77:55– 59.

van Asselt ED, van der Spiegel M, Noordam MY, Pikkemaat MG, van der Fels-Klerx HJ. 2013. Risk ranking of chemical hazards in food—A case study on antibiotics in the Netherlands. *Food Research International* 54:1636–1642.

Van der Fels-Klerx HJ, Van Asselt ED, Raley M, Poulsen M, Korsgaard H, Bredsdorff L, Nauta M, D'agostino M, Coles D, Marvin HJP, Frewer LJ. 2018. Critical review of methods for risk ranking of food-related hazards, based on risks for human health, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58:2, 178-193, DOI: 10.1080/10408398.2016.1141165

VKM, Inger-Lise Steffensen, Christiane Kruse Fæste, Trine Husøy, Helle Katrine Knutsen, Gro Haarklou Mathisen, Robin Ørnsrud, Angelika Agdestein, Johanna Bodin, Edel Elvevoll, Dag O. Hessen, Merete Hofshagen, Åshild Krogdahl, Asbjørn Magne Nilsen, Trond Rafoss, Taran Skjerdal, Gaute Velle, Yngvild Wasteson, Gro-Ingunn Hemre, Vigdis Vandvik, Jan Alexander (2019). Ranking of substances for monitoring in foods, drinks and dietary supplements - based on risk and knowledge gaps. Scientific Opinion of the Scientific Steering Committee of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM report 2019:13, ISBN: 978-82-8259-329-8, ISSN: 2535-4019.

9.2 Metallit / Metals

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>

ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Toxicological profile for lead. URL <http://www.atsdr.cdc.gov/>

ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Toxicological profile for arsenic. URL <http://www.atsdr.cdc.gov/>

ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2008. Toxicological profile for aluminum. URL <http://www.atsdr.cdc.gov>

ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2012. Toxicological profile for cadmium. URL <http://www.atsdr.cdc.gov/>

ATSDR U.S. Department of Health and Human services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2013. Addendum for organic mercury compounds (alkyl and dialkyl mercury compounds) Supplement to the 1999 Toxicological profile for mercury. URL <http://www.atsdr.cdc.gov>

Colomina MT, Roig JL, Torrente M, Vicens P, Domingo JL. 2005. Concurrent exposure to aluminum and stress during pregnancy in rats: Effects on postnatal development and behavior of the offspring. *Neurotoxicology and teratology* 27:565-574.

EFSA European Food Safety Authority 2008. 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. 2005. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Tin. *The EFSA Journal* 254:1-25.

EFSA European Food Safety Authority. 2009. 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. 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 9(2):2006. (28pp.)

EFSA European Food Safety Authority. 2012. Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA Journal 10(1):2551. (37 pp.)

EFSA European Food Safety Authority. 2012. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance aluminium ammonium sulfate. EFSA Journal 10(3):2491. (46 pp.)

EFSA European Food Safety Authority. 2012. Lead dietary exposure in the European population. EFSA Journal 10(7):2831. (59 pp.)

EFSA European Food Safety Authority. 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal 10(12):2985. (241 pp.)

EFSA European Food Safety Authority. 2014. Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. EFSA Journal 12(3):3597, 68 pp.

EFSA European Food Safety Authority. 2015. Scientific Opinion on the risks to animal and public health and the environment related to the presence of nickel in feed. EFSA Journal 13(4):4074, 76 pp.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Guérin T, Massanyi P, Van Loveren H, Baert K, Gergelova P, Nielsen E. 2020. Scientific Opinion on the update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. EFSA Journal 2020;18(11):6268, 101 pp.

EFSA (European Food Safety Authority), Arcella D, Cascio C and Gómez Ruiz JÁ. 2021. Scientific report on the chronic dietary exposure to inorganic arsenic. EFSA Journal 2021;19(1):6380, 50 pp.

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* 26(3): 486–495

Flora SJS, Pachauri V, Saxena G. 2011. Arsenic, cadmium and lead. *Teoksessa Reproductive and Developmental Toxicology*; Toim. Gupta RC; Elsevier; Luku 33.

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

Hallikainen A, Jestoi M, Kekki T, Koivisto P, Kostamo P, Mäkinen P, Rannikko R, Suomi J, Pohjanvirta R, Hietaniemi V, Rajakangas L, Kankaanpää H, Kurttio P, Turtiainen T, Airaksinen R, Kiviranta H, Komulainen H, Rantakokko P, Viluksela M, Laakso J, Nuotio K, Siivinen K. 2013. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat. *Eviran julkaisu* 2/2013.

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>

International Programme on Chemical Safety. 1995. Inorganic Lead. Environmental Health Criteria 165. WHO, Geneva. 1995.

JECFA 2006. Safety evaluation of certain contaminants in food. Sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Food Additives Series 55. Inorganic Tin (pp. 318-350). WHO, Geneva. 2006.

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.

Kawahara M, Konoha K, Nagata T, Sadakane Y. 2007. Aluminum and Human Health: Its Intake, Bioavailability and Neurotoxicity. Biomedical Research on Trace Elements 18:211-220.

Laparra JM, Vélez D, Barberá R, Farré R, Montoro R. 2005. Journal of Agricultural Food Chemistry 53: 8829–8833.

Ni M, Li X, Marreilha dos Santos AP, Farina M, Teixeira da Rocha JB, Avila DS, Soldin OP, Rongzhu L, Aschner M. 2011. Mercury. Kirjassa: Reproductive and Developmental Toxicology; Toim. Gupta RC; Elsevier; Luku 35.

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.

Salo T, Ylivainio K, Keskinen R, Sarvi M, Euroola 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, 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.

Satarug S, Garrett SH, Sens MA, Sens DA. 2010. Environmental Health Perspectives 118:182-190.

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.

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 pp.

Suomi J, Valsta L, Suominen K, Tuominen P. 2020. Riskinarviointi suomalaisten aikuisten altistumisesta elintarvikkeiden ja talousveden raskasmetalleille ja alumiinille. Ruokaviraston tutkimuksia 1/2020

Takiguchi M, Yoshihara SI. 2006. New aspects of cadmium as endocrine disruptor. *Environ Sci* 13:107-116.

Valvira Talousvesiasetuksen soveltamisohje. Valviran ohje 5/2020, liite III. https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/talousvesi/talousvesiasetuksen_soveltamisohje

9.3 Mykotoksiinit / Mycotoxins

Adhikari M, Negi B, Kaushik N, Adhikari A, Al-Khedhairi AA, Kaushik NK, Choi EH. 2017. T-2 mycotoxin: toxicological effects and decontamination strategies. *Oncotarget*, 8(20), 33933–33952. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.15422>

Battilani P, Gualla A, Dall'Asta C, Pellacani C, Galaverna G, Giorni P, Caglieri A, Tagliaferri S, Pietri A, Dossena A, Spadaro D, Marchelli R, Gullino ML, Costa L. 2011. Phomopsins: an overview of phytopathological and chemical aspects, toxicity, analysis and occurrence. *World Mycotoxin Journal* 4: 345-359.

Biehl ML, Prelusky DB, Koritz GD, Hartin KE, Buck WB, Trenholm HL. 1993. Biliary Excretion and Enterohepatic Cycling of Zearalenone in Immature Pigs. *Toxicology and Applied Pharmacology* 121(1):152-159.

Braun MS, Wink M. 2018. Exposure, Occurrence, and Chemistry of Fumonisin and their Cryptic Derivatives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17: 769-791. doi:10.1111/1541-4337.12334

Directorate-General Health and Consumer Protection. 2002. Assessment of dietary intake of Patulin by the population of EU Member States. Directorate-General Health and Consumer Protection https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_patulin_3.2.8_en.pdf

EFSA (European Food Safety Authority), Arcella D, Eskola M, Gómez Ruiz JA. 2016. Scientific report on the dietary exposure assessment to *Alternaria* toxins in the European population. *EFSA Journal* 2016; 14(12):4654, 32 pp.

EFSA 2007. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain (CONTAM) related to the potential increase of consumer health risk by a possible increase of the existing maximum levels for aflatoxins in almonds, hazelnuts and pistachios and derived products. *The EFSA Journal* (2007) 446, 1-127

EFSA 2012. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of phomopsins in feed and food. *EFSA Journal* 2012;10(2):2567.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Marko D, Oswald IP, Piersma A, Routledge M, Schlatter J, Baert K, Gergelova P, Wallace H. 2020. Scientific opinion – Risk assessment of aflatoxins in food. *EFSA Journal* 18(3):6040, 112 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6040>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Brüscheiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Nebbia CS, Oswald IP, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, Fürst P, Baert K, Cortiñas Abrahantes J, Dujardin B, Ferrini K, Petersen A. 2018. Statement on the effect on public health of a possible increase of the maximum level for 'aflatoxin total' from 4 to 10 µg/kg in peanuts and processed products thereof, intended for direct human consumption or use as an ingredient in foodstuffs. *EFSA Journal* 2018;16(2):5175, 32 pp.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Brüscheiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Nebbia CS, Oswald IP, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, De Saeger S, Eriksen GS, Farmer P, Frey J-M, Gong YY, Meyer K, Naegeli H, Parent-Massin D, Rietjens I, van Egmond H, Altieri A, Eskola M, Gergelova P, Ramos Bordajandi L, Benkova B, Dörr B, Gkrillas A, Gustavsson N, van Manen M, Edler L. 2017. Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms in food and feed. *EFSA Journal* 2017;15(9):4718, 345 pp.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen H-K, Barregård L, Bignami M, Brüscheiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Nebbia CS, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, Dall'Asta C, Gutleb AC, Humpf H-U, Galli C, Metzler M, Oswald IP, Parent-Massin D, Binaglia M, Steinkellner H, Alexander J. 2018. Scientific opinion on the appropriateness to set a group health-based guidance value for fumonisins and their modified forms. *EFSA Journal* 2018;16(2):5172, 75 pp

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, H-K, Barregård, L, Bignami, M, Brüscheiler, B, Ceccatelli, S, Cottrill, B, Dinovi, M, Edler, L, Grasl-Kraupp, B, Hogstrand, C, Hoogenboom, LR, Nebbia, CS, Oswald, I, Petersen, A, Rose, M, Roudot, A-C, Schwerdtle, T, Vleminckx, C, Vollmer, G, Wallace, H, Dall'Asta, C, Gutleb, A, Metzler, M, Oswald, I, Parent-Massin, D, Binaglia, M, Steinkellner, H and Alexander, J, 2017. Scientific opinion on the appropriateness to set a group health based guidance value for T2 and HT2 toxin and its modified forms. *EFSA Journal* 2017;15(1):4655, 53 pp

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Alexander J, Dall'Asta C, Mally A, Metzler M, Binaglia M, Horváth Z, Steinkellner H, Bignami M. 2020. Scientific Opinion on the risk assessment of ochratoxin A in food. *EFSA Journal* 2020;18(5):6113, 150 pp.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). 2016. Scientific opinion on the appropriateness to set a group health-based guidance value for zearalenone and its modified forms. *EFSA Journal* 2016; 14(4):4425, 46 pp.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2011. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of T-2 and HT-2 toxin in food and feed. *EFSA Journal* 2011; 9(12):2481

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2011. Scientific Opinion on the risks for public health related to the presence of zearalenone in food. *EFSA Journal* 2011; 9(6):2197. (124 pp.)

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2012. Scientific Opinion on the risks for public and animal health related to the presence of citrinin in food and feed. EFSA Journal 2012; 10(3):2605. (82 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2012.2605.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2005. Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain (CONTAM) related to fumonisins as undesirable substances in animal feed. EFSA Journal 2005; 3(7):235, 32 pp

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain; Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain (CONTAM) related to ochratoxin A in food. 2006. The EFSA Journal (2006), 4(6):365, 1–56
EFSA Scientific Committee. 2012. Scientific Opinion on Exploring options for providing advice about possible human health risks based on the concept of Threshold of Toxicological Concern (TTC). EFSA Journal 2012; 10(7):2750 (103 pp.)

EFSA, 2013. Scientific Opinion on the risk for public and animal health related to the presence of sterigmatocystin in food and feed. EFSA Journal 2013;11(6):3254. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2013.3254/epdf>

EFSA.2015. Survey on sterigmatocystin in food. EFSA supporting publication 2015:EN-774 (RIKILT). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/sp.efsa.2015.EN-774/epdf>

Euroopan komissio. Compilation of agreed monitoring recommendations as regards the presence of mycotoxins and plant toxins in food. URL https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_plant_toxins_compilation_agreed_monitoring_en.pdf

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. FAO Food and Nutrition paper 81. Food and Agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/007/y5499e/y5499e00.htm>

Fraeyman S, Croubels S, Devreese M, Antonissen G. 2017. Emerging fusarium and alternaria mycotoxins: Occurrence, toxicity and toxicokinetics. Toxins 9(7): 228.

Hallikainen A, Jestoi M, Kekki T, Koivisto P, Kostamo P, Mäkinen P, Rannikko R, Suomi J, Pohjanvirta R, Hietaniemi V, Rajakangas L, Kankaanpää H, Kurttio P, Turtiainen T, Airaksinen R, Kiviranta H, Komulainen H, Rantakokko P, Viluksela M, Laakso J, Nuotio K, Siivinen K. 2013. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat. Eviron julkaisuja 2/2013.

Hannukkala, A. Lehtipolte (*Alternaria alternata*). URL <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.52910/show>. Luettu 23.10.2020.

Herrman JL, Walker R. 1999. Risk analysis of mycotoxins by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). A Publication of the FAO Food and Nutrition Division 23/1999. <http://www.fao.org/docrep/X2100T/X2100T04.HTM>

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 82. 2002. Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene.

JECFA 1995: Evaluation of certain food additives and contaminants (Forty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 859. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/37246/1/WHO_TRS_859.pdf

JECFA 2016. Evaluation of certain contaminants in food. Eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series 1002.

JECFA World Health Organization & Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (83rd, 2017: Geneva, Switzerland). 2017. Evaluation of certain contaminants in food: eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series; 1002 World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/254893>

Kansallinen asetus MMM 880/2016 Maa- ja metsätalousministeriön asetus eräiden vieraiden aineiden enimmäismääristä elintarvikkeessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160880>

Komission suositus II.8.2003 omenamehun ja muiden juomien omenamehuainesosien patuliinipitoisuuksien ehkäisemisestä ja vähentämisestä (tiedoksiannettu numerolla K(2003) 2866) Marin S, Ramos AJ, Cano-Sancho G, Sanchis V. 2013. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. Review. Food and Chemical Toxicology 60: 218–237

Mukherjee D, Royce SG, Alexander JA, Buckley B, Isukapalli SS, et al. (2014) Physiologically-Based Toxicokinetic Modeling of Zearalenone and Its Metabolites: Application to the Jersey Girl Study. PLOS ONE 9(12): e113632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113632>

Mukherjee ym 2014 DOI: 10.1371/journal.pone.0113632 https://www.researchgate.net/publication/269171495_Physiologically-Based_Toxicokinetic_Modeling_of_Zearalenone_and_Its_Metabolites_Application_to_the_Jersey_Girl_Study

Pal S, Singh N, Ansari KM. 2017. Toxicological effects of patulin mycotoxin on the mammalian system: an overview. Toxicology research, 6(6), 764–771. <https://doi.org/10.1039/c7tx00138j>

Pohjanoksa R. 2016. Homeet ja lahottajasienet kosteusvaurioissa. Insinööriyö, Metropolia-ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112427/Pohjanoksa_Ramona.pdf

Prelusky DB, Hartin KE, Trenholm HL, Miller JD. 1988. Pharmacokinetic fate of 14C-labeled deoxynivalenol in swine. Fundam Appl Toxicol; 10(2):276-286

Rautala T, Hietaniemi V, Rämö S, Koivisto T, Ovaskainen M-L, Sinkko H, Kronberg-Kippilä C, Hirvonen T, Liukkonen K-H, Kartio M, Hallikainen A. *Fusarium*-toksiinit: saanti viljasta ja viljatuotteista aikuisilla Suomessa. Eviran tutkimuksia 5/2008. 40 pp.

Reinhard, H., Rupp, H., Sager, F., M. Sreule & Zoller, O. 2006. Quinolizidine alkaloids and phomopsins in lupin seeds and lupin containing food. Journal of Chromatography A, 1112 (2006) 353–360. doi:10.1016/j.chroma.2005.11.079

Schaarschmidt S, Fauhl-Hassek C. 2018. The fate of mycotoxins during the processing of wheat for human consumption. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 17(3): 556-593.

WHO 2018. Food Safety Digest. Co-exposure of fumonisins with aflatoxins. REF. No.: WHO/NHM/FOS/RAM/18.3. http://www.who.int/foodsafety/FSDigest_Fumonisin_Aflatoxins_EN.pdf

9.4 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet / Other contaminants produced by fungi or plants

Abraham K, Buhrke T, Lampen A. 2016. Bioavailability of cyanide after consumption of a single meal of foods containing high levels of cyanogenic glycosides: a crossover study in humans. *Archives of toxicology*, 90(3), 559-574.

EFSA (European Food Safety Authority), 2016. Dietary exposure assessment to pyrrolizidine alkaloids in the European population. *EFSA Journal* 2016; 14(8):4572, 50 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4572

EFSA (European Food Safety Authority), Arcella D, Gómez Ruiz JÁ, Innocenti ML, Roldán R. 2017. Scientific report on human and animal dietary exposure to ergot alkaloids. *EFSA Journal* 2017;15(7):4902, 53 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4902>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, HK, Alexander, J, Barregård, L, Bignami, M, Brüschweiler, B, Ceccatelli, S, Cottrill, B, Dinovi, M, Edler, L, Grasl-Kraupp, B, Hogstrand, C, Hoogenboom, LR, Nebbia, CS, Oswald, IP, Petersen, A, Rose, M, Roudot, A-C, Schwerdtle, T, Vleminckx, C, Vollmer, G, Wallace, H, Gomez Ruiz, JA and Binaglia, M, 2017. Statement on the risks for human health related to the presence of pyrrolizidine alkaloids in honey, tea, herbal infusions and food supplements. *EFSA Journal* 2017;15(7):4908, 34 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4908>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, HK, Alexander, J, Barregård, L, Bignami, M, Brüschweiler, B, Ceccatelli, S, Cottrill, B, Dinovi, M, Edler, L, Grasl-Kraupp, B, Hogstrand, C, Hoogenboom, LR, Nebbia, CS, Oswald, IP, Petersen, A, Rose, M, Roudot, A-C, Schwerdtle, T, Vollmer, G, Wallace, H, Benford, D, Calò, G, Dahan, A, Dusemund, B, Mulder, P, Németh-Zámoriné, É, Arcella, D, Baert, K, Cascio, C, Levorato, S, Schutte, M and Vleminckx, C. 2018. Update of the Scientific Opinion on opium alkaloids in poppy seeds. *EFSA Journal* 2018;16(5):5243, 119 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5243>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2016. Scientific opinion on the acute health risks related to the presence of cyanogenic glycosides in raw apricot kernels and products derived from raw apricot kernels. *EFSA Journal* 2016; 14(4): 4424, 47 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4424

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2015. Scientific Opinion on the risks for human health related to the presence of tetrahydrocannabinol (THC) in milk and other food of animal origin. *EFSA Journal* 2015; 13(6):4141, 125 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.4141

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2013. Scientific Opinion on Tropane alkaloids in food and feed. *EFSA Journal* 2013; 11 (10):3386, 113 pp. doi:10.2903/j.efsa.2013.3386

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). 2017. Knutsen, HK, Alexander, J, Barregård, L, Bignami, M, Brüschweiler, B, Ceccatelli, S, Cottrill, B, Dinovi, M, Edler, L, Grasl-Kraupp, B, Hogstrand, C, Hoogenboom, LR, Nebbia, CS, Oswald, IP, Petersen, A, Rose, M, Roudot, A-C, Schwerdtle, T, Vleminckx, C, Vollmer, G, Wallace, H, Gomez Ruiz, JA and Binaglia, M, 2017. Statement on the risks for human health related to the presence of pyrrolizidine alkaloids in honey, tea, herbal infusions and food supplements. *EFSA Journal* 2017;15(7):4908, 34 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4908>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). 2015. Scientific Opinion on the risks for human health related to the presence of tetrahydrocannabinol (THC) in milk and other food of animal origin. *EFSA Journal* 2015; 13(6):4141, 125 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.4141

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Knutsen, HK, Alexander, J, Barregård, L, Bignami, M, Brüschweiler, B, Ceccatelli, S, Dinovi, M, Edler, L, Grasl-Kraupp, B, Hogstrand, C, Hoogenboom, L (Ron), Nebbia, CS, Oswald, I, Petersen, A, Rose, M, Roudot, A-C, Schwerdtle, T, Vollmer, G, Wallace, H, Cottrill, B, Dogliotti, E, Laakso, J, Metzler, M, Velasco, L, Baert, K, Ruiz, JAG, Varga, E, Dörr, B, Sousa, R and Vleminckx, C. 2016. Scientific Opinion on erucic acid in feed and food. *EFSA Journal* 2016; 14(11):4593, 173 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4593

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2011. Scientific Opinion on the risks for public health related to the presence of opium alkaloids in poppy seeds. *EFSA Journal* 2011; 9(11):2405. (150 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2011.2405.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2011. Scientific Opinion on Pyrrolizidine alkaloids in food and feed. *EFSA Journal* 2011; 9(11):2406. (134 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2011.2406.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Ergot alkaloids in food and feed. *EFSA Journal* 2012; 10(7):2798. (158 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2012.2798.

EFSA, Arcella D, Altieri A, Horváth Z. 2018. Human acute exposure assessment to tropane alkaloids. *EFSA Journal*, 16: e05160. doi:10.2903/j.efsa.2018.5160

EFSA, Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2008. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. *The EFSA Journal* 689: 1-79.

EFSA, Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) 2010. Statement on possible health risks for infants and young children from the presence of nitrates in leafy vegetables. *EFSA Journal* 8(12):1935-1977.

Grotenhermen, F. Pharmacokinetics and Pharmacodynamics of Cannabinoids. *Clin Pharmacokinet* 42, 327–360 (2003). <https://doi.org/10.2165/00003088-200342040-00003>

Hallikainen A, Jestoi M, Kekki T, Koivisto P, Kostamo P, Mäkinen P, Rannikko R, Suomi J, Pohjanvirta R, Hietaniemi V, Rajakangas L, Kankaanpää H, Kurttio P, Turtiainen T, Airaksinen R, Kiviranta H, Komulainen H, Rantakokko P, Viluksela M, Laakso J, Nuotio K, Siivinen K. 2013. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat. *Eviran julkaisuja* 2/2013.

Hannukkala A. Torajyväsiemi (*Claviceps purpurea*). <http://www.vieraslajit.fi/lajit/MX.52915/show> Luettu 27.10.2020.

Komission suositus (EU) 2016/2115

Koulu, Markku & Tuomisto, Jouko: Farmakologia ja toksikologia. Medicina Oy, 2007. Kolinergisiä muskariinireseptoreita salpaavat aineet

Mulder PPJ, López Sánchez P, These A, Preiss-Weigert A and Castellari M. 2015. Occurrence of Pyrrolizidine Alkaloids in food. EFSA Supporting Publication 2015; 12(8):EN-859, 114 pp. doi:10.2903/sp.efsa.2015.EN-859

Niemi, E ja Hallikainen A, Hydrocyanic acid and cadmium contents in seeds used as foodstuffs. National Food Administration / Research Notes 3/1996. 6 s + liitteet

NZFSA (New Zealand Food Safety Authority). 2017. Cyanogenic Glycosides - Information Sheet. Saatavilla: <https://www.mpi.govt.nz/food-safety/food-safety-and-suitability-research/food-risk-assessment/hazard-data-sheets/data-sheets/>

Suomi J, Ranta J, Tuominen P, Hallikainen A, Putkonen T, Bäckman C, Ovaskainen M-L, Virtanen S, Savela K. 2013. Kvantitatiivinen riskinarviointi lasten ja aikuisten altistumisesta nitraatille ja nitriitille. Eviran tutkimuksia 2/2013. 104 pp

9.5 Ympäristömyrkyt / Environmental contaminants

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 J. Muutokset kotimaisen luonnonkalan ympäristömyrkkypitoisuuksissa (EU-kalat III). Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 51/2018. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161079>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Bruschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Nebbia CS, Oswald IP, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, Fürst P, Håkansson H, Halldorsson T, Lundebye A-K, Pohjanvirta R, Rylander L, Smith A, van Loveren H, Waalkens-Berendsen I, Zeilmaker M, Binaglia M, Gómez Ruiz JÁ, Horváth Z, Christoph E, Ciccolallo L, Ramos Bordajandi L, Steinkellner H, Hoogenboom LR. 2018. Scientific Opinion on the risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal 2018;16(11):5333, 331 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5333>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Bruschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Nebbia CS, Oswald IP, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, Bodin L, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, van Loveren H, Gergelova P, Mackay K, Levorato S, van Manen M, Schwerdtle T. 2018. Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. EFSA Journal 2018; 16(12):5194, 284 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5194>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregård L, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot A-C, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F, Schwerdtle T. 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. Public consultation draft.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2011. Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. EFSA Journal 2011; 9(5):2156. (274 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2011.2156.

EFSA. 2014. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of perchlorate in food, in particular fruits and vegetables. *EFSA Journal* 2014;12(10):3869. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2014.3869/pdf>

EFSA. 2017. Dietary exposure assessment to perchlorate in the European population. *EFSA Journal* 15(10):5043. doi: 10.2903/j.efsa.2017.5043.

Junttila V, Vähä E, Perkola N, Räike A, Siimes K, Mehtonen J, Kankaanpää H, Mannio J. 2019. PFASs in Finnish Rivers and Fish and the Loading of PFASs to the Baltic Sea. *Water* 11(4):870. <https://doi.org/10.3390/w11040870>

Komission suositus 3.3.2014 bromattujen palonestoaineiden jäämien seurannasta elintarvikkeissa (2014/118/EU) <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:065:0039:0040:EN:PDF>

Rantakokko P, Tuomisto JT, Viluksela M, Tuomisto J, Airaksinen R, Raitakari O, Karvonen AM, Pekkanen J, Kiviranta H. 2020. Estimated PCDD/F TEQ and total TEQ concentrations in the serum of 7–10 year old Finnish children. *Chemosphere* 257:127-137.

Siimes K, Vähä E, Junttila V, Lehtonen K, Mannio J (toim.) 2019. Haitalliset aineet Suomen vesissä: tilanne ja seurannan suuntaviivat. SYKE:n raportteja 8/2019. <http://hdl.handle.net/10138/301460>

van Leeuwen XRF, Feeley M, Schrenk D, Larsen JC, Farland W, Younes M. 2000. Dioxins: WHO's tolerable daily intake (TDI) revisited. *Chemosphere* 40:1095–1101. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00358-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00358-6)

9.6 Prosessissa syntyvät vierasaineet / Process contaminants

Altaki MS, Santos FJ and Galceran MT, 2011. Occurrence of furan in coffee from Spanish market: contribution of brewing and roasting. *Food Chemistry*, 126: 1527–1532. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.134>

Altaki MS, Santos FJ, Puignou L and Galceran MT, 2017. Furan in commercial baby foods from the Spanish market: estimation of daily intake and risk assessment. *Food Additives and Contaminants. Part A*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1278080>.

Appel K.E., Abraham K., Berger-Preiss E. 2013. Relative oral bioavailability of glycidol from glycidyl fatty acid esters in rats. *Archives of Toxicology* 87: 1649–1659. <https://doi.org/10.1007/s00204-013-1061-1>

Becalski A and Seaman S, 2005. Furan precursors in food: a model study and development of a simple headspace method for determination of furan. *Journal of AOAC International*, 88, 102–106.

Berger F, Feld J, Bertow D, Eisenbrand G, Fricker G, Gerhardt N, Merz K-H, Richling E, Baum M. 2011. Biological effects of acrylamide after daily ingestion of various foods in comparison to water: A study in rats. *Molecular nutrition and Food Research* 55(3): 387-399. doi: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201000234>

BfR opinion 2020. Fillable articles made from melamine formaldehyde resin, such as coffee-to-go cups sold as 'bambooware', may leak harmful substances into hot foods. BfR Opinion No 046/2019 DOI 10.17590/20200123-134155 saatavilla: <https://www.bfr.bund.de/cm/349/fillable-articles-made-from-melamine-formaldehyde-resin.pdf>

Craft B.D, Nagy K, Seefelder W, Dubois M, Destailats F. 2012. Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part II: Practical recommendations for effective mitigation. Food Chemistry 132(1):73-79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.034>

Destailats F, Craft B, Dubois M, Nagy K. Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. 2012 Food Chemistry 131 (4): 1391-1398. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.006>

DTU (Technical University of Denmark), 2009. Furan in heat processed food products including home cooked food products and ready-to-eat products. Scientific report submitted to EFSA. EFSA Supporting Publication 2009; 7(9): EN-1, 49 pp. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2009.en-1>.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, HK, Alexander, J, Barregård, L, Bignami, M, Brüschweiler, B, Ceccatelli, S, Cottrill, B, Dinovi, M, Edler, L, Grasl-Kraupp, B, Hogstrand, C, Hoogenboom, LR, Nebbia, CS, Oswald, IP, Petersen, A, Rose, M, Roudot, A-C, Schwerdtle, T, Vleminckx, C, Vollmer, G, Chipman, K, De Meulenaer, B, Dinovi, M, Mennes, W, Schlatter, J, Schrenk, D, Baert, K, Dujardin, B and Wallace, H, 2017. Scientific opinion on the risks for public health related to the presence of furan and methylfurans in food. EFSA Journal 2017;15(10):5005, 142 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.5005>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2016. Scientific opinion on the risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. EFSA Journal 2016;14(5):4426, 159 pp. doi:10.2903/j.efsa.2016.4426

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). 2015. Scientific Opinion on acrylamide in food. EFSA Journal 2015; 13(6):4104, 321 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.4104

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) and EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF); Scientific Opinion on Melamine in Food and Feed. EFSA Journal 2010; 8(4):1573. (145 pp.). doi:10.2903/j.efsa.2010.1573.

EFSA, 2012. Scientific Opinion on Mineral Oil Hydrocarbons in Food. EFSA Journal 2012;10(6):2704. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2704>

EFSA. 2007. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission on ethyl carbamate and hydrocyanic acid in food and beverages, The EFSA Journal 551:1-44.

EFSA. 2008. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. The EFSA Journal (2008) 724, 1-114.

European Food Safety Authority (EFSA). Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. 2016. Saatavilla: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2016.4426>

Eisenbrand, G. Revisiting the evidence for genotoxicity of acrylamide (AA), key to risk assessment of dietary AA exposure. Arch Toxicol 94, 2939-2950 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02794-3>

- FEI: Untersuchungen zur Bildung von 3-Monochlorpropan-1,2-diol-Fettsäureestern (3-MCPDFE) in Pflanzenölen und Entwicklung von Strategien zu deren Minimierung. Forschungskreis der Ernährungsindustrie, Bonn. (2009) Viitattu kautta: Craft B.D, Nagy K, Seefelder W, Dubois M, Destailats F. 2012. Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part II: Practical recommendations for effective mitigation. Food Chemistry 132(1):73-79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.034>
- Ghanayem B. 2007. Inhibition of Urethane-Induced Carcinogenicity in *Cyp2e1*^{-/-} in Comparison to *Cyp2e1*^{+/+} Mice. Toxicological Sciences 95 (2): 331–339. doi.org/10.1093/toxsci/kfl158
- Gowd V, Su H, Karlovsky P, Chen W. 2018. Ethyl carbamate: An emerging food and environmental toxicant. Food Chemistry 248: 312-321. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.072
- Hashigushi T, Horii S, Izu H, Sudo S. The Concentration of Ethyl Carbamate in Commercial Ume (*Prunus mume*) Liqueur Products and a Method of Reducing It. 2010. Bioscience Biotechnology Biochemistry 74 (10): 2060-2066. doi.org/10.1271/bbb.100364
- Hirvonen T, Hokkanen M, Mikkilä A, Pasonen P, Uusitalo L, Erkkola M, Korkalo L, Tuominen P. 2020. Riskinarviointi Suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH). Ruokaviraston tutkimuksia 2/2020. 29 pp.
- Houessou, J.K., Maloug, S., Leveque, A.-S., Delteil, C., Heyd, B. and Camel, V. 2007. Effect of Roasting Conditions on the Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content in Ground Arabica Coffee and Coffee Brew. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 9719-9726. [doi: 10.1021/jf071745s](https://doi.org/10.1021/jf071745s).
- Ichikawa T, Yano Y, Uchida M, Otani S, Hagiwara K, Yano T. The activation of K-ras gene at an early stage of lung tumorigenesis in mice. 1996. Cancer Letters, 22: 165-170. [doi.org/10.1016/0304-3835\(96\)04351-0](https://doi.org/10.1016/0304-3835(96)04351-0)
- International Agency for Research on Cancer (IARC). Dry Cleaning, Some Chlorinated Solvents and Other Industrial Chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 63. Viitattu 17.6.2020. Saatavilla: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Dry-Cleaning-Some-Chlorinated-Solvents-And-Other-Industrial-Chemicals-1995>
- International Agency for Research on Cancer. 2010. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 92. Saatavilla: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Non-heterocyclic-Polycyclic-Aromatic-Hydrocarbons-And-Some-Related-Exposures-2010>
- International Agency of Research on Cancer (IARC). 1994. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human. Volume 60: Some industrial chemicals. Viitattu 12.6.2020. Saatavilla: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Industrial-Chemicals-1994>

International Agency of Research on Cancer (IARC). 2007. Alcohol Consumption and Ethyl Carbamate. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 96. Viitattu 9.6.2020. Saatavilla: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Alcohol-Consumption-And-Ethyl-Carbamate-2010>

International Agency of Research on Cancer (IARC). 2010. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. VOLUME 96: Alcohol Consumption and Ethyl Carbamate. Viitattu 12.6.2020. Saatavilla: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Alcohol-Consumption-And-Ethyl-Carbamate-2010>

Katarzyna P, Tarko T, Duda-Chodak A. 2020. Is Acrylamide as Harmful as We Think? A New Look at the Impact of Acrylamide on the Viability of Beneficial Intestinal Bacteria of the Genus *Lactobacillus*. *Nutrients* 12(4): 1157. doi: <https://doi.org/10.3390/nu12041157>

Khorshidian N, Yousefi M, Shadnoush M, DavarSiadat S, Mohammadi M, Mortazavian A. 2020. Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: a mini review. *Current opinion in Food Science* 32: 67-75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.011>

Komission asetus (EY) N:o 1881/2006 tiettyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärien vahvistamisesta. Konsolidoitu versio 1.4.2020.

Komission suositus 2.3.2010 etyylikarbamaattikontaminaation ehkäisemisestä ja vähentämisestä kivellisistä hedelmistä tai niiden puristusjäännöksestä tislatuissa väkevissä alkoholijuomissa sekä etyylikarbamaattipitoisuuksien seuraamisesta tällaisissa juomissa OJ L 52, 3.3.2010, p. 53–57.

Lantz I, Ternité R, Wilkens J, Hoenicke K, Guenther H, van der Stegen GH. Studies on acrylamide levels in roasting, storage and brewing of coffee. *Mol Nutr Food Res*. 2006 Nov;50(11):1039-46. doi: 10.1002/mnfr.200600069.

Larsson, B.K., Sahlberg, G.P., Eriksson, A.T. and Busk, L.A. 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31(4): 867-873. doi: <https://doi.org/10.1021/jf00118a049>

Lijinsky W. Ross A.E. 1967. Production of carcinogenic polynuclear hydrocarbons in the cooking of food. *Production d'hydrocarbures polynucléaires cancérigènes dans la cuisson des aliments* Entstehung carcinogener polynuklearer Kohlenwasserstoffe beim Garen von Nahrungsmitteln. *Food and Cosmetics Toxicology* 5: 343-347. doi: [https://doi.org/10.1016/S0015-6264\(67\)83061-X](https://doi.org/10.1016/S0015-6264(67)83061-X).

Limacher A, Kerler J, Conde-Petit B and Blank I, 2007. Formation of furan and methylfuran from ascorbic acid in model systems and food. *Food Additives and Contaminants*, 24: 122–135. <https://doi.org/10.1080/02652030701393112>.

Limacher, Anita & Kerler, Josef & Davidek, Tomas & Schmalzried, Frank & Blank, Imre. 2008. Formation of Furan and Methylfuran by Maillard-Type Reactions in Model Systems and Food. *Journal of agricultural and food chemistry*. 56. 3639-47. 10.1021/jf800268t.

Liu R, Kumar M, Kothapalli S.D, Wang Z, Mendralla E, GyuPark H, Block R, Wang X, Brenna T. 2019. Glycerol derived process contaminants in refined coconut oil induce cholesterol synthesis in HepG2 cells. *Food and Chemical Toxicology* 127: 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.005>

Mesias M and Morales FJ, 2014. Reliable estimation of dietary exposure to furan from coffee: an automatic vending machine as a case study. *Food Research International*, 61: 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.054>

Powers SJ, Mottram DS, Curtis A, Halford NG. 2017. Acrylamide levels in potato crisps in Europe from 2002 to 2016, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34:12, 2085-2100, DOI: 10.1080/19440049.2017.1379101

Saunders, C.R., Ramesh, A. and Shockley, D.C. 2002. Modulation of neurotoxic behavior in F-344 rats by temporal disposition of benzo(a)pyrene. *Toxicology Letters*. 129(1-2): 33-45. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(01\)00467-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(01)00467-2)

Simko, P. 2005. Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat foods and liquid smoke flavorings. *Molecular Nutrition & Food Research* 49(7): 637-647. doi: 10.1002/mnfr.200400091

9.7 Muut haitalliset aineet / Other harmful compounds

EFSA CEF Panel (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids), 2015. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA Journal* 2015;13(1):3978. doi:10.2903/j.efsa.2015.3978

EFSA CEP Panel (EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids), Silano V, Barat Baviera JM, Bolognesi C, Chesson A, Cocconcelli PS, Crebelli R, Gott DM, Grob K, Lampi E, Mortensen A, Rivière G, Steffensen I-L, Tlustos C, Van Loveren H, Vernis L, Zorn H, Cravedi J-P, Fortes C, Tavares Poças MF, Waalkens-Berendsen I, Wölfle D, Arcella D, Cascio C, Castoldi AF, Volk K and Castle L, 2019. Scientific Opinion on the update of the risk assessment of di-butylphthalate (DBP), butyl-benzyl-phthalate (BBP), bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), di-isononylphthalate (DINP) and di-isodecylphthalate (DIDP) for use in food contact materials. *EFSA Journal* 2019;17(12):5838, 85 pp. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2019.5838>

EFSA Panel on food contact materials, enzymes, flavourings and processing aids (CEF). Scientific Opinion on Bisphenol A: evaluation of a study investigating its neurodevelopmental toxicity, review of recent scientific literature on its toxicity and advice on the Danish risk assessment of Bisphenol A. *EFSA Journal* 2010;8(9):1829. (110 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2010.1829

Komission suositus (EU) 2019/794, 15.5.2019, koordinoitavista valvontasuunnitelmasta elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista siirtyvien tiettyjen aineiden esiintyvyyden määrittämiseksi (tiedoksiannettu numerolla C(2019) 3519) OJ L 129, 17.5.2019, p. 37–42

The National Food Institute, Technical University of Denmark (DTU). Evaluation of EFSA's new Scientific Opinion on Bisphenol A. 20.2.2015.

Liitteet

Liite 1. Tarkempi katsaus tutkittujen aineiden toksikologisiin vaikutuksiin sekä viipymään elimistössä

Vierasaineet on jaoteltu samoin kuin raportin luvussa 3. Viitteiden bibliografiset tiedot on koottu raportin viitteiden joukkoon.

L1.1 Metallit ja puolimetallit

Tinaa lukuun ottamatta tämän osion vierasaineita on käsitelty kansallisissa riskinarvioinneissa (Suomi ym. 2015; Suomi ym. 2020), joihin sisältyi tähän tiivistettyä laajempi kirjallisuuskatsaus aineiden toksikologiaan.

Alumiini, Al

Alumiini imeytyy heikosti ruoansulatuselimistöä, mutta imeytyttyään se viipyy elimistössä pitkään, kertyy erityisesti luuhun ja kulkeutuu plasmassa transferrini-proteiinin mukana. Terveillä ihmisillä elimistön kokonaisalumiinitaakka on luokkaa 30–50 mg, ja tästä noin puolet on luustoon sitoutuneena ja noin neljännes keuhkoissa (Kawahara ym. 2007). Alumiini kykenee läpäisemään veriaivoesteen ja istukan ja pääsee siis vaikuttamaan aivoihin ja sikiöön (EFSA 2008). Imeytynyt alumiini poistuu virtsan mukana, ja munuaisvauriopotilaat ovat muuta väestöä herkempiä haittavaikutuksille heikentyneen eliminaation / suuremman elimistökertymän vuoksi (ATSDR 2008).

Alumiini saattaa toimia kokarsinogeeninä eli lisätä syöpää aiheuttavan toisen aineen haitallisuutta, mutta se ei ole genotoksinen eikä mutageeninen, ja ravinnosta saatavina määrinä se ei ole karsinogeeninen kuluttajalle.

Alumiinin tärkeimmät haittavaikutukset liittyvät hermoston, erityisesti kehittyvän keskushermoston, vaurioitumiseen. Hiirikokeissa kehittyvän hermoston vaurion NOAEL-arvoksi on määritetty 10 mg/kg rp/vrk ja aikuisen eläimen hermostovaurion NOAEL-arvoksi 30 mg/kg rp/vrk. Ihmisillä neurotoksisia vaikutuksia on havaittu lähinnä dialyysipotilailla, jotka dialyysin yhteydessä altistuvat jatkuvasti alumiinille. EFSA:n asiantuntijapaneeli ei pidä elintarvikeperäistä altistusta riskinä Alzheimerin taudin kehittymiselle (EFSA 2008).

Eläinkokeissa on lisäksi havaittu teratogeenisyyttä (jyrsijä, NOAEL 100 mg/kg rp/vrk), kivesvaurioita (koira, NOAEL 27 mg/kg rp/vrk) sekä mm. fyysisen aikuistumisen merkittävää hidastumista (jyrsijä, LOAEL 53 mg/kg rp/vrk (Colomina ym. 2005)), mikä viittaa mahdollisiin hormonitoiminnan muutoksiin. Koska näitä vaikutuksia on havaittu vasta hermoston kehittymistä haittaavia annoksia suuremmilla määrillä, niitä ei tässä tutkimuksessa pidetty oleellisina.

Ihmiselle on määritetty keskushermostovaurioihin liittyvien tutkimusten pohjalta alumiinin siedettävän viikkosaannin enimmäismääräksi (TWI) 1 mg/kg rp/viikko ($\approx 140 \mu\text{g/kg rp/vrk}$) (EFSA 2008). ATSDR on määrittänyt alumiinille vähäisen riskin tasoksi (MRL, minimal risk level) seitsenkertaisen annoksen tähän nähden, eli 1 mg/kg rp/vrk (ATSDR 2008).

Altistus, johon liittyvä riski katsotaan mitättömäksi, on enintään TWI:n suuruinen.

Priorisoinnissa alumiini luokiteltiin ryhmään B. Vaikka alumiini on neurotoksinen sekä sikiölle että aikuiselle, kirjallisuuden perusteella vaikutukselle on kynnysarvo (NOAEL). Aine ei ole EFSA:n asiantuntijapaneelin arvion mukaan ravinnosta saatavina määrinä myöskään merkityksellinen (ko-) karsinogeeni.

Arseeni (epäorgaaninen arseeni), As

Epäorgaaninen arseeni kertyy elimistössä pääosin munuaisiin ja virtsarakkoon, orgaaniset arseniyhdisteet myös mm. keuhkoihin ja vereen. Suurin osa arseenista, joka ei ole sitoutunut ihon, kynsien tai hiusten keratiiniin, poistuu elimistössä muutamassa vuorokaudessa (JECFA 2011).

Epäorgaaninen arseeni on genotoksinen karsinogeeni (IARC ryhmä 1). Sen mutageenisuus on heikkoa tai merkityksetöntä, mutta se vaikuttaa DNA:n vaurioasteeseen ja lisää siten toisten DNA:ta vaurioittavien agenttien genotoksisuutta ja mutageenisuutta. Arseenialtistus ennen kaikkea juomavedestä on liitetty useiden eri syöpien, mm. keuhko-, virtsarakko- ja ihosyöpien, esiintymisriskin kasvuun. Lisäksi se voi aiheuttaa ihon haavaumia. EFSA ja JECFA ovat määrittäneet epäorgaaniselle arseenille BMDL₀₁-arvon eri syöpätyyppien esiintymisriskin perusteella. EFSA:n määrittämä arvo on ilmoitettu välinä 0,3–8,0 µg/kg rp/vrk (EFSA 2009), kun taas JECFA määrittä arvoksi 3,0 µg/kg rp/vrk (JECFA 2011).

Arseenilla on myös teratogeenisiä ominaisuuksia: se pystyy kulkeutumaan istukan läpi ja pahimmillaan tuhoaa istukan kudosta keskenmenoon johtavalla tavalla (Flora ym. 2011). Lisäksi se voi vaurioittaa munuaisia ja maksaa, ja neuropatian NOAEL-arvo on yhtä suuri kuin JECFA:n BMDL. Juomaveden korkea (yli 0,1 mg/l) arseenipitoisuus on liitetty sydäniskemian ja ateroskleroosin riskiin sekä verenpaineen nousuun (ATSDR). Vaikuttavat annokset ovat kuitenkin korkeampia kuin syöpäriskin kasvuun liittyvät.

Tässä työssä mitättömän riskin annos määritettiin samoilla kertoimilla kuin Ruotsin Livsmedelsverket riisituotteiden arseenin turvallisuutta arvioidessaan (Sand ym. 2015). Vertailuarvona oli JECFA:n benchmark dose ja turvakertoimenä, joka oli jaettu kahteen osaan, yhteensä 1 000.

Priorisoinnissa epäorgaaninen arseeni luokiteltiin ryhmään A genotoksisen karsinogeenisuutensa ja kynnysarvon puuttumisen vuoksi.

Elohopea, Hg

Epäorgaaninen elohopea ja metyylielohopea imeytyvät eri tehokkuudella (orgaaninen elohopea tehokkaammin), kulkeutuvat elimistössä eri tavoin ja vaikuttavat osittain eri elimiin. Elohopeaionit ovat suurimmaksi osaksi plasmassa, metyylielohopea punasoluissa ja kulkeutuu myös istukan läpi sikiöön ja veriaivoesteen läpi aivoihin (EFSA 2012). Elimistön metyylielohopeasta noin 5–7 % on veressä ja noin 10 % aivoissa, ja hiusten metyylielohopeapitoisuus on noin 250-kertainen veren pitoisuuteen verrattuna (Virtanen ym 2007). Metyylielohopean puoliintumisaika elimistössä on noin 70–80 vrk, epäorgaanisen elohopean enintään 60 vrk (ATSDR 1999).

Epäorgaaninen elohopea vaurioittaa munuaisia. Eläimen munuaisten painonmuutoksen BMDL₁₀-arvosta (rotta, 60 µg/kg rp/vrk) EFSA määrittä ihmiselle epäorgaanisen elohopean TWI-arvoksi 4 µg/kg rp/viikko (EFSA 2012). Orgaanisen, etenkin metyylielohopean, tärkein haittavaikutus kohdistuu keskushermostoon. Kehitysaikaisen elohopea-Altistuksen vaikutusta älykkyyteen on selvitetty lapsikohorteilla äidin hiusten pitoisuuksista, ja näiden tutkimusten pohjalta EFSA määrittä metyylielohopean TWI-arvoksi 1,3 µg/kg rp/viikko.

Elohopea-altistus (molemmat muodot) on liitetty myös verenpaineen säätelyn häiriöihin kuten sydämen lyöntitiheyden muutoksiin, sydäninfarktin riskin kasvuun miehillä, lasten sydämen rytmihäiriöihin (Ni ym. 2011) sekä ennenaikaisen synnytyksen, keskenmenojen ja hedelmöityskyvyn heikkenemisen riskin kasvuun, mutta suuremmilla annoksilla kuin yllä esitetyt (ATSDR 1999; ATSDR 2013). Elohopea on liitetty myös immuunijärjestelmän kehityksen häiriöihin, ja sillä, kuten useimmilla raskasmetalleilla, epäillään olevan metalloestrogeeni-tyyppisiä vaikutuksia.

Priorisoinnissa elohopea luokiteltiin ryhmään B, koska aineen genotoksisuus on epäsuoraa (oksidatiiviseen stressiin perustuvaa) ja epäorgaanisen elohopean munuaistoksisille vaikutuksille on kynnysarvo. Metyylielohopean sikiön hermostoa vaurioittavat vaikutukset perustuvat oksidatiiviseen stressiin, ja tälläkin vaikutuksella on oletettavasti mekanistisista syistä kynnysarvo.

Kadmium, Cd

Ruoansulatuskanavasta imeytyy normaalisti vain viitisen prosenttia ravinnon kadmiumista, mutta ruokavalion ravitsemukselliset puutteet kuten raudanpuutos voivat lisätä imeytymistä huomattavasti. Eläimessä ja ihmisessä kadmium kertyy etenkin erityselimiin, joissa korkeimmat pitoisuudet ovat munuaisissa, sekä luustoon. Sen poistuminen elimistöstä on hyvin hidasta ja voi kestää jopa kymmeniä vuosia.

Kadmium vaurioittaa munuaistiehyitä ja johtaa proteiinien tai entsyymien erittymiseen virtsaan. Munuaisvaurion kehittymisen rajana on pidetty virtsan kadmiumpitoisuutta 1 µg/g kreatiniinia, ja EFSA on käyttänyt tätä arvoa määrittäessään (kohorttitutkimuksen BMDL₀₅:n pohjalta) kadmiumin TWI-arvoksi 2,5 µg/kg rp/viikko (EFSA 2009). Diabeetikoilla albumiinia voi kuitenkin alkaa erittyä virtsaan jo virtsan kadmiumpitoisuuden ylittäessä 0,74 µg/g kreatiniinia (Satarug ym. 2010). Luustoon kertyvä kadmium aiheuttaa luuston haurastumista, ja murtumatapausten kasvu on mm. ruotsalaisessa kohorttitutkimuksessa määritetty raja-arvoksi 0,5 µg/g kreatiniinia (Engström ym. 2011). Tässä tutkimuksessa vertailuja on tehty TWI-arvon pohjana oleviin tietoihin, mutta kansallisessa riskinarvioinnissa (Suomi ym. 2020) arvioitiin, että 45–74-vuotiaista suomalaisnaisista noin viidesosalla osteoporoottisen murtuman riski on kohonnut kadmiumaltistuksen vuoksi, ja 6 %:lla se on vähintään kolminkertainen verrattuna niihin ikätovereihin, joiden kadmiumaltistus on enintään 0,5 µg/g kreatiniinia.

Kadmium on genotoksinen, ja vaikka se on itsessään vain heikosti mutageeninen, se estää DNA:n korjausmekanismeja ja on siksi komutageeni. Sillä on raportoitu myös vaikutusta geenien transkriptioon. Kadmiumin karsinogeenisyydestä (IARC ryhmä 1) on kuitenkin todisteita vain työperäisen, hengityselinten kautta tapahtuvan altistuksen myötä, ja elintarvikeperäistä altistusta ei ole voitu osoittaa syöpävaaralliseksi.

Kadmiumin on eläinkokeissa havaittu vaikuttavan aivojen mikrorakenteeseen sekä aiheuttavan istukan kuoliota, mikä johtaa tiineyden keskeytymiseen. Ihmisillä korkea kadmiumaltistus on liitetty vauvan syntymäpainon alenemiseen ja epävarmemmin naisilla raskaaksi tulemisen viivästymiseen. Kadmium lasketaan metalloestrogeeniksi, eli sillä on hormonitoimintaan vaikuttavia ominaisuuksia, vaikka tarkkoja mekanismeja ei olekaan vielä selvillä. Tiedetään kuitenkin, että kadmium sitoutuu suoraan sekä estrogeeni- että androgeenireseptoreihin (in vitro ja eläinkokeissa; Takiguchi & Yoshihara 2006) ja eläimillä on havaittu sen aiheuttavan testosteronipitoisuuksien laskua ja naaraspoikasten puberteetin aikaistumista. Lisäksi kadmiumaltistus on liitetty eläinkokeissa neuropatiaan, kivesvaurioihin ja sydän- ja verisuonivaikutuksiin.

Priorisoinnissa kadmium luokiteltiin ryhmään B, koska genotoksiset vaikutukset liittyvät oksidatiiviseen stressiin ja niillä voidaan olettaa olevan kynnysarvo. Myös kategoria A-edc voisi olla perusteltu, sillä kadmium häiritsee jossakin määrin hormonitoimintaa, mutta tälle vaikutukselle ei kirjallisuudesta löydetty vielä selkeitä annosvastetietoja, ja EFSA:n oleellisimmaksi katsoma haittavaikutus on munuaisvaurion kehittyminen (EFSA 2009).

Lyijy, Pb

EFSA (EFSA 2010) on määrittänyt lyijylle BMDL-arvot kolmelle oleelliselle haittavaikutukselle. BMDL on alempi luottamusraja annokselle, jolla terveyshaitan esiintyvyys lisääntyy alaindeksinä merkityn prosenttimäärän altistumattoman väestön perustasosta. Älykkyydosamäärän alenemisena ilmenevälle, sikiöaikaiseen altistukseen liittyvälle keskushermostovauriolle BMDL₀₁-arvo on 0,50 µg/kg rp/vrk eli 12 µg lyijyä litrassa verta. Munuaistoksisuutta indikoivalle munuaiskerästen suodatusnopeuden alenemalle BMDL₁₀-arvoksi määritettiin 0,63 µg/kg rp/vrk. Sydän- ja verenkiertoelimistöön kohdistuvan haittavaikutuksen osalta EFSA määrittä systolisen verenpaineen kohoamiselle BMDL₀₁-arvoksi 1,5 µg/kg rp/vrk. Tässä raportissa lyijyaltistusta verrattiin keskushermostovaurioon liittyvään arvoon, ja riittävänä altistusmarginaalina pidettiin 10.

Lisäksi lyijyn on todettu estävän hemisynteesiä ja aiheuttavan siten anemiaa (annoksella 200 µg litrassa verta eli noin 8,3 µg/kg rp/vrk), liittyvän ennenaikaiseen synnytykseen ja lapsen matalaan syntymäpainoon (150 µg litrassa napanuoraverta, EHC 1995), sukupuolihormonien määrien muutoksiin (300–400 µg litrassa verta) sekä siittiöiden määrän vähenemiseen (400 µg litrassa verta, ATSDR). Viimeksi mainitut vaikutukset liittyvät ilmeisesti lyijyn metalloestrogeniseen vaikutukseen. IARC on luokitellut lyijyn luokan 2A karsinogeeniksi, mutta havainnot perustuvat suurempiin annoksiin kuin elintarvikkeiden kautta voi saada. EFSA ei katso elintarvikeperäisen lyijyaltistuksen voivan johtaa syövän kehittymiseen. Lyijyllä on samantapaisia komutageenisia eli toisten mutageenien vaikutusta lisääviä ominaisuuksia kuin useilla muillakin raskasmetalleilla, ja myös mekanismi lienee sama eli oksidatiivinen stressi solutasolla.

Suomessa arvioitiin tämänhetkisen lyijyaltistuksen aiheuttavan vuosittain 570 haittapainotetun elinvuoden (DALY) suuruisen tautitaakan (Suomi ym. 2019), mikä selittyy kokonaan keskushermostovaurioilla.

Imetytynyt lyijy viipyy veressä ja pehmytkudoksissa noin kuukauden (IARC 2006), aivoissa pari vuotta (Flora ym. 2011) ja luustossa vuosia tai jopa vuosikymmeniä (IARC 2006). Suurin osa elimistön lyijykuormasta on luustossa (Gundacker ym 2010), mutta luuston aineenvaihdunnan muuttuessa esimerkiksi raskauden aikana tätä lyijyä voi palata verenkiertoon ja päätyä sikiöön.

Priorisoinnissa lyijy luokiteltiin ryhmään A, sillä sikiön hermostovaurioiden synnylle ei ole voitu määrittää kynnysarvoa.

Nikkeli, Ni

Eläinkokeissa nikkellillä on havaittu teratogeenisiä ominaisuuksia, jotka ovat ilmenneet keskenmenoriskin (luomisriskin) ja pentukuolleisuuden kasvuna. Epidemiologiset aineistot eivät kuitenkaan osoita yhteyttä elintarvikeperäisen nikkeli-altistuksen ja ihmisen lisääntymiseen liittyvien terveyshaittojen välillä. Ihmiselle turvallisesta altistumäärästä on julkaistu erilaisia arvioita. Vuonna 2015 EFSA määritteli TDI-arvoksi 2,8 µg/kg rp/vrk (EFSA 2015), mutta Haber ym. (Haber ym. 2017) pitivät sitä epidemiologisten havaintojen vuoksi liian varovaisena ja määrittivät pitkäaikaisvaikutusten vertailuarvon suuruudeksi 20 µg/kg rp/vrk. Vuonna 2020 EFSA julkaisi päivitetyn arvionsa, jossa

rottakokeen sikiökuolleisuuden kasvun $BMDL_{10}$ -arvosta 1,3 mg/kg rp/vrk määritettiin ihmiselle TDI-arvoksi 13 µg/kg rp/vrk (EFSA 2020). Tässä raportissa pitkän aikavälin nikkelialtistusta verrattiin EFSA:n uusimpaan TDI-arvoon.

Nikkeli voi aiheuttaa kosketusihottuman tyyppisiä oireita nikkelille herkistyneille ihmisille myös kerta-annoksena suun kautta nautittuna. Vapaaehtoisilla tehdyissä kokeissa lyhytaikaisen altistuksen $BMDL_{10}$ -arvoksi määritettiin 1,1 µg/kg rp/vrk ja riittävänä pidettiin altistusmarginaalia 10 (EFSA 2015). Uudessa arvioissaan EFSA otti vertailukohtaksi LOAEL-arvon eli pienimmän haittavaikutuksia aiheuttavan annoksen 4,3 µg/kg rp/vrk, jolle riittävä altistusmarginaali on 30 (EFSA 2020).

Imetyneen nikkelin puoliintumisaika elimistössä on alle kaksi vuorokautta (EFSA 2015), joten vaikka se viipyy jonkin aikaa muun muassa munuaisissa, keuhkoissa ja kilpirauhasessa, se ei ole samalla tavoin kertyvä kuin hitaammin poistuvat raskasmetallit.

Priorisoinnissa nikkeli luokiteltiin ryhmään B, sillä sen genotoksisuus on epäsuoraa ja perustuu oksidatiiviseen stressiin, joten vaikutukselle on todennäköisesti kynnsarvo. Lisäksi epidemiologiset aineistot eivät osoita yhteyttä elintarvikeperäisen nikkelialtistuksen ja lisääntymiseen liittyvien terveyshaittojen välillä ihmisillä, vaikka eläinkokeissa aine onkin sikiötoksinen eli lisää sikiökuolemia.

Nikkeli voi aiheuttaa myös akuutteja eli lyhyen aikavälin vaikutuksia: kosketusihottumaa, joka voi aktivoitua myös ruoansulatuselimistön kautta tapahtuvassa altistuksessa. Akuutti vaikutus luokiteltiin priorisoinnissa luokkaan 2.

Tina, Sn

Akuutteja oireita, kuten ripulia, oksentelua ja vatsakramppeja, on todettu aiheutuvan säilyketölkeissä olevista juomista yli 150 mg/kg tinapitoisuuksilla tai säilyke-elintarvikkeista yli 250 mg/kg tinapitoisuuksilla (Hallikainen ym. 2013). Juomien tai elintarvikkeiden annoksia ei ole tässä ilmoitettu, joten kuluttajan altistus painokiloa kohden on tuntematon.

Epäorgaanista tinaa ei ole pystytty todistamaan genotoksiseksi. Ihmisellä NOAEL-arvo on 5 mg/kg rp/vrk, ja tinan TWI-arvoksi on määritetty 14 mg/kg rp/viikko (JECFA 1989). Tina poistuu elimistöstä päivien tai kuukausien aikana.

Epäorgaaninen tina aiheuttaa vain lyhytkestoisia terveysvaikutuksia, jotka ovat tyypiltään lieviä (ruoansulatuselimistön vaivat). Siksi tina luokiteltiin luokkaan C.

L1.2 Mykotoksiinit

Aflatoksiinit

Aflatoksiinit ovat genotoksisia, mutageenisimpiä ja karsinogeenisimpiä tunnettuja aineita (FAO 1999). Karsinogeenisyys ilmenee erityisesti maksan kasvaimina ja syöpinä useimmissa tutkituista eläinlajeista. Muita aflatoksiinialtistukseen liittyviä terveyshaittoja ovat eläinkokeissa havaitut immunotoksisuus ja erilaiset kehityksen ja lisääntymisen häiriöt, joita on havaittu karsinogeenistä vaikutusta suuremmilla altistusmäärillä (IARC 2002, EFSA 2020). Aflatoksiini B1 (AFB1) on myrkyllisin aflatoksiinin muoto, ja suuri osa tutkimuksista on tehty vain siihen keskittyen.

Aflatoksiinialtistuksen, jonka suuruus on 12 ng/kg rp/vrk, on Ranskassa arvioitu lisäävän maksasyövän esiintymistä 1,5 tapauksella miljoonaa henkeä kohti vuodessa (EFSA 2007). Akuutteja aflatoksiinimyrkytyksiä (oireena maksatoksisuus) on esiintynyt ihmisissä harvoin, lähinnä Afrikassa,

saastuneiden satojen takia (EFSA 2007). Jyrsijöillä tiineys vaikuttaa herkistävän emoa genotoksisille vaikutuksille, ja kohdussa tai pian syntymän jälkeen tapahtuva altistus tuotti poikasille aikuista eläintä enemmän geenimutaatioita (EFSA 2020). WHO:n mukaan samanaikainen fumonisiinialtistus vaikuttaa synergistisesti aflatoksiinin toksisuuteen (WHO 2018).

Aflatoksiinit kykenevät aiheuttamaan maksasyöpää useimmissa tutkituista eläinlajeista, ja useimmissa epidemiologisissa tutkimuksissa on havaittu yhteys aflatoksiini B1-altistuksen ja maksasyövän lisääntyneen esiintyvyyden välillä. Ihmisen epäillään olevan vähemmän herkkä aflatoksiineille kuin monet koe-eläimet, mutta hepatiitti-infektiosta kärsivillä maksasyövän riskin kasvu alkaa matalammilla annoksilla kuin muilla. Heille maksasyövän ilmenemiseen liittyväksi BMDL₀₁-arvoksi on määritetty 0,070 µg/kg rp/vrk (EFSA 2018). Aflatoksiini M1:n voi odottaa vaikuttavan samanlaisen mekanismin kautta kuin AFB1, vaikka sen potenssi on vain kymmenesosa AFB1:n potenssista (EFSA 2020).

Uusimmassa arvioissaan EFSA valitsi AFB1:n vertailuarvoksi 0,40 µg/kg rp/vrk, joka on urosrotille määritetty maksasyövän ilmenemisen BMDL₁₀-arvo, ja riittävänä altistusmarginaalina pidetään 10 000 (EFSA 2020). Aflatoksiinikongeneerit B2, G1 ja G2 ovat huomattavasti vähemmän myrkyllisiä kuin B1, mutta niille ei ole raportoitu tarkkoja annosvasteita, joten EFSA päätyi arvioimaan myös kokonaisaflatoksiinialtistusta yllä mainittua AFB1:n vertailuarvoa vasten. AFM1:lle EFSA käytti potenssikertoimena 0,1.

AFB1 imeytyy ohutsuolessa ja kulkeutuu maksaan, jossa se metaboloituu useiden sytokromientsyymien katalysoimia reittejä. AFB1, AFG1 ja AFM1 muuntuvat epoksideiksi, jotka voivat sitoutua kovalenttisesti sekä DNA:han että proteiineihin. AFB1 metaboliatuotteineen erittyy sekä ulosteisiin että virtsaan, ja AFM1 myös maitoon (EFSA 2020). Aflatoksiinit poistuvat elimistöstä nopeasti: EFSA viittaa vuonna 2020 julkaistussa raportissaan vapaaehtoisilla ihmisillä tehtyyn tutkimukseen, jossa 95 % AFB1:stä erittyi vuorokauden aikana.

Priorisoinnissa aflatoksiinit luokiteltiin ryhmään A genotoksisuutensa, mutageenisyytensä ja karsinogeenisyytensä vuoksi. Koska muista aflatoksiineista on niukasti tietoa, ne luokiteltiin samoin kuin AFB1.

Alternariatoksiinit

Neljistä tutkitusta alternariatoksiinista AOH ja AME ovat genotoksisia, mutageenisia sekä teratogeenisiä. Niiden epäillään lisäksi häiritsevän hormonitoimintaa, sillä *in vitro* ne käyttäytyvät heikon estrogeenisesti sitoutumalla estrogeenireseptoreihin (2 500–10 000 kertaa heikommin kuin 17-β-estradioli) ja vaikuttamalla ihmissoluissa progesteronin ja estradiolin määriin. Aineiden suhteellinen estrogeenipotentiali on 0,0004 %. Teratogeeninen vaikutus on havaittu eläimellä jo kerta-annoksella, joka sisälsi AOH ja AME kumpaakin 25 mg/kg rp, tai pelkkää AOH sisältävällä annoksella 100–200 mg/kg rp (EFSA 2016).

Muut alternariatoksiinit eivät tiettävästi ole genotoksisia. TeA on useilla eri lajeilla toteutetuissa eläinkokeissa aiheuttanut sydämen nopealyöntisyyttä, kuvotusta, hemorragista gastroenteropatiaa sekä muita verenvuotoja. Apinalle näiden vaikutusten NOAEL oli 48,8 mg/kg rp. (Fraeyman ym 2017).

Toksisuustutkimusten niukkuuden vuoksi alternariatoksiineille ei ole toistaiseksi määritetty ainekohtaisia vertailuarvoja kuten BMDL. EFSA (EFSA 2016) käytti niille vertailuarvona toksikologisen riskin kynnysarvoa TTC, joita on neljä erilaista. EFSA:n tieteellinen komitea (EFSA 2012) on määritellyt seuraavat kynnysarvot erityyppisille yhdisteille:

- rakenteessa genotoksisuuteen viittaavia piirteitä → TTC 0,0025 µg/kg rp/vrk
- organofosfaatit ja karbamaatit, joilla on antikolinesteraasivaikutusta → TTC 0,3 µg/kg rp/vrk
- Cramer-luokkien II ja III aineet → TTC 1,5 µg/kg rp/vrk
- Cramer-luokan I aineet → TTC 30 µg/kg rp/vrk.

Tämän perusteella AOH- ja AME-altistusta verrataan arvoon 0,0025 µg/kg rp/vrk ja TeA- ja TEN-altistusta arvoon 1,5 µg/kg rp/vrk (EFSA 2016).

AOH poistuu elimistöstä nopeasti, mutta muiden alternariatoksiinien biologisesta puoliintumisajasta ei ole tietoa.

AOH ja AME luokiteltiin priorisoinnissa luokkaan A, koska ne ovat genotoksisia, mutageenisia ja teratogeenisiä. TeA ja TEN luokiteltiin luokkaan B, koska ne eivät ole genotoksisia, mutta niiden vaikutukset voivat olla vakavampia kuin luokkaan C kuuluvilla aineilla.

Fomopsiinit

Viidestä eri fomopsiinista (fomopsiini A, B, C, D, E) fomopsiini A on toksikologian ja elintarviketurvallisuuden kannalta oleellisin. Tieto fomopsiinien toksikokinetiikasta on puutteellista. Maksan on fomopsiinin merkittävin kohde-elin, vaikka vaikutusmekanismi on osin epäselvä. Rotalla fomopsiinien on todettu aiheuttavan maksasyöpää. (Battilani ym. 2011; EFSA 2012). Fomopsiinit voivat myös vaurioittaa munuaisia ja keskushermostoa. Tieto fomopsiinien mutageenisyydestä ja genotoksisuudesta on puutteellista (EFSA 2012). Fomopsiinin LOAEL-arvo on 12,5 µg/kg rp/vrk (lammas, suurin testattu pitoisuus) (EFSA 2012), mutta tieto annos-vaste -suhteista on riittämätöntä.

Fusarium-toksiinit: Deoksinivalenoli

Deoksinivalenoli (DON) on kehitys- ja lisääntymistoksinen, ja sillä on vaikutuksia immuunijärjestelmän toimintaan. Deoksinivalenolin hemato- tai myelotoksisuudesta tai karsinogeenisuudesta ei ole viitteitä. Aine on genotoksinen *in vitro*, mutta sen genotoksisuus *in vivo* on epäselvä. (EFSA 2017). Kotieläimillä ja ihmisillä DON voi aiheuttaa ruoansulatuskanavan oireita kuten oksentelua ja veristä ripulia, ja näiden oireiden vuoksi se on tunnettu myös vomitoksiinina.

Ihmisillä ei ole osoitettu pitkäaikaisen DON-altistuksen yhteyttä terveyshaittoihin. Pitkäaikaisen altistuksen vertailuarvoksi EFSA määrittä neljän DON-yhdisteen (DON, 3-Ac-DON, 15-Ac-DON, DON-3-glykosidi) summalle TDI-arvon 1 µg/kg rp/vrk hiirikokeessa havaitun painonnousun hidastumisen BMDL₀₅ 0,11 mg/kg rp/vrk avulla (EFSA 2017).

Myös akuutti altistus saattaa aiheuttaa ihmisellä ruoansulatuskanavan oireita, päänsärkyä, huimausta ja kuumetta. Akuutin altistuksen viitearvo neljän DON-yhdisteen summalle, ARfD 8 µg/kg rp/ateriointikerta, perustuu ihmisellä noin puoli tuntia saastuneen ruoan nauttimisen jälkeen ilmenevään oksenteluun ja sen turvakertoimella jaettuun NOAEL-arvoon.

DON poistuu elimistöstä nopeasti, puoliintumisaika on vain tunteja (Prelusky ym. 1988).

Pitkäaikaisvaikutustensa osalta DON on luokiteltu varmuuden vuoksi ryhmään B, sillä se on genotoksinen *in vitro* ja vaikutus perustuu ilmeisesti oksidatiiviseen stressiin. Ihmisille TDI-arvon perustana olevaksi kriittiseksi vaikutukseksi valittu painon alenema kuuluisi ryhmään C.

Akuuttien vaikutusten osalta DON on luokiteltu ryhmään 2, sillä oksetus ja muut ruoansulatuskanavan vaivat eivät ole kohtalokkaita.

Fusarium-toksiinit: Fumonisiinit

Eläimillä fumonisiinialtistuksen on todettu joissakin kokeissa liittyvän muun muassa keuhkopöhöön ja aivoleesioihin. Myös altistuksen yhteydestä lasten hermostoputken vikoihin ja kasvuhäiriöihin on keskusteltu, (Braun & Wink 2018). Evidenssi hermostoputken vaurioiden osalta on kuitenkin toistaiseksi riittämätöntä (EFSA 2018). Sikiötoksisuutta on havaittu jyrksijöillä ja jäniseläimillä vain annoksina, jotka ovat emollekin myrkyllisiä. EFSA (EFSA 2018) on arvioinut fumonisiinien tärkeimmäksi haittavaikutukseksi jyrksijäkokeissa todetun maksa- ja munuaistoksisuuden ja määrittänyt fumonisiineille B1-B4 yhteisen TDI-arvon 1 µg/kg rp/vrk.

Fumonisiinit on luokiteltu ryhmään B, sillä ne aiheuttavat elinvaurioita mutta eivät ole karsinogeenisiä.

Fusarium-toksiinit: T2- ja HT2-toksiinit

Deoksinivalenolin tavoin T2- ja HT2-toksiinit aiheuttavat eläimillä oksentelua. Akuutin altistuksen viitearvo 0,3 µg/kg rp perustuu oksennusreaktioon minkillä (EFSA 2017). T2-toksiinia on pidetty myös mahdollisena biologisena aseena, koska se on haitallinen sekä ihon, ruoansulatuskanavan että hengitysteiden kautta altistuttaessa (Adhikari ym. 2017).

T2 inhiboi proteiinien, DNA:n ja RNA:n synteesiä, aiheuttaa apoptoosia, nekroosia ja lipidiperoksidaatiota sekä verisuonten seinämien ja hermoston vaurioita (myelotoksisuus) (EFSA 2017, Adhikari ym. 2017). T2- ja HT2-toksiineille määritetty TDI 0,02 µg/kg rp/vrk (EFSA 2017) perustuu subkrooniseen rottakokeeseen, jossa kriittisinä vaikutuksina olivat immunotoksisuus ja hematotoksisuus. Kokeessa päätepisteenä oli valkosolujen määrän väheneminen.

Nämä toksiiinit imeytyvät helposti, mutta ne myös erittyvät elimistöistä nopeasti, käytännössä kaikki 48 tunnin kuluessa nauttimisesta. Puoliintumisaika plasmassa on parinkymmenen minuutin luokkaa (Adhikari ym. 2017).

Pitkäaikaisen altistuksen kriittinen vaikutus on veriarvojen muuttuminen, joten T2- ja HT2-toksiinit on luokiteltu ryhmään C. Akuutin altistuksen vertailuarvo perustuu oksetusvaikutukseen, joten akuuttien vaikutusten osalta nämä toksiiinit luokiteltiin ryhmään 2.

Fusarium-toksiinit: Zearalenoni

Zearalenonilla ja sen aineenvaihduntatuotteilla on estrogeenin kaltaisia vaikutuksia elimistössä. EFSA on määrittänyt zearalenonille (ZEN) ja sen 26 nimetylle yhdisteelle sekä ykkösfaasin aineenvaihduntatuotteille ja ZEN-glukuronideille yhteisen TDI-arvon. Siedettävän päiväsaannin enimmäismäärä kaikkia näitä yhdisteitä on ZEN-ekvivalentteina 0,25 µg/kg rp/vrk (EFSA 2016). Kriittisenä vaikutuksena on sialla todettu estrogeeninen aktiivisuus. Nuorista sioista naaraat olivat herkempiä kuin koiraat.

Zearalenonin puoliintumisaika elimistössä on sialla 3,5 vrk (Biehl ym. 1993) ja ihmisellä samaa suuruusluokkaa.

Estrogeeninkaltaisten ominaisuuksiensa vuoksi (aineenvaihdunta) zearalenoni luokiteltiin hormonihäiriköksi eli luokkaan A-edc, vaikka vaikutuksella saattaa olla kynnyсарvo.

Okratoksiini A

Okratoksiini A (OTA) on myrkyllisin okratoksiini. Se on rakenteellisesti samankaltainen kuin aminohappo fenyylialaniini ja siksi häiritsee entsyymejä, joiden substraattina tämä aminohappo toimii. Lisäksi se on erityisesti mitokondrioihin vaikuttava myrky ja lisää useiden solutyypin apoptoosia (Marin ym. 2013). Okratoksiini A on heikosti mutageeninen ja sen lisäksi genotoksinen sekä *in vivo* että *in vitro*. Genotoksisuudesta ei tiedetä, onko se suoraa vai epäsuoraa, mutta OTA aiheuttaa munuaissyöpiä jyrksijöille, vaikka muilla eläimillä terveyshaitta on ollut ei-neoplastisten munuaisvaurioiden kehittyminen (EFSA 2020).

Vuoden 2006 arviossaan EFSA määrittäi OTA:lle TWI-arvon 0,120 µg/kg rp/viikko sen munuaistoksisten vaikutusten perusteella (EFSA 2006). Toukokuussa 2020 julkaistussa päivitetystä arviossaan (EFSA 2020) EFSA totesi, että koska OTA-altistukseen liittyvälle karsinogeenisyydelle ei tunneta vaikutusmekanismeja, TDI-arvon määrittämiselle ei ole perustetta. Sen sijaan arvioissa käytetään altistusmarginaalia (MoE), ja riittävänä pidettävä altistusmarginaali on karsinogeenisille yhdisteille 10 000. Okratoksiini A:n neoplastisille vaikutuksille BMDL₁₀ on 14,5 µg/kg rp/vrk rotissa havaittujen munuaissyöpien ilmenemisestä määritettynä ja ei-neoplastisille vaikutuksille BMDL₁₀ on 4,73 µg/kg rp/vrk sikojen munuaisvaurioista määritettynä. Ruoansulatuskanavasta imeytyneen OTA:n puoliintumisaika ihmisessä on useita viikkoja, joten se voi kertyä elimistöön (EFSA 2020).

OTA:n on epäilty vaikuttavan myös hormonijärjestelmään, mutta hormonitoiminnan häiriintymiselle ei ole raportoitu vaikuttavan annoksen suuruutta.

OTA:n toksisuuden mekanismeista ja toksikokinetiikasta eri lajeissa (mm. sikiöön kertymisestä) sekä modifioitun OTA:n toksisuudesta tarvitaan EFSA:n arvion mukaan lisää tietoa.

Priorisoinnissa okratoksiini A luokiteltiin karsinogeenisyytensä mukaan ryhmään A, ja lisäksi sen munuaistoksisuutta (ryhmä B) tarkasteltiin erikseen. EFSA:n tavoin karsinogeenistä vaikutusta on arvioitu kuin genotoksisuus olisi suoraa. Mikäli OTA:n genotoksisuus on epäsuoraa, tämä menettely yliarvioi riskiä.

Patuliini

Patuliinin karsinogeenisyydestä ei ole riittävästi tietoa, mutta useissa tutkimuksissa sillä on havaittu olevan mutageenisia, teratogeenisiä ja genotoksisia vaikutuksia (Pal ym. 2017). Patuliini voi vaurioittaa keskushermostoa sekä useita sisäelimiä kuten maksaa ja munuaisia (Pal ym. 2017), minkä lisäksi sillä on immunosuppressiivisia ominaisuuksia, ja se inhiboi monia entsyymejä, koska se kiinnittyy vahvasti entsyymeissä usein esiintyviin sulfhydryyliryhmiin (JECFA 1995).

Patuliinin NOAEL-arvo 43 µg/kg/vrk perustuu lisääntymistä ja karsinogeenisyyttä koskeviin pitkäaikaiskokeen tuloksiin rotilla (JECFA 2005). Rottakokeissa noin 98 % patuliinista poistui eläimen elimistöä 7 vuorokaudessa. Koska patuliini ei kerry elimistöön, sille asetettiin väliaikainen siedettävän päiväsaannin enimmäismäärä (PMTDI) 0,4 µg/kg/vrk (JECFA 1995). Tässä työssä patuliinialtistusta on verrattu PMTDI-arvoon, ja terveyshaitan riski sitä pienemmillä annoksilla on katsottu merkityksettömäksi.

Patuliini luokiteltiin vierasaineiden priorisoinnissa ryhmään A, koska se voi vaurioittaa kromosomeja. Luokittelu voi olla varovainen eli vaaraa yliarvioiva, sillä aineella on ilmeisesti kynnyсарvo.

Sitriniini

Sitriniini on munuaistoksinen aine. Rottakokeessa (90 vrk) määritettiin NOAEL-arvoksi 20 µg/kg rp/vrk, mutta EFSA ei aineiston rajoitteiden vuoksi katsonut voivansa määrittää terveydellistä ohjearvoa kuten TDI (EFSA 2012). Munuaistoksisuuden kannalta mitättömänä riskinä voidaan pitää altistusta, joka on enintään 0,2 µg/kg rp/vrk. Genotoksisuuden ja karsinogeenisyyden mahdollisuutta ei voida saatavilla olevan toksikologisen aineiston perusteella sulkea pois, joten sitriniinistä tarvittaisiin lisää toksikologista tietoa.

Sitriniinin oleellisin haittavaikutus on munuaistoksisuus, joten se luokiteltiin ryhmään B.

Sterigmatokystiini

Sterigmatokystiini on maksatoksinen rotalla, hiirellä, apinalla, marsulla ja siipikarjalla ja munuaistoksinen siipikarjalla (EFSA 2013). Sterigmatokystiini on karsinogeeninen (IARC 2B) ja voi aiheuttaa syöpää maksassa ja munuaisissa. Se on myös genotoksinen ja mutageeninen, mutta vaikutus ei ole niin vahva kuin aflatoksiinilla (EFSA 2013).

Altistuksen vertailuarvona käytettiin BMDL₁₀-arvoa 160 µg/kg rp/vrk (EFSA 2013), ja karsinogeenisille aineille tyypillisesti mitättömän riskin altistusmarginaalin tulee olla vähintään 10 000.

Tieto sterigmatokystiinin imeytymisestä ruuansulatuselimistössä on niukkaa, mutta vaikuttaa siltä, että imeytyminen on vähäistä. Sterigmatokystiini metaboloituu maksassa ja keuhkoissa, ja syntyvät yhdisteet voivat reagoida DNA:n kanssa. Sterigmatokystiinin puoliintumisaika rotan elimistössä on 30 min–130 tuntia (EFSA 2013).

Sterigmatokystiini tai sen metaboliatuotteet ovat karsinogeenisiä ja genotoksisia, joten se luokiteltiin ryhmään A.

L1.3 Muut sienten tai kasvien tuottamat vierasaineet

Ergotalkaloidit

Ergotalkaloidit eivät ole genotoksisia. Niiden tärkeimmät vaikutusmekanismit liittyvät verisuonten supistumiseen, joka voi ilmetä esimerkiksi lihasten surkastumisena verenpuutteen vuoksi (rotan häntä, BMDL₁₀-arvo 0,33 mg/kg rp/vrk (EFSA 2012)) tai keskiaikaisissa myrkytystapauksissa raajojen kärkevien verenkierro heikkenemisenä ja kuoliona. Ergotismiin oireisiin kuuluu verenkierro heikkenemisestä kertovien oireiden kuten raajojen kylmyyden ja tunnottomuuden tai kihelmöinnin lisäksi sekavuutta ja kouristeluja. Lysergihapon dietyyliamiini eli hallusinaatioita aiheuttava huume LSD on ergotalkaloidijohdannainen.

EFSA on määrittänyt (EFSA 2017) yllä mainitun rottakokeen pohjalta lyhytaikaisen ergotalkaloidialtistuksen viiteannoksen ARfD:n (1 µg/kg rp/vrk) ja pitempiaikaiselle altistukselle TDI-arvon 0,6 µg/kg rp/vrk. Arvot on määritetty ergotalkaloidien summalle. Ergotalkaloidien keskinäisiä toksisuuseroja ei ole juuri tutkittu, mutta tämänhetkisten tietojen perusteella vaikutuksen voimakkuudessa ei ole merkittäviä eroja, ja aineiden NOAEL-arvot ovat lähes samoja.

Lääkinnällisesti ergotalkaloideja on käytetty aiheuttamaan kohdun supistuksia (ihminen, pienin vaikuttava kerta-annos 2 µg/kg rp) tai hoitamaan migreeniä (ihminen, suurin suositeltava terapeutinen annos 8 µg/kg rp/vrk eli 13 x TDI 30 vrk:n ajan). Hiirillä ja ilmeisesti myös ihmisillä ergotalkaloidit voivat myös estää alkion kiinnittymistä, aiheuttaa luomista eli keskenmenoja tai estää

prolaktiinin erittymistä aivolisäkkeestä ja tätä kautta estää maidontuotantoa. Ihmiselle tappava annos on 5–10 g tuoreita torajyviä, ja kroonisen myrkytyksen arvioitu kynnyсарvo on kymmenen 0,2 % ergotalkaloideja sisältävän torajyvän annos päivittäin (EFSA 2017).

Ergotamiinit metaboloituvat sytokromi P450-entsyymiryhmään kuuluvan CYP3A4-entsyymien välityksellä, joten tätä entsyymiä estävät lääkkeet, kuten eräät HIV-lääkkeet, lisäävät elimistön ergotamiinipitoisuuksia aineen eliminaation pysähtyessä. Raskausmyrkytyksestä tai keskenmenon riskistä kärsivät sekä sikiöt ja vauvat ovat riskiryhmää. Lääketieteellisesti käytetyn ergometriinin pienin tappava annos vauvalle on ollut 0,15 mg suun kautta. Muita haittavaikutuksille herkkiä ryhmiä ovat korkeasta verenpaineesta tai verenkiertoelimistön sairauksista kärsivät sekä maksan tai munuaisten toimintahäiriöstä kärsivät ihmiset (EFSA 2017).

Priorisoinnissa ergotalkaloidit luokiteltiin pitkäaikaisvaikutusten osalta ryhmään B, koska ne eivät ole genotoksisia. Ergotalkaloidien oksitosiinin tyyppiset kohtua supistavat vaikutukset ja prolaktiinin erittymistä estävät vaikutukset olisivat voineet nostaa aineet myös luokkaan A-edc, mutta koska EFSA oli arvioinut TDI-arvon määrittämiseen oleellisimmaksi verisuonia supistavan vaikutuksen, luokittelu tehtiin sen pohjalta.

Lyhytaikaisten vaikutusten osalta ergotalkaloidien katsottiin kuuluvan luokkaan 1, koska myrkytysoireet voivat aiheuttaa sikiön tai aikuisen kuoleman.

Erukahappo

Erukahapon kriittinen terveysvaste on sydänlihaksen lipidoosi eli rasvan kertyminen sydänlihakseen, mikä heikentää sydämen toimintaa (EFSA 2016). Tämä vaikutus on kuitenkin palautuva ja väliaikainen pitkäkestoisen altistuksen aikana, sillä erukahappoa hajottava reaktio käynnistyy ennen pitkää. Nuorilla rotilla ja vastasyntyneillä sian porsailla tehtyjen kokeiden NOAEL-arvon perusteella EFSA määrittäi erukahapolle TDI-arvon 7 mg/kg rp/vrk (EFSA 2016). Aikuiset siat olivat vähemmän herkkiä erukahapon haittavaikutuksille kuin vastasyntyneet, mikä viittaa siihen, että altistavana tekijänä on myös sydämen tai maksan kehittymättömyys nuorilla eläimillä (EFSA 2016).

Edellä mainittuja kokeita suurempina annoksina erukahappoaltistus on EFSA:n referoimissa julkaisuissa liitetty myös muun muassa maksan, munuaisten, luurankolihasiston tai kivesten vaurioihin koe-eläimillä.

Erukahappoa on käytetty myös lääkinnällisesti adrenoleukodystrofian hoitoon ihmisillä. Tällöin on havaittu verihytaleiden määrän vähenemistä tai epänormaalin muotoisten verihytaleiden esiintymistä noin 100 mg/kg rp/vrk suuruisilla annoksilla. Saatavilla oleva tieto ei riitä arvioimaan, liittyykö erukahappoaltistus ihmisillä syöpäriskin kasvuun (EFSA 2016).

Koska erukahapon aiheuttama sydänlihaksen rasvoittuminen on palautuva tila, aine luokiteltiin ryhmään C.

Nitraatti

Nitraatti ei ole genotoksinen, karsinogeeninen eikä hormonitoimintaan vaikuttava, eikä sen ole osoitettu vaikuttavan lisääntymiserveytyteen (EFSA 2017).

Elimistössä pieni osa nitraatista pelkistyy nitriitiksi, joka muodostaa happea sitoneesta hemoglobiinista methemoglobiinia, metHb. MetHb ei kykene kuljettamaan happea, mutta elimistöllä on palautusmekanismi sen muuttamiseksi takaisin hemoglobiinimuotoon. Terveyshaittoja alkaa

esiintyä vasta, kun palautusmekanismin kapasiteetti ylittyy. Terveydelle haitallista tilaa, johon liittyy elimistön hapenkuljetuskyvyn häiriintyminen, kutsutaan methemoglobinemiaksi. Nitraattia pelkistyy nitriitiksi tavallista enemmän (ja terveyshaittojen riski kasvaa), jos korkean nitraattialtistuksen yhteydessä syöjällä on mahan tai suoliston infektio, vähähappoinen mahalaukku tai samanaikaista altistusta eräille lääkeaineille. Toisaalta antioksidantit kuten C- ja E-vitamiinit estävät metHb:n muodostumisreaktiota (EFSA 2010).

Ihmisessä on havaittu, että korkea nitraattialtistus lisää kilpirauhasen liikakasvun riskiä annoksilla, joilla havaittiin myös methemoglobinemiaa (EFSA 2017). Nitraatin reaktioissa elimistössä syntyy myös typpimonoksidia, joka laajentaa verisuonia ja alentaa verenpainetta, mikä ei aina ole haittavaikutus.

EFSA on uusimmissakin tarkasteluissaan (EFSA 2017) päättänyt toteamaan, ettei SCF:n ja JECFA:n nitraatti-ionille NO₃- määrittämää ADI-arvoa eli hyväksyttävän päiväsaannin enimmäisarvoa 3,7 mg/kg rp/vrk ole tarpeen muuttaa. ADI-arvo perustui methemoglobinemian esiintymisen NOAEL-arvoon (4500 mg NaNO₃/kg rp/vrk) sekä akuutissa että subkroonista altistusta tutkivassa rottakokeessa. ADI määritellään käytännössä samoin kuin TDI ja erona on se, että lisäainekäytössä oleville aineille on ADI ja vierasaineille tavallisesti TDI.

Priorisoinnissa nitraatti luokiteltiin ryhmään C, koska se ei ole genotoksinen, ja elintarvikkeista saatavina määrinä methemoglobinemian asteeseen liittyvät terveysvaikutukset ovat ohimeneviä. (Vakavat tapaukset liittyvät yleensä kontaminoituneeseen talousveteen.)

Oopiumalkaloidit

Oopiumalkaloidit eivät ole genotoksisia eivätkä todennäköisesti karsinogeenisiä. Niiden oleellisin terveysvaikutus kohdistuu keskushermostoon ja ilmenee mm. pahoinvointina, huumaantumisena, uneliaisuutena ja ummetuksena. Morfiini ja kodeiini voivat aiheuttaa riippuvuutta ja pitkäaikainen käyttö lisää toleranssia. Matalin terapeuttinen annos ihmisellä on noin 30 µg/kg rp morfiinia (EFSA 2018).

Morfiini ja kodeiini imeytyvät tehokkaasti ruoansulatuskanavasta ja jakautuvat läpi kehon. Vaikka keskushermosto on vaikutusten pääkohde, alkaloidit pääsevät huonosti veriaivoesteen läpi. Ne läpäisevät kuitenkin istukan, ja morfiini myös erittyy maitoon (EFSA 2018). Osa kodeiinista reagoi elimistössä morfiiniksi CYP2D6-entsyymien välityksellä. Metabolian nopeuden perusteella ihmiset voidaan jakaa neljään ryhmään (heikosta hyvin nopeaan metaboloijaan). Etniset eurooppalaiset ovat valtaosin nopeita metaboloijia, mutta millään ryhmällä kodeiinista ei muutu morfiiniksi kuin enintään 20 %.

EFSA:n uusimman (EFSA 2018) arvion mukaan aiemmin morfiinille asetettu ARfD (akuutin altistuksen vertailuannos) 10 µg/kg rp on muutettava morfiinia ja kodeinia koskevaksi oopiumalkaloidien ryhmän ARfD-arvoksi. Tämä tarkoittaa, että kodeiinialtistus lasketaan morfiiniekvivalenteiksi kertoimella 0,2 ja summa-altistus morfiinista ja kodeiinista pitää olla alle ARfD-tason, jotta altistus olisi turvallisella tasolla. ArfD on laskettu yllä mainitusta pienimmästä vaikuttavasta annoksesta jakamalla se epävarmuuskertoimella 3.

Thebahiini ja oripaviini ovat akuutisti myrkyllisempiä kuin morfiini LD₅₀-arvoina mitattuna, noskapiini vähemmän myrkyllinen, mutta näille aineille ei ole määritetty muita toksikologisia vertailuarvoja eikä niille tunneta kriittistä vaikutusta, jonka perusteella riskinarvio voitaisiin tehdä (EFSA 2018). Thebahiinista ja oripaviinista tarvittaisiin EFSA:n arvion mukaan toksikologista dataa, ja lisäksi unikonsiemenpohjaisen ruoan kulutusta koskevat tiedot EU-alueella ovat niukkoja.

Muita oopiumalkaloidien eläinkokeissa todettuja terveyshaittoja, joille ei kuitenkaan ole kyetty määrittämään annosvasteita, ovat olleet heikentynyt seksuaaliaktiivisuus ja spermantuotto, istukankehityksen häiriöt, heikentynyt tiineysaste ja immunosuppressio, sekä myös ihmisellä havaitut keskushermostokehityksen häiriöt sikiöaikana (EFSA 2018). Näistä vaikutuksista ei kuitenkaan ole kylliksi tietoa, jotta niitä voitaisiin käyttää riskinarvioinnissa.

Oopiumalkaloidien haittavaikutukset, joille annosvaste on määritettävissä, ovat lyhytaikaisia ja kohdistuvat keskushermostoon. Toisaalta akuutin altistuksen näkökulmasta on mahdollista, että haittavaikutuksen aiheuttava annos voi joissakin poikkeuksellisissa olosuhteissa ylittyä.

Eläinkokeissa (EFSA 2018) morfiinin on havaittu liittyvän lisääntymisen häiriöihin kuten vähentyneeseen siittiönmuodostukseen, munasarjojen säännöllisen toiminnan häiriintymiseen, tiineyksien harvenemiseen, istukan ja aivojen kehittymisen häiriintymiseen, immuunijärjestelmän supressioon. Näille vaikutuksille ei ole kuitenkaan ollut mahdollista määrittää annosvasteita. Siksi oopiumalkaloideja arvioitiin vain akuutin vasteensa pohjalta. Keskushermostovaikutustensa perusteella ne luettiin luokkaan 2.

Pyrrrolitsidiinialkaloidit

Pyrrrolitsidiinialkaloideista myrkyllisimpiä ovat 1,2-tydyttymättömät yhdisteet, joilla on kaksoissidos pyrrrolitsidiinirenkään 1,2-kohdassa. IARC eli kansainvälinen syöväntutkimuslaitos luokitteli kolme yhdistettä eli lasiokarpiinin, monokrotaliinin ja riddelliinin kategoriaan 2B eli mahdollisesti karsinogeenisiksi ihmisille, mutta muista pyrrrolitsidiinialkaloideista ei ollut kylliksi tietoa niiden karsinogeenisyyden arvioimiseksi.

EFSA totesi (2017), että kaikki 1,2-tydyttymättömät pyrrrolitsidiinialkaloidit reagoivat elimistössä samalla tavoin ja tuottavat genotoksisia ja karsinogeenisiä pyrroleita. Vuonna 2011 EFSA määrittäi riskinarvioinnin vertailuarvoksi 70 µg/kg rp/vrk rottakokeen maksan kasvaimien kehittymiseen liittyvästä BMDL₁₀-arvosta (EFSA 2011). Uudessa arvioissaan (EFSA 2017) arvioi saatavilla olevaa toksikologista aineistoa tarkemmin ja päivitti vertailuarvon. Uusi vertailuarvo, riddelliinialtistukseen liittyvien maksakasvaimien BMDL₁₀ naarasrotilla, on 237 µg/kg rp/vrk (EFSA 2017), ja mitättömän riskin altistusmarginaali on vähintään 10 000.

Pienin kerta-altistuksella pikkulapsille haittavaikutuksia aiheuttanut pyrrrolitsidiinialkaloidiannos on noin 2 mg/kg rp/vrk (EFSA 2017). Akuutista altistuksesta johtuvia terveyshaittoja, jotka ilmenivät tämän suuruisella tai hiukan suuremmalla annoksella, ovat olleet maksavaurio (maksan veno-okklusio) kahden viikon päivittäisen käytön jälkeen puolivuotiaalla vauvalla ja neljä päivää kestäneestä altistuksesta johtunut kuolema pikkuvauvalla (EFSA 2017).

Karsinogeenisyytensä vuoksi pyrrrolitsidiinialkaloidit luokiteltiin ryhmään A. Niillä voi olla myös akuutteja vaikutuksia, ja joissakin tapauskuvauksissa pyrrrolitsidiinialtistus on johtanut lapsen kuolemaan, joten akuutit vaikutukset on luokiteltu ryhmään 1.

Syaanivety ja syanogeeniset glykosidit

Syanidi estää soluhengitystä sitoutumalla sytokromi c -oksidaasiin ja aiheuttaa energiavajeesta johtuvan solukuoleman. Ensimmäiset oireet kuten sydämen tiheälyöntisyys ja ihon punertuminen ilmenevät pitoisuuksilla 0,5–1,0 mg syanidia litrassa kokoverta, eli noin 20–40 µM, ja veren pitoisuudet 100–120 µM voivat jo olla tappavia (Abraham ym. 2016). Syanidin pienimmäksi tunnetuksi tappavaksi annokseksi ihmisellä on laskettu noin 0,5 mg/kg rp olettaen, että kuolleiden ihmisten kudokset esiintyvät pitoisuudet ovat muutettavissa takaisin annoksiksi samoilla kertoimilla kuin eläinkokeissa.

Suurina annoksina syanidimyrkytyksen oireita havaitaan jo muutamassa minuutissa. Niitä ovat pahoinvointi, päänsärky, sydämen harvallyöntisyys, tajuttomuus ja kuolema (JECFA 2012, WHO 2004). Syanidin kykyä tappaa nopeasti on käytetty hyväksi esimerkiksi syanidipitoisissa itsemurhapillereissä ja kaasukammioissa. Syanidin puoliintumisaika veressä on nopea, tavallisesti alle tunnin.

Elimistössä syanidi reagoi aineenvaihdunnassa vähemmän haitalliseksi tiosyanaatiksi, joka voi häiritä kilpirauhasen jodinottoa ja johtaa struumaan. Jatkuva vähäinen syanidialtistus voi siis johtaa myös pitkäaikaisvaikutuksiin, mutta niille ei ole määritetty annosvastetta.

Vielä haitattomana pidetty veren syaniditaso 20 µM vastaa vetysyanidiannosta 105 µg/kg rp. Tästä arvosta on EFSA määrittänyt akuutin altistuksen vertailuarvon (ARfD) 20 µg/kg rp/vrk käyttäen väestön toksikokineettisille eroille epävarmuuskerrointa 1,5 ja toksikodynaamisille eroille epävarmuuskerrointa 3,16 ja pyöristämällä tuloksen alaspäin lähimpään tasakymmeneen (EFSA 2016). ARfD-arvoa sovelletaan myös syanogeenisille yhdisteille, sillä varmuuden vuoksi oletetaan kaiken vapautuvissa olevan syanidin voivan vapautua ja imeytyä. Syanogeenisten yhdisteiden pitoisuudet ilmoitetaan syanidiekvivalenteina. 1 g linamariinia voisi teoreettisesti vapauttaa 109 mg syanidia, ja 1 g amygdaliinia 59 mg syanidia (Abraham ym. 2016).

Syanidien ja syanogeenisten yhdisteiden pitkäaikaisvaikutuksista (mm. kilpirauhasen toimintahäiriöt) ei ole arviointiin sopivia annosvastetietoja. Priorisoinnissa keskityttiin akuutteihin vaikutuksiin eli syanidimyrkytykseen liittyvään soluhengityksen salpautumiseen. Sen perusteella syaanivety ja syanogeeniset yhdisteet luokiteltiin ryhmään 1.

Tetrahydrokannabinoli

Tetrahydrokannabinolin huumaava vaikutus, jonka vuoksi hamppuvalmisteita käytetään huumausaineena, on laajalti tutkittu. Suun kautta nautittuna aineen vaikutukset ilmenevät 30–90 min viiveellä, saavuttavat maksimitasonsa 2–3 tunnissa ja kestävät 4–12 tuntia annoksesta ja tutkitusta vaikutuksesta riippuen (Grotenhermen 2003). Tetrahydrokannabinoli imeytyy hitaasti ja epätäydellisesti ruoansulatuskanavasta, sitoutuu plasman proteiineihin ja kertyy rasvakudokseen (EFSA 2015). Yli puolet imeytyneestä THC:stä erittyy ulosteisiin ja noin viidennes virtsaan. Puoliintumisaika elimistössä on 1,6–59 tuntia (Grotenhermen 2003).

Ihmisellä riskinarvioinnin kannalta oleellimmat ovat keskushermostovaikutukset (sedaatio eli rauhoittava vaikutus, mielialaan kohdistuvat vaikutukset) sekä sydämen lyöntitiheyden kasvu. EFSA arvioi pienimmäksi haittavaikutuksia aiheuttavaksi annokseksi (LOAEL) 2,5 mg/vrk, ja tästä – olettaen yksilön painoksi 70 kg ja käyttäen epävarmuuskerrointa 30 – päädyttiin lyhytaikaisen altistuksen vertailuarvoon ARfD 1 µg/kg rp/vrk (EFSA 2015).

Jyrsijäkokeissa havaittiin myös, että pitkäaikaisaltistuksella eläimen kiimakierto piteni eli THC vaikutti hormonitoimintaan. Kiimakierroksen pitenemisen BMDL₁₀-arvoksi määritettiin 730 µg/kg rp/vrk. Koska tämä annos on noin 700-kertainen akuutin altistuksen vertailuarvoon nähden, EFSA ei katsonut aiheelliseksi määrittää TDI-arvoa (EFSA 2015). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kuitenkin myös pitkäaikaisaltistuksen mahdollista riskiä.

Akuuttien huumaavien vaikutustensa osalta THC luokiteltiin ryhmään 2.

Tetrahydrokannabinolin pitkäaikaisvaikutuksia arvioitiin sen hormonitoimintaa häiritsevien ominaisuuksien valossa, eli osana ryhmää A-edc, vaikka näitä haittoja ilmeneekin vasta selvästi suuremmilla annoksilla kuin akuuttiin vaikutukseen tarvittavat.

Tropaanialkaloidit

Skopolamiini on atropiinin kaltainen antikolinergisesti vaikuttava aine, joka salpaa elimistön muskariinireseptoreita ja vaikuttaa siten useisiin eri elimiin. Sitä on käytetty oksentelua hillitsevänä lääkkeenä ja laajentamaan silmän mustuaista. Lisäksi se pystyy läpäisemään veri-aivoesteen ja vaikuttaa keskushermostoon rauhoittavasti. Sillä on myös hallusinogeenisiä ominaisuuksia, joten sitä sisältäviä kasveja on käytetty väärin päihteenä.

Atropiini esiintyy luonnossa (-)-hyoskyamiinina (myöhemmin tässä tekstissä 'hyoskyamiini') ja rasemisoituu eristysvaiheessa (±)-muotoon. Atropiinin vaikutukset perustuvat kuitenkin jäljellä olevaan hyoskyamiinimuotoon (Koulu & Tuomisto 2007). Tässä tekstissä käytetään siksi atropiinia ja hyoskyamiinia osin toistensa synonyymeina.

Antikolinergisiin vaikutuksiin kuuluvat sydämen sykkeen nopeutuminen, silmän värikalvon supistajalihaksen lamaaneminen, ruoansulatuskanavan liikkeiden heikkeneminen, keuhkoputkien rauhaserityksen ja värekarvaliikkeen estyminen, virtsaamisen vaikeutuminen, hien ja osin kynnelten erityksen estyminen (Koulu & Tuomisto 2007). Myrkytyksen tunnusomaisia oireita kuvataan lääketieteellisessä muistisäännössä: ”sokea kuin lepakko, kuiva kuin luu, punainen kuin punajuuri, kuuma kuin helvetti ja hullu kuin hatuntekijä” (<https://chemm.nlm.nih.gov/anticholinergic.htm>).

Sekä atropiini että skopolamiini imeytyvät nopeasti ruoansulatuskanavasta; imeytyvä osuus on 30–50 % annoksesta. Atropiinin eliminaation puoliintumisaika on 4 tuntia ja skopolamiinin 3 tuntia, ja ne erittyvät virtsaan sekä äidinmaitoon sen lisäksi, että suuri osa tuhoutuu maksassa (Koulu & Tuomisto 2007). Kumpikin aine läpäisee istukan.

EFSA määrittä hyoskyamiinille/atropiinille ja skopolamiinille yhteisen ARfD-arvon vapaaehtoisilla ihmisillä tehdystä tutkimuksesta, jossa NOAEL-arvo sydämen lyöntitiheyden hidastumiselle oli 0,16 µg/kg rp. Kokeen seuraava annos aiheutti tilastollisesti merkitsevän hidastumisen, mikä ei terveelle ihmiselle ole haitallinen, mutta hidastulyöntisyydestä kärsiville voi olla. Siksi ARfD-arvoa määritettäessä käytettiin turvakerrointa 10 ja oletettiin, että hyoskyamiinin ja skopolamiinin vaikutus on yhtä voimakas. ARfD-arvo näiden tropaanialkaloidien summalle on siis 0,016 µg/kg rp/vrk (EFSA 2013). Se on noin kaksi kertaluokkaa pienempi kuin lääkinnällisesti käytetyt pienimmät annokset.

Akuutit vaikutukset (herkimpänä sydämen toiminnan häiriöt) voivat olla kohtalokkaita, joten tropaanialkaloidit luokiteltiin ryhmään 1.

L1.4 Ympäristömyrkyt

Bromatut palonsuoja-aineet

Toksikologisesti ja altistuksen kannalta oleellisimpia yhdisteitä ovat BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ja -209. EFSA:lla (EFSA 2011) oli käytettävissään toksikologista tietoa neljästä yhdisteestä: BDE-47, BDE-99, BDE-153 ja BDE-209. Siksi myös tässä tutkimuksessa keskitytään näihin yhdisteisiin.

PBDE-yhdisteiden tärkeimmät haittavaikutukset kohdistuivat maksaan ja hermoston kehittymiseen. Lisäksi ne häiritsevät hormonitoimintaa: erityisesti kilpirauhashormonien erityksen homeostaasia, mutta eläinkokeissa on havaittu niiden vaikuttavan myös estrogeeni- ja androgeenivälitteisiin prosesseihin (EFSA 2011). Jyrsijäkokeissa PBDE-altistus on muun muassa vähentänyt siittiönmuodostusta ja sukupuolihormonien määrää sekä lisääntymiseen vaikuttaville hormonihäiriköille tyypillisesti pienentänyt eläimen peräaukon ja sukuelinten välimatkaa (EFSA 2011). Lisääntymiseen liittyville hormonihäiriövaikutuksille EFSA raportoi jyrsijäkokeista seuraavat LOEL-

arvot eli pienimmät vaikuttavat annokset: BDE-99, 60 µg/kg rp; BDE-47, 140 µg/kg rp; BDE-209, ei vaikutusta annoksella 500 mg/kg rp/vrk. Kilpirauhashormonijärjestelmän häiriöille LOEL-arvot olivat: BDE-99, 300 µg/kg rp kerta-annos; BDE-47, 2 µg/kg rp; BDE-209, 320 mg/kg rp (EFSA 2011).

Kaikki tutkitut PBDE-yhdisteet aiheuttivat pitkäkestoisia käytöksenmuutoksia koe-eläimillä sekä vaikuttivat kognitioon ja liikkumiseen liittyviin keskushermoston alueisiin. Vaikutusmekanismi perustuu siihen, että eri PBDE-kongeneerit häiritsevät neuronien ja synapsien kehittymiseen liittyvien proteiinien ilmentymistä, ja siten ne saattavat häiritä aivojen kehityksen oleellisia prosesseja. Korrelaatiota käytöksen ja biokemiallisten muutosten välillä ei kuitenkaan voitu selvittää EFSA:n käytössä olevien aineistojen perusteella. Joissakin tutkimuksissa on viitteitä myös siitä, että PBDE:t voisivat olla immunotoksisia (EFSA 2011). PBDE:t eivät ole genotoksisia eivätkä aiheuta geenimutaatioita, mutta ne voivat vaurioittaa DNA:ta muodostamiensa happiradikaalien vaikutuksesta (EFSA 2011).

BDE-209:n puoliintumisaika ihmisessä on 1–2 viikkoa. Muut BDE-kongeneerit poistuvat elimistöstä hyvin hitaasti, ja niiden puoliintumisaika ihmisessä on 469–4 530 vrk. Useimpien PBDE-yhdisteiden eliminaationopeus on rotalla lyhyempi kuin ihmisellä. EFSA (2011) käytti riskinarvioinnissaan kehon kokonaiskuormitukseen (body burden) perustuvaa menetelmää, jota kuvataan tarkemmin Liitteessä 3. Kehon kokonaiskuormitus menetelmää käytettäessä aineen toksikokineettiset eroavaisuudet koe-eläimen ja ihmisen välillä (tekijä 4) ja toksikodynaaminen epävarmuus ihmisyksilöiden välillä (tekijä 3,2) on huomioitu. Koska EFSA (2011) käytti PBDE-yhdisteiden puoliintumisajalle suurinta millekään PBDE-kongeneerille määrättyä arvoa, aineiden toksikokineettiset eroavaisuudet ihmisyksilöiden välillä tulivat huomioiduksi (tekijä 3,2). Näin ollen eläinkokeen ja ihmisille turvallisen annoksen välisen turvakertoimen tekijöistä, jotka ottavat huomioon toksikokineettiset ja toksikodynaamiset erot, useimmat sisältyvät kokonaiskuormitus-menetelmän arvoon. Sen ulkopuolelle jää vain koe-eläimen ja ihmisen välisiä toksikodynaamisia eroja kuvaava kerroin 2,5.

Riski kuluttajalle on siis mitätön, jos altistusmarginaali kehon kokonaiskuormitukseen perustuvaan $BMDL_{10}$ -arvoon on vähintään 2,5.

Tiedon puutteen vuoksi PBDE-yhdisteille ei voitu asettaa terveysperusteista ohjearvoa (EFSA 2011). Yhdisteiden priorisoinnissa on käytetty vertailukohtana kehityksenaikaisen neurotoksisuuden kehon kokonaiskuormitukseen perustuvia $BMDL_{10}$ -arvoja: BDE-47, 232 µg/kg rp/vrk; BDE-99, 9 µg/kg rp/vrk; BDE-153, 62 µg/kg rp/vrk. Lisäksi BDE-209:lle on määritetty annokseen perustuva $BMDL_{10}$ 1700 µg/kg rp/vrk.

PBDE-yhdisteet vaurioittavat kehittyvää keskushermostoa ja häiritsevät hormonitoimintaa. Näiden vaikutusten perusteella ne luokiteltiin ryhmään A-edc.

Dioksiinit, furaanit ja dioksiinin kaltaiset PCB:t

Dioksiinit ja dl-PCB:t ovat ihmisessä hyvin pysyviä, eliminaatioaika jopa vuosia, joten ne voivat kertyä ihmisen elimistöön. Ne ovat hormonihäiriköitä, joiden haittavaikutukset kohdistuvat sekä lisääntymiseen että hermoston ja immuunijärjestelmän toimintaan. Ne lisäävät myös kehityshäiriöiden riskiä.

Dioksiinit ja dl-PCB:t ovat karsinogeenisiä, mutta eivät genotoksisia eivätkä (dioksiinit) mutageenisia. 2,3,7,8-tetrakloori-p-dioksiini (2,3,7,8-TCDD) ja dl-PCB-yhdisteet kuuluvat IARC syöpävaarallisuusluokittelussa ryhmään 1 (van Leeuwen ym. 2000).

EFSA (EFSA 2018) määrittä dioksiineille ja dl-PCB-yhdisteille TWI-arvon 2 pg TEQ/kg r.p./viikko kehon kokonaiskuormitusmenetelmällä. Arvo perustuu tutkimukseen, jossa mitattiin 9-vuotiaiden venäläispoikien veriseerumin PCDD/F-pitoisuudet ja seurattiin heidän spermansa laatua aikuisiällä. Dioksiinien ja dl-PCB-yhdisteiden puoliintumisaikana käytettiin 7,5 vuotta ja oletettiin, että 50 % suun kautta nautitusta määrästä imeytyy. Veriseerumista mitattujen dioksiinien NOAEL sperman laadun heikkenemiselle oli 7,0 pg TEQ / g rasvaa, ja tästä johdettiin TWI. Arvioon liittyy epävarmuutta, muun muassa siksi, että PCB-126:n myrkyllisyyden ihmiselle oletetaan olevan selvästi vähäisempi kuin sen WHO-TEQ-2005 antaa ymmärtää. Tämän vuoksi TWI-arvio pyöristettiin 1,75:stä 2,0:aan (EFSA 2018). Dioksiinit ovat hormonihäiriköitä, joten ne luokiteltiin ryhmään A-edc

Perfluoroalkyloidut aineet (PFOS ja PFOA sekä neljä PFAS-yhdistettä)

PFAS-yhdisteet poistuvat elimistöstä hitaasti: arvioitu puoliintumisaika ihmisen elimistössä on PFOS:ille 5 vuotta ja PFOA:lle 2–4 vuotta (EFSA 2018). Imeytyneet yhdisteet erittyvät virtsan ja ulosteen mukana aineenvaihdunnassa muuttumattomina, mutta ne voivat läpäistä istukan ja erittyä äidinmaitoon.

Jyrsijäkokeissa tärkein kohde-elin oli maksa, johon kumpikin tutkituista aineista aiheutti kasvaimia ja lisäksi kasvatti maksan painoa. Sekä PFOS että PFOA ovat mahdollisia kehityksenaikaisen neurotoksisuuden aiheuttajia ja niillä on vaikutuksia aivojen hermosolujen toimintaa sääteleviin geeneihin (EFSA 2018). Tiineyden aikainen PFOS-altistus muutti myös istukan rakennetta ja vaikutti glukoosin homeostaasiin (0,3 mg/kg rp/vrk). PFOA puolestaan vaikutti urosten sukuelimiin ja sukupuolihormonitasoihin (0,3 mg/kg rp/vrk). Jyrsijöillä on kummankin aineen havaittu häiritsevän myös immuunijärjestelmän toimintaa, herkimmin T-soluista riippuvaa vasta-ainevastetta, ja immunotoksisuuden NOAEL oli 1,66 µg/kg rp/vrk PFOS:lle ja 1 mg/kg rp/vrk PFOA:lle (EFSA 2018).

PFOS ja PFOA eivät ole tehtyjen tutkimusten valossa suoraan genotoksisia, mutta epäsuoraa genotoksisuutta esimerkiksi oksidatiivisen stressin välityksellä ei voi sulkea pois (EFSA 2018). IARC on luokitellut PFOA:n ryhmään 2B karsinogeeniksi.

EFSA (2018) määrittä epidemiologisten tutkimusten avulla PFOS:lle TWI-arvoksi 13 ng/kg rp/viikko ja PFOA:lle 6 ng/kg rp/viikko. PFOS:n kriittinen terveysvaikutus, jonka perusteella TWI määritettiin, oli seerumin kokonaiskolesterolin nousu aikuisilla sekä lasten immuunivasteen heikkeneminen (rokotukseen liittyvän vasta-ainevasteen väheneminen), ja PFOA:n kriittinen terveysvaikutus oli seerumin kokonaiskolesterolin nousu. Epidemiologiset tutkimukset eivät olleet riittäviä osoittamaan syy-seuraussuhteita neurotoksisuuden, kasvun, murrosiän alun tai siemennesteen laadun ja PFAS-altistuksen välillä (EFSA 2018).

Uudemmassa arviossaan EFSA totesi, että yhteys PFAS-altistuksen ja kolesterolipitoisuuksien kasvun välillä ei välttämättä ole suora. Sen sijaan yhteys immuunivasteeseen on merkittävä tekijä. EFSA (EFSA 2020) asetti neljän PFAS-yhdisteen, PFOA, PFNA, PFHxS ja PFOS, yhteissaannille TWI-arvon 4,4 ng/kg rp/viikko ihmisillä havaitun immunotoksisuuden perusteella. Immunotoksisuuden indikaattorina oli jäykkäkouristus- ja kurkkumätärökotteista syntyvien vasta-aineiden (verrokkiryhmää pienempi) määrä kahdessa lapsiaineistossa. Toisessa tutkimuksessa, joka koski saksalaisia pääosin rintaruokinnassa olleita 1-vuotiaita ja näiden seerumin PFAS-määriä, tarkasteltiin edellä mainittujen rokotteiden vasta-aineiden lisäksi *Haemophilus influenzae* tyyppi b -vasta-aineita. EFSA:n raportissa todettiin, ettei evidenssi riitä osoittamaan yhteyttä sikiöaikaisen tai syntymän jälkeisen PFAS-altistuksen ja hormonitoiminnan häiriöiden välillä.

PFOS ja PFOA häiritsivät eläinkokeissa hormonitoimintaa, mutta ihmisillä vastaavaa vaikutusta ei ole toistaiseksi kyetty osoittamaan (EFSA 2020). Koska TWI-arvon perustana ovat immuunijärjestelmän

häiriöt ja plasman kolesterolipitoisuuden nousu eivät ole hormonitoiminnan häiriöistä johtuvia tekijöitä, PFOS ja PFOA samoin kuin neljän PFAS-yhdisteen summa luokiteltiin ryhmään B.

Perkloraatti

Perkloraatti imeytyy tehokkaasti ruoansulatuselimistöä, mutta se erittyy melko nopeasti muuntumattomana virtsaan ja mahdollisesti äidinmaitoon. Ihmisellä puoliintumisaika on keskimäärin 7,5 tuntia (EFSA 2014)

Ihmisillä ja jyrksijöillä perkloraatti inhiboi kilpirauhasen jodin ottoa. Jodi on välttämätön alkuaine kilpirauhashormonin muodostumiselle, ja siten perkloraatti voi häiritä kilpirauhashormonin muodostumista ja aiheuttaa kilpirauhasen vajaatoimintaa (EFSA 2014). Lievä jodinpuute voi johtaa kilpirauhasen liikatoimintaan. Ihmisen kilpirauhashormonin kierto on hitaampi kuin rotilla, ja ihmisellä on myös suurempi jodiodun tyroglobuliinin varanto, joten ihminen voi kompensoida alentunutta kilpirauhashormonin tuotantoa paremmin kuin rotta (EFSA 2014). EFSA:n mukaan vasta pitkäaikainen kilpirauhashormonin saannin 50 % alenema aiheuttaa kilpirauhasen toimintaan akuutteja tai pitkäaikaisvaikutuksia ja saattaa johtaa struumaan ja kilpirauhasen liikatoimintaan.

Perkloraatin haitallisille vaikutuksille ovat herkimpänä sikiöt, vastasyntyneet ja imeväiset sekä ihmiset, joilla jodin saanti on vähäistä tai joilla on perinnöllinen alttius kilpirauhasen vajaatoimintaan (EFSA 2014).

EFSA määrittä perkloraatin kilpirauhasen toimintaan liittyville haittavaikutuksille BMDL₀₅-tason 0.0012 mg/kg/vrk. Eri ihmisyksilöiden toksikokinetiikan eroja kuvaavana turvakertoimenä oli 4, joten perkloraatin TDI-arvoksi määritettiin 0,3 µg/kg/vrk (EFSA 2014).

Perkloraatti luokiteltiin ryhmään B, koska se häiritsee kilpirauhasen toimintaa eli vaurioittaa tärkeää elintä.

L1.5 Prosessissa syntyvät vierasaineet

Akryyliamidi

Akryyliamidin tiedetään imeytyvän tehokkaasti ruoansulatuskanavasta, ja levittäytyvän kudoksiin. Akryyliamidi voi myös läpäistä istukan, joten se saattaa olla sikiölle erityisen haitallinen (EFSA 2015). Akryyliamidi metaboloidaan joko glutationikonjugaatiolla, tai CYP2E1 entsyymien toimesta glysidamidiksi (EFSA 2015).

Glysidamidissa on reaktiivinen epoksidirakenne, joka muodostaa addukteja DNA:n kanssa sekä kovalenttisiä sidoksia funktionaalisten proteiinien kanssa. Hemoglobiinin glysidamidiaddukteja sekä akryyliamidiaddukteja on havaittu akryyliamidin annostelun jälkeen (EFSA 2015). Akryyliamidin neurotoksisten efektien katsotaan aiheutuvan additioreaktioista etenkin entsyymien kysteiinien tiolaattiryhmien kanssa, tai muiden funktionaalisten proteiinien kanssa. Akryyliamidi itsessään on mahdollisesti genotoksinen (reagoi nukleinihappojen kanssa). Akryyliamidi aiheuttaa reaktiivisten happiyhdisteiden vapautumista, mikä johtaa epäsuorasti DNA:n hapettumiseen (EFSA 2015).

EFSA (2015) on arvioinut akryyliamidin turvallisena pidettäväksi altistusmarginaaliksi (MoE) 10 000. EFSA:n kokoamien ruoankäyttötietojen mukaan tämä raja alittuu kaikissa ikäryhmissä, mikä katsotaan terveysriskiksi neoplastisten muutosten näkökulmasta. BMDL₁₀-rajaksi määritettiin 0,17 mg/kg rp/vrk, mikä perustuu hiirikokeissa havaittuihin neoplastisiin muutoksiin. Ei-neoplastisten muutosten BMDL₁₀-rajaksi määritettiin 0,43 mg/kg rp/vrk perustuen rotilla havaittuun perifeerisen

hermoston rappeumamuutoksiin. Ei-neoplastisten muutosten katsottiin johtuvan akryyliamidista, eikä glysidamidista. FAO/WHO:n mukaan ruuasta saatavat määrät eivät riitä aiheuttamaan ei-neoplastisia muutoksia (EFSA 2015).

EFSA:n (2015) mukaan akryyliamidi sekä glysidamidi ovat voimakkaita klastogeneenejä, mutta vain glysidamidi on lisäksi vahva mutageeni. Akryyliamidin klastogeenisyys liittyy sen kykyyn inhiboida entsyymejä (kinesiini), jotka liittyvät oleellisesti mikrotubulusten kokoamiseen ja purkamiseen. Akryyliamidin katsotaan olevan lievästi mutageeninen.

Rotille akryyliamidin LD₅₀ - arvo on 150 mg/kg rp, ja hiirille 107 mg/kg rp. Kummallakin lajilla on havaittu akryyliamidin kroonisen annostelun aiheuttavan hermotoksisuutta, sekä hematopoeettisten solujen lukumäärän kasvua haimassa. Lisäksi hiirillä havaittiin muun muassa spermatoosytien epiteelien rappeutumista, keuhkojen epiteelien liikakasvua ja harmaakaihia. Tioliryhmien alkylaatio siittiöiden alikehittyneissä protamiineissa voi olla mahdollinen mekanismi siittiöiden laadun heikkenemisessä (EFSA 2015, Khoshidian ym. 2020). T-solujen erikoistumisen havaittiin vähenevän 4 mg/kg/ rp/ vrk annoksella, mikä puoltaa akryyliamidin roolia immuunipuolustuksen heikkenemisessä. Rotilla havaittiin lihasten ja kivesten surkastumista, verkkokalvon rappeumaa, hepatosyyttien rappeumaa sekä maksan nekroosia. Sukupuolihormonien eritykseen liittyvät muutokset olivat liian epä johdonmukaisia, että johtopäätöksiä olisi voitu tehdä (EFSA 2015).

Khoshidian ym. (2020) kartoittivat akryyliamidin terveystarpeita katsausartikkelissa, johon koottujen tutkimusten mukaan akryyliamidi mahdollisesti inhiboi neurotransmissiota, sekä inhiboi glutationi S-tranferaasia ja pienentää glutationipitoisuuksia.

Epidemiologisissa ihmistutkimuksissa korrelaatio syöpien ilmaantuvuuden kanssa on epä johdonmukainen, mutta koska akryyliamidin katsotaan olevan karsinogeeninen, sen riskinarviointi on yhteiskunnallisesti merkittävää.

IARC on luokitellut akryyliamidin "mahdollisesti karsinogeeniseksi ihmiselle" vuonna 1994. Siksi akryyliamidi luokiteltiin tässä työssä ryhmään A.

Eisenbrand (2020) argumentoi, että kokonaisevidenssi viittaa jyrksijöillä havaittujen neoplastisten muutosten mekanismin olevan ei-genotoksinen ja ei-mutageeninen. Mikäli tämä pitää paikkansa, akryyliamidin prioriteetti olisi tässä työssä arvioitua pienempi (deoksinivalenolin yläpuolella ryhmässä B).

Etylikarbamaatti

Etylikarbamaatti voi metaboloitua sekä esteraasien katalysoimalla hydrolyysilla, tai CYP2E1- entsyymien hydroksylaatiolla ja lopulta hapettumisella. CYP2E1- entsyymi katalysoi hydroksylaatioreaktioita, joissa yksi välituotteista on vinylikarbamaatti. Vinylikarbamaatti hapetetaan vinylikarbamaattiepoksidiksi, joka lopulta eliminoidaan glutationikonjugaatiolla hiilidioksidiksi ja ureaksi. EFSA:n raportin mukaan hiirillä etylikarbamaatista 90 % metaboloituu hiilidioksidiksi ja ureaksi 6 tunnin aikana.

Etylikarbamaatin metaboliatuotteen, vinylikarbamaattiepoksidin, katsotaan olevan etylikarbamaatin karsinogeenisuuden taustalla (EFSA 2008). Epoksidirakenteet ovat elektrofiilisiä, ja reagoivat muun muassa proteiinien, RNA:n ja DNA:n kanssa muodostaen DNA-addukteja. EFSA:n (2008) kokoamien tutkimusten mukaan hiirillä korkeimmillaan 9 mg/kg rp/vrk annokset etylikarbamaattia johtivat annosriippuvaisiin neoplastisiin muutoksiin useissa eri elimissä, kuten

keuhkoissa, maksassa, Harderin rauhasissa ja maitorauhasissa. Keuhkoissa ja Harderin rauhasissa syntyneet neoplastiset muutokset tulivat esiin jo pienimmällä annoksella (1 mg/kg rp/vrk). Ei-neoplastisia annosriippuvaisia muutoksia on havaittu sydämessä, keuhkoissa, veressä ja maksassa.

Karsinogeenisyyden lisäksi vinyylikarbamaatti sekä etyylikarbamaatti aiheuttavat mutageenisia muutoksia hiirillä, joskin EFSA (2008) toteaa tutkimusten puoltavan sitä, että vinyylikarbamaatti aiheuttaa muutoksia pienemmillä pitoisuuksilla kuin etyylikarbamaatti. Ghanayamin ym. (2007) mukaan CYP2E1-entsyymien puutos hiirillä johtaa pienempään toksisuuteen etyylikarbamaattia annosteltaessa, mikä puoltaa CYP2E1-entsyymien tuotteiden, eli vinyylikarbamaatin ja/tai vinyylikarbamaattiepoksidin, roolia toksisuudessa. Muutokset olivat muun muassa maksan hemangioomia, hemangiosarkoomia sekä keuhkojen adenoomia. Molekyylibiologisten tutkimusten mukaan vinyylikarbamaattiepoksidi aiheuttaa muutoksia Ki-Ras-geenissä (Ichikawa ym. 1996). Ghanayam ym. (2007) katsausartikkelissaan puoltaa etyylikarbamaatin aiheuttavan mutaatioita myös p53-geenissä, minkä muutosten tiedetään selittävän 50% syöpien ilmaantuvuudesta.

TDI-arvoa ei voida karsinogeenisyyden vuoksi määrittää, mutta riskinarvioinnissa käytetään sen sijaan altistusmarginaalia (MoE). EFSA (2008) määrittelee mitättömään terveysriskiin liittyväksi arvoksi 10 000. Alkoholijuomia käyttämättömille etyylikarbamaatti on EFSA:n mielipiteen mukaan mitätön terveysriski (MoE 20 000), mutta alkoholijuomia käyttävillä etyylikarbamaatin katsotaan aiheuttavan terveysriskin (MoE 3 800).

IARC (2007) on luokitellut etyylikarbamaatin mahdollisesti karsinogeeniseksi ihmiselle, eli luokkaan 2A. Vielä vuonna 2018 Gowd tutkimusryhmineen (Gowd ym. 2018) johtopäätöksessään toteavat, että yleisiä säännöksiä etyylikarbamaatin pitoisuuksiin elintarvikkeissa tai alkoholijuomissa ei ole annettu, vaikka tieto etyylikarbamaatin roolista syövän syntyprosessissa on laaja ja varteenotettava. Mahdollisen karsinogeenisyyden vuoksi etyylikarbamaatti luokiteltiin ryhmään A.

Furaani sekä 2-, 3-metyylifuraanit

Noin 80 % furaanista imeytyy ruuansulatuskanavasta. Furaanin haitallisuuden taustalla lienee sen aktiivinen metaboliitti, eli BDA. Furaani metaboloituu BDA:ksi CYP2E1 entsyymien avulla nopeasti. BDA kykenee muodostamaan kovalenttisiä sidoksia nukleofiilisten molekyylien kanssa, kuten aminohappojen, proteiinien sekä DNA:n kanssa. Haitallisuuden uskotaan perustuvan tähän mekanismiin, mutta varmaa tietoa ei ole julkaistu. Furaanin metaboliitin, BDA:n, on havaittu olevan suorasti mutageeninen *S. Typhimurium* bakteerilajissa.

Ei-neoplastisten muutosten BMDL₁₀-arvoksi valittiin furaanille 0,064 mg/kg rp/vrk, mikä perustuu rotilla havaittuun kolangiofibroosiin. Neoplastisten muutosten BMDL₁₀-arvoksi valittiin 1,31 mg/kg rp/vrk, mikä perustuu naarashiirillä havaittuihin neoplastisiin muutoksiin (maksasolusyöpä).

Hiirillä havaittiin maksasolusyöpää erilaisilla furaanin kroonisilla annosteluilla (alin ilmaantuvuus 8 mg/kg uroshiirillä), mutta rotilla vasta annoksella 30 mg/kg. Tämä puoltaa sitä, että hiiret ovat herkempiä furaanin haitallisille vaikutuksille. Kolangiofibroosia havaittiin rotilla 0,2 mg/kg rp/vrk annoksella 2 vuoden aikana, ja kolmen kuukauden 0,12 mg/kg rp/vrk annoksella havaittiin muutoksia kilpirauhashormonissa (T4 ja T3). EFSA (2017) toteaa, että muutokset kilpirauhashormoneissa saattavat liittyä furaanin maksatoksisuuteen. Rotilla 2 mg/kg rp/vrk annoksen furaania huomattiin aiheuttavan muutoksia siittiöiden laadussa. Nisäkkäillä on havaittu *in vitro* genotoksisuutta furaanin aiheuttamana. EFSA (2017) toteaa, että lisää tutkimuksia furaanin *in vivo* vaikutuksista tarvitaan vahvistamaan sen mahdollinen karsinogeenisyys ihmisillä.

TDI-arvon sijaan furaanille on määritetty altistusmarginaali, eli MoE-arvo. Yli 10 000 katsottiin olevan vain mitätön terveysriski. Altistusmarginaalit alittuivat useissa ruoankäyttökyselyissä (MoE alle 100) ei-neoplastisten muutosten mukaan laskettuna, etenkin lapsilla sekä vanhuksilla.

Metyylifuraanista ei ole tarpeeksi tutkimuksia, jotta $BMDL_{10}$ -arvoa voitaisiin määrittää, mutta metyyllifuraanin uskotaan olevan yhtä haitallinen kuin furaanin. Jyrsijöillä metyyllifuraanit aiheuttivat toksisia muutoksia keuhkoissa, maksassa sekä munuaisissa.

EFSA:n (2017) mukaan tuloksia furaanin aiheuttamista epäsuorista karsinogeenisistä mekanismeista, kuten epigeneettisistä muutoksista sekä DNA:n oksidatiivisesta stressistä on tarpeeksi, mutta furaanin suorasta genotoksisuudesta *in vitro* on raportoitu toistaiseksi epäjohdonmukaisia tuloksia. Furaanin katsotaan vaurioittavan DNA:ta epäsuorasti oksidatiivisen stressin kautta. BDA sitoutuu histoneihin, mikä todennäköisimmin liittyy ei-toivottuihin epigeneettisiin muutoksiin. Tätä on tutkittu jyrsijöillä 2 mg/kg rp/vrk annoksilla.

EFSA (2017) toteaa, että BDA:n ja furaanin haitalliset vaikutukset ovat haitallisia muutoksia etenkin maksan soluissa ja kudoksessa, mitokondrioiden haitallisia vaikutuksia sekä fibroosia. EFSA (2017) ei kuitenkaan kirjannut johtopäätöstä, että kromosomaaliset muutokset olisivat suoria tai epäsuoria johtuen monesta potentiaalisesta mekanismista.

IARC (1995) on luokitellut furaanin mahdollisesti karsinogeeniseksi ihmiselle (luokka 2B). EFSA (2017) toteaa, että maksasolusyövän ilmaantuvuus furaania annosteltaessa katsotaan terveysriskiksi, ja nykyisillä saantimäärillä karsinoomien ilmaantuvuusriski on olemassa. Tämän vuoksi furaani ja metyyllifuraanit luokiteltiin ryhmään A.

3-MCPD, 2-MCPD ja niiden esterit

3-MCPD ja sen dipalmitaattirasvahappoesterit imeytyvät nopeasti ruoansulatuskanavasta, mutta se metaboloituu nopeasti, ja vain noin 5 % erittyy (virtsaan tai ulosteisiin) alkuperäisessä muodossaan. Valtaosa imeytyneestä 3-MCPD:stä poistuu seerumista jo muutamassa tunnissa altistuksesta (EFSA 2016). 2-MCPD:n toksisista vaikutuksista ei ole kylliksi tietoa arvion tekemiseen, ja 3-MCPD:n esterien osalta toksisuus perustuu niistä irtoavaan 3-MCPD:een.

Rottakokeissa 3-MCPD vaurioitti munuaisia sekä lyhytaikaisen altistuksen seurauksena että pitkäkestoisesti altistuttaessa. Pitkän aikavälin altistus aiheutti jo 2 mg/kg rp/vrk annoksella etenevää munuaistoksisuutta (merkinä munuaistiehyissä ilmenevä liikakasvu) molemmilla sukupuolilla ja koirilla lisäksi kivenesten surkastumaa ja rintarauhasen liikakasvua. Vaurioiden vuoksi eläimillä ilmeni myös hyvänlaatuisia kasvaimia kiveksissä, rintarauhasissa ja munuaisissa, mutta EFSA ei pitänyt todennäköisenä, että ihmisellä ilmenisi vastaavia oireita, eivätkä 3-MCPD tai sen rasvahappoesterit ole genotoksisia *in vivo* (EFSA 2016). Hiirillä lyhytaikainen altistus aiheutti neurotoksisuuden oireita kuten takaraajahalvauksen, mutta vasta yli 50 mg/kg rp annoksilla. (EFSA 2016).

Rotilla 3-MCPD-annos 5–10 mg/kg rp/vrk voi vähentää hedelmällisyyttä merkittävästi, vaikka spermantuotannossa ei tapahdu muutoksia; vastaava vaikutus on havaittu kädellisilläkin, mutta se on palautuva. Naarasrotilla 3-MCPD-altistus vähensi kohtuun kiinnittyvien sikiöiden määrää tai lisäsi luomista, mutta EFSA ei arvioinut ainetta teratogeeniseksi ja määrittäi emoon kohdistuvien vaikutusten NOAEL-arvoksi 10 mg/kg rp/vrk ja sikiöön kohdistuville vaikutuksille kolminkertaisen arvon (EFSA 2016).

EFSA arvioi oleellisimmiksi terveysvaikutuksiksi munuaistoksisuuden ja kivesvauriot, ja eläinkokeiden perusteella 3-MCPD:lle asetettiin TDI 0,8 µg/kg rp/vrk pitkäkestoisen rottakokeen munuaistoksisuuden BMDL₁₀-arvosta käyttäen turvakerrointa 100 (EFSA 2016).

Koska 3-MCPD ei ole genotoksinen, mutta vaurioittaa munuaisia, se luokiteltiin ryhmään B.

Glysidoli

Appel ym. (2013) totesi glysidolin vapautuvan ruuansulatuskanavassa glysidyyliesteistä. EFSA kirjoittaa vuonna 2016, että glysidolin mahdollista vaikutusta kolesterolisynteesiin ei ole vielä todistettu, mutta *in vitro* Liu ym. (2019) esittävät glysidolin vaikuttavan kolesterolitasoihin muokkaamalla kolesterolitasapainoon liittyvien entsyymien aktiivisuutta. Glysidolin todettiin lisäävän HMGCR:n aktiivisuutta, sekä vähentävän 7α-hydroksylaasin aktiivisuutta. HMGCR on entsyymi, joka ottaa osaa kolesterolisynteesiin. 7α-hydroksylaasi on myös kolesterolitasapainoon liittyvä entsyymi, joka edistää kolesterolin erittämistä sappihappoihin. EFSA:n mukaan noin 87–93% vapaasta glysidolista imeytyy ruuansulatuskanavasta. Glysidoli metaboloituu glutathionin kautta merkaptorihapoksi, ja sitä kautta se eritetään virtsaan tai ulosteisiin. Pieni osa saattaa metaboloitua glyseroliksi, joka ihmisellä metaboloituu normaalissa energia-aineenvaihdunnassa hiilidioksidiksi.

EFSA:n kokoamien *in vivo*-tutkimusten mukaan glysidoli aiheuttaa hiirillä ja rotilla useita neoplastisia muutoksia eri elimissä.

Glysidoli (25 mg/kg rp/vrk) annoksella alentaa siittiöiden määrää rotilla 36 %, mutta löydöksen epäiltiin liittyvän glysidolin muuttumiseen 3-MCPD:ksi mahassa. Myös hiirillä havaittiin samankaltaisia muutoksia annoksilla 75 mg/kg rp/päivä, mikä johti 44 % laskuun siittiöiden määrässä. Lisäksi siittiöiden liikkuvuudessa havaittiin muutoksia.

Glysidoli oli emohiirille toksinen, mutta jälkeläisissä ei havaittu epänormaaleja muutoksia tai kasvaimia. Toisaalta rottaemojen altistuminen glysidolille (49 mg/kg rp) aiheutti neurotoksisuutta jälkeläisille raskauden ja imetyksen aikana. Annoksilla 150 tai 300 mg/kg rp 16 päivän ajan hiirien aivojen neuroneissa huomattiin demyelinaatiota, sekä näiden lisäksi uroshiirillä munuaisten epiteelisolujen rappeutumista. Rotilla vastaavat annokset aiheuttivat kivesten surkastumista, lisäkivesten tukikudoksen (strooman) rappeumaa, sekä ödeemaa. Rotilla subkrooninen päivittäinen altistus (91 päivää) johtaa aivosolujen hallitsemattomaan solukuolemaan suurilla annoksilla (400 mg/kg rp).

Glysidolille ei ole annettu TDI-arvoa, sillä sen katsotaan olevan karsinogeeninen ja genotoksinen. Glysidolin riskin arvioimisessa käytetään altistusmarginaalia eli MoE-arvoa, jonka tulisi olla alle 25 000. EFSA:n lausunnon mukaan pitkäaikaisesta altistuksesta sekä annosriippuvaisesta karsinogeenisyydestä tarvitaan lisää tutkimuksia. EFSA ei määrittänyt glysidolille BMD-arvoa puutteellisten annosvastetietojen vuoksi, vaan vertailuarvona käytettiin sen sijaan T25-arvoa 10,2 mg/kg rp/vrk. Tämä arvo perustuu rottien vatsakalvoissa havaittuihin neoplastisiin muutoksiin.

Epoksidirakenteen happi on voimakkaasti reaktiivinen, joten sen voi olettaa olevan haitallinen ihmiselle. International Agency of Research of Cancer (IARC) luokittelee glysidolin luokkaan 2A, eli todennäköisesti karsinogeeniseksi ihmiselle. Glysidoli voidaan luokitella karsinogeenisyyden lisäksi genotoksiseksi, sillä EFSA:n lausunnon (2016) mukaan *in vivo*- sekä *in vitro*-tutkimukset tukevat väitettä. Glysidolin epoksidirakenne elektrofiilisyytensä vuoksi voi sitoutua muun muassa nukleofiilisiin hemoglobiiniin sekä DNA:han, ja näiden mekanismien oletetaan olevan genotoksisuuden ja karsinogeenisyyden taustalla. Glysidoli luokiteltiin siksi tässä työssä ryhmään A.

Melamiini

Melamiini imeytyy ja erittyy nopeasti eikä juuri metaboloidu elimistössä. Rotalla ja apinalla puoliintumisaika elimistössä on 4–5 tunnin luokkaa (EFSA 2010).

Melamiini ei itsessään ole myrkyllistä, mutta se muodostaa komplekseja elimistön luontaisen virtsahapon tai muiden yhdisteiden kanssa, ja syntyvät kiteet vaurioittavat munuaisia (EFSA 2010). Kiteiden muodostuminen riippuu happamuudesta, ja todennäköisimmin sitä tapahtuu pH:n ollessa 5,5. Koska ihmisillä erittyy virtsaan enemmän virtsahappoa kuin rotilla ja ihmisen virtsa on tyypillisesti rottien virtsaa happamampaa, ihmiset voivat olla rottaa herkempiä haittavaikutuksille.

Saksan BfR:n katsauksessa (BfR 2020) viitataan tutkimuksiin, joiden mukaan eläinkokeissa on havaittu yhteys suuren melamiinialtistuksen ja virtsarakkosyöpien esiintyvyyden välillä. Karsinogeenisyyden mekanismina on kuitenkin kaikesta päätellen jatkuvasta kiteiden aiheuttamasta ärsytyksestä aiheutunut tulehdusreaktio, sillä muusta syystä kuin melamiinialtistuksesta kehittyneiden virtsakivien on myös havaittu altistavan virtsateiden syöville. Samassa katsauksessa todettiin, että koska melamiini kykenee kulkeutumaan kiveksiin, se altistaa ainakin koe-eläimet lisääntymisterveyteen liittyville haittavaikutuksille, kuten sperman laadun heikkenemiselle ja kivesten vaurioitumiselle. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole selvää, voivatko havaitut vaikutukset aiheuttaa hedelmällisyyden vähenemistä, joten melamiinin vaikutuksesta lisääntymisterveyteen tarvittaisiin lisää tietoa.

EFSA määrittä melamiinille TDI-arvoksi 0,2 mg/kg rp/vrk (EFSA 2010). Arvo perustuu rottakokeessa määritettyyn virtsarakon kiteiden BMDL₁₀-arvoon ja turvakertoimeen 100. TDI-arvon riittävyttä ihmisten suojelemiseksi tukee se, että ihmisillä havaitun munuais kivien ilmenemisriskin BMDL₁₀-annokseksi määritettiin 0,74 mg/kg rp/vrk. (EFSA 2010) Edellä mainitussa BfR:n katsauksessa arvioitiin EFSA:n määrittämä raja-arvo riittäväksi nykytietojen valossa.

Melamiini luokiteltiin ryhmään B, sillä altistus johtaa munuaisvaurioon.

PAH-yhdisteet

Koska PAH-yhdisteitä on tuhansia erilaisia, on tarpeen kategorisoida ne karsinogeenisyyden mukaan. Viisitoista yhdistettä on todettu genotoksisiksi ja karsinogeenisiksi.

PAH-kategorioissa huomioidaan joko kaksi PAH-yhdistettä (PAH2: bentso(a)pyreeni ja kryseeni), neljä PAH-yhdistettä (PAH4: PAH2 + bentso(a)antraseeni + bentso(b)fluoranteeni) tai kahdeksan PAH-yhdistettä (PAH8: PAH4 + bentso(k)fluoranteeni + bentso(ghi)peryleeni + dibentso(a,h)antraseeni + indeno(1,2,3-cd)pyreeni). Edellä mainituista yhdisteistä katsotaan olevan riittävästi tietoa niiden karsinogeenisuudesta elintarvikkeiden välityksellä (EFSA 2008).

PAH-yhdisteiden imeytyminen ruuasta riippuu yhdisteen lipofiilisyydestä ja koosta, sappihappojen määrästä suolessa sekä rasvan ja PAH-yhdisteiden määrästä ruuassa (EFSA 2008). Rottakokein on havaittu, että bentso(a)pyreenin imeytyminen on 35–99 % luokkaa. Pienimolekyyliset PAH:it (3–4 aromaattista rengasta), imeytyvät tehokkaammin nisäkkäillä kuin suuremmat molekyylit (EFSA 2008). Imeytymisen jälkeen PAH:it levittäytyvät laajasti eri kudoksiin, ja niitä löydetään eniten rasvakudoksesta ja suolistosta (EFSA 2008). Saundersin ym. (2002) mukaan PAH-yhdisteitä sekä niiden metaboliitteja on havaittu rottien aivoista yksittäisten annosten jälkeen (12,5–100 mg/kg). EFSA:n (2008) mukaan tämä puoltaa sitä, että PAH-yhdisteet voivat läpäistä veri-aivoesteen. PAH-yhdisteitä on myös havaittu jyrksijoiden jälkeläisillä, mikä viittaa sen kykyyn läpäistä istukka (EFSA 2008).

PAH:it metaboloituvat CYP-entsyymien toimesta vastaaviksi epoksidirakenteiksi, ja mikrosomaalisten epoksidihydrolaasien toimesta trans-dihydrodioleiksi, jotka vielä muunnetaan dihydrodioliepoksideiksi (dioliepoksideiksi). Dioliepoksidiin uskotaan olevan genotoksisuuden takana, sillä epoksidirakenteet voivat reagoida solujen nukleofiilisten komponenttien kanssa kovalenttisesti (proteiinit ja DNA). PAH:it voivat metaboloitua myös luovuttamalla elektronin, mutta riippuu PAH-yhdisteen rakenteesta ja ionisaatioenergiasta kumpaa reittiä se käyttää (EFSA 2008). Lisäksi tiedetään, että orto-kinoni-metaboliareitin kautta metaboloituu osa PAH-yhdisteistä. Muitakin vaihtoehtoisia reittejä on ehdotettu PAH-yhdisteiden metaboliolle, mutta niiden tärkeydestä ei ole varmuutta (IARC 2010, EFSA 2008).

Geneettisillä eroilla PAH-yhdisteiden metaboliaan osallistuvissa entsyymeissä voi olla vaikutusta siihen, miten karsinogeeninen PAH-yhdiste yksilölle on (EFSA 2008, IARC 2010). Geenien polymorfismit voivat ilmetä promootorialueella, introneissa ja eksoneissa ja lopputulos vaikuttaa syntyvän entsyymin aktiivisuuteen ja stabiilisuuteen, ja sitä kautta PAH-yhdisteiden metaboliaan (IARC 2010). PAH:iien dioliepoksidiit muodostavat DNA-addukteja erityisesti keuhkoissa ihmisen p53-geenissä, mikä tunnetaan syöväntäjägeeninä. Erilaiset PAH-yhdisteet sitoutuvat eri kohtiin DNA:ssa, mikä vaikuttaa siihen, minkälaisia kasvaimia ne aiheuttavat. Mutaatiot Ras-geenien kodoneissa 12, 13 ja 61 ovat yleisiä PAH-yhdisteiden aiheuttamia mutaatioita (IARC 2010).

CYP-entsyymien substraattina toimimisen lisäksi PAH-yhdisteet voivat aktivoida AhR- reseptorin geenejä. AhR lisää CYP-entsyymien geenien aktiivisuutta. Koska useat CYP-entsyymit (CYPIA1, CYPIA2, CYP1B1) toimivat osana ensimmäisen vaiheen PAH-yhdisteiden metaboliaa, voidaan katsoa polygeenisten erojen ihmisten välillä olevan olennainen osa riskinarviointia. Toisen vaiheen metaboliasta ovat vastuussa glukuronihappo, glutationi sekä sulfaatti (PAPS), joiden kanssa PAH-yhdisteiden epoksidiit, diolit, fenolit, kinonit ja tetrolit muodostavat konjugaatteja. Toisen vaiheen entsyymit muuntavat PAH-epoksidiit ja -dioleja vesiliukoisempaan muotoon, jolloin ne eritetään pois. EFSA (2008) ei ole varmistanut tietoa polymorfismien riskin suuruudesta, mutta arvion mukaan ihmisten välisillä eroilla on merkitystä PAH-yhdisteiden haitallisuuteen erityisesti pienillä altistusmäärillä. Toisaalta EFSA ei ole varmistanut tietoa, minkälainen riski polymorfismeilla on.

EFSA (2008) päätti, että TEF-näkökulma ei ole soveltuva PAH:iien riskinarviointiin, sillä tietoa ei ole eri PAH-yhdisteistä tarpeeksi, ja eri PAH-yhdisteet käyttäytyvät elimistössä eri tavalla, eli niillä voi olla erilaiset metaboliareitit ja -mekanismit. Toisaalta koska PAH4-yhdisteiden määrän ja PAH8-yhdisteiden määrän välillä elintarvikkeissa on vain 1% ero, elintarvikkeiden riskinarviointiin riittää PAH4-kategorian tarkastelu (EFSA 2008). Bentso(a)pyreeni on ainoa PAH-yhdiste, joka on luokiteltu karsinogeeniseksi ihmiselle, mutta koska useat muut PAH-yhdisteet ovat mahdollisesti karsinogeenisiä ihmiselle, ja niitä esiintyy elintarvikkeissa, joissa bentso(a)pyreeniä ei välttämättä esiinny, katsottiin järkeväksi tarkastella yleisesti elintarvikkeissa esiintyviä neljää PAH-yhdistettä (PAH4).

BMDL₁₀ -arvoksi EFSA (2008) valitsi 0,34 mg/kg rp/vrk PAH4- kategorialle, mikä perustuu Culpin ym. (1998) hiiritutkimukseen, jossa hiirille annosteltiin kivihiilestä valmistettua sekoitusta ja bentso(a)pyreenin katsottiin aiheuttaneen neoplastisia muutoksia kielessä, ruokatorvessa sekä etumahassa. Hiirillä havaittiin myös muita sarkoomia. Bentso(a)pyreenin BMDL₁₀ -arvoksi on asetettu 0,07 mg/kg rp/vrk.

Bentso(a)pyreeni ja PAH4 ovat karsinogeenisiä ja genotoksisia, joten ne luokiteltiin ryhmään A.

LI.6 Muut haitalliset aineet

Bisfenoli A

BPA aiheutti monta sukupolvea käsittävissä jyrjäykkeissä maksan ja munuaisten painon lisääntymistä ja hiirillä munuaisvaurioita (EFSA 2010). EFSA (EFSA 2015) ei löytänyt riittävää linkkiä BPA-altistuksen ja ihmisellä todettujen kehityshäiriöiden välillä, mutta eläinkokeissa se todettiin suurina annoksina hedelmällisyyteen vaikuttavaksi. Jyrjäykkeillä ja apinoilla altistus tuotti liikakasvua rintarauhasiin. Kahden sukupolven hiirikokeesta määritettiin munuaisten painon lisääntymiselle $BMDL_{10}$ -arvo 8960 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rp, ja tästä ihmiselle vastaavaa annosta kuvaavan kertoimen sekä turvakertoimen 150 avulla EFSA määrittä väliaikaiseksi TDI-arvoksi 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rp/vrk (EFSA 2015).

Tanskan teknillisen yliopiston elintarvikeinstituutti DTU kritisoi EFSA:n arviota riittämättömäksi rintarauhasiin, lisääntymiseen, hermostollisiin käyttäytymisöireisiin, immuuni- ja metaboliajärjestelmiin kohdistuvien vaikutusten todennäköisyyteen liittyvän epävarmuusarvioinnin osalta. DTU:n arvion mukaan 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rp/vrk ei olisi riittävä suojaamaan BPA:n hormonihäiriövaikutuksilta, vaan TDI:n tulisi olla 0,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rp/vrk tai pienempi (DTU 2015).

BPA-altistusta käsiteltiin tässä raportissa sekä EFSA:n määrittämää, munuaisten painonlisäykseen perustuvaa, TDI-arvoa vasten (luokka B) että DTU:n ehdottamaa, hormonihäiriövaikutukseen liittyvää, arvoa vasten (luokka A-edc).

Ftalaatit

Osa ftalaateista luetaan REACH-asetuksessa erittäin huolestuttavien aineiden (SVHC) ryhmään lisääntymiserveyteen kohdistuvien haittavaikutustensa vuoksi, ja siksi myös EFSA:n arvio (EFSA 2019) keskittyi näihin vaikutuksiin.

EFSA määrittä DBP:lle rottakokeesta LOAEL-arvon 2 mg/kg rp/vrk siittiöiden kehityshäiriöiden ja rintarauhasen vaurioiden perusteella. BBP:lle määritettiin NOAEL 50 mg/kg rp/vrk monta sukupolvea käsittävissä rottatutkimuksessa, jossa mitattiin peräaukon ja sukuelinten välimatkan lyhenemistä. DEHP:lle puolestaan määritettiin monen sukupolven rottatutkimuksessa NOAEL 4,8 mg/kg rp/vrk kivesvaurioille. DIDP:n kriittisenä vaikutuksena oli maksavaurio, jonka NOAEL oli 15 mg/kg rp/vrk.

Vuoden 2019 arviossaan EFSA päätyi määrittämään yhteisen väliaikaisen TDI-arvon neljälle ftalaateista eli DEHP, BBP, DBP ja DINP. TDI-arvo on DEHP-ekvivalentteina ilmaistuna 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rp/vrk, ja suhteelliset potenssikertoimet eri aineille ovat: DEHP 1, DBP 5, BBP 0,1 ja DINP 0,3. Kriittisenä terveysvaikutuksena oli sikiön testosteronitason alenema (EFSA 2019). DIDP:lle puolestaan jäi voimaan maksavaurioon perustuva väliaikainen TDI 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rp/vrk, joka määritettiin yllä mainitusta NOAEL-arvosta turvakertoimella (EFSA 2019).

DEHP, BBP, DBP ja DINP luokiteltiin ryhmään A-edc, sillä niiden kriittinen terveysvaikutus kohdistui sikiön hormonitoimintaan.

Mineraaliöljyjen hiilivedyt

Eryteisesti 16–35-hiilliset MOSH-yhdisteet voivat kertyä eri kudoksiin, kuten imusolmukkeisiin, pernaan ja maksaan (EFSA 2012). Helposti hajoavien yhdisteiden puoliintumisaika oli rottakokeissa 1–2,5 vrk, mutta ihmisiin on havaittu kertyvän erityisesti sellaisia MOSH-yhdisteitä, joissa on haaroittuva tai rengasmaainen alkyyliketju. Yli 35 hiiliatomia sisältävien MOSH-yhdisteiden kertyminen elimistöön on vähäistä (EFSA 2012). Koostaan riippumatta MOSH-yhdisteet eivät ole EFSA:n mukaan karsinogeenisiä.

EFSA määrittäi MOSH-yhdisteille mikroskooppisten tulehdusten eli mikrogranuloomien esiintymiseen perustuvaksi NOAEL-arvoksi 19 mg/kg rp/vrk (EFSA 2012). Ihmisillä ei ole havaittu MOSH-yhdisteiden kertymiseen liittyviä tulehdusreaktioita, vaikka ne ovatkin aiheuttaneet mikrogranuloomia. Paljon altistuvilla kuluttajilla tärkeäksi lähteeksi osoittautuneissa viljatuotteissa esiintyvät MOSH, jotka liittyvät muun muassa ruiskutusagenssien käyttöön, ovat tyypillisesti vähemmän haitallisia kuin ruoassa muuten esiintyvät MOSH-yhdisteet. Siksi EFSA arvioi viljatuotteista tulevalle altistukselle erillisen NOAEL-arvon 45 mg/kg rp/vrk (EFSA 2012).

MOAH-yhdisteiden kertyminen elimistöön on vähäistä (EFSA 2012). MOAH-yhdisteistä ennen kaikkea 3–7-renkaiset MOAH, mukaan lukien PAH-yhdisteiden alkyloidut johdokset, ovat mutageenisia. MOAH-yhdisteet saattavat olla myös genotoksisia karsinogeneenejä, ja vähintään kolmirenkaiset vain vähän alkyloituneet yhdisteet muuntuvat reaktiivisiksi genotoksiksi karsinogeneeneiksi P450-entsyymien katalysoimissa reaktioissa (EFSA 2012). MOAH-yhdisteistä koostuville seoksille ei kuitenkaan ole olemassa annos-vastetietoja, joiden perusteella voitaisiin määrittää vertailuarvo altistusmarginaalin laskemiseksi.

Koska MOAH-yhdisteet saattavat olla mutageenisia, karsinogeenisia ja genotoksisia, ne luokiteltiin ryhmään A. MOSH-yhdisteet eivät ole karsinogeenisiä tai vakavia elinvaurioita aiheuttavia, joten ne luokiteltiin ryhmään C.

Liite 2. Luvussa 6 esitetyn vierasaineiden prioriteettilistan taustalla olevat oletukset ja kuvaukset aineistoista

Liitteen 2 taulukoissa yhdisteet on järjestetty terveyshaitan vakavuuden ja riskin suuruuden mukaan, eli Taulukon 13 rivi kerrallaan. Luvussa 7 yhdisteet ovat riskin suuruuden ja terveyshaitan vakavuuden mukaan järjestettyinä. Kahta eri järjestämistapaa käytettiin, sillä riskinhallinnassa voi olla aiheellista tarkastella tilannetta kummastakin näkökulmasta.

Luokittelun perustana olevat altistusarviot koskevat vierasaineelle eniten altistuvaa osaa väestöryhmästä. Altistusmarginaali (MoE, esimerkiksi BMDL / altistus) laskettiin sekä lapsille että aikuisille, ja prioriteettijärjestys määritettiin pienimmän altistusmarginaalin mukaan.

L2.1 Karsinogeeniset ja/tai lisääntymiselle toksiset aineet sekä hormonihäiriköt

Taulukko L1. Vierasaineet, joilla altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on enintään 0,1 eli altistus on merkittävästi suurempaa kuin mitättömään terveysriskiin liittyvä määrä.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Aflatoksiinit (kokonais-aflatoksiinit)	Lapsilla (yli 3-vuotiaat) ja aikuisilla altistus suurempaa kuin 1-vuotiailla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet, koko ruokavalio (1).	Suomessa mitatuista näytteistä Pikalaskentavälineellä laskettu karkea arvio samaa luokkaa kuin EFSA:lla. Kokonaisaflatoksiini-altistusta verrattu aflatoksiini BI:n BMDL ₁₀ -arvoon
Epä-organinen arseeni	Lapsilla altistus noin 2 x suurempaa kuin aikuisilla. Myös aikuisilla syöpäriski matalasta kohtuulliseen. Arvio ei huomioi arseenipitoista kaivovettä juovia, joilla riski suurempi.	Kansallinen riskinarviointi, koko ruokavalio (2, 3).	Kansallisia pitoisuustietoja täydennetty osin kirjallisuustiedoilla. Epäorganisen arseenin osuus kokonaisarseenista arvioitu vakiokertoimilla. Järjestys on sama myös uusimman (EFSA 2021) altistusarvion perusteella.
Aflatoksiini BI (AFBI)	Altistus suurinta 1-vuotiailla, pienintä aikuisilla. Pähkinöiden suurkuluttajat ovat iästä riippumaton riskiryhmä.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet, koko ruokavalio (1). Kansallinen arvio vain pähkinöistä Finravinto 2012 -aineiston P95-kulutuksen (pähkinöitä syöneet ja koko väestö) sekä Suomessa mitattujen pähkinänäytteiden keskiarvoista laskien.	Pähkinöitä paljon syöville MoE on pienempi eli altistus suurempaa. Finravinto2012-aineiston pähkinöitä syöneiden P95-kulutus ja Suomessa mitattujen näytteiden UB-keskiarvo tuottaisivat suhdeluvuksi noin 0,001 kun kaikkien tutkimukseen osallistuneiden P95-pähkinänkulutuksella suhdeluku pelkkien pähkinöiden osalta olisi 0,1. Suuri osa arvioidusta AFBI-altistuksesta pähkinänsyöjillä on peräisin pistaasista.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Akryyliamidi	Lapsilla, etenkin 1-vuotiailla, altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (4).	
Alternaria-toksiinit AOH ja AME	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla. Kasvissyöjät erityinen riskiryhmä, altistus voi olla jopa kaksinkertainen sekasyöjien altistukseen verrattuna (EFSA:n arvio).	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (5).	Puutteita toksikologisessa tiedossa. EFSA:n arvio perustuu TTC-arvoon. Kansallisia pitoisuustietoja ei ole.
Lyijy	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla, ja kehittyvä keskushermosto vaurioituu herkemmin kuin muut elimet, joiden vaurioihin lyijyaltistus on voitu liittää.	Kansallinen riskinarviointi, koko ruokavalio (2, 3).	Kansallisten riskinarviointien mukaisella lyijyaltistuksella aiheutuu vuosittain 570 DALY suuruinen tautitaakka (6).
Etyyli-karbamaatti	Alkoholijuomien (etenkin kivihedelmistä valmistettujen väkevien alkoholien) suurkuluttajat	EU-tason arvio (7)	Ei kansallisia pitoisuustietoja. Arvioon altistuksesta liittyy enemmän epävarmuutta kuin muihin tämän taulukon vierasaineisiin.
Okratoksiini A	Imeväisikäiset, leikki-ikäiset ja OTA sisältävien tuotteiden suurkuluttajat, mm. lakritsin ystävät	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (8).	Mahdollisesti varovainen arvio, sillä toksisuuden mekanismeja ei tunneta kyllin hyvin.
Dioksiinit ja dl-PCB:t	Nuoret pojat ja odottavat äidit. Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (9).	Joidenkin yhdisteiden kuten PCB-126 myrkyllisyyteen liittyy epävarmuutta. Hormonihäirikköjä, vaikutus sperman laatuun aikuisiällä. Rantakokko ym. (10) mittasivat pitoisuuksia suomalaislasten plasmassa, ja tutkituista vain 3 %:lla NOAEL ylittyi, mikä viittaa mahdollisesti arviota (9) pienempään altistukseen.

(1) EFSA 2019 (2) Suomi ym 2015 (3) Suomi ym 2020 (4) EFSA 2015 (5) EFSA 2016
(6) Suomi ym. 2019 (7) EFSA 2007 (8) EFSA 2020 (9) EFSA 2018 (10) Rantakokko ym. 2020

Taulukko L2. Vierasaineet, joilla altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on välillä 0,1 ... 1 eli altistus on suurempaa kuin mitättömään terveystriskiin liittyvä määrä, mutta riski on pienempi kuin edellisen taulukon aineille.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Pyrrrolitsidiini-alkaloidit	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (1)	Ei kansallisia pitoisuustietoja. EFSA:n arvio rajoittui hunajaan, teehen ja ravintolisiin.
Furaani	Aikuisten altistus suurempaa kuin lasten.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (2)	Aikuisilla tärkeä lähde kahvi, pikkulapsilla valmisruoat. Jos myös metyylyfuraanit huomioidaan, altistusmarginaali on <0,1. EFSA arvioi suomalaisten altistuksen vähäisemmäksi kuin keskiverto-eurooppalaisen, mutta erityisesti metyylyfuraanit huomioiden se saattaa aiheuttaa riskin kuluttajalle.
Aflatoksiini MI (AFMI)	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla. Kotimaisesta maidosta mitatuista pitoisuuksista laskien MoE-suhdeluku on varmasti yli 1.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet, koko ruokavalio (3). Oma arvio maidosta Finravinto 2012 -aineiston kulutustietojen sekä Suomessa mitattujen maitonäytteiden keskiarvoista laskien.	Ei spesifistä tietoa toksisuudesta, raja-arvo arvioitu oletuksella, että AFBI on 10 kertaa toksisempaa kuin AFMI. Omassa arviossa oletettiin, että enintään 10 %:ssa maitoeria on sallitun enimmäismäärän verran AFMI ja muissa ei lainkaan; tämäkin on yliarvio kotimaisesta maidosta mitattujen näytteiden tulosten perusteella, mutta yliarviollakin MoE-suhdeluku olisi yli 1.
Glysidoli	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (4)	Ei suomalaisia pitoisuustietoja. EFSA:n mukaan esiintyy erityisesti palmuöljyssä. Toksisuuden vertailuarvona T25.
Dioksiinit (PCDD/F-TEQ)	Nuoret pojat ja odottavat äidit. Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (5).	EFSA pienensi TWI-arvoa huomattavasti v. 2018. Hormonihäirikköjä, vaikutus sperman laatuun aikuisiällä.
Patuliini	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla. MoE-suhdeluku vain hiukan alle 1.	Pikalaskentaväline, karkea arvio kansallisten pitoisuustietojen ja ruoankäyttötutkimusten tunnuslukujen avulla.	Arvio on suuntaa-antava.
Bromatut palonsuoja-aineet (BDE-99, BDE-47, BDE-209, BDE-153)	Rasvaisen kalan tai kalaöljyjen (myös ravintolisät) suurkuluttajat	Suomessa mitatut näytteet ja kansallisten ruoankäyttötutkimusten tunnusluvut; EFSA:n arvio EU-maista (6)	Altistus (ja altistusmarginaali) eri aineille erilainen, BDE-153:lla altistus olematon kansallisten pitoisuuksien perusteella. EFSA:n mukaan altistus suurinta BDE-47 & BDE-209 ja vain altistus BDE-99:lle voi ylittää mitättömän riskin altistusmäärän. Toksisuustietoja saatavilla vain neljälle kongeneerille.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Zearalenoni (ZEN)	Lapset; altistusarvion karkeuden vuoksi riski voi olla tässä esitettyä vähäisempi.	Lapset: Suomessa mitatut näytteet ja DIPP-ruoankäyttötutkimuksen tunnusluvut. Aikuiset: kansallinen altistuksen arviointi (7)	Lasten altistus karkea arvio viljavalmisteiden ja lastenruokien kulutuksen tunnuslukujen ja Suomessa mitattujen pitoisuuksien perusteella. Aikuisilla altistus on mitättömän terveystarvealueella.
Bisfenoli A	Vain lapset: aikuisilla MoE-suhdeluku on yli 1 joten heille riski on mitätön.	EU-alueelle laskettu altistusarvio, ei maakohtaista erittelyä (8).	Hormonitoimintaa häiritsevän vaikutuksen kannalta, tanskalaisten määrittämään raja-arvoon verraten. Ei kansallisia pitoisuustietoja. Kontaktimateriaaleista siirtyvänä aineena ei vierasaineasetuksen alainen; muovikontaktimateriaaleissa esiintyville pitoisuuksille on raja-arvo ((EU) 2018/213).

(1) EFSA 2016 (2) EFSA 2017 (3) EFSA 2019 (4) EFSA 2016 (5) EFSA 2018 (6) EFSA 2011
 (7) Rautala ym. 2008 (8) EFSA 2015

Taulukko L3. Vierasaineet, joilla altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on vähintään 1 eli altistukseen liittyvä terveystarve on mitätön.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Bentso(a)pyreeni	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Kansallinen riskinarviointi (1), suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (2)	Lasten altistus arvioitu DAGIS-tutkimuksen ruoankäyttöaineistosta, joka on tuoreempaa ja monipaikkaisemmin kerättyä kuin suomalaisten lasten muihin altistusarvioihin käytetty DIPP-tutkimuksen ruoankäyttöaineisto.
Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH4)	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Kansallinen riskinarviointi (1), suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (2)	
Sterigmatokystiini	Ei tietoa	Altistusta ei voitu arvioida, sillä EFSA:n aineistonkeruussa ei ollut määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia (3)	Pitoisuudet elintarvikkeissa kaikki alle määritysrajan, joten EFSA ei voinut tehdä riskinarviointia. Ei kansallisia pitoisuustietoja.
Fomopsiinit	Altistus mahdollista vain lupiininsiementen tai niitä sisältävien tuotteiden kautta.	EFSA:lla ei riittävästi tietoa altistuksen arviointiin. Suomalaisiin ruoankäyttötietoihin ei ole eritelty lupiininsiemeniä, joiden käyttö on ilmeisesti vähäistä tai olematonta.	Ei kansallisia pitoisuustietoja. EU-tasolla pitoisuustietojen lisäksi puutteita tiedoissa fomopsiinien toksisuudesta.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Mineraali-öljyt, MOAH	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	EFSA (4)	MOAH:lle ei ole määritetty NOEL-arvoa, joten altistusmarginaalia ei voida määrittää. EU:ssa lasten P95-mediaanialtistus noin 40 µg/kg rp/vrk oletuksella, että MOAH-altistus on 20 % MOSH-altistuksesta.
Ftalaatit: ryhmä DEHP, DINP, BBP ja DBP	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla, mutta MoE >>1.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (5)	DEHP-ekvivalentteina. Ftalaatit kuuluvat kontaktimateriaaleista irtoaviin aineisiin, kuten BPA, ja ovat hormonihäirittäjiä.

(1) Hirvonen ym. 2020 (2) EFSA 2008 (3) EFSA 2013 (4) EFSA 2012 (5) EFSA 2019

Tetrahydrokannabinolilla on myös vaikutuksia hormonitoimintaan, mutta EFSA ei ole asettanut tälle vaikutukselle TDI-arvoa sen vuoksi, että vertailuarvo olisi huomattavasti suurempi kuin akuuttien vaikutusten vertailuarvo. Tetrahydrokannabinolia arvioidaan siksi vain kerta-annoksella aiheutuvien terveyshaittojen todennäköisyyden osalta.

Ei dioksiinin kaltaisilla polyklooratuilla bifenyyleillä (NDL-PCB, non-dl PCB) on vaikutuksia muun muassa hormonitoimintaan (EFSA 2005), mutta niille ei ole määritetty terveysperusteista vertailuarvoa toksisuustiedon niukkuuden vuoksi. On epävarmuutta siitä, liittyvätkö havainnot NDL-PCB-yhdisteisiin vai niiden epäpuhtautena ja kanssa esiintyviin dioksiineihin. Suomalaisten altistus NDL-PCB-yhdisteille on EFSA:n arvion (EFSA 2012) mukaan 20–46 ng/kg rp/vrk (aikuiset – lapset). Vaikka EFSA (EFSA 2005) arvioi, että kuluttajien altistus ei aiheuta riskiä kuluttajille, yksilöllinen vaihtelu altistumäärissä voi olla suurta. Suomen valvonta-aineistoihin sisältyy viisi kuudesta tavallisimmin tutkitusta NDL-PCB-kongeneeristä.

L2.2 Aineet, jotka ovat toksisia tärkeille elimille

Tässä ryhmässä altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde oli alle 0,1 ainoastaan neljän PFAS-yhdisteen (PFOA, PFOS, PFHxS ja PFNA) summalle EFSA:n tuoreimmassa arviossa (EFSA 2020) esitetyn lower bound -skenaariolla lasketun altistusarvion ja tälle yhdistejoukolle määritetyn aiempaa tiukemman yhteisen TWI-arvon perusteella. Alla olevassa taulukossa PFAS-yhdisteet on luokiteltu aiemman (EFSA 2018) arvion mukaisesti ja niistä on huomioitu vain kaksi.

Taulukko L4. Vierasaineet, joilla altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on välillä 0,1... 1 eli altistus on suurempaa kuin mitättömään terveysriskiin liittyvä määrä.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Deoksini-valenoli (DON)	Lapset; altistusravion karkeuden vuoksi riski voi olla tässä esitettyä vähäisempi.	Lapset: Suomessa mitatut näytteet ja DIPP-ruoankäyttötutkimuksen tunnusluvut. Aikuiset: kansallinen altistuksen arviointi (1)	Lasten altistus karkea arvio viljavalmisteiden ja lastenruokien kulutuksen tunnuslukujen ja Suomessa mitattujen pitoisuuksien perusteella. Aikuisilla altistus on mitättömän terveysriskin alueella. DON-yhdisteistä ei ole mitattu kaikkia neljää, joiden summalle EFSA on määrittänyt TDI-arvon.
Perfluoroalkyloidut aineet (PFOA ja PFOS)	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla. Kala ja meriruoka sekä liha suurimmat lähteet.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (2)	PFOS vähemmän toksinen. EFSA teki arvionsa LB-skenaariolla menetelmien herkkyyden vuoksi. Suomessa mitattujen näytteiden pitoisuuksilla ja kansallisten ruoankäyttötutkimusten tunnusluvuilla laskien riski olisi suurempi, mutta arvion karkeuden vuoksi ei voi tehdä johtopäätöksiä. Kypsennysmenetelmät vaikuttavat altistukseen.
Fumoniiniitit	Lasten altistus suurempaa kuin aikuisten.	Suomessa mitatut näytteet ja kansallisten ruoankäyttötutkimusten tunnusluvut; suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (3)	EFSA (6): lapsilla TDI ylittyy, ja aikuisilla P95 on UB-skenaarion mukaan tuoreemman TDI:n (4) suuruisen. Karkea arvio Suomessa mitattujen näytteiden tuloksilla lähellä EFSA:n altistusraviota.
Kadmium	Lasten altistus suurempaa kuin aikuisten. Huono ravitsemus lisää imeytymistä. Tupakointi (myös passiivinen) lisää altistusta arvioidusta.	Kansalliset riskinarvioinnit (5, 6)	Priorisoinnissa arvioitu TWI:n perusteella. Osteoporoosiriski voi kasvaa jo tätä pienemmällä altistuksella (7). Aikuisväestössä TWI:n perusteella riski vähäinen, mutta Cd-altistus on suuruusluokkaa, jolla osteoporoottisten murtumien riski on kasvanut vähemmän kadmiumille altistuviin verrattuna.
Ergotalkaloidit	Paljon ruistuotteita nauttivat. EFSA:n altistusraviossa TDI ylittyy vain lapsilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (8)	Suomalaisessa rukiissa ergotalkaloideista esiintyy erityisesti ergokorniinia ja -korniiniinia sekä ergokristiiniä ja -kristiiniiniä.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Perkloraaatti	EFSA:n altistusarviossa TDI ylittyy vain lapsilla. Jodin puutteesta kärsivät ovat iästä riippumaton riskiryhmä, koska heillä kilpirauhasen toiminnan säätely on heikentynyt.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (9)	Suomessa mitatuista näytteistä suuri osa alle määräysrajan.
3-MCPD	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomessa mitatut näytteet ja ruoankäyttötutkimusten tunnusluvut	Suomalaisia pitoisuustietoja vain vapaasta 3-MCPD:stä. EFSA:n arvio (10) samansuuntainen.

(1) Rautala ym. 2008 (2) EFSA 2018 (3) EFSA 2014 (4) EFSA 2018 (5) Suomi ym. 2020
 (6) Suomi ym. 2015 (7) Engström ym. 2011 (8) EFSA 2017 (9) EFSA 2017 (10) EFSA 2016

Taulukko L5. Vierasaineet, joilla altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on vähintään 1 eli altistukseen liittyvä terveysriski on mitätön.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Oktratoksiini A, ei-neoplastiset vaikutukset		Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (1)	
Nikkeli	Lasten altistus suurempaa kuin aikuisten. Nikkeli-allergikot iästä riippumaton riskiryhmä.	Lapset: Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (2) Aikuiset: Kansallinen riskinarviointi (3)	EFSA:n raportissa 2020 (2) muutetun TDI-arvon (13 µg/kg rp) ja päivitetyn lasten altistusarvion mukaan.
Metyyli-elohopea	Runsaasti petokalvoja syövät. Riskiryhmää nuoret naiset ja pikkulapset, eniten altistuvat kuitenkin ikääntyneet.	Kansalliset riskinarvioinnit (3,4)	Terveyshaittana lapsen keskushermostovauriot. Ikääntyneille oleellisemmista terveyshaitoista ei yhtä vahvaa näyttöä ja annosvasteesta epätietoisuutta.
Melamiini	Väärennetyt tuotteet ovat olleet erityisesti lastenruokia.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (5)	Lähteitä elintarvikeväärennökset ja mahdollisesti kontaktimateriaalit, vierasaineasetuksessa seurataan elintarvikeväärennösten vuoksi. Ei kansallisia pitoisuustietoja.
Alumiini		Kansallinen riskinarviointi (3)	Vain vierasaineena, lisäainealtistusta ei ole huomioitu. Pitoisuustiedot arviossa valtaosin muista EU-maista. Lasten altistuksesta ei arviota.

Aine	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Alternaria-toksiinit TeA ja TEN	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (6)	Puutteita toksikologisessa tiedossa. EFSA:n arvio perustuu TTC-arvoon. Kansallisia pitoisuustietoja ei ole.
Epä-orgaaninen elohopea	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Kansalliset riskinarvioinnit (3,4)	Kansallisia pitoisuustietoja hyvin niukasti kasvikunnan tuotteista ja maaeläimistä. Ei tietoa, kuinka hyvin muiden EU-maiden pitoisuustiedot kuvaavat suomalaisia tuotteita.
Bisphenol A, muut kuin hormoni-häiriikkövaikutukset	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	EU-tason arvio altistuksesta (7)	Valvonta kontaktimateriaalilainsäädännön kautta.

(1) EFSA 2020 (okratoksiini A) (2) EFSA 2020 (nikkeli) (3) Suomi ym. 2020 (4) Suomi ym. 2015
 (5) EFSA 2010 (6) EFSA 2016 (7) EFSA 2015

L2.3 Lieviä tai ohimeneviä fysiologisia vaikutuksia aiheuttavat aineet

Taulukko L6. Lieviä tai ohimeneviä fysiologisia vaikutuksia aiheuttavat vierasaineet. Altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on eroteltu toisessa sarakkeessa. Suhdeluvun ollessa alle 0,1 altistus on merkittävästi suurempaa kuin mitättömään terveysriskiin liittyvä määrä, suhdeluvulla 0,1...1 altistus ylittää mitättömään terveysriskiin liittyvän määrän, ja jos suhdeluku on suurempi kuin 1, terveysriski on mitätön.

Aine	Altistusmarginaalin suhde	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
T2- ja HT2-toksiinit	<0,1 – 0,3	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Lapset: Suomessa mitatut näytteet ja DIPP-ruoankäyttötutkimuksen tunnusluvut. Aikuiset: kansallinen altistuksen arviointi (1)	Lasten altistusta arvioitu viljatuotteiden ja lastenruokien käytön tunnusluvuilla, joten karkeampi arvio kuin viitteessä (1). Koska lasten altistus on usein suurempaa kuin aikuisten, ja aikuisillakin mitättömään terveysriskiin liittyvä altistus ylittyy, tarkemman arvion tekeminen voisi olla aiheellista.

Aine	Altistusmarginaalien suhde	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Nitraatti	~1 – yli 1	Nitraatinkerääjäkasvisten, erityisesti rucola, punajuurennaatit, suurkuluttajat. Väärin säilytettyyn kypsennettyyn pinaattiin voi kertyä suuria määriä nitriittiä sen sisältämän nitraatin reagoiessa mikrobien aineenvaihdunnassa.	Kansallinen riskinarviointi (2)	Riskinarvioinnissa huomioitiin myös lisäaineista tuleva altistus, jonka osuus oli kuitenkin hyvin pieni. Kypsennyksen vaikutusta ei voitu huomioida kauttaaltaan, joten altistus voi olla jonkin verran yliarvioitu.
MOSH	yli 1		EU-alueen altistuksen tunnusluvut (3)	
Eruka-happo	yli 1	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomen ruoankäyttötiedot ja EU-alueen pitoisuustiedot (4)	
Epä-organinen tina	yli 1	Metallipakkauksessa olevien tuotteiden, etenkin happamien, suurkuluttajat.	Suomessa mitatut näytteet ja kansallisen ruoankäytön tunnusluvut	Altistusta yliarvioiva arvio. Pikalaskentavälineellä olettaen, että kaikki kulutetut kasvikset, hedelmät ja mehut olisivat tölkitettyjä.

(1) Rautala ym. 2008 (2) Suomi ym. 2013 (3) EFSA 2012 (4) EFSA 2016

L2.4 Kerta-annoksella oireita aiheuttavat aineet

Taulukko L7. Kerta-annoksella mahdollisesti vakavan myrkytystilan aiheuttavat vierasaineet.

Altistumarginaalin ja riittävän altistumarginaalin suhde on eroteltu toisessa sarakkeessa. Suhdeluvun ollessa alle 0,1 altistus on merkittävästi suurempaa kuin mitättömään terveysriskiin liittyvä määrä, suhdeluvulla 0,1...1 altistus ylittää mitättömään terveysriskiin liittyvän määrän, ja jos suhdeluku on suurempi kuin 1, terveysriski on mitätön.

Aine	Altistusmarginaalin suhde	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Vetysyanidi ja syanogeeniset glykosidit	0,1 worst case, suosituksen mukaan yli 1	Runsaasti pellavaa ja kivihedelmämehuja nauttivat	Arvioita pellavansiementen (pitoisuutena 220 mg/kg) ja worst case myös kirsikkamehun (NZFSA:n raportoima pitoisuus 4,6 mg/kg (2)) eri kulutus-skenaarioilla.	Worst case: öljysiementen suurkuluttaja + kirsikkamehua 20 g/kg rp. Suosituksen mukainen: pellavaa max 15 g/vrk (aikuinen). Aprikoosinsiementen syöjien altistus on tässä arvioitua suurempaa ja voi olla kohtalokkaan suurta.
Tropaani-alkaloidit	0,1	Lapset	Suomalaiset ruoankäyttötiedot, EU-alueen pitoisuustiedot (3)	Ei suomalaisia pitoisuustietoja. Arvio on keskivertolapsen akuutista altistuksesta.
Ergot-alkaloidit	yli 1	Lapsilla altistus suurempaa kuin aikuisilla.	Suomalaiset ruoankäyttötiedot, EU-alueen pitoisuustiedot (4)	
Pyrrrolitsidiini-alkaloidit	yli 1	Pyrrrolitsidiini-alkaloideja sisältävän teen tai hunajan suurkuluttajat.	EFSA:n arvion alle 1 µg/kg rp/vrk (5) perusteella.	

(1) Abraham ym. 2016 (2) NZFSA 2017 (3) EFSA 2013 (4) EFSA 2012 (5) EFSA 2016

Taulukko L8. Kerta-annoksella vakavaa myrkytystä lievempiä vaikutuksia aiheuttavat vierasaineet. Altistusmarginaalin ja riittävän altistusmarginaalin suhde on eroteltu toisessa sarakkeessa. Suhdeluvun ollessa alle 0,1 altistus on merkittävästi suurempaa kuin mitättömään terveysriskiin liittyvä määrä, suhdeluvulla 0,1...1 altistus ylittää mitättömään terveysriskiin liittyvän määrän, ja jos suhdeluku on suurempi kuin 1, terveysriski on mitätön.

Aine	Altistusmarginaalin suhde	Riskiryhmät ja tarkennuksia	Altistustiedon lähde	Huomautuksia
Nikkeli	< 0,1	Vain nikkelle herkistyneet (kosketusihottuma myös suun kautta altistuttaessa)	Lapset: Suomalaisten ruoankäyttö ja EU-maista koottujen näytteiden pitoisuudet (1) Aikuiset: Kansallinen riskinarviointi (2)	Vertailuarvo määritetty nikkelin imeytymistä edistävissä olosuhteissa, joten riski luultavasti yliarvioitu.
Oopiumalkaloidit (morfiini ja kodeiini)	< 0,1 – 0,2 (morfiini), yli 1 (kodeiini)	Unikon siemeniä suurina määrinä nauttivat	EFSA:n (3) raportoimien pitoisuuksien P95 ja eri skenaariot unikonsiementen kulutuksesta.	Oletettu, että unikonsiemeniä nautitaan kerralla max. 15 g (lapset 7,5 g) ja erän pitoisuus EU-alueen P95 vastaava. Kodeiinin vaarallisuutta arvioitu sen morfiiniksi metaboloituvan osan perusteella.
T2- ja HT2-toksiinit	Lapset < 0,1 ja aikuiset yli 1	Lapset, karkea arvio	Lapset: Suomessa mitatut näytteet ja DIPP-ruoankäyttötutkimuksen tunnusluvut. Aikuiset: kansallinen altistuksen arviointi (4)	Lasten altistusta arvioitu viljatuotteiden ja lastenruokien käytön tunnusluvuilla, joten karkeampi arvio kuin viitteessä (4).
Deoksini-valenoli (DON)	Lapset 0,6 ja aikuiset yli 1	Lapset, karkea arvio	Lapset: Suomessa mitatut näytteet ja DIPP-ruoankäyttötutkimuksen tunnusluvut. Aikuiset: kansallinen altistuksen arviointi (4)	Lasten altistus karkea arvio viljavalmisteiden ja lastenruokien kulutuksen tunnuslukujen ja Suomessa mitattujen pitoisuuksien perusteella. Aikuisilla altistus on mitättömän terveysriskin alueella. DON-yhdisteistä ei ole mitattu kaikkia neljää, joiden summalle EFSA on määrittänyt TDI-arvon.
Tetrahydrokannabinoli	yli 1		EFSA:n worst case -skenaario (5)	Altistusarvio perustuu hampua syöneen lehmän maitoon.

(1) EFSA 2015

(2) Suomi ym. 2020

(3) EFSA 2011

(4) Rautala ym. 2008

(5) EFSA 2015

Liite 3. Kehon kokonaiskuormitus -menetelmä

Ei-geotoksisten aineiden osalta yleisesti MoE-arvon 100 katsotaan olevan riittävän suuri osoittamaan, että aineelle altistumisesta ei aiheudu vaaraa kuluttajalle. MoE-arvo 100 koostuu toksikokinetiikkaan ja toksikodynamiikkaan liittyvästä epävarmuudesta koe-eläimen ja ihmisen välillä ($4 \times 2,5 = 10$) ja ihmisyksilöiden välillä ($3,2 \times 3,2 = 10$). TDI- ja TWI-arvoja määritettäessä tämä turvakerroin on sisällytetty raja-arvoon, joten niihin verrattaessa riittää MoE-arvo 1 tai sitä suurempi.

Eräiden ympäristömyrkköjen kohdalla ulkoisen altistuksen arviointiin perustuvan MoE-lähestymistavan käyttäminen ei ole tarkoituksenmukaista. Esimerkiksi HBCDD ja PBDE-yhdisteet poistuvat hitaammin ihmisen kuin jyrsijän elimistöstä, minkä vuoksi ulkoisen altistuksen käyttö aliarvioisi aineen pitoisuutta ihmisen elimistössä. Tämän kaltaisille aineille kehon kokonaiskuormitukseen (body burden) perustuva menettelytapa on tarkoituksenmukaisempi kuin ulkoiseen kuormitukseen perustuvat arviot. Kehon kokonaiskuormitus on koe-eläimen tai ihmisen elimistöön kertyneen haitta-aineen määrä tasapainotilassa, esimerkiksi NOAEL-tasolla. EFSA käyttää kehon kokonaiskuormitukseen perustuvaa arviointitapaa aineille, joilla on taipumus kertyä ihmisen elimistöön.

Kehon kokonaiskuormitukseen perustuva BB-NOAEL- tai BB-BMDL-arvo kuvastaa havaittuun haittavaikutukseen yhteydessä olevaa kehon kokonaiskuormituksen tasoa tasapainotilassa. Kehon kokonaiskuormitukseen perustuva altistumismarginaali (margin of exposure; BB-MoE) määritellään haitattoman annostason (BB-NOAEL tai BB-BMDL) ja altistumistason suhteena.

Kehon kokonaiskuormitukseen perustuvassa riskinarvioinnissa määritetään kemikaalin pitkäaikaissaanti ($D_{r,h}$), joka aiheuttaa kehon kokonaiskuormituksen NOAEL- tai BMDL-tasolla. Se lasketaan aineen BB-NOAEL- tai BB-BMDL-arvon, aineen imeytymistehokkuuden (F) ja sen puoliintumisaian elimistössä ($t_{1/2}$) perusteella seuraavasti:

$$D_{r,h} = \frac{BB(a) \times \ln 2 / (t_{1/2})}{F(abs,h)}, \text{ missä:}$$

$D_{r,h}$ = pitkäaikaissaanti, joka vastaa kehon kokonaiskuormitusta tasapainotilassa ihmisellä (määrä/kg rp/vrk)

BB(a) = kehon kokonaiskuormitus koe-eläimellä NOAEL- tai BMDL-tasolla (BB-NOAEL tai BB-BMDL) (määrä/kg rp)

$t_{1/2}$ = aineen puoliintumisaika ihmisen elimistössä (vrk)

F(abs,h) = osuus, joka aineesta imeytyy ihmisen elimistössä.



RUOKAVIRASTO
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

ruokavirasto.fi