

**ISSN 0355-1880**

**HELSINGIN YLIOPISTO**

**Maatalous – metsätieteellinen tiedekunta**

**Elintarvike – ja ravitsemustieteiden osasto**

**EKT-SARJA 1995**

**SUOMALAISTEN 3-6-VUOTIAIDEN LASTEN  
ALTISTUMINEN GLYSIDOLILLE**

**Tia Heikkinen**

**Helsinki 2021**

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Elintarviketieteiden maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Tia Heikkinen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title SUOMALAISTEN 3-6-VUOTIAIDEN LASTEN ALTISTUMINEN GLYSIDOLILLE			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Elintarvikekemia			
Työn laji – Arbetets art – Level Maisterintutkielma		Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2021	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Elintarvikkeiden prosessoinnissa syntyvää vierasainetta glysidolia vapautuu elintarvikkeiden glysidyyliestereistä ruoansulatuksessa. Kansainvälinen syöväntutkimusjärjestö IARC on asettanut glysidolin syöpävaarallisuusluokkaan 2A, eli todennäköisesti syöpävaaralliseksi ihmiselle. Glysidyyliestereitä esiintyy pääasiassa jalostetuissa kasviöljyissä, joihin se muodostuu prosessointivaiheessa kuumennettaessa öljyä yli 200 °C:een. Kasviöljyistä palmuöljystä on havaittu suhteellisesti eniten glysidyyliestereitä. Glysidyyliestereitä on havaittu myös sellaisissa elintarvikkeissa, joissa on käytetty jalostettuja kasviöljyjä raaka-aineina, kuten margariineissa, leivonnaisissa ja öljyissä paistetuissa tuotteissa. Suomessa ei ole toistaiseksi tehty altistumisen arviointia glysidolille. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia, kuinka paljon suomalaiset lapset altistuvat glysidolille elintarvikkeista ja miten eri elintarvikeryhmien osuus glysidolille altistumisesta jakautuu.</p> <p>Altistumisen arviointi toteutettiin todennäköisyyspohjaisella bayesilaisella menetelmällä (BIKE). Ruoankäyttöaineistona käytettiin DAGIS-hankkeessa kerättyjä 3-6-vuotiaiden lasten ruokapäiväkirjojen ruoankulutustietoja (n=813). Elintarvikkeiden pitoisuusaineistona käytettiin EFSA:n ko koamia EU:n jäsenmaiden analysoimia elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuustietoja. Altistuksen jakauma saatiin ruoankulutusjakauman ja pitoisuusjakauman tulona.</p> <p>Keskimääräinen pitkän aikavälin glysidolialtistus oli 830 nanogrammaa henkilön painokiloa kohden vuorokaudessa (ng/kg rp/vrk). Tästä laskettu altistusmarginaali on 12 300, mikä alittaa EFSA:n epävirallisen altistusmarginaalin 25 000. Tämän perusteella terveystaitan mahdollisuutta ei voi sulkea pois. Suhteellisesti eniten glysidolille altistivat normaalirasvainen margariini sekä keksit ja murotaikinaleivonnaiset. Muut elintarvikeryhmät aiheuttivat vain pienen altistuksen. Leivän ja normaalirasvaisen margariinin kulutuksen vahvasta yhteydestä voidaan päätellä, että normaalirasvaisen margariinin kulutus on todennäköisesti peräisin leivällä käytettävästä rasvasta.</p> <p>Lasten altistusta glysidolille voisi vähentää suosimalla leivän päällä muita levitteitä normaalirasvaisen margariinin sijaan ja korvata keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset pullapohjaisilla leivonnaisilla. Tämä tutkimus ei osoita kausaliteettiä, sillä syöväntutkimukseen vaikuttavat useat muut tekijät altistumisen lisäksi. Jatkossa tulisi tutkia, kuinka muuttunut lainsäädäntö glysidyyliesterien pitoisuuksien osalta vaikuttaa glysidolille altistumiseen.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords glysidoli, altistuminen, syöpävaarallisuus, lasten ruoankäyttö, DAGIS			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Tero Hirvonen, Marina Heinonen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto, Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information EKT-sarja 1995.			

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Master's programme in Food Sciences	
Tekijä – Författare – Author Tia Heikkinen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Risk assessment of Finnish children's exposure to glycidol in foods			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Food Chemistry			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's Thesis		Aika – Datum – Month and year May 2021	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>IARC classified glycidol to probably carcinogenic to humans in 2000. Moreover, EFSA has stated that glycidol is released from glycidyl esters (GE) during digestion and is absorbed efficiently, which adds to the concerns regarding food safety. GE's are mainly found in refined vegetable oils that have undergone deodorization processing step in high temperature. Palm oil in general contains the highest mean GE concentration of the oils. In addition, GE's are found in products containing these oils. This is the first study to evaluate glycidol intake in Finland. The objectives were to evaluate chronic glycidol intake of Finnish children, and to assess the relative contribution of each food group to glycidol exposure.</p> <p>In this study bayesian statistical method (BIKE-model) was used to estimate the distribution of glycidol intake of Finnish 3-6-year old children. Food diaries from DAGIS study were used from years 2015-2016 (n=815). In addition, GE concentration data from EFSA's risk assessment was used when applicable.</p> <p>The chronic exposure to glycidol was 830 ng/kg bw/day (body weight/day). The most contributing food groups were normal fat margarine (&gt;60 % fat), and cookies and pies. Other food groups contributed to the exposure only in minor amounts. Consumption correlations predicted that margarine (&gt;60 % fat) and breads correlate heavily, therefore an assumption can be made that margarine (&gt;60 % fat) and breads are consumed simultaneously. Calculated margin of exposure from the results of chronic intake was 12 300, which is considered a health concern. In a relevant scenario made with BIKE-model, it was found that children's exposure to glycidol could be decreased by using low-fat margarine instead of normal fat margarine and replacing cookies and pies with other bun-type pastries with lower GE concentration.</p> <p>However, the study design of the food consumption study was cross-sectional, which does not predict causality. Many aspects should be taken into consideration when predicting causality regarding carcinogenic processes, such as other components of food regarding absorption and individual differences in metabolism. It should also be investigated how the updated legislation will affect to exposure of glycidol.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords glycidol, exposure, carcinogen, children, DAGIS			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Tero Hirvonen, Marina Heinonen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto, Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information EKT-sarja 1995.			

## ESIPUHE

Tämä tutkielma oli toimeksianto Ruokaviraston Riskinarviointiyksiköltä, Viikin toimipisteestä Helsingistä. Tutkielma toteutettiin vuosina 2020-2021. Tutkielma on osa Ruokaviraston prosessikontaminanttiprojektia, jossa kartoitetaan suomalaisten altistumista elintarvikkeiden prosessoinnissa syntyneille vierasaineille eli prosessikontaminanteille. Tämän pro gradu -tutkielman aihe syntyi korkeakouluharjoitteluni aikana Ruokavirastossa, missä toimin prosessikontaminanttiprojektissa avustajana.

Tutkielman ohjaajina toimivat erikoistutkija FT Tero Hirvonen (Ruokavirasto) sekä ravinnon turvallisuuden professori Marina Heinonen (Helsingin yliopisto). Työn vastuuprofessorina toimi elintarvikekemian professori Vieno Piironen (Helsingin Yliopisto). Ruokaviraston Riskinarviointiyksikön johtaja Pirkko Tuominen vastasi pro gradu -tutkielman mahdollistamisesta ja resurssien hallinnoimisesta. Tilastoasiantuntija FM Antti Mikkela Ruokavirastolta ohjasi tulosten analysoimisessa ja tulkinnassa.

Kiitän Ruokavirastoa erityisen mielenkiintoisen ja ajankohtaisen pro gradu -tutkielman toteuttamismahdollisuudesta. Tutkielmaa tehdessä sain perehtyä kattavasti kiinnostavaan aiheeseen eli syöpävaarallisille aineille altistumiseen sekä riskinarvioinnin tutkimusmenetelmiin. Motivaation ylläpito oli helppoa, sillä aihealueeseen syventyminen oli kiehtovaa ja mielestäni tutkimuksella on tärkeä yhteiskunnallinen merkitys. Oppijana ja tulevana asiantuntijana oli mahtavaa, että sain soveltaa yliopistossa oppimiani asioita merkityksellisen aihealueen parissa.

Haluan kiittää ohjaajiani Marina Heinosta ja Tero Hirvosta rakentavista neuvoista, avusta ja ohjauksesta tutkielman teon aikana. Kiitän Liisa Korkaloa sekä Maijaliisa Erkkolaa DAGIS-ruoankulutusaineiston luovuttamisesta tämän tutkimuksen käyttöön. Erityisesti haluan kiittää Liisa Korkaloa asiantuntevasta avusta ja tarpeellisista neuvoista aineiston käsittelyssä. Lisäksi kiitän Antti Mikkelaä avusta, tuesta sekä hyvistä ja hyödyllisistä vinkeistä aineiston analysoimisessa ja tulosten tulkinnassa sekä etenkin tilastotieteen ymmärryksen syventämisessä.

## LYHENTEET

<b>3-MCPD</b>	3-kloro-1,2,-propaanidioli, joka usein esiintyy elintarvikkeissa samanaikaisesti glysidolin kanssa
<b>IARC</b>	Maailman terveysjärjestön alainen kansainvälinen syöväntutkimusjärjestö (engl. International Association of Research on Cancer)
<b>BIKE</b>	Ruokavirastossa kehitelty todennäköisyyspohjainen biologisten ja kemiallisten vaarojen altistumisen arviointiin kehitetty malli
<b>EFSA</b>	Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen (engl. European Food Safety Authority)
<b>EU</b>	Euroopan Unioni
<b>IARC</b>	Kansainvälisen terveysjärjestön (WHO) alainen kansainvälinen syöväntutkimusjärjestö (engl. International Agency for Research on Cancer)
<b>LB</b>	Valitun prosenttipisteen tai alueen alin mahdollinen arvo (engl. Lower bound)
<b>NTP</b>	Syöpävaarallisia aineita tutkiva virasto Yhdysvalloissa (engl. National Toxicology Program (USA))
<b>MB</b>	Valitun prosenttipisteen tai alueen keskiarvo (engl. Middle bound)
<b>MCMC</b>	Markov Chain Monte Carlo -tekniikka tilastolliseen mallinnukseen
<b>RP/VRK</b>	Altistus ruumiin painokiloa kohden vuorokaudessa (esim. ng/kg rp/vrk eli nanogrammaa henkilön painokiloa kohden vuorokaudessa)
<b>UB</b>	Valitun prosenttiosuuden tai alueen ylin mahdollinen arvo (engl. Upper bound)

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ESIPUHE

### LYHENTEET

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>KOKEELLINEN TUTKIMUS</b>	<b>11</b>
2.1	Aineistot ja menetelmät	11
2.1.1	Elintarvikkeiden pitoisuusaineistot	11
2.1.2	DAGIS-ruoankulutusaineisto	14
2.1.3	Tilastollinen analyysi	15
2.1.4	Aineiston käsittely ja luokittelu	17
2.1.5	Skenaario	18
2.2	TULOKSET	18
2.2.1	Glysidyyliesterien pitoisuuksien ennustejakaumat	18
2.2.2	Eri elintarvikeryhmien keskimääräinen päiväkulutus	20
2.2.3	Pitkän aikavälin keskimääräinen glysidolialtistus ja altistusmarginaali	21
2.2.4	Elintarvikeryhmien osuudet glysidolialtistuksesta	22
2.2.5	Eri elintarvikeryhmien päiväkulutusten väliset riippuvuudet	23
2.2.6	Skenaario: elintarvikeryhmien suhteellinen osuus	24
2.3	POHDINTA	25
2.3.1	Altistuminen glysidolille	25
	Keskimääräinen pitkän aikavälin altistuminen glysidolille	
	Kulutusfrekvenssi ja eri elintarvikeryhmien kulutuksien yhteydet	
	Altistuvatko lapset liikaa glysidolille Suomessa?	
2.3.2	BIKE-mallin sopivuus aineistoon	28
2.3.3	BIKE-mallin erot aikaisempiin riskinarvioinnin työkaluihin verrattuna	30
2.3.4	T25-arvo terveyshaitan viiterajan määrittäjänä	31
2.3.5	Aineiston käsittelyn epävarmuudet	32
	Ruoankulutustietojen epävarmuudet	

	Pitoisuustietojen epävarmuudet	
2.3.6	Yleistettävyys	39
	Aineiston yleistettävyys	
	Tulosten yleistettävyys	
<b>3</b>	<b>PÄÄTELMÄT</b>	<b>42</b>
	<b>LÄHDELUETTELO</b>	<b>43</b>
	<b>LIITTEET</b>	
	Liite 1 (1). EFSA:n (2016) raportissa käytetyt glysidyyliesteripitoisuudet	
	Liite 2 (1). Elintarvikeryhmien osuus glysidolialtistuksesta (ng/kg rp/vrk)	
	Liite 3 (1). Kulutusfrekvenssit lukuina (%)	
	Liite 4 (1). Keskimääräinen annoskoko	

## 1 JOHDANTO

Glysidoli on vierasaine, jota vapautuu ruoansulatuksessa elintarvikkeiden glysidyyliestereistä. Vuosituhannen alussa Kansainvälinen syöpätutkimusjärjestö IARC asetti glysidolin syöpävaarallisuusluokkaan 2A, eli todennäköisesti syöpävaaralliseksi ihmiselle (IARC 2000). Glysidyyliestereitä esiintyy pääosin jalostetuissa kasviöljyissä, joihin ne muodostuvat öljyn virrehajujen ja -makujen poistoprosessissa eli deodorisoinnissa (EFSA 2016). Glysidolia on sellaisenaan käytetty teollisuudessa muun muassa epoksidien valmistukseen ja farmaseuttisten tuotteiden lähtöaineena, minkä vuoksi sitä saattaa esiintyä esimerkiksi työpaikan ilmassa (IARC 2000). Lisäksi se on yksi tupakan tuhansista syöpävaarallisista aineista (Marghan ym. 2016). Glysidolia ei esiinny luonnossa, mutta IARC:n (2000) mukaan on mahdollista, että sitä kertyy ympäristöön teollisuuden sivuvirtojen kautta. NTP (engl. National Toxicology Program (USA)) on suorittanut jo vuonna 1990 ensimmäisen glysidolin syöpävaarallisuustutkimuksen, jossa havaittiin useiden kasvaimien muodostuvan koe-eläimille (hiiret ja rotat) annosvasteisesti glysidolia annosteltaessa (NTP 1990). Syöpävaarallisuuden lisäksi eläinkokeissa on havaittu useita muita haitallisia vaikutuksia glysidolille altistuneissa eläimissä, kuten siittiöiden laadun heikkenemistä ja ihon sarveiskerroksen paksuuntumista (NTP 1990). Glysidolia on myös ehdotettu yhdeksi tekijäksi solumallin kolesteroliaineenvaihdunnan häiriöissä (Liu ym. 2019). Jos glysidoli ei konjugoidu elimistön muiden makromolekyylien kanssa, se eritetään toisen vaiheen aineenvaihdunnassa glutationin tai merkaptorihapon konjugaattina (EFSA 2016).

Vasta vuonna 2012 selvitettiin glysidyyliesterien muodostumisreaktio öljyjen virrehajujen ja -makujen poistoprosessissa (Destailats ym. 2012), minkä jälkeen glysidyyliesterien pitoisuuksia elintarvikkeista sekä sen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä on selvitetty laajasti (EFSA 2016, Cheng ym. 2017). Tämän vuoksi Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA julkaisi lausunnon glysidyyliestereille altistumisesta vuonna 2016. Lausunnon mukaan erityisesti lasten sekä korkean saannin ryhmien glysidolialtistus aiheuttaa terveyshuolta. Lausunnon perusteella EU:n komissio päivitti glysidyyliesterien osalta vierasaineasetusta N:o 1888/2006, jossa asetettiin raja-arvot glysidyyliesterien pitoisuuksille kasviöljyissä ja äidinmaidonkorvikkeissa (EU/290/2018).

Suomessa ei ole toistaiseksi tehty riskinarviointia glysidolille altistumisesta. Altistuminen voi perustua monenlaiseen altistumiseen, kuten ympäristöperäiseen, työperäiseen tai elintarvikeperäiseen. Ruokavirasto on julkaissut riskiarviointeja muille elintarvikkeiden prosesseissa syntyville vierasaineille, kuten akryyliamidille, furaanille sekä PAH-yhdisteille (Jestoi ym. 2009, Hirvonen ym. 2011, Hirvonen ym. 2020). Glysidolin erottaa näistä se, että altistuminen hengitysilmosta on niukkaa



(taulukko 1). Vaikuttaa siltä, että tupakoitsijat altistuvat glysidolille enemmän savukkeista kuin elintarvikkeista, mutta lasten altistuminen lienee elintarvikeperäistä.

**Taulukko 1.** Elintarvikeperäisen ja ympäristöperäisen (hengitysilma ja tupakointi) glysidolialtistuksen vertailu.

Vierasaine	Ympäristöperäinen altistus Euroopassa (hengitysilma)	Yhden tupakan sisältämä määrä**	Elintarvikeperäinen altistus (µg/kg/päivä)	Lisähuomioita	Lähde
Bentso[a]-pyreeni	0,022-0,042 µg/päivä*	0,0143 µg	0,235 µg/päivä	Aikuisten ruoankäyttö, ympäristöperäinen altistus sisältää juomaveden	EFSA 2008
Furaani	170 µg/m <sup>3</sup> ***	56,4 µg	0,11–0,75	Aikuisten ruoankäyttö, lasten altistus suurempaa	EFSA 2017
Akryyliamidi	0,27 mg/m <sup>3</sup> ****	3,88 µg	0,4–1,9		EFSA 2015
Glysidoli	ei tutkittu (IARC 2000)	38 µg	0,1–0,9	Etenkin lapsilla alittuu altistusmarginaalin rajat	EFSA 2016

\*EFSA 2008

\*\*Marghan ym. 2016

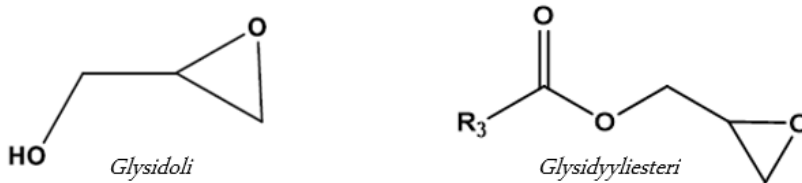
\*\*\*Furaanin pitoisuus rasvakeittimen läheisyydessä Belgiassa. Moortgart ym. 1992.

\*\*\*\*Tunnelityöntekijöiden työympäristöstä määritetty pitoisuus. Hagmar ym. 2001.

Lämpötila on olennainen muuttuja, kun tarkastellaan glysidyyliesterien muodostumista elintarvikkeissa. Muodostumisreaktiossa diasyyli glyserolin sn-2-aseman hydroksyyliiryhmä, ja sn-3-aseman esterisidoksen happi uudelleenjärjestäytyvät lämmön vaikutuksesta, jolloin molekyyliin syntyy epoksiryhmä (Destailats ym. 2012). Glysidolia vapautuu elintarvikkeiden glysidyyliestereistä lipaasien hydroksyloimana ruuansulatuksessa (EFSA 2016). Glysidyyliestereitä muodostuu etenkin öljyjen virrehajujen ja -makujen poistoprosessissa, sillä öljyä kuumennetaan yli 200 °C:n lämpötilaan (EFSA 2016). On viitteitä siitä, että glysidyyliestereitä syntyy myös muihin kuumissa lämpötiloissa prosessoituihin elintarvikkeisiin kuten lihoihin niitä grillatessa (Inagaki ym. 2016), mutta toistaiseksi tutkimusnäyttö on hyvin vähäistä.

Glysidolin reaktiivisuudesta on vastuussa sen herkästi reagoiva epoksiryhmä (kuva 1). Epoksidit ovat reaktiivisia hiilen ja hapen kolmirengsrakenteita. Useiden epoksiryhmiä sisältävien molekyylien on havaittu olevan syöpävaarallisia vähintään koe-eläimillä (IARC 1985). Elektrofiilisinä epoksidit voivat reagoida nukleofiilisten makromolekyylien kanssa, kuten proteiinien tai DNA:n kanssa, jolloin muodostuu DNA-addukteja (Püssa 2014). EFSA (2016) toteaa riskinarvioinnissaan glysidolin vaikuttavan terveyteen todennäköisesti DNA-adduktien muodostumisen kautta ja perustaa syöpävaarallisuuden huolenaiheensa tähän. Toistaiseksi ihmisillä ei ole havaittu glysidolin DNA-addukteja, mutta niitä on saatu muodostumaan *in vitro* -olosuhteissa, kun glysidolin ja nukleosidien on annettu reagoida suotuisissa olosuhteissa (Segal ym. 1990). Koska glysidoli voi konjugoitua DNA:n lisäksi hemoglobiinin kanssa, hemoglobiinin glysidoliaddukteja pidetään biomarkkerina glysidolialtistukselle (EFSA 2016). Glysidoli voi muuttua 3-MCPD:ksi mahan happamissa

olosuhteissa vetykloridin reagoidessa glysidolin kanssa, mutta on toistaiseksi epäselvää, missä määrin näin tapahtuu (EFSA 2016).



**Kuva 1.** Glysidolin (2,3-epoksi-1-propanoli) ja glysidyyliesterin rakenne.

Elintarvikkeista keskimäärin eniten glysidyyliestereitä sisältää palmuöljy, joka sisältää EFSA:n (2016) kokoamien tietojen mukaan yli kymmenkertaisen määrän glysidyyliestereitä verrattuna muihin kasviöljyihin. Glysidyyliestereitä havaitaan vähäisemmissä määrin myös muista elintarvikkeista, joissa on käytetty raaka-aineina kasviöljyjä. Viranomaiset ja teollisuus Euroopassa ovat määrittäneet glysidyyliestereitä muun muassa aamiaismuroista, mysleistä, leivistä, paistetuista perunatuotteista, paistetuista lihoista ja kaloista sekä äidinmaidonkorvikkeista.

Palmuöljy on trooppinen kasviöljy, joka ei ole yleisessä käytössä sellaisenaan Suomessa. Tämän vuoksi voi olettaa, että suurin osa palmuöljyperäisestä glysidolin altistuksesta on peräisin teollisista elintarvikkeista, joissa palmuöljyä käytetään antamaan toivottua rakennetta elintarvikkeelle, kuten kiinteyttä margariinille. Palmuöljy ei ole yksinään vastuussa glysidolialtistumisesta, vaikka pienetkin altistusmäärät ovat merkittäviä sen suuren glysidyyliesteripitoisuuden vuoksi. Muita kasviöljyjä käytetään Suomessa runsaammin kuin palmuöljyä, joten merkittävä osuus glysidolille altistumisesta voi olla peräisin muista kasviöljyistä.

Glysidyyliesterien muodostumiseen vaikuttaa erityisesti kaksi tekijää: hedelmän tai siemenen lipaasiaktiivisuus sekä prosessointiolosuhteet (Cheng ym. 2017). Lipaasiaktiivisuudella on tärkeä osa siinä, kuinka paljon hedelmään muodostuu glysidyyliesterien lähtöainetta diasyyloglyserolia. Palmuhedelmässä useat syyt selittävät diasyyloglyserolien muodostumistehokkuutta, kuten korkea lipaasin aktiivisuus, mikä vaikuttaa diasyyloglyserolien muodostumiseen triglyserideistä (Cheng ym. 2017). Prosessointiolosuhteet puolestaan vaikuttavat oleellisesti siihen, kuinka paljon glysidyyliestereitä muodostuu diasyyloglyserolista. Glysidyyliesterien muodostumista edistää 200-280 °C:n lämpötila, mutta yli rajan nousevassa lämpötilassa on myös mahdollista, että jo muodostuneet glysidyyliesterit hajoavat (Destailhats ym. 2012, Cheng ym. 2017). Glysidyyliesterien isomeerejä, oksopropyliestereitä, alkaa muodostua jo 140 °C:ssa (Destailhats ym. 2012). Lisäksi prosessointiajalla on merkitystä siihen, millainen on glysidyyliesterien hajoamisen ja muodostumisen suhde.

Toistaiseksi ei ole täysin selvää, millaisissa olosuhteissa glysidyyliestereitä muodostuu eniten ja missä niitä hajoaa eniten.

On huomioonotettavaa, ettei syöpävaarallisille tai perimämyrkyllisille aineille voida määrittää turvallista altistustasoa, ADI-arvoa (engl. Adequate Daily Intake). EFSA on glysidolin riskinarvioinnissaan käyttänyt terveystaitan viitearvona T25-arvoa, joka kuvaa annosta, jolla kasvaimien määrä eläinkokeissa kasvaa 25 % eläimen elinaikana, kun spontaanien kasvaimien muodostuminen on poissuljettu. Altistuminen katsotaan mahdollisesti terveystaittaa aiheuttavaksi syöpävaarallisilla ja perimämyrkyllisillä aineilla, jos terveystaittaa aiheuttavan annoksen ja altistumismäärän osamäärä alittaa glysidolin syöpävaarallisuushaittaa kuvaavan altistusmarginaalin 25 000 (engl. Margin of Exposure, MoE) (EFSA 2016). Glysidolin altistusmarginaalin laskelmissa käytetty terveystaittaa aiheuttava annos perustuu rotilla havaittuun vatsakalvon syöpätyyppiin (peritoneaaliseen mesotelioomaan), joita havaittiin kroonisella annoksella 10,2 mg/kg/päivä. Vatsakalvon kasvaimien lisäksi suuremmilla annosmäärillä havaittiin myös muita syöpätyyppejä, kuten aivojen, suoliston, kilpirauhasen, verisolujen ja ihon kasvaimia (NTP 1990).

Toistaiseksi eri ikäryhmien keskiarvon mediaaniglysidolialtistus Euroopassa on 0,1-0,9 µg/kg/päivä (EFSA 2016). 1-3-vuotiailla lapsilla altistuminen on 0,5 µg/kg/päivä ja tätä vanhemmilla lapsilla 0,6 µg/kg/päivä. Altistusmarginaali alittuu sekä taaperoikäisillä että tätä vanhemmilla lapsilla mediaanin ollessa 17 000 (MB 17 000) ja ylimmän 97,5. prosenttipisteen saannin ryhmässä 9 300 (MB 9300). Lukemien perusteella terveystaitan mahdollisuus on olemassa sekä keskiarvoisilla kuluttajilla että suurkuluttajilla.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, kuinka paljon lapset altistuvat elintarvikeperäiselle glysidolille Suomessa. Lisäksi tutkittiin mitkä elintarvikeryhmät altistavat suhteellisesti eniten glysidolille. Tavoitteena oli myös tutkia, onko lasten altistuminen glysidolille mahdollisesti terveyttä haittaavalla tasolla Suomessa.

## **2 KOKEELLINEN TUTKIMUS**

### **2.1 Aineistot ja menetelmät**

#### **2.1.1 Elintarvikkeiden pitoisuusaineistot**

Glysidyyliesterien pitoisuusaineistot olivat peräisin EFSA:n (2016) lausuntoon kootuista viranomaisten määrittämistä analyysituloksista. Pitoisuuksia on määritetty pääasiassa kasviöljyistä, margariineista, rasvaemulsioista, viljavalmisteista, paistetuista lihoista ja kaloista, leivonnaisista, kekseistä, äidinmaidonkorvikkeista ja paistetuista perunatuotteista. Pitoisuudet määritettiin AOCS:n standardimenetelmillä (Cd 29a-13, Cd 29b-13, Cd 29c-13), joita EU:n komissio suosittaa

käytettävän glysidyyliesterien analysointiin (2014/661/EU). EFSA:n (2016) lausunnossa todetaan, että näytteiden analysointiin tulee käyttää näitä menetelmiä tai suoraan näihin verrattavissa olevia menetelmiä. EFSA on ottanut huomioon muutamia mittaustuloksia, joita ei ole määritetty tarkalleen tällä menetelmällä, mutta menetelmä on muuten katsottu luotettavaksi.

Lähtöoletuksena tutkielmassa oli se, että vain jalostetut kasviöljyt ja niistä valmistetut tuotteet sisältävät glysidyyliestereitä. Taulukossa 2 on esitetty tätä tutkielmaa varten luodut elintarvikeryhmät, joiden pitoisuudet ovat keskiarvoja EFSA:n (2016) kokoamista mittaustuloksista. Ryhmien muodostamiskriteerit perustuvat pääosin EFSA:n (2016) lausunnossa esitettyihin elintarvikeryhmiin, jotka puolestaan perustuvat EU-maiden viranomaisten analysoimiin elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuuksiin. Elintarvikeryhmiä muokattiin osittain siten, että ne sopivat paremmin suomalaisen ruoankäyttökulttuuriin sekä tilastolliseen malliin. Yhdessä elintarvikeryhmässä tuli olla vähintään kymmenen havaintoa, jotta tutkimuksessa käytetty tilastollinen malli otti sen oikein huomioon.

Kaikille elintarvikkeille ei ollut saatavilla pitoisuustietoja, joten osalle laskettiin pitoisuudet elintarvikkeiden koostumustietokantaa Fineliä (versio 20 ja versio 16) avuksi käyttäen tai valmistajan reseptien perusteella. Tätä tutkimusta varten luotuja uusia elintarvikeryhmiä olivat nuudelit, pata- ja vuokaruokat sekä suurustetut kastikkeet ja lihakastikkeet. Jos ruoankulutusaineiston ruokalajissa ei ollut erikseen mainittu sen olevan teollinen elintarvike, se otettiin huomioon itse valmistettuna ja tällöin glysidyyliesteripitoisuus perustui Finelistä laskettuun reseptiin, ellei kyseiselle elintarvikkeelle ollut EFSA:n pitoisuustietoja käytettävissä. EFSA:n lausunnossa ruokalajit on lajiteltu glysidyyliesterien pitoisuuksien mukaan ja ruokalajien mukaan (esim. viljat, margariinit, lihat). Glysidyyliesterien pitoisuuksina on käytetty mittaustulosten keskiarvoja. Määritysrajan (LOQ) alle jääneet tulokset ovat nollan ja LOQ:n välissä. Täten näytteet, joiden tulos on pienempi kuin LOQ, on laskettu nollan ja LOQ:n keskiarvona. Liitteessä 1 on vertailtu EFSA:n riskinarvioinnissa käytettyjä pitoisuustietoja tässä tutkimuksessa käytettyihin pitoisuuksiin. Kaikkia pitoisuusmittausten tuloksia EFSA:n riskinarvioinnista ei ollut saatavilla tätä tutkimusta varten, joten osalle elintarvikeryhmistä hyödynnettiin EFSA:n pitoisuuksien keskiarvoja.

**Taulukko 2.** Elintarvikeryhmät ja pitoisuudet, joita käytettiin pitoisuuksien mallintamiseen (muokattu EFSA 2016).

Elintarvike	Keskiarvopitoisuus (µg/kg) (vaihteluväli)	Lisätietoja (EFSA:n mittaustulokset (1), EFSA:n keskiarvo (2), laskettu valmistajan reseptistä (3), Finelin avulla (4) tai EFSA:n arvio (5))	
<b>Leivät</b>			
Ruis-vehnäleivät ja sekaleivät (Ruis-sekaleipä)	2,38	Kauraleivät, perunalimput, ruissekaleivät, sekaleivät	1
Vehnäleivät	11,65	Kaikki leivät, joissa on käytetty jauhoina vain vehnäjauhoja	1

Teolliset rieskat, tortillat ja näkkileivät	37,6	Rieskat, tortillapohjat, näkkileivät. Käytetyistä näkkileivistä poissuljettiin sellaisten valmistajien tuotteet, joissa ei ole öljyä raaka-aineena	1
<b>Aamiaisviljavalmistheet</b>			
Aamiaismurot ja myslit	27,31	Kaikki aamiaismurot ja myslit	1
<b>Lisukkeet</b>			
Paistetut perunat ja kasvikset	6,66	Sisältää uunissa tai pannulla paistetut perunat ja kasvikset	1
Nuudelit	16	Laskettu valmistajan reseptistä käytetyn öljyn pitoisuuden perusteella	3
<b>Kalat ja lihat</b>			
Savukalat	6,03	Vain öljysäilykkeet, kuten tonnikala ja silli	1
Paistettu kala	30	Kaikki kalat, jotka ovat paistettu pienessä määrässä rasvaa, lisäksi kalapyörykät, kalapihvit sekä kalapuikot ja muut kalavalmistheet	2
Paistettu liha	43	Kaikki lihat, jotka ovat paistettu pienessä määrässä rasvaa, myös kananmunat, lihapullat ja hampurilaiset	2
Lihakastikkeet	12,49 (9,22-15,6)	Laskettu reseptistä normaalirasvaisen margariinin perusteella (582 µg/kg), sisältää jauhelihakastikkeet, kinkkukastikkeet, nakkikastikkeet ja broilerikastikkeet. Laskettu kahdeksan reseptin keskiarvona.	4
<b>Pata- ja vuokaruokat</b>			
Makaronilaatikat ja riisiruokat	1,84 (1,8-2,95)	Laskettu reseptistä normaalirasvaisen margariinin perusteella (582 µg/kg), sisältää makaronilaatikat ja riisiruokat. Riisiruokat ovat maltillisesti lisättyä öljyä sisältäviä ruokia. Laskettu neljän reseptin keskiarvona.	4
Lasagne, laatikot, ja risotot	8,3 (4,1-14,6)	Laskettu reseptistä normaalirasvaisen margariinin perusteella (582 µg/kg), sisältää lasagnet, joululaatikat, kaalilaatikon, kasvispihvit ja -pullat ja risotot. Risottojen valmistukseen on käytetty runsaasti öljyä. Laskettu 11 reseptin keskiarvona.	4
<b>Kastikkeet</b>			
Suurustetut kastikkeet	37,2 (30-46,6)	Laskettu reseptistä normaalirasvaisen margariinin perusteella (582 µg/kg), sisältää ruskeakastikkeet, sienikastikkeet ja munakastikkeet yms. Laskettu neljän reseptin keskiarvona.	4
<b>Suolaiset</b>			
Pizzat ja lounasvoileivät	8	Pizzat, lounasvoileivät, kolmioleivät, tortillat täytteineen	5
Ranskalaiset	31,08	Oletettu uppopaistetuiksi	1
Sipsit	110	Sisältää myös ruissipsit	1
Snack-tuotteet	15,87	Popkornit, maissilastut, tortillasipsit, juustonaksut	1
<b>Leivonnaiset</b>			
Pullapohjaiset leivonnaiset	57,1	Sisältää lihapiirakat, karjalanpiirakat, donitsit, briossit, pullat, pullapohjaiset piirakat (karjalanpiirakoiden pitoisuus on laskettu yhden reseptin mukaan)	1
Keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset	138,72	Letut, pannukakut, viinerit, murotaikinapohjaiset piirakat, keksit, välipalakeksit	1
Kakut	123,49	Muffinsit, mokkapalat, kaikki kakut	1
Voitaikinaleivonnaiset	19,68	Croissant, tortut, pasteijat	1
<b>Kasviöljypohjaiset margariinit ja kastikkeet</b>			
Normaalirasvainen margariini	582	60 % tai yli 60 % rasvaa sisältävät margariinit	2
Vähärasvainen margariini	209	Alle 60 % rasvaa sisältävät margariinit	2
Ruoanvalmistusrasva (Ruokaöljy)	223	Otettu huomioon myös muutama auringonkukkaöljyn käyttökerta (269 µg/kg)	5
Rypsiöljy	166		2
Vähärasvainen salaattinkastike ja majoneesi	45	Salaattinkastike ja majoneesi on yhdistetty EFSA:n lausunosta	2
Keskirasvainen salaattinkastike ja majoneesi	72	Laskettu vaihteluvälin keskiarvona (67-78 µg/kg)	2
Runsasrasvainen salaattinkastike ja majoneesi	139	Laskettu vaihteluvälin keskiarvona (111-167 µg/kg)	2

Kasviöljypohjaiset juoksevat margariinit ja yli 60 % rasvaa sisältävät kasvimargariinit katsottiin tässä tutkielmassa normaalirasvaisiksi margariineiksi. FinRavinto 2017 -tutkimuksen mukaan kuusi kymmenestä käyttää ruoanvalmistusrasvana pehmeää rasvaa ja pääosin kasviöljyä, mutta ruoanvalmistusrasvaksi lukeutuu myös kasviöljypohjaiset juoksevat margariinit ja yli 60 % rasvaa sisältävät kasvimargariinit, kuten raportissa todetaan: ”Suositeltaviksi ruoanvalmistusrasvoiksi luokiteltiin kasviöljyt, juoksevat kasviöljyvalmisteet ja vähintään 60 prosenttia rasvaa sisältävät kasviöljypohjaiset rasvalevitteet” (FinRavinto 2017). On epäselvää, mitä rasvaa loput neljä kymmenestä henkilöstä käyttävät, mutta siihen oletetaan kuuluvan normaalirasvaisen margariinin, voin sekä muut kasviöljyt. Lisäksi teollisuudessa käytetään erilaisia ruoanvalmistusrasvoja, ja EFSA:n (2016) mukaan teollisuuden käyttämät rasvat sisältävät keskimäärin 386 µg/kg glysidyyliestereitä. Ruoanvalmistusrasvan laadussa on vaihtelua, eikä ole tarkkaa tietoa missä määrin kutakin rasvaa käytetään.

Edellä mainituista syistä normaalirasvaisen margariinin (pitoisuus 582 µg/kg) katsottiin kuvaavan parhaiten ruoanvalmistusrasvan laatua, ja siksi sitä käytettiin glysidyyliesterien pitoisuuden määrittämänä ruoanvalmistusrasvana niille tuotteille, joiden glysidyyliesteripitoisuus laskettiin reseptistä.

### **2.1.2 DAGIS-ruoankulutusaineisto**

Ruoankulutusaineistona käytettiin DAGIS-hankkeessa kerättyä lasten ruoankulutusaineistoa ruokalajitasolla. DAGIS-hanke oli monivuotinen hanke, jossa kartoitettiin päiväkotikäisten lasten elämäntapoja ja suunniteltiin interventio sosioekonomisten elintapaerojen vähentämiseen ryhmien välillä (Lehto ym. 2018) ([www.dagis.fi](http://www.dagis.fi)). Lehdon ym. (2018) julkaisussa on kuvattu DAGIS-hankkeen kartoitusvaiheen kulku ja työvaiheet tarkemmin. Hankkeen kartoitusvaiheen tutkimusasetelmana oli poikkileikkaustutkimus, eli kerätyt tiedot kuvaavat hetkellistä ruoankulutusta. DAGIS-tutkimuksen ruoankäyttötiedot on kerätty vuosina 2015-2016, ja mukana oli yhteensä 66 päiväkotia. Uudelta maalta kunnat olivat Vantaa, Loviisa, Porvoo, Hyvinkää sekä Lohja ja Etelä-Pohjanmaalta Kauha-joki, Seinäjoki ja Kurikka.

DAGIS-hankkeessa ruoankulutusaineistoa ruokapäiväkirjoista saatiin yhteensä 864 lapselta (Lehto ym. 2018), joista 815 olivat täyttäneet ruokapäiväkirjaa vähintään yhden kokonaisen päivän ajalta ja joilta oli painotietoja. Nämä ruoankäyttötiedot otettiin huomioon tätä tutkimusta varten, kuten aikaisemmassa Ruokaviraston riskinarvioinnissa (Hirvonen ym. 2020). Ruoankäyttötiedot kerättiin ruokapäiväkirjoina kahtena eri jaksossa, jotta vuodenaikojen välillä tapahtuva vaihtelu sekä yksilöiden ruoankulutuksen vaihtelu olisi mahdollista ottaa huomioon. Ruokapäiväkirjojen täyttämistä varten validoitiin annoskuvakirja, jonka perusteella ruokapäiväkirjojen täyttäjät arvioivat lasten ruoankulutusta (Nissinen ym. 2016).

Ensimmäinen osa, kolme päivää, kerättiin vuoden 2015 syyskuun ja vuoden 2016 huhtikuun välisenä aikana. Tavoitteena oli saada mukaan kaksi arkipäivää ja yksi viikonlopun päivä siten, etteivät päivät olisi peräkkäisiä. Ensimmäiseen osaan tiedot saatiin 815 lapselta, joista 813 (kolme päivää:  $n = 767$ , kaksi päivää:  $n = 37$ , yksi päivä:  $n = 9$ ) ruokapäiväkirjan katsottiin olleen täytetty tarpeeksi luotettavasti. Toinen osa, kaksi päivää, kerättiin kesäkuun ja syyskuun välissä vuonna 2016. Toiseen osaan tiedot saatiin yhteensä 206 ruokapäiväkirjasta (kaksi päivää:  $n = 204$ , yksi päivä:  $n = 2$ ), joista kaksi ei ollut ottanut osaa ensimmäiseen osaan. Täten ruokapäiväkirjoja saatiin 25,1 %:lta ensimmäiseen osaan osallistuneista. Tähän tutkimukseen käytettiin ruoankäyttötietoja 815 lapselta 1-5 päivän ajalta.

Tutkimusavustajat (ravitsemustieteen pääaineopiskelijat) tallensivat ruokapäiväkirjojen tiedot AivoDiet-ohjelmalla (versio 2.2.0.1.). AivoDiet -ohjelma perustuu Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen ylläpitämään elintarvikkeiden koostumustietopankin Finelin (versio 16, 2013) resepteihin, joiden perusteella ruokapäiväkirjoista tallennettiin syödyt ruoat siten, että ruokalajit olisivat mahdollisimman todenmukaisia. Uudet reseptit luotiin sellaisille ruokalajeille, joille ei valmiiksi niitä ollut.

### **2.1.3 Tilastollinen analyysi**

Tässä tutkielmassa elintarvikeperäistä altistumista arvioitiin todennäköisyyspohjaista bayesilaista BIKE-mallia hyödyntäen. Bayeslainen tilastotieteen haara on toinen yleisimmistä tilastotieteen näkökulmista frekventistisen eli perinteisen tilastotieteen kanssa. Niiden keskeisin ero on se, että bayesilaisessa näkökulmassa todennäköisyys tulkitaan epävarmuuden mittana, kun taas perinteisessä näkökulmassa todennäköisyys tarkoittaa tapahtuman suhteellista osuutta, kun koetta toistetaan tarpeeksi monta kertaa (Gelman ym. 2014). Ruokaviraston todennäköisyyspohjainen tilastollinen BIKE-malli perustuu bayeslaiseen tilastolliseen lähestymistapaan, jossa priorijakauma (epäinformatiivinen tai informatiivinen) päivitetään posteriorijakaumaksi havaintojen perusteella. Mallia soveltamalla voidaan ottaa huomioon ruoankäytön tutkimusmenetelmien epävarmuuksia sekä pitoisuuksien määrittämisen epävarmuuksia samanaikaisesti. Pitoisuuksien määrittämisessä epävarmuuksia ovat määritysrajan alle menevät tulokset ja ruoankulutuksen määrittämisessä havaintojen rajallinen määrä. Mallissa on huomioitu määritysrajojen alle jääneet mittaustulokset välisensuroituina havaintoina (engl. interval-censored result, IC) eli havaintoina, joiden tiedetään olevan tietyllä välillä. Ruoankulutuksen määrittämisessä epävarmuutta aiheuttaa lisäksi tutkittavien päivien välinen (sisäinen) ja tutkittavien välinen (ulkoinen) ruoankulutuksen vaihtelu sekä kulutusfrekvenssin vaihtelu. BIKE-mallissa olennaista on mallin yhtenäisyys, jossa osamallien (pitoisuus, kulutusfrekvenssi, ruoankulutus) epävarmuudet arvioidaan samanaikaisesti.

Altistumisen arvioinnin jakaumissa tulisi ottaa huomioon kolme vaihtelua aiheuttavaa tekijää mahdollisimman luotettavan arvion saamiseksi – ruoankulutuksen määrän vaihtelu yksilöllä ja yksilöiden välillä sekä kulutuksen frekvenssin vaihtelu (Slob 2006). EFSA (2012) toteaa, että mahdollisimman todenmukaisen arvion saamiseksi tulisi arvioida parametrisella mallilla yksilöiden välillä ja yksilöiden päivien välillä tapahtuva ruoankulutuksen vaihtelu, mikä tulee BIKE-mallissa huomioitua. Parametrisessä BIKE-mallissa käytetään epäinformatiivisia priorijakaumia, eli tulokset perustuvat täysin aineistoihin, kun taas semiparametrisissä malleissa on tehtävä oletuksia jakaumien suhteen (Slob 2006). Luonnollisesti lyhyen aikavälin ruoankeräystiedot eivät anna kokonaiskuvaa ruokavaliosta (EFSA 2012), jolloin pidemmän aikavälin altistumisen arviointiin tarvitaan tilastollisesti tehokkaita keinoja.

Tutkimuksen kulku noudatti samaa kaavaa kuin aikaisemmin julkaistussa PAH-yhdisteiden riskinarvioinnissa (Hirvonen ym. 2020). Elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuudet mallinnettiin gammajakaumalla ja ruoankulutusjakauma mallinnettiin hierarkisella log-normaalijakaumalla. Kulutusfrekvenssin arvioinnissa yksilöiden välistä vaihtelua kuvasi satunnaisefekti, joka sisältyy arvioimiseen käytettyyn binomijakaumamalliin. Mallissa käytettiin moniulotteista normaalijakaumaa priorijakaumana kuvaamaan eri elintarvikeryhmien kulutusten korreloituneisuutta eli yhteyksiä. BIKE-mallin avulla laskettiin ruoankulutustietojen ja pitoisuustietojen jakaumien tulo eli altistuksen jakauma Markov Chain Monte Carlo -tekniikalla (MCMC) käyttäen OpenBUGS-ohjelmistoa. Tekniikan avulla laskettiin 45 000 iteraatiota, eli erilaisia kulutuksen ja pitoisuuksien yhdistelmiä, pitkän aikavälin altistumisen mallintamiseen. Malliin syötettiin ruoankulutustiedot ruokalajitasolla grammoina jokaista ruoankulutuspäivää kohti, elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuustiedot mikrogrammoina kilossa ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) sekä tutkittavien painot kiloina.

Altistusmarginaali lasketaan terveyshaittaa aiheuttavan annoksen ( $10,2 \text{ mg}/\text{kg rp}/\text{vrk}$ ) ja kroonisen altistumisen ( $\text{mg}/\text{kg rp}/\text{vrk}$ ) osamääränä (1). Terveyshaittaa aiheuttava annos perustuu NTP:n (National Toxicology Program, USA) määrittämään pienimpään glysidolialtistukseen, jolla rotilla havaittiin kasvaimia kahden vuoden annostelun aikana. Terveyshaitan mahdollisuuden katsotaan olevan huolestuttavalla tasolla, kun altistusmarginaali alittaa 25 000 (EFSA 2005, EFSA 2016).

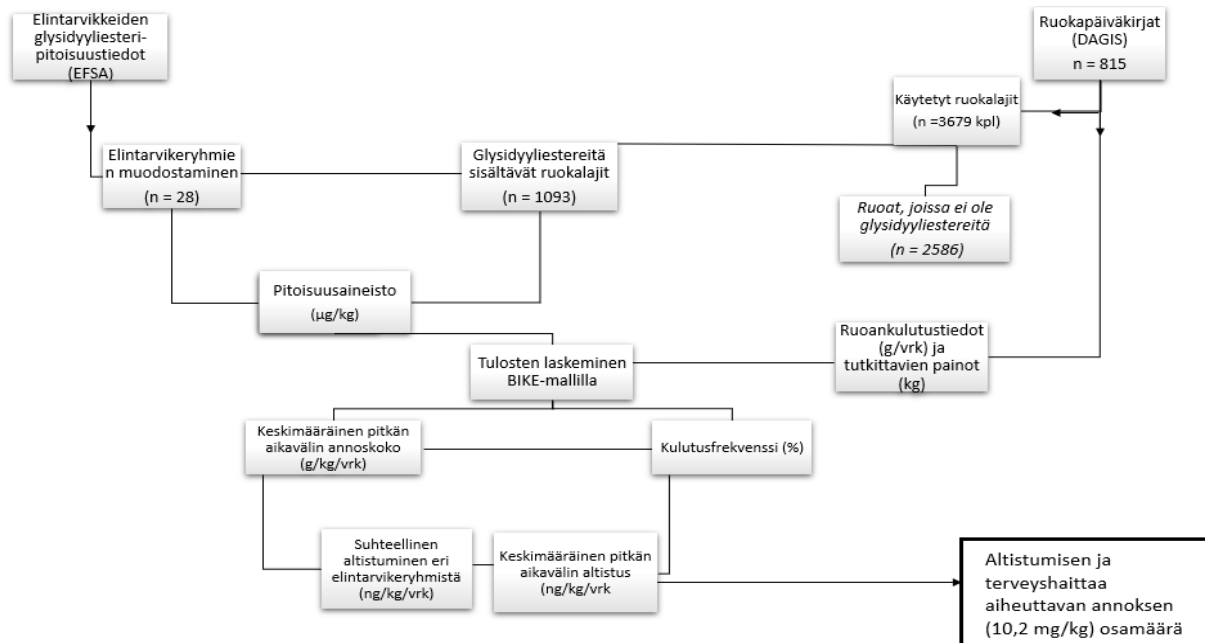
$$\frac{\text{terveyshaittaa aiheuttava annos } (10,2) \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ rp}/\text{vrk}}{\text{krooninen altistuminen } \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ rp}/\text{vrk}} \quad (1)$$

Aineiston luokittelu ja järjestely suoritettiin Microsoft Officen Excel -ohjelmalla (versio 2002) ja R-ohjelmalla (versio 4.0.2.). Tilastoanalyysi suoritettiin R-ohjelmalla (versio 4.0.2.) ja OpenBUGS-ohjelmalla (versio 3.2.3. 1012).



### 2.1.4 Aineiston käsittely ja luokittelu

Kuvassa 2 on esitetty tutkimuksen kulku. Lasten ruokapäiväkirjat oli tallennettu aikaisemmin DAGIS-hankkeen aikana. Kulutetut elintarvikkeet luokiteltiin glysidyyliesterien pitoisuuksien mukaan elintarvikeryhmiin, joita oli yhteensä 28. Ruoankulutustiedot (g/vrk/tutkittava) yhdistettiin muodostettujen elintarvikeryhmien kanssa, jolloin saatiin lukemat kaikkien tutkimushenkilöiden eri elintarvikeryhmien päivakohtaisesta kulutuksesta. Ruoankulutustiedot elintarvikeryhmäluokitteluineen syötettiin tilastolliseen BIKE-malliin, jonka avulla altistuksen jakauma laskettiin.



**Kuva 2.** Kaavio tutkimuksen kulusta.

Alkuperäisiä ruokalajeja oli 2664 kolmen päivän ruoankulutusaineistossa ja 1257 lisäpäivien ruoankulutusaineistossa. Ruoankulutusaineistosta suljettiin pois ruokalajit (yhteensä 2486 kpl), jotka eivät sisältäneet glysidyyliestereitä, kuten hedelmäsoseet, hedelmät, salaattit, kasvikset, jogurtit, rahkat, juustot ja muut maitotuotteet, kaikki teollisuuden tuotteet, joissa ei ole kasviöljyä valmistusaineena, pähkinät, siemenet, pastillit sekä kirkasliemiset keitot. Glysidyyliestereitä sisältäneistä ruokalajeista 242 kappaletta oli samoja kummallakin aineiston keruujaksolla. Lisäksi ruoankulutusaineistosta jätettiin ottamatta huomioon sellaiset elintarvikeryhmät, joiden altistumisen myötävaikutus oli vähäinen (oliiviöljy, suklaalevite, kookosöljy). Aineisto oli ruokalajitasoinen, eli kyseisiä elintarvikeryhmiä saattaa löytyä ruokalajien sisältä, kuten suklaalevitettä leivonnaisten mukana tai oliiviöljyä paistetuista perunoista.

Paistetuissa kala- ja lihatuotteissa oletus perustui siihen, että tuotteet ovat paistettu pienessä määrässä jotain öljyä. Oletukseen ei kuulunut oliiviöljy tai palmuöljy (EFSA 2016). Tähän tutkielmaan elintarvikeryhmiä lihan osalta muokattiin siten, että paahdettuja lihatuotteita ei otettu mukaan toisin

kuin EFSA:n raportissa (EFSA 2016). Koska tämän tutkielman lähtöoletuksena oli se, että glysidyyliesterit ovat peräisin tietyistä kasviöljyistä, niin lihatuotteisiin ja kalatuotteisiin katsottiin kuuluvan vain pannulla rasvassa paistetut lihatuotteet. Lihatuotteisiin lukeutui broilerinliha, alle 10 % rasvaa sisältävät jauhelihat, karitsanliha, hirvenliha, naudanliha, porsaanliha, rasvassa paistetut lihavalmisteet, lihapullat ja jauhelihapihvit. Hampurilaiset luettiin tähän ryhmään siksi, että näin on tehty myös EFSA:n raportissa (EFSA 2016). Kalatuotteisiin luettiin lohipyörykät ja -pihvit sekä kaikki kalat, jotka ovat paistettu pannulla rasvassa. Lihakastikkeista jätettiin pois sellaiset tuotteet, joista kävi ilmi (rasvaisia), että paistettaessa ei ollut käytetty rasvaa. Myös muista lihoista ja kaloista vastaavat rasvaiset tuotteet jätettiin pois. Leikkeleitä ja makkaroita ei sellaisenaan katsottu kuuluviksi tähän tutkielmaan, vaikka ne ovat EFSA:n raportissa otettu huomioon. Tämän tutkielman lähtöoletuksena vain prosessoidut kasviöljyt sisältävät glysidyyliestereitä ja suomalaisten valmistusmenetelmien perusteella makkarioihin tai leikkeleisiin ei teoriassa muodostu glysidyyliestereitä.

Lisäksi EFSA:n raportissa on huomioitu myös puurot (3 µg/kg glysidyyliestereitä) sekä täysjyväruisleipä (0,4 µg/kg glysidyyliestereitä), mutta ne jätettiin huomiotta tästä tutkielmasta, sillä oletettavasti suomalaiset puurot ja täysjyväruisleivät eivät sisällä kasviöljyä tai niistä valmistettuja raaka-aineita. Suomessa saatetaan laittaa esimerkiksi rasvaa puuron sekaan, mutta tässä tutkielmassa kaikki kulutettu rasva otettiin huomioon erikseen rasvana. Näkkileivät jaoteltiin valmistajan reseptien mukaan siten, että vain sellaiset tuotteet huomioitiin, joiden valmistuksessa on reseptin mukaan käytetty kasviöljyä. Margariinien glysidyyliesteripitoisuus on peräisin valmistusaineena käytetyistä kasviöljyistä. Normaalarasvainen margariini tulkittiin yli 60 % rasvaa sisältäväksi ja vähärasvainen margariini alle 60 % rasvaa sisältäväksi.

### **2.1.5 Skenaario**

BIKE-mallilla luotiin skenaarioita siitä, miten altistuminen muuttuisi, jos tiettyjen elintarvikeryhmien pitoisuutta muutetaan. Käytännössä tämä suoritettiin siten, että tilastolliseen malliin syötettiin normaalirasvaisen margariinin kulutusmäärät vähärasvaisen margariinin pitoisuuksina ja keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset syötettiin pullapohjaisten leivonnaisten pitoisuuksina. Skenaariorossa BIKE-mallilla tehtiin 25 000 iteraatiota.

## **2.2 TULOKSET**

### **2.2.1 Glysidyyliesterien pitoisuuksien ennustejakaumat**

Taulukossa 3 on esitetty glysidyyliesterien pitoisuuksien keskiarvon jakauma (µg/kg) eri elintarvikeryhmistä. Taulukossa ei ole erikseen esitetty niitä elintarvikeryhmiä, joista pitoisuuksia ei voitu mallintaa tarkkojen mittaustulosten puutteen vuoksi. Resepteistä lasketut ja altistuksen arvioinnista

käytetyt pitoisuuskeskiarvot kyseisistä elintarvikeryhmistä on esitetty taulukossa 2. Taulukossa on esitetty merkittävimpien tunnuslukujen (keskiarvo, mediaani ja prosenttipisteet) lisäksi myös määrittäysrajojen alle jääneiden mittausten lukumäärä prosentteina (engl. interval-censored result, IC (%)).

**Taulukko 3.** Glysidyyliesterien pitoisuuksien keskiarvon ennustejakauma ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) ja määrittäysrajojen alle jääneiden mittaustulosten määrä prosentteina (interval-censored result, IC (%)).

Elintarvikeryhmä	Keskiarvo	Mediaani	2,5 %	97,5 %	IC (%)
<b>Leivät</b>					
Ruis-vehnäleivät ja sekaleivät	2,26	2,08	1,11	4,49	88
Vehnäleivät	11,53	10,13	4,78	26,57	64
Teolliset rieskat, tortillat ja näkkileivät	37,55	33,59	15,2	84,34	29
<b>Aamiaisviljavalmistet</b>					
Aamiaismurot ja myslit	25,84	23,20	11,49	55,69	72
Muropatukat	11,66	9,38	3,50	33,32	60
<b>Lisukkeet</b>					
Paistetut perunat ja kasvikset	6,65	6,20	3,44	12,65	25
<b>Kalat ja lihat</b>					
Savukalat	5,57	5,43	3,74	8,21	56
<b>Suolaiset</b>					
Ranskalaiset	30,97	26,31	11,22	77,21	36
Sipsit	110,92	108,5	77,48	158,90	0
Snack-tuotteet	15,14	13,79	6,97	31,48	53
<b>Leivonnaiset</b>					
Pullapohjaiset leivonnaiset	56,77	50,22	23,12	129,50	27
Keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset	138,63	135,00	93,06	205,40	16
Kakut ja muffinssit	123,36	113,50	60,40	243,60	18
Voitaikinaleivonnaiset	18,89	15,82	5,56	50,70	67

Glysidolipitoisuuden jakauma ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) eri elintarvikeryhmistä on koottu taulukkoon 4. Glysidolipitoisuuden jakauma kuvaa pitoisuuksien mittaustulosten arvioitua jakaumaa, eli sitä kuinka paljon pitoisuudet vaihtelevat keskiarvosta. Ennustetut glysidolipitoisuudet vastaavat hyvin alkuperäisen aineiston pitoisuuksia, eli alle määrittäysrajan jäävien tulosten mallintaminen ei vaikuttanut ennustepitoisuuksiin merkittävästi.

**Taulukko 4.** Glysidolipitoisuuden ennustejakauma eri elintarvikeryhmistä ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) ja määrittäysrajojen alle jääneiden mittaustulosten määrä prosentteina (interval-censored result, IC (%)).

Elintarvikeryhmä	Keskiarvo	Mediaani	2,5 %	97,5 %	IC (%)
<b>Leivät</b>					
Ruis-vehnäleivät ja sekaleivät	2,25	0,30	0,00	16,38	88
Vehnäleivät	11,62	1,42	0,00	86,56	64
Teolliset rieskat, tortillat ja näkkileivät	37,70	20,77	0,09	173,00	29
<b>Aamiaisviljavalmistet</b>					
Aamiaismurot ja myslit	26,56	1,87	0,00	211,90	72
Muropatukat	11,83	1,96	0,00	80,95	60
<b>Lisukkeet</b>					
Paistetut perunat ja kasvikset	6,72	3,18	0,01	33,88	25
<b>Kalat ja lihat</b>					
Savukalat	5,59	2,29	0,00	30,15	56
<b>Suolaiset</b>					
Ranskalaiset	31,31	8,27	0,00	197,00	36
Sipsit	110,74	73,97	1,96	430,01	0
Snack-tuotteet	15,35	5,15	0,00	89,97	53

<b>Leivonnaiset</b>					
Pullapohjaiset leivonnaiset	56,60	20,96	0,01	318,20	27
Keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset	138,00	58,09	0,01	731,30	16
Kakut ja muffinssit	122,30	47,11	0,03	681,93	18
Voitaikinaleivonnaiset	18,90	7,85	0,00	100,30	67

### 2.2.2 Eri elintarvikeryhmien keskimääräinen päiväkulutus

Keskimääräisessä pitkän aikavälin päiväkulutuksessa on huomioitu kulutusfrekvenssin ja keskimääräisen annoskoon vaikutus, jotka on esitetty lukuina liitteissä 3 ja 4. Kulutusfrekvenssi kuvaa sitä, kuinka suurena osana päivistä elintarviketta kulutettiin ja keskimääräinen annoskoko kuvaa sitä, kuinka suuri annoskoko keskimääräisesti päivässä oli.

Normaalirasvaista margariinia käytettiin eniten, eli noin neljänä päivänä mahdollisesta viidestä (82 %) ja muropatukoita vähiten (0,60 %) (liite 3). Seuraavaksi useimmin käytettiin ruisvehnäleipiä ja sekaleipiä (52,1 %) ja kolmanneksi useimmin keksejä ja murotaikinapohjaisia leivonnaisia (36,6 %) (liite 3).

Annoskoko oli suurin erilaisilla laatikkoruoilla (makaronilaatikot ja riisiruokat, lasagne, laatikot ja risotot, lihakastikkeet) ja pienin rasvanlähteillä, kuten öljyillä, salaatinkastikkeilla ja margariineilla (liite 4). Suurien vaihteluvälien perusteella voi todeta, että annoskoot vaihtelivat huomattavasti yksilöiden välillä. Pienimmät vaihteluvälit olivat erilaisten öljyjen ja kastikkeiden kulutuksessa, mistä voi todeta, että niiden annoskoot olivat yleisimmin samankokoisia eri yksilöillä.

Eri elintarvikeryhmien keskimääräinen pitkän aikavälin päiväkulutus grammoina vuorokaudessa henkilön painokiloa kohden on esitetty kuvassa 3. Öljyjä, erilaisia salaatinkastikkeita ja muropatukoita kulutettiin vähiten ja niiden kulutuksen vaihteluvälit olivat myös pieniä. Keksejä ja murotaikinapohjaisia leivonnaisia kulutettiin eniten ja seuraavaksi eniten lihakastikkeita. Kolmanneksi eniten kulutettiin ruisvehnäleipiä ja sekaleipiä. Kuvan 3 perusteella voidaan todeta, että monien elintarvikeryhmien vaihteluvälit olivat suuria, eli ruoankulutuksen vaihtelu yksilöiden välillä oli suurta.

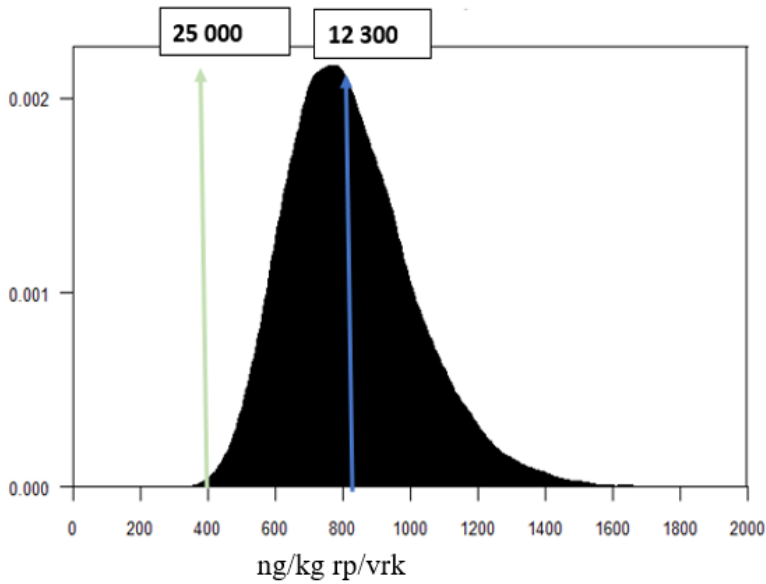


**Kuva 3.** Pitkän aikavälin keskimääräinen päiväkulutus (g/kg rp/vrk) eri elintarvikeryhmistä.

### 2.2.3 Pitkän aikavälin keskimääräinen glysidolialtistus ja altistusmarginaali

Lapset altistuivat glysidolille ruuasta päivässä keskimäärin 830 ng/kg rp/vrk. Luottamusväleinä (95 %) ilmaistuna alimmassa ryhmässä altistuminen oli 513 ng/kg rp/vrk ja ylimmässä 1275 ng/g rp/vrk. Glysidolin terveyshaittaa aiheuttava annos laskettiin terveyshaittaa koe-eläimillä aiheuttavan annoksen (10,2 mg/kg rp/vrk) ja kroonisen päiväaltistuksen (830 ng/kg rp/vrk) osamääränä. Pitkän aikavälin keskimääräisestä altistuksesta laskettu altistusmarginaali oli 12 300, joka alittaa EFSA:n epävirallisen syöpävaarallisten ja perimämyrkyllisten aineiden altistusmarginaalin 25 000.

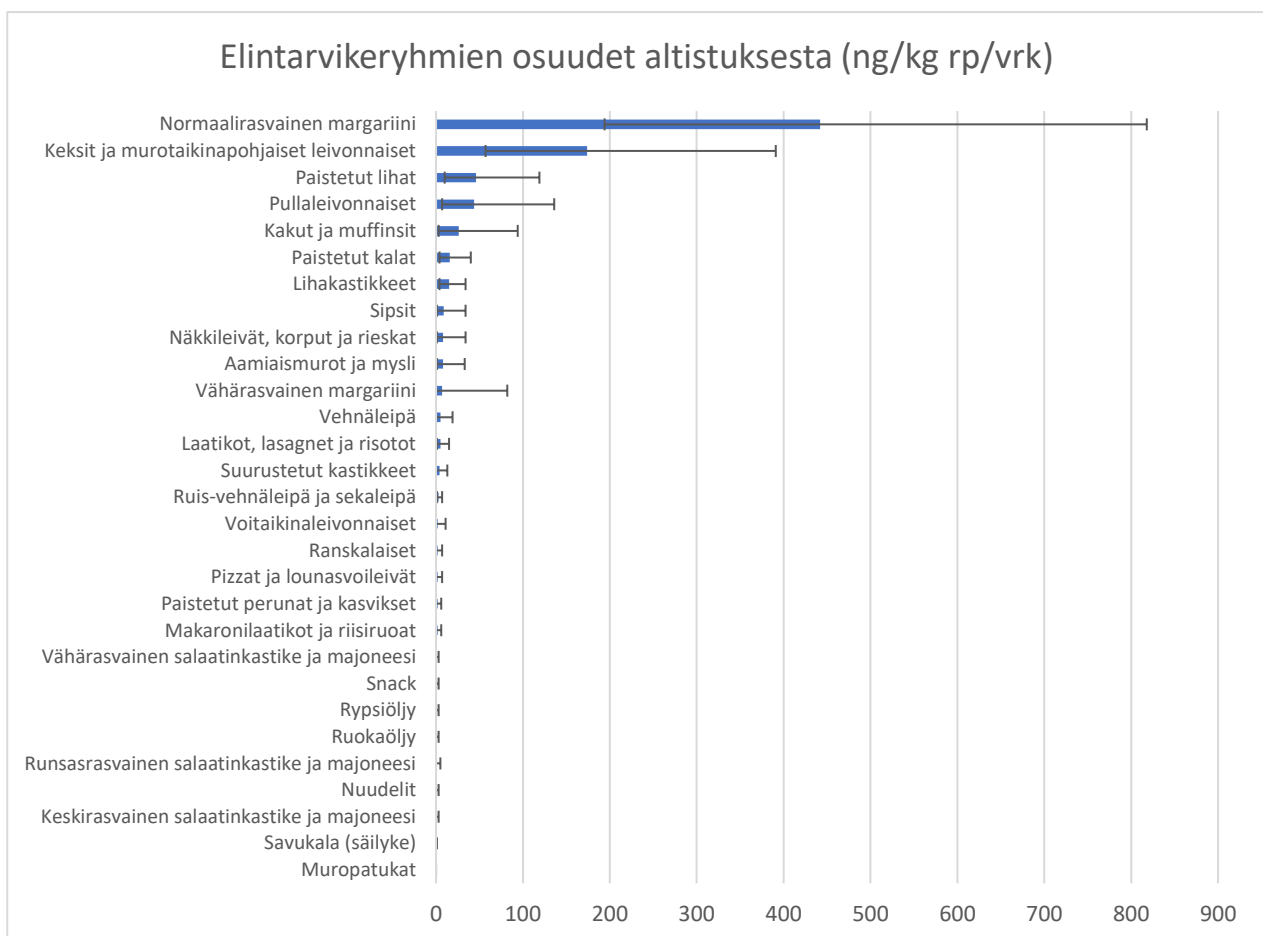
Tulos osoittaa, ettei lasten glysidolialtistuksesta aiheutuva terveyshaitan mahdollisuutta voi sulkea pois ja altistuminen on tämän tutkimuksen mukaan huomattavan suurta verrattuna altistusmarginaaliin 25 000, jossa syöpävaarallisuuden riskiä voidaan pitää mitättömänä. Altistusmarginaali 25 000 glysidolille täyttyy jo annoksesta 408 ng/kg rp/vrk. Kuvassa 4 on esitetty glysidolialtistuksen jakauma eli altistumisen tiheysfunktio. Kuvaan on myös sovitettu käsin altistusmarginaali altistuksen keskiarvosta sekä EFSA:n epävirallisesta viiterajasta (25 000), jonka alapuolelle jäävät lukemat katsotaan terveyshaitan kannalta huolestuttaviksi. Kuvasta nähdään, että vain pieni osa altistuksesta on EFSA:n viiterajan (25 000) yläpuolella, jossa altistusta ei pidetä huolestuttavana.



**Kuva 4.** Tutkimuksessa lasketun glysidolialtistuksen tiheysfunktio ja kuvaan sovitetut altistusmarginaalit glysidolialtistuksesta sekä EFSA:n epävirallisesta altistusmarginaalista.

#### 2.2.4 Elintarvikeryhmien osuudet glysidolialtistuksesta

Kuvassa 4 on esitetty eri elintarvikeryhmien osuudet altistuksesta (ng/kg rp/vrk).



**Kuva 4.** Keskimääräinen glysidolialtistus (ng/kg rp/vrk) eri elintarvikeryhmistä (palkit) sekä altistuksen 95 % vaihteluväli (virhejanat).

Normaalirasvaisen margariinin kulutuksesta aiheutui suhteellisesti suurin keskimääräinen altistus (442 ng/kg rp/vrk) ja toiseksi suurin altistus kertyi keksien ja murotaikinapohjaisten leivonnaisten kulutuksesta (174 ng/kg rp/vrk). Seuraavaksi suurimman altistuksen aiheuttivat kaksi ryhmää – paistetut lihat (46 ng/kg rp/vrk) ja pullaleivonnaiset (44 ng/kg rp/vrk). Muut ryhmät aiheuttivat suhteellisen matalan keskimääräisen altistuksen (0,0-26 ng/kg rp/vrk). Liitteestä 2 selviää altistumismäärät lukuina eri elintarvikeryhmistä mediaanina, alimmassa 2,5 %:n altistusryhmässä ja ylimässä 97,5 %:n altistusryhmässä.

### 2.2.5 Eri elintarvikeryhmien päiväkulutusten väliset riippuvuudet

Eri elintarvikeryhmien kulutuksen yhteydellä kuvataan sitä, käytetäänkö tarkastelun kohteena olevia elintarvikkeita samanaikaisesti. Samanaikaisuutta kuvataan sekä päivien välisen kulutuksen eli kulutusfrekvenssin että käyttömäärien mukaan. Taulukossa 5 on esitetty kulutuksien välinen riippuvuus niiden elintarvikeryhmien välillä, joiden kulutuksen välinen yhteys oli selkeä eli korrelaatiokerroin oli 0,5 tai enemmän.

**Taulukko 5.** Eri elintarvikeryhmien kulutuksen yhteys sekä käyttömäärän että kulutusfrekvenssin mukaan niistä ryhmistä, joiden kulutuksen välillä oli selkeä yhteys (korrelaatiokerroin 0,5 tai enemmän).

<b>Eri elintarvikeryhmien kulutuksen yhteys kulutusfrekvenssin mukaan</b>	
<b>Yhteys</b>	<b>Elintarvikeryhmät</b>
0,5	Suurustetut kastikkeet + voitaikinaleivonnaiset, Keskirasvainen salaatinkastike ja majoneesi + ruis-sekaleipä, Makaronilaatikat ja riisiruokat + näkkileivät, korput ja rieskat, Paistetut lihat + nuudelit, Paistetut lihat + paistetut perunat, Paistetut lihat + ruoanvalmistusrasva, Paistetut lihat + rypsiöljy, Paistetut lihat + voitaikinaleivonnaiset, Rypsiöljy + vähärasvainen margariini, Savukala (säilyke) + vähärasvainen salaatinkastike ja majoneesi, Snack + voitaikinaleivonnaiset, Vähärasvainen margariini + vähärasvainen salaatinkastike ja majoneesi
0,6	Kakut ja muffinsit + ranskalaiset, Kakut ja muffinsit + snack, Paistetut lihat + sipsit, Ranskalaiset + voitaikinaleivonnaiset
0,7	Paistetut lihat + suurustetut kastikkeet, Rypsiöljy + nuudelit, Ranskalaiset + snack
<b>Eri elintarvikeryhmien kulutuksen yhteys käyttömäärän mukaan</b>	
<b>Yhteys</b>	<b>Elintarvikeryhmät</b>
0,5	Normaalirasvainen margariini + ruisvehnäleipä ja sekaleipä, Normaalirasvainen margariini + vehnäleipä

Useiden elintarvikeryhmien kulutus oli riippuvaista toisistaan kulutusfrekvenssin mukaan tarkasteltuna. Etenkin paistettujen lihojen kulutus oli yhteydessä useiden elintarvikeryhmien kulutuksen kanssa. Paistettujen lihojen kulutus oli yhteydessä ruoanvalmistusrasvan, paistettujen perunoiden, nuudeliin, rypsiöljyn ja voitaikinaleivonnaisten kulutuksen kanssa. Vahvin yhteys (korrelaatiokerroin 0,7) merkittävimpien glysidolille altistavien elintarvikeryhmien kannalta oli paistettujen lihojen ja suurustettujen kastikkeiden välinen yhteys. Niiden vahvasta kulutuksen riippuvuudesta huolimatta suurustetut kastikkeet eivät olleet merkittävä lähde glysidolille altistumisessa.

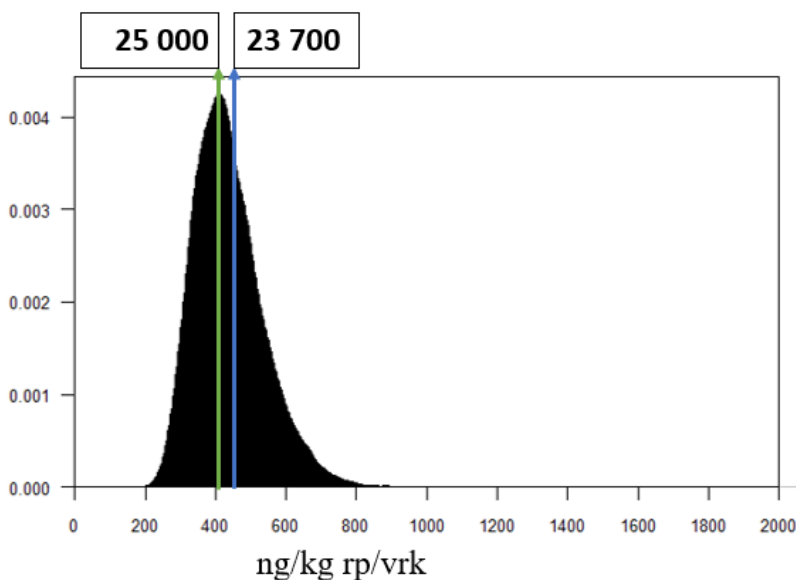
Normaalirasvaisen margariinin ja erilaisten leipien kulutuksella oli selkeä yhteys käyttömäärien mukaan katsottuna. Muiden elintarvikeryhmien kulutuksen välillä ei ollut selkeää yhteyttä käyttömäärissä.

Toisen merkittävän glysidolille altistavan lähteen, keksien ja murotaikinapohjaisten leivonnaisten, kulutus ei ollut selkeästi yhteydessä minkään elintarvikeryhmän kanssa. Myöskään skenaariossa niille valitun korvaajan, pullapohjaisten leivonnaisten, kulutus ei ollut selkeästi riippuvaista toisten elintarvikeryhmien kanssa.

### 2.2.6 Skenaario: elintarvikeryhmien suhteellinen osuus

Elintarvikeryhmistä normaalirasvainen margariini ja keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset altistivat eniten glysidolille. BIKE-mallilla luotiin skenaario siitä, miten altistuminen muuttuisi, jos normaalirasvaisen margariinin sijaan käytettäisiin vähärasvaista margariinia ja keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset korvattaisiin pullapohjaisilla leivonnaisilla.

Miten altistuksen muuttuminen vaikuttaa altistusmarginaaliin? Kuvassa 5 on esitetty altistuksen tiheysfunktio skenaariossa. Pitkän aikavälin altistus oli skenaariossa 443 ng/kg rp/vrk. Krooninen altistuminen glysidolille väheni huomattavasti eli noin puoleen alkuperäisestä 830 ng/kg rp/vrk altistumisesta. Skenaariosta laskettu altistusmarginaali on 23 700, joka on paljon lähempänä terveyshuolen mitättömyyden epävirallista viiterajaa (25 000) kuin alkuperäisestä altistuksesta laskettu 12 300.

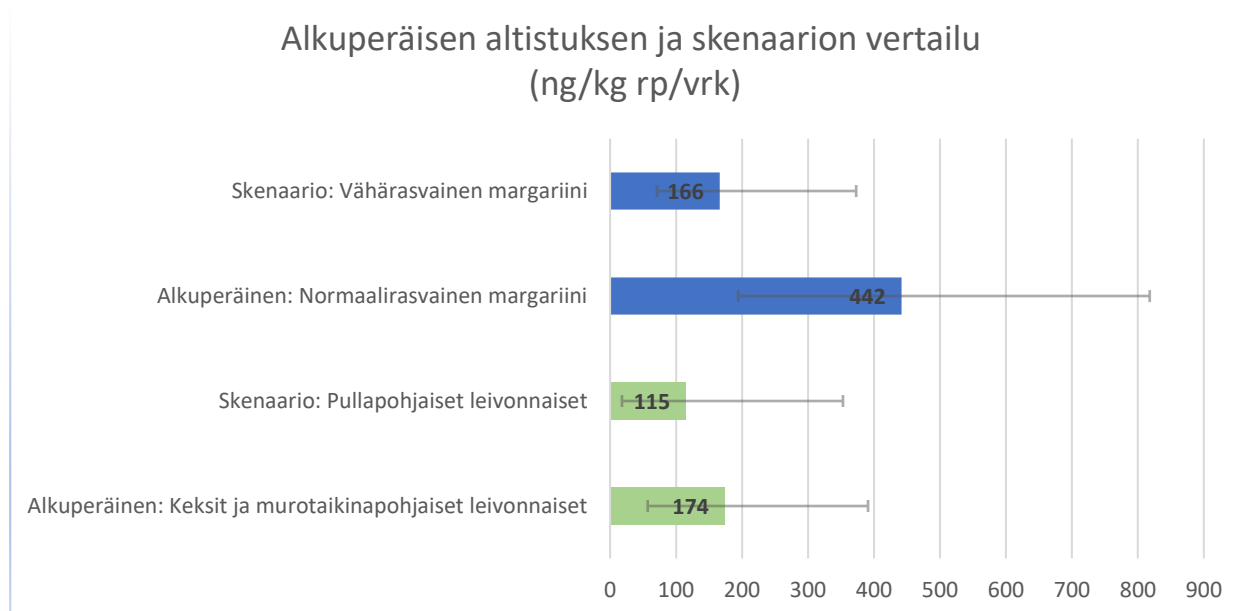


**Kuva 5.** Glysidolialtistuksen tiheysfunktio skenaariosta ja kuvaan sovitetut altistusmarginaalit glysidolialtistuksesta sekä EFSA:n epävirallisesta altistusmarginaalista.

Kuvaan 6 on havainnollistettu kuinka elintarvikeryhmien osuus glysidolille altistumisesta muuttuu skenaariossa. Pienet muutokset vaikuttavat merkittävästi glysidolille altistumiseen lasten



ruokavalioissa. Kuvassa ei ole esitetty niitä elintarvikeryhmiä, joiden osuus altistumisesta ei muuttunut skenaariossa. Skenaariossa normaalirasvaisen margariinin korvaaminen vähärasvaisella margariinilla ja keksien ja murotaikinapohjaisten leivonnaisten korvaaminen pullapohjaisilla leivonnaisilla vähentäisi altistusta huomattavasti. Margariinien kulutuksesta aiheutuva glysidolialtistus olisi merkittävin tekijä altistuksen vähentämisessä.



**Kuva 6.** Glysidolille altistavien elintarvikeryhmien osuus altistuksesta skenaariossa ja alkuperäisessä altistuksessa. Pitkän aikavälin altistus on esitetty palkkeina ja 95 % luottamisväli virhejanoina.

## 2.3 POHDINTA

### 2.3.1 Altistuminen glysidolille

#### Keskimääräinen pitkän aikavälin altistuminen glysidolille

Tämän tutkimuksen mukaan lapset altistuvat glysidolille pitkällä aikavälillä keskimäärin 830 ng/kg rp/vrk. EFSA:n mukaan Euroopan maissa lapset altistuvat glysidolille keskimäärin 100-900 ng/kg rp/vrk (EFSA 2016). EFSA:lle on lähetetty ruoankäyttötietoja mm. Ruotsista, Espanjasta, Tanskasta, Saksasta, Kreikasta, Puolasta ja Italiasta, joten ruoankäytössä on todennäköisesti kulttuurillisia eroja. Suomen suhteellisen korkea lukema saattaa johtua normaalirasvaisen margariinin suuresta käyttömäärästä esimerkiksi leivän päällä, sillä useissa Etelä-Euroopan maissa margariinin käyttömäärät ovat pienempiä ja vastaavasti kasviöljyjen käyttömäärät suurempia kuin Pohjoismaissa (EFSA: Food Consumption Database). Muutamissa taaperoikäisten ruoankäyttökyselyissä kasviöljyt ja muut öljyt aiheuttivat suhteellisesti suuremman altistumisen glysidolille kuin margariinit, mutta ”muiden lasten” ikäryhmässä tulokset eivät olleet yhtä selkeitä. Tässä tutkimuksessa ruokaöljyistä ja muista öljyistä peräisin oleva altistus glysidolille oli 1-5 %. EFSA:n (2016) keräämien ruoankäyttötietojen mukaan ryhmän ”muut lapset” margariineista peräisin oleva altistus jakautuu eri

ruoankäyttökyselyiden mukaan siten, että vain kahdessa ruoankäyttökyselystä margariinien glysidyyliesterit altistivat 40-60 % glysidolialtistuksesta, yhdessä 30-40 %, ja lopuissa 14:sta ruoankäyttökyselystä 1-30 % (EFSA 2016). Taaperoikäisillä vain yhdessä ruoankäyttökyselyssä normaalirasvaisen margariinin osuus oli 40-60 % altistuksesta. On luultavaa, että kyse on suomalaisesta DIPP-ravintotutkimuksesta, jonka mukaan normaalirasvaisen margariinin käytöllä on suurin merkitys glysidolille altistumisessa. EFSA:n (2016) raportista voi siten päätellä, että Euroopan muista maista poiketen suomalaisten lasten glysidolille altistumisen lähteenä normaalirasvaisella margariinilla on erityinen merkitys. Tätä johtopäätöstä puoltavat myös tämän tutkimuksen tulokset. Toisaalta EFSA:n raporttiin kootut tiedot ovat taaperoikäisten ja ”muiden lasten” ikäryhmistä, joista ei käy tarkalleen ilmi lasten todelliset iät, minkä vuoksi tuloksia ei voi vertailla suoraan yhteen ikäryhmään.

”Muiden lasten” ikäryhmässä lihan käytön osuus oli useimpien ruoankäyttökyselyiden mukaan noin 5-30 % altistumisesta glysidolille (EFSA 2016). Seitsemässä ruoankäyttökyselyssä keksien käytön osuus oli 10-20 % ja vain yhdessä 30-40 % lasten glysidolille altistumisesta eri ikäryhmissä. Yhteensä yhdeksässä ruoankäyttökyselyssä keksien käytön osuus altistuksesta oli lasten eri ikäryhmissä 1-5 %, 5-10 %, ja 10-20 %. Euroopassa keksien aiheuttama altistus painottuu pieniin suhteellisiin altistuksiin toisin kuin tässä tutkimuksessa laskettu. Useissa ruoankäyttökyselyissä suhteellinen altistuminen glysidolille jakautuu taaperoilla ja muilla lapsilla siten, ettei mikään yksittäinen elintarvikeryhmä erityisesti korostu altistuksessa. Lasten eri ikäryhmien ruoankäyttökyselyiden mukaan vain neljässä jonkin tietyn elintarvikeryhmän osuus glysidolille altistumisesta oli 40-60 % kokonaissaannista. Muiden ikäryhmien (nuoret, aikuiset, vanhukset) ruoankäyttökyselyiden mukaan pääosa altistuksesta oli jakautunut siten, että useimpien elintarvikeryhmien osuus altistumisesta glysidolille olivat 1-5 %, 5-10 %, 10-20 %, 20-30 % tai 30-40 % painottuen kuitenkin pieniin suhteellisiin altistuksiin (1-5 % tai 5-10 %) (EFSA 2016). Tästä voi päätellä, että muualla Euroopassa altistutaan glysidolille tasaisemmin eri elintarvikeryhmistä, mutta Suomessa altistutaan pääasiassa yhdestä elintarvikeryhmästä.

Pohjoismaista vain Ruotsissa on arvioitu lasten glysidolille altistumista. Tutkimuksessa (n=50, ikä=12) arvioitiin glysidolille altistumista perustuen glysidolin ja hemoglobiinin muodostamiin addukteihin (DiHOPRVal) eli tutkimuksessa ei mitattu ruoankulutusta (Aasa ym. 2019). Arvio glysidolille altistumisesta oli 1400 ng/kg rp/vrk. Pohjoismaiden ruokakulttuureissa on keskenään samoja piirteitä (NNR 2014), mutta vertailu ei ole tässä tapauksessa luotettavaa sillä tutkimusmenetelmät ovat liian erilaisia. Lapset tuskin polttavat savukkeita, mutta on huomioonotettavaa, että DiHOPRVal-adduktit eivät kuvaa välttämättä elintarvikeperäistä altistumista, sillä glysidolille voi

altistua myös tupakansavusta (Marghan ym. 2016). Lisäksi adduktit eivät ole välttämättä peräisin glysidolista, vaan fruktoosi, epihydrokloriini, 3-MCPD ja propyleenioksidi voivat toimia näiden adduktien esiasteina (Shimamura ym. 2020).

Tulevaisuudessa luotettavamman riskinarvioinnin nimissä ruoankulutuksen mittaaminen ja hemoglobiiniadduktien määrittäminen samoilta tutkittavilta samanaikaisesti vaikuttaa hyvältä tavalta arvioida glysidolille altistumisen lisäksi sitä, että miten glysidoli tai glysidyyliesterit imeytyvät erilaisista elintarvikkeista, ja minkälainen on elintarvikeperäisen altistuksen osuus glysidolialtistuksesta. Täten voisi arvioida luotettavammin myös miten elintarvikkeiden rakenne vaikuttaa glysidolin imeytymiseen suolistosta, jolloin syy-seuraussuhde elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuuden ja glysidolin biomarkkerien välillä olisi selkeämpi.

### Kulutusfrekvenssi ja eri elintarvikeryhmien kulutuksien yhteydet

Kulutusfrekvenssillä kuvataan sitä, kuinka suurena osana ruoankäyttötutkimuksen päivistä elintarviketta kulutettiin. Normaalirasvaista margariinia kulutettiin useimmiten eli 82 %:ssa päivistä (liite 3), mikä selittää kulutusfrekvenssin ja altistumisen yhteyden. Siitä huolimatta normaalirasvaisen margariinin keskimääräinen annoskoko oli pieni (0,93 g/kg rp/vrk) (liite 4). Tästä voi päätellä, että normaalirasvaista margariinia käytettiin usein mutta pieniä määriä. Keksejä ja murotaikinaleivonnaisia kulutettiin 36 %:ssa ruoankäyttötutkimuksen päivistä ja niiden keskimääräinen annoskoko oli 3,43 g/kg rp/vrk. Keksien ja murotaikinapohjaisten leivonnaisten osuus glysidolille altistumisesta johtuu annoskoon, kulutusfrekvenssin sekä keskimääräisen glysidolipitoisuuden yhteisvaikutuksesta.

Eri elintarvikeryhmien kulutuksien yhteyden tutkimisella on tarkoitus määrittää mitä elintarvikeryhmiä käytetään yhdessä. Esimerkiksi leipien ja normaalirasvaisen margariinin kuluttamisella on vahva yhteys perustuen niiden käyttömääriin. Normaalirasvainen margariini altisti määrällisesti eniten glysidolille. Tästä voi päätellä, että suuri osa lasten altistumisesta glysidolille on peräisin leivän päällä käytettävästä normaalirasvaisesta margariinista.

### Altistuvatko lapset liikaa glysidolille Suomessa?

Syöpävaarallisille ja perimämyrkyllisille aineille asetettu EFSA:n epävirallinen altistusmarginaali (25 000) alittui tästä aineistosta lasketun ruoankulutuksen mukaan. Mitä pienempi altistus altistusmarginaaliin verrattuna, sitä huolestuttavammasi terveyshaitan mahdollisuus katsotaan. Lasten keskimääräinen pitkän aikavälin altistus oli altistusmarginaalina laskettuna 12 300. Täten lapset altistuvat glysidolille siinä määrin, ettei terveyshaitan mahdollisuutta voi sulkea pois.

Miten altistuminen muuttuu, jos elintarvikeryhmien osuutta altistuksesta muutetaan? Normaalirasvaisen margariinin korvaaminen vähärasvaisella margariinilla ja keksien ja murotaikinapohjaisten

leivonnaisten korvaaminen pullapohjaisilla leivonnaisilla vähentäisi kroonista altistusta puoleen (kuva 6). Normaalirasvaisen margariinin verrokiksi valittiin vähärasvainen margariini ravitsemuksellisista syistä väestötasolla. Altistuminen glysidolille olisi todennäköisesti vähentynyt vielä enemmän, jos normaalirasvainen margariini olisi korvattu esimerkiksi tuorejuustolla tai muilla vastaavilla levitteillä. Keksin ja murotaikinapohjaisten leivonnaisten korvaajaksi valittiin pullapohjaiset leivonnaiset siksi, että niiden katsotaan vastaavan toisiaan syömistarkoitukseltaan.

Keskimääräinen altistus skenaariosta katsotaan olevan syöpävaarallisuuden kannalta huolestuttavalla tasolla (altistusmarginaali 23 700), mutta vaikka keskimääräinen altistuminen ei ole vielä ylittänyt epävirallista turvarajaa (altistusmarginaalia), niin osa kokonaisaltistuksesta on kuitenkin skenaariossa tasolla, jossa terveyshaitan mahdollisuutta pidetään hyvin pienenä (kuva 5). Huomioitavaa on kuitenkin se, että monia elintarvikeryhmiä on jäänyt tämän altistuksen arvioinnin ulkopuolelle tiedonpuutteen vuoksi, mikä todennäköisesti aliarvioi altistusta.

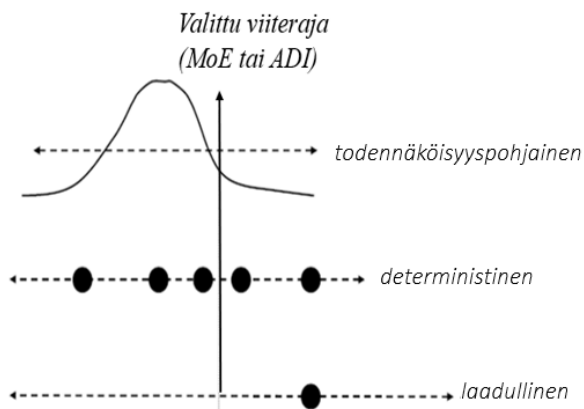
### 2.3.2 BIKE-mallin sopivuus aineistoon

Tilastollinen BIKE-malli tuottaa yhtenäisen kokonaismallin bayeslaisen tilastotieteen haaran hyödyntämistä osamalleista, kuten pitoisuudesta, kulutusfrekvenssistä ja ruoankulutuksesta. Frekventistisen näkökulmassa todennäköisyys noudattaa äärettömän havaintojen muodostamaa todennäköisyyttä, joten sen toteuttaminen on hankalaa ja kallista esimerkiksi elintarvikkeiden pitoisuuksien määrittämisessä, koska mittauksia samasta elintarvikkeesta tulisi toistaa useita kertoja. Bayeslainen näkökulma ei ole niin riippuvainen otoskoosta, joten se sopii frekventistisiä näkökulmia paremmin aineistoihin, joista on vain niukasti mittaustuloksia, sillä simulaatioiden avulla voidaan tuottaa keskiarvon jakauma myös pienistä analyysimääristä saatujen tulosten perusteella. Lisäksi se sopii aineistoille, joiden kaikkien havaintojen arvoa ei tunneta tarkasti, kuten tässä tapauksessa toteamisrajan alle jääneitä mittaustuloksia elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuuksista. Bayeslaisen menetelmän etuihin lukeutuu se, että elintarvikkeiden pitoisuuksien tutkimiseen osoitetut resurssit voidaan hyödyntää tutkimalla pääasiassa pitoisuuksia eri elintarvikeryhmistä, kuin toistaa mittauksia samasta elintarvikkeesta tai samasta elintarvikeryhmästä saavuttaakseen hyvän luotettavuuden menetelmälle.

Tässä tutkielmassa kaikkien elintarvikeryhmien glysidyyliesterien pitoisuuksille ei voitu mallintaa pitoisuutta, sillä analyysituloksia puuttuessa osalle laskettiin keskiarvo reseptien perusteella (nuudelit, pata- ja vuokaruokat, kastikkeet) ja osalle oli saatavilla vain keskiarvo (öljyt, margariinit, lihat, kalat, salaatikastikkeet, pizzat ja lounasvoileivät) ilman tarkkoja mittaustuloksia EFSA:n glysidolin riskinarviointiraporttiin (2016) kootuista pitoisuustiedoista. Näistä elintarvikeryhmistä on mahdollista käyttää keskiarvoa altistumisen arvioinnissa, mutta siitä ei saada keskiarvon jakaumaa

(keskiarvon epävarmuutta). Tämä hieman heikentää tulosten luotettavuutta ja BIKE-mallin hyödyntämistä.

BIKE-mallin MCMC -simulaatiotekniikka sopii hyvin tähän aineistoon sellaisista elintarvikeryhmistä, joista on saatavilla pitoisuuksien mittaustuloksia, mutta MCMC-simulaatioita ei voi hyödyntää vain keskiarvopitoisuudet tuntemalla, joten osa elintarvikeryhmistä jäi simulaatioiden ulkopuolelle. Tämän menetelmän etujen hyödyntämisessä olisi oleellista, että mahdollisimman useasta eri elintarvikeryhmästä olisi saatavilla analyysituloksia. Kuitenkin ruoankulutusjakauma voidaan mallintaa ja keskiarvoja hyödyntää altistuksen jakauman arvioimisessa. Tuloksia tulee tulkita nämä asiat huomioiden. Toisaalta laskennallisista resepteistä aiheutunut glysidolialtistus oli vain marginaalinen verrattuna merkittävämpään altistuslähteeseen normaalirasvaiseen margariiniin.



**Kuva 7.** Probabilistisen, deterministisen ja määrällisen mallinnuksen erot (mukailtu EFSA 2006). Ylin rivi kuvaa todennäköisyyspohjaista jakaumaa, keskimäinen rivi edustaa determinististä mallinnusta ja alin rivi laadullista epävarmuutta.

Epävarmuuksien mallintamiseen on esitetty erilaisia lähestymistapoja (kuva 7). Todennäköisyyspohjaisessa mallintamisessa nähdään, miten altistuminen jakautuu. Deterministisessä tavassa taas nähdään, meneekö osa piste-estimaateista määritetyn rajan yli vai ei. Todennäköisyyspohjainen epävarmuuksien määrittäminen antaa luotettavamman kuvan epävarmuuksista (EFSA 2006). Kuvasta voi päätellä, että deterministisellä menetelmällä ei selviä jakaumaa siitä, kuinka paljon altistus ylittyy ja kuinka usein. Laadullinenkin epävarmuuden piste-estimaatti kuvaa vain epävarmuuden suuntaa, mutta ei anna luotettavaa kuvaa epävarmuuden luonteesta ja todellisesta altistumisesta. Hyödyntämällä askelittaisista lähestymistapaa epävarmuudet voidaan ottaa huomioon tehokkaasti – laadullinen analyysi kertoo epävarmuuden suunnan, deterministinen kuvaa epävarmuuden suuruutta ja todennäköisyyspohjainen kuvaa epävarmuuden kokonaisuudessaan. Askelittaisessa lähestymistavassa arvioidaan piste-estimaattien perusteella ne riskit, joita on syytä mallintaa todennäköisyyspohjaisesti.

BIKE-malli on todennäköisyyspohjainen malli, jollaisella EFSA (2006) suosittaa täydentävän deterministisiä tai määrällisiä mallinnuksia, sillä todennäköisyyspohjaisessa mallinnuksessa epävarmuudet saadaan otettua huomioon luotettavammin. Voidaan todeta, että BIKE-mallin MCMC-simulaatiotekniikka sopii hyvin tämän tutkielman aineistoihin ja sen avulla saadaan luotettavat altistusjakaumat, sillä BIKE-malli täysin parametrisena mallina huomioi aineiston perusteella elintarvikeryhmien välisen kulutuksen korreloituneisuuden, yksilöiden sisäisen ja yksilöiden välisen ruoankulutuksen vaihtelun sekä vaihtelun kulutusfrekvenssissä, joita pidetään oleellisina epävarmuuden lähteinä altistuksen arvioinnissa (Slob 2006). Lisäksi BIKE-mallin avulla voidaan luoda todennäköisyyspohjaisia skenaarioita tärkeämmiksi katsotuista epävarmuuksista ja riskeistä.

### **2.3.3 BIKE-mallin erot aikaisempiin riskinarvioinnin työkaluihin verrattuna**

Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) altistuksen arvioinnissa on aikaisemmin käytetty samaa BIKE-mallia ja samaa ruoankäyttöaineistoa kuin tässä tutkielmassa (Hirvonen ym. 2020). Akryyliamidin altistuksen arvioinnissa hyödynnettiin Nusserin (1996) kehittämää determinististä menetelmää, jossa ei käytetty Monte Carlo -simulaatioita (Hirvonen ym. 2011). Nitraattien sekä kasvinsuojeluainejäämien altistuksen arvioinnissa on hyödynnetty Monte Carlo -simulaatioita MCRA- tai RISK-ohjelmistolla (Laakso ym. 2010, Suomi ym. 2013), mutta menetelmät eroavat kokonaisuudessaan täysin todennäköisyyspohjaisesta ja yhtenäisestä BIKE-mallista. BIKE-mallissa alle määritysrajan olevat mittaustulokset käsitellään sensuroituina havaintoina, mikä tuottaa todenmukaisemman kuvan pitoisuudesta, kuin subjektiivinen arvio siitä, että mittaustulos olisi joko nolla (LB), puolet määritysrajasta (MB) tai määritysrajan suuruinen (UB). Lisäksi BIKE-mallin avulla voidaan arvioida eri elintarvikeryhmien kulutuksen välistä yhteyttä.

Tässä tutkielmassa pitoisuusjakaumat mallinnettiin gammajakaumalla ja ruoankulutusjakaumat hierarkisella log-normaalijakaumalla, jossa vaihtelu ruoankäytössä päivien välillä sekä yksilöiden välillä tulee huomioitua. Tässä tutkielmassa useilla tutkittavilla oli nk. nollakulutusta joistain elintarvikeryhmistä, sillä ryhmiä on useita. Tämän vuoksi esimerkiksi Nusserin semiparametrinen menetelmän voidaan katsoa tuottavan epätarkkoja tuloksia, sillä menetelmässä nollakuluttajien oletetaan olevan aina nollakuluttajia, mikä ei kuvaa todennäköisesti pitkän aikavälin ruoankäyttöä (Slob 2006). BIKE-mallissa myös nollakulutus otetaan huomioon. Slob (2006) toteaaakin parametrisellä menetelmällä tehdyn arvion olevan kuvaavampi kuin semiparametriset tai pelkät Monte Carlo -perusteiset menetelmät. Tämä tarkoittaa sitä, että täysin parametrisessä menetelmässä otetaan huomioon sekä kulutusfrekvenssistä että keskimääräisestä annoskoosta peräisin oleva vaihtelu eli yksilöiden välinen vaihtelu keskimääräisessä päiväkulutuksessa (Slob 2006).

EFSA:n (2016) glysidolin riskinarvioinnissa käytettiin EFSA:n (2006) riskinarviointiohjeistuksen määrittelemiä tapoja epävarmuuksien huomioimiseen. Ne sisältävät askelittaisen lähestymistavan – määrällisen, deterministisen ja probabilistisen eli todennäköisyyspohjaisen. Glysidolin riskinarviointiraportissa kuvataan, että kroonisen altistumisen arviointilaskelmat tehtiin yhdistämällä tietyn elintarvikkeen keskiarvoinen päiväkulutus yksilötasolla elintarvikeryhmän keskiarvon kanssa. Lisäksi on tehty skenaarioita huolestuttavimmiksi katsotuista vaaroista, kuten siitä, kuinka suuren altistumisen imeväisvalmisteet aiheuttavat niitä eniten käyttävässä ryhmässä (95 %). Raportissa ei kuvata tarkemmin käytettyä tilastollista menetelmää.

BIKE-mallin hyötyjä aikaisempiin menetelmiin verrattuna on se, että se on täysin todennäköisyyspohjainen, täysin parametrinen ja lisäksi täysin yhtenäinen ottaen huomioon osamalleista tulevat jakaumat ja niiden epävarmuudet yhtenäisesti. Lisäksi alle määrittämissä rajojen jäävien mittaustulosten todennäköinen pitoisuus voidaan arvioida luotettavammin kuin aikaisemmin käytetyissä menetelmissä.

#### **2.3.4 T25-arvo terveyshaitan viiterajan määrittäjänä**

Altistusmarginaalin arvioinnissa käytettävä terveyshaittaa aiheuttava annos määritetään eläinkokeiden perusteella seuraamalla kasvaimien muodostumista ja annosvastetta. Syöpävaarallisten ja perimämyrkyllisten aineiden riskinarvioinnissa käytetään BMDL<sub>10</sub>-viiterajaa mahdollisen terveyshaitan viiterajana, kun eläinkokeissa on käytetty tarpeeksi useaa annosta kuvaamassa annosvastetta.

BMDL<sub>10</sub>-viiteraja on arvio pienimmästä annoksesta, jolla voidaan selittää 95 %:n todennäköisyydellä 10 % kasvaimien määrän lisääntyminen (EFSA 2005). Glysidolin tapauksessa BMDL<sub>10</sub>-viiterajaa ei voi määrittää, sillä glysidolin kroonisissa syöpävaarallisuustutkimuksissa oli vain kaksi eri annosta kuvaamassa annosvastetta (NTP 1990), mitä ei pidetä luotettavana BMDL<sub>10</sub>-rajan määrittämistä varten (EFSA 2005).

Glysidolin riskinarvioinnissa on käytetty T25-arvoa altistusmarginaalin arvioimisessa (EFSA 2016). T25-arvo kuvaa kroonista annoksen arvoa (mg/kg rp/vrk), jolla eläimille muodostuu 25 % kasvaimia eläimen eliniän aikana, kun spontaanien kasvaimien muodostuminen otetaan huomioon (EFSA 2005). T25-arvo on vaihtoehto BMDL<sub>10</sub>-mallinnukselle, mutta se ei oteta huomioon yksilöiden välistä herkkyyttä glysidolin syöpävaarallisuudelle tutkimuksessa käytettyjen annosten vähäisen määrän vuoksi (EFSA 2016). Tämän vuoksi T25-arvosta asetettu altistusmarginaalin raja (25 000) on korkeampi kuin BMDL<sub>10</sub>-arvoa käytettäessä (10 000), koska herkkyuden vaihtelua ja muita sisäisiä epävarmuustekijöitä ei sisällytetä sen tulkintaan (EFSA 2005). T25-arvosta asetettua altistusmarginaalin rajaa ei pidetä yhtä luotettavana rajana syöpävaarallisuuden arvioinnille, kuin BMDL<sub>10</sub>-viitearvosta asetettua.

Jos glysidolin syöpävaarallisuutta tutkivissa kokeissa olisi ollut tarpeeksi annoksia määrittämään annosvastetta ja alin terveyshaittaa aiheuttava annos pysyisi samana, altistusmarginaalina olisi voitu pitää lukemaa 10 000. EFSA (2016) on myös todennut, että glysidolin syöpävaarallisuuskokeiden uusiminen olisi tarpeen. Tämän skenaarion mukaan lasten kroonisen annoksen altistusmarginaali ei alittuisi, mutta ylimmässä 97,5 %:n altistusryhmässä tämä alittuisi, minkä perusteella glysidolille altistumista pidettäisiin vain ylimmässä 97,5 %:n altistusryhmässä huolestuttavana.

### 2.3.5 Aineiston käsittelyn epävarmuudet

#### Ruoankulutustietojen epävarmuudet

Taulukossa 6 on kuvailtu glysidolin altistumisen arvioinnin virhelähteitä ja niiden suuntaa ruoankulutuksen näkökulmasta.

**Taulukko 6.** Ruoankulutuksen laadullisia virhelähteitä altistumisen arvioinnissa.

Virhelähde	Yliarviointi (+), aliarviointi (-)
Aliraportoinnin ja unohtelun vaikutus lasten ruoankäyttökyselyissä on epäselvä	+/-
Useat henkilöt ovat lajitelleet ruokalajeja, mikä aiheuttaa epävarmuutta	+/-
Ruokalajien valmistus on oletettu oletusmenetelmän valmistettaviksi (poikkeavat menetelmät on huomioitu erikseen, jos ne on kirjattu ylös)	+/-
Käytettyjen öljyjen prosessointiastetta ei ole kirjattu ylös	+/-

Useat henkilöt ovat käsitelleet ruoankulutusaineistoa, joten ruokalajien laadun subjektiivinen arviointi aiheuttanee epävarmuutta. Aineistoa ovat käsitelleet ruokapäiväkirjojen täyttäjät (lapsen vanhempi tai päiväkotihenkilökunta), tietojen tallentajat (ravitsemustieteen pääaineopiskelijat) sekä tutkielman kirjoittaja. Ruoankäyttötietojen ruokalajien valmistusmenetelmät oli tallennettu oletusmenetelmällä, eli oli oletettu valmistustavan olevan valmistajan reseptien mukainen. Vain osaan ruokalajeista oli saatu mukaan ruoanvalmistusrasvan laatu. Tämän vuoksi tarkat parametrit kuten paistorasvan laatu ja paisto-olosuhteet jäivät epäselviksi, joten tätä tutkielmaa varten on tehty subjektiivisia oletuksia ruokien valmistuksen suhteen.

Ruoankäytön arviointiin liittyy aina epävarmuus kuten aliraportointi ja unohtelu. Ruokapäiväkirjoja pidetään luotettavina tiedonkeruumenetelminä etenkin lyhyen aikavälin ruoankäytön selvittämiseen, sillä ruoankulutustiedot kirjataan mahdollisimman pian syömisestä jälkeen, mikä vähentää unohtamisen aiheuttamaa raportointiheikkoutta (Männistö 2012). Lisäksi ruokapäiväkirja on useimmiten vapaaehtoinen toisin kuin esimerkiksi frekvenssikyselyt, joissa ruokalajit ovat kirjattu valmiiksi (Männistö 2012). Tämä antaa vapautta kertoa tarkemmin omasta ruokavaliostaan, sillä valmistusmenetelmä tai tuotemerkki on useimmiten tarkoitus kirjata ylös. Ruoankäytön mittaamisessa tutkitavat saattavat kaunistella ruokavaliotaan kahdella tapaa - käyttämällä helposti kirjattavia ruokia tai



yksinkertaisesti kirjaavat syöneensä terveellisempiä ruokia tai määrällisesti vähemmän kuin todellisuudessa (Männistö 2012).

DAGIS-tutkimuksen ruokapäiväkirjoista ei ole poistettu aliraportoituja ruokapäiväkirjoja, vain puutteellisesti täytetyt. Tämä saattaa aliarvioida glysidolille altistumista, mutta on epäselvää, tuleeko aliraportoinnista merkittävä ongelma silloin, kun lapsen puolesta täytetään ruokapäiväkirjaa. Lapsen puolesta ruokavalion raportointivirheiden virhelähteet tulevat eri lähteistä kuin jos itse täytäisi omaa ruokapäiväkirjaansa eikä aliraportoinnin havaitsemiseksi lapsilla ei ollut validoituja menetelmiä ainakaan vuonna 2000 (Livingstone & Robson 2000). Siten aliraportointia ei voi luotettavasti määrittää.

### Pitoisuustietojen epävarmuudet

Glysidolin altistumisen arvioinnin virhelähteitä ja niiden suuntaa elintarvikkeiden glysidyyliesterien pitoisuuksien näkökulmasta on kuvailtu taulukossa 7.

**Taulukko 7.** Pitoisuuksien laadullisia virhelähteitä altistumisen arvioinnissa.

Virhelähde	Yliarviointi (+), aliarviointi (-)
Glysidyyliesteripitoisuudet ovat keskiarvoja EU:n alueella määritetyistä pitoisuuksista	+/-
Elintarvikeryhmien pitoisuuksien vaihteluvälit ovat suuria	+/-
Lähtöoletuksena vain jalostetut kasviöljyt sisältävät glysidyyliestereitä (ei ole varmaa, muodostuuko niitä esimerkiksi paistaessa lihaa korkeissa lämpötiloissa)	-
Vapaata glysidolia ei ole määritetty elintarvikkeista	-
Glysidoli voi muuttua 3-MCPD:ksi vatsalaukussa	-
Kaikista elintarvikeryhmistä (esim. suklaa) ei ole määritetty pitoisuuksia	-
Joistain elintarvikeryhmistä glysidyyliesterit ovat laskettu normaalirasvaisen margariinin pitoisuuden perusteella tiedonpuutteen vuoksi	+/-
Öljyjen pitoisuustiedoissa ei ole annettu prosessointiastetta (ts. onko öljy kylmäpuristettu vai ei)	+/-
Osan ruokalajeista on oletettu sisältävän pienen määrän paistamiseen käytettyä rasvaa	+/-
Glysidyyliesterien hajoamisen ja muodostumisen suhde on epäselvä	+/-
Pitoisuuksien analyysimenetelmät sisältävät omat virhelähteensä	+/-

EFSA:n kokoamat elintarvikkeiden glysidyyliesterien pitoisuustiedot ovat koottu Euroopan Unionin jäsenvaltioiden viranomaisten analysoimista tuloksista. Täten analysoidut elintarvikkeet eivät välttämättä vastaa täysin Suomessa käytettyjä elintarvikkeita erilaisten reseptien tai valmistustapojen perusteella. Toistaiseksi Suomessa ei ole analysoitu glysidyyliesterien pitoisuuksia elintarvikkeista. Paras mahdollinen tapa tässä tapauksessa on käyttää EFSA:n kokoamia pitoisuustietoja. Subjektiviivisia oletuksia oli tehtävä sen suhteen, millaisia Suomessa useimmiten käytetyt elintarvikkeet ovat verrattuna analysoituihin elintarvikkeisiin. Elintarvikkeita luokiteltiin hierarkkisesti, eli esimerkiksi kokoamalla ”Lihat”-kategoriaan erilaisia lihatuotteita, kuten paistettua lihaa, hampurilaisia ja valmislihapullia. Hierarkkisen mallin käyttäminen vähentää epävarmuutta, sillä samankaltaisten tuotteiden arvioiminen yhdessä ei yksittäisten tuotteiden huomiotta jättämistä vähäisen käyttömäärän

vuoksi, sillä BIKE-mallin toimivuuteen vaikuttaa sekä ruoankulutuksen määrä eri elintarvikeryhmistä että pitoisuusmittausten määrä elintarvikeryhmistä. Toisaalta myös tällöin todelliset pitoisuudet ovat epäselviä, mutta tiedonpuutteen vuoksi on välttämätöntä käyttää hierarkkista lähestymistapaa. MCMC-simulaatioiden käyttö vähentää epävarmuutta hierarkkisessa ruokalajien lajittelussa, sillä analyysissä erilaiset simulaatiot ruoankäyttöarvojen ja pitoisuusarvojen välillä mahdollistaa epävarmuuden huomioon otamisen laajasti elintarvikeryhmän sisällä.

De Boer ym. (2009) ovat todenneet, että pitoisuuksien vaihtelu keskiarvoistuu pitkällä aikavälillä, jolloin keskiarvon käyttäminen arvioinnissa ei ole ongelma, mutta esimerkiksi tiettyjen tuotemerkkien suurkuluttajat saattavat altistua enemmän kuin keskiarvon mukaan arvioitu altistuminen antaa ymmärtää. Taulukossa 3 on esitetty lukuina glysidyyliesteripitoisuuksien keskiarvojen vaihteluvälit, joista voi havaita vaihteluvälien olevan joidenkin elintarvikeryhmien kohdalla suuria. On siis mahdollista, että tuotemerkkioskovaiset kuluttajat saavat huomattavasti enemmän glysidolia tietyistä kuluttamistaan tuotemerkeistä, joiden glysidyyliesteripitoisuus on vaihteluvälin ylärajalla. Hirvosen ym. (2011) ehdottama tapa suhteuttaa keksien akryyliamidipitoisuus niiden markkinaosuuden perusteella keskiarvoistamisen sijaan sopisi glysidyyliesterienkin pitoisuuden arviointiin etenkin sellaisista tuotteista, joissa on paljon sisäistä pitoisuuden vaihtelua, kuten tässä tapauksessa useissa elintarvikeryhmissä oli.

Lähtöoletuksena tutkielmassa oli se, että vain jalostetut kasviöljyt sisältävä glysidyyliestereitä, sillä toistaiseksi tarkkoja pitoisuustuloksia on vain lisätyistä kasviöljyistä. EFSA:n (2016) mukaan tämä aliarvioi todennäköisesti pitoisuuksia. Tarkkaa tutkimustulosta muista glysidolin elintarvikeperäisistä lähteistä on toistaiseksi kuitenkin niin niukasti, ettei luotettavampaa arviota ole mahdollista tehdä. Tallennetuissa ruokapäiväkirjoissa vain osassa ruokalajeja oli ilmoitettu ruoanvalmistusrasvan laatu tarkasti. Tämän vuoksi oli tarpeellista jättää sellaisia ruokalajeja huomiotta tai huomioida ne tässä tutkielmassa käytetyn oletuksen ”normaalirasvaisen margariinin” pitoisuuden perusteella. Resepteistä lasketut pitoisuudet suomalaisista margariineista ovat yhdenmukaisia EFSA:n (2016) raportissa esitettyjen pitoisuustietojen kanssa.

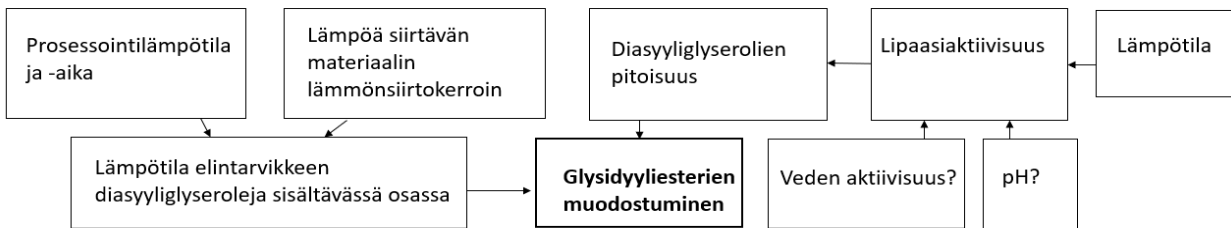
Epävarmuutta aiheuttaa se, että kaikista elintarvikkeista ei ole analysoitu pitoisuuksia eikä niitä ole mahdollista arvioida reseptien perusteella. Tämä saattaa aliarvioida altistusta. Osa ruokalajien glysidyyliesteripitoisuuksista laskettiin resepteistä käyttäen apuna Finelin reseptejä. Ruoanvalmistusrasva oli yleinen ruoanlaittorasva monien ruokalajien resepteissä, mutta rasvan laatu ei selviä tiedoista. Tämän vuoksi ruoanvalmistusrasvan pitoisuus arvioitiin samaksi pitoisuudeksi kuin normaalirasvaisessa margariinissa. Tämä saattaa mahdollisesti hieman yliarvioida pitoisuuksia, mutta kohtuullisen niukasti, sillä vain 3,4 % elintarvikeryhmien glysidolialtistuksesta oli peräisin

laskennallisista resepteistä. Tämä heikentää luotettavuutta, koska ei voida olla varmoja mitä rasvaa tutkittavat ovat todellisuudessa käyttäneet. FinRavinto 2017 -tutkimuksen mukaan 6/10 suomalaisesta käyttää ruoanvalmistusrasvana rypsiöljyä tai kasvirasvapohjaista valmistetta. Ei ole tietoa mil-laista rasvaa 4/10 suomalaisesta käyttävät, mutta mahdollisia ruoanvalmistusrasvoja ovat esimerkiksi voi, erilaiset margariinit tai muut kasviöljyt. FinRavinto 2017 -tutkimuksen otanta on osa Fin-Terveys 2017 -tutkimusta, jossa todettiin sosioekonomisen aseman vaikuttavan osallistumiseen si-ten, että alemmissa sosioekonomisissa luokissa ei osallistuttu yhtä usein tutkimukseen kuin korke-ammilla asteilla (FinTerveys 2017), mikä voi vääristää tuloksia siten, että alemmissa sosioekonomi-ssa luokassa olevat ovat aliedustettuina. Koulutusryhmien välillä on havaittu eroja ruoankäytössä (FinRavinto 2017).

Voissa paistetut ruokalajit jätettiin tästä tutkimuksesta kokonaan pois, sillä toistaiseksi glysidyyliesterien muodostumisesta voihin ei ole riittävästi tutkimustietoa. Tämän vuoksi altistuminen glysidolille saattaa olla aliarvioitu. On mahdollista, että tietyissä ruoanvalmistusmenetelmissä glysidyyliesterien muodostumisen edellytykset täyttyvät, kuten paistaessa ruokaa voissa kuumalla valurautapan-ulla. Voiöljyä valmistetaan 110-140 °C:n lämpötiloissa erottamalla hera ja muut komponentit voim rasvoista (Ganguli & Jain 1973). On viitteitä siitä, että voiöljyyn muodostuu glysidyyliestereitä, vaikka sen prosessointiolosuhteet eivät ole yhtä kuumat kuin öljyjen virrehajujen ja -makujen pois-toprosessissa. Jalostamattomasta voiöljystä (ghee) yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa MacMahon ym. (2013) määrittivät glysidyyliesteripitoisuudeksi 45 µg/kg ja sidotun glysidolin pitoisuudeksi 13 µg/kg, mutta tutkimuksesta ei selviä voiöljyn prosessointilämpötilaa eikä käytettyjä menetelmiä ol-lut validoitu. Pitoisuudet voiöljyssä olivat suhteellisen pieniä verrattuna esimerkiksi rypsiöljyn kes-kimääräiseen pitoisuuteen (166 µg/kg) ja toisaalta tutkimus koskee voista erotettua öljyä eikä voita. On epäselvää, sisältääkö voi diasyyliiglyseroleja, mutta lipaasin tuottamia vapaita rasvahappoja on määritetty voista (Pustjens ym. 2017). Voihin ei kuitenkaan muodostu glysidyyliestereitä sen nor-maaleissa prosessointiolosuhteissa, sillä voim prosessoinnissa ei ole tarvetta deodorisointikäsitteilylle toisin kuin kasviöljyjen prosessoinnissa. Voihin paiston aikana mahdollisesti muodostuneet glysidyyliesterit eivät todennäköisesti muuttaisi tässä tutkielmassa laskettua glysidolille altistu-mista, sillä paistetut elintarvikkeet oli huomioitu normaalirasvaisessa margariinissa paistettuna.

Glysidyyliesterien substraatin, diasyyliiglyserolien, pitoisuus määrittää glysidyyliesterien muodostu-mistehokkuutta (Destailhats ym. 2012). Diasyyliiglyserolien esiintyminen elintarvikkeessa on usein laatuksymys ja liittyy lipaasiaktiivisuuteen. Glysidyyliestereitä on mahdollista muodostua elintar-vikkeisiin, joissa diasyyliiglyseroleja on tarpeeksi läsnä ja prosessointilämpötila on tarpeeksi korkea.

Varmaa tietoa glysidyyliesterien hajoamisen ja muodostumisen suhteesta elintarvikkeiden prosessoinnin aikana ei ole. Asiaan vaikuttavia muuttujia ovat muun muassa diasyylyglyserolien pitoisuus, lämpötila, kuumennusaika ja käytettävän kuumennusmenetelmän lämmönsiirtokerroin (uunissa ilma, pannulla pannun materiaali, uppopaistossa rasva) (kuva 8). Yleisesti entsyymien aktiivisuuden vaikuttaa muun muassa pH, veden aktiivisuus, lämpötila ja entsyymin spesifisyys, jotka voivat vaikuttaa diasyylyglyserolien muodostumiseen hedelmässä.



**Kuva 8.** Glysidyyliesterien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä elintarvikkeiden prosessoinnissa.

Edellä mainitut seikat vaikeuttavat todenmukaista glysidolialtistuksen arviointia, sillä glysidyyliesterien analyysitiedot kertovat pitoisuuden vain analyysihetkellä. On mahdollista, että uppopaistetuissa öljyissä jo muodostuneet glysidyyliesterit ovat hajoaneet (Aniolowska & Kita 2015).

Aniolowska ja Kita (2015) osoittivat, että suurempi osa palmuöljyn glysidyyliestereistä hajosi uppopaistamisen aikana kuin rypsiöljyn. Tutkimus osoittaa, että käytetyn öljyn rasvahappojakaumalla on merkitystä siihen, miten glysidyyliesterit hajoavat prosessoinnin aikana. Teoriassa on mahdollista, että glysidyyliestereitä saattaa muodostua paistaessa paistamiseen käytettyihin öljyihin jopa enemmän kuin siellä on alun perin ollut, jos diasyylyglyserolien pitoisuus on tarpeeksi suuri, sillä paistamisessa lämpötila kohoaa runsaasti. Mahdollinen glysidyyliesterien muodostuminen elintarvikkeen kuumennuksessa riippuu valmistusmenetelmästä ja -materiaaleista, sillä esimerkiksi teräs-pannun tai muilla materiaaleilla päällystetyn pannun materiaalin lämmönsiirtokerroin vaikuttaa lämmön siirtymiseen elintarvikkeeseen (Sedighi & Dardashti 2015). Teoriassa glysidyyliestereitä voi muodostua myös muihin elintarvikkeisiin, joita kuumennetaan, kuten kaloihin ja lihoihin. Japanilaistutkijat ovat havainneet glysidyyliestereitä grillatusta lihasta ja kalasta ilman lisättyä rasvaa (Inagaki ym. 2016), mikä puoltaa sitä, että glysidyyliestereitä voi muodostua myös deodorisoimattomiin elintarvikkeisiin. Erilaisilla valmistustavoilla valmistetun makrillin homogeenisyys vaikuttaa lämmön siirtymiseen sen sisällä (Cheung ym. 2016). Siten elintarvikkeen rakenteella on vaikutusta lämmön siirtymiseen elintarvikkeen sisällä, mikä puolestaan vaikuttaa glysidyyliesterien muodostumiseen heterogeenisissä elintarvikkeissa. Lisäksi vesipitoisuus vaikuttaa lämpötilaan elintarvikkeessa, sillä veden haihtumislämpötila (100 °C) pitää lämpötilan tasaisena, kunnes vesi on haihtunut. Cheungin ym. (2016) tutkimus osoitti, että lämpötilan jakautuminen elintarvikkeessa riippuu

lämpöä siirtävän materiaalin lämmönsiirtokyvystä ja elintarvikkeen homogeenisyydestä. Tämän vuoksi ilman kokeellisia tutkimuksia on hankala osoittaa missä määrin yhdistelmäelintarvikkeisiin, kuten leivonnaisiin, muodostuu glysidyyliestereitä käytettäessä erilaisia prosessointimenetelmiä.

Teorian perusteella vaikuttaa siltä, että glysidolin tai glysidyyliesterien mahdollinen muodostuminen elintarvikkeeseen kotitalouksissa valmistettavissa tuotteissa liittyyne diasyyli glyserolien pitoisuuden lisäksi valmistusmenetelmään ja -materiaaleihin, sillä lämpötila diasyyli glyseroleja sisältävässä osassa elintarviketta täytyy nousta tarpeeksi suureksi, että glysidyyliestereitä muodostuisi. Tämä pätee myös öljyjen jalostamiseen teollisuudessa, jossa jalostusmenetelmän materiaaleilla on merkitystä lämmön siirtymiseen. Öljyt ovat homogeenisiä elintarvikkeita, joten lämpö jakautuu tasaisesti prosessointivaiheessa, minkä vuoksi siinä tapahtuvien muutosten tutkiminen on yksinkertaisempaa kuin matriisiltaan monimutkaisemmissa elintarvikkeissa, kuten kalassa tai leivonnaisissa. Uunissa valmistettavien rasvaa sisältävien ruokien glysidyyliesteripitoisuus todennäköisesti ei muodostu kovin korkeaksi, vaikka ruokaa lämmitäisi yli 200 °C:ssa, sillä ilman lämmönsiirtokerroin on matala eikä lämpö siten siirry tehokkaasti ruokaan, jolloin ruoan sisäinen lämpötila ei nouse tarpeeksi korkeaksi.

Osan elintarvikkeiden triglyserideistä täytyy olla hydrolysoitunut diasyyli glyseroleiksi, jotta muodostumisreaktio pääsisi alkamaan. Vapaiden rasvahappojen määrä kuvastaa rasvapitoisten elintarvikkeiden hapettumiskestävyyttä. Vapaiden rasvahappojen muodostuessa syntyy myös mono- ja diasyyli glyseroleja, mikä mahdollistaa glysidyyliesterien muodostumisen. Näennäisenä johtopäätelmänä voi ajatella, että huonolaatuisiin öljyihin muodostuu enemmän glysidyyliestereitä kuin hyvälaatuisiin. Vapaiden rasvahappojen määritys on toimiva keino selvittää pikaisesti ja edullisesti rasvan laatua ja näin seurata öljyjen laatua elintarviketeollisuudessa hapettumiskestävyyden lisäksi glysidyyliesterien muodostumisen mahdollisuuden näkökulmasta.

EFSA:n (2016) keräämissä ja tässä tutkimuksessa käytetyissä öljyjen glysidyyliesterien pitoisuustiedoissa ei ole annettu prosessointiastetta. Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa MacMahon ym. (2013) osoittivat, että kylmäpuristetuista öljyissä ei ole ollenkaan tai niistä havaitaan huomattavasti vähemmän glysidyyliestereitä kuin pidemmälle jalostetuista verrokkiöljyistä (esim. kylmäpuristettu saksanpähkinäöljy ja deodorisoitu saksanpähkinäöljy). Tämä mahdollisesti selittää EFSA:n (2016) raportissa esitetyn oliiviöljyn pienen glysidyyliesterien pitoisuuden (15 µg/kg) verrattuna muihin kasviöljyihin, sillä oliiviöljyä käytetään usein kylmäpuristettuna. Suomessa käytettävän rypsiöljyn prosessointiastetta ei ole eroteltu FinRavinto 2017 -tutkimuksessa, joten on vaikea sanoa, onko suomalaisten kuluttama rypsiöljy kylmäpuristettua vai ei. Toisaalta Suomessa käytetään vähemmän kylmäpuristettua rypsiöljyä kuin muulla tavoin prosessoitua rypsiöljyä.

Vähäisen kulutuksen vuoksi tästä altistumisen arvioinnista jätettiin huomiotta elintarvikeryhminä kookosöljy, oliiviöljy sekä suklaa-pähkinälevite. Niiden yhteenlaskettu altistumismäärä mikrogrammoina on 42,7 µg, mikä ei muuta oleellisesti tässä tutkimuksessa laskettua pitkän aikavälin keskimääräistä altistumista. Suklaalevitteen keskimääräinen glysidyyliesteripitoisuus on 870 µg/kg (EFSA 2016), joten suklaalevitteen suurkuluttajat todennäköisesti altistuvat glysidolille huomattavasti enemmän kuin tämä tutkimus antaa ymmärtää. EFSA (2016) on arvioinut suklaalevitteen glysidyyliesteripitoisuuden siten, että se sisältäisi 22 % palmuöljyä. Suomalaisilla markkinoilla olevat suklaalevitteet vaihtelevat reseptikaltaan ja markkinoilla on nykyään myös tuotteita, jotka eivät sisällä palmuöljyä.

Elintarvikkeiden glysidolipitoisuus määritetään glysidyyliestereinä. On mahdollista, että elintarvikkeet sisältävät glysidolia itsessään, mutta tämä on jätetty arvioiden ulkopuolelle tiedonpuutteen vuoksi. Olisi tärkeää selvittää, sisältävätkö elintarvikkeet glysidolia sellaisenaan, mutta toistaiseksi vapaan glysidolin määrittämiseen ei ole validoitu menetelmiä (EFSA 2016).

Altistumisen arvioinnista on jätetty pois kaikki sellaiset ruokalajit, jotka eivät sisällä kasviöljyä. Taulukkoon 8 on listattu tuotteita, joita ei voitu ottaa huomioon tässä altistuksen arvioinnissa pitoisuustietojen puutteen vuoksi, mutta on mahdollista, että niiden valmistuksessa on käytetty glysidyyliestereitä sisältäviä raaka-aineita. Näiden tuotteiden lisäksi tässä tutkielmassa ei otettu huomioon makkaroitu sellaisenaan, puuroja, täysjyväruisleipiä sekä näkkileipiä, joissa ei reseptin mukaan ole käytetty öljyä. Edellä mainitut tuotteet olivat EFSA:n (2016) raportissa mainittuja, mutta suomalaisten reseptien mukaan tuotteet eivät sisällä kasviöljyjä. Kulttuurilliset erot Euroopassa käytettävien ja suomalaisten elintarvikkeiden välillä aiheuttavat epävarmuutta tulosten yleistettävyyteen. Taulukossa 8 esitetyistä tuotteista mm. erilaiset kasvirasvapohjaiset kermat ja makeiset saattavat aiheuttaa suuren glysidolille altistumisen resepteistä arvioituna. Eri kasviöljyjen glysidyyliesteripitoisuuksien arvioiminen on kuitenkin liian haastavaa, sillä eri ainesosien pitoisuuksia ei ole resepteissä aina ilmoitettu.

**Taulukko 8.** Pitoisuustiedon puutteen vuoksi huomiotta jätetyt elintarvikkeet.

Elintarvikeryhmä	Elintarvike
Maitotuotteet/kasvipohjaiset tuotteet	Soijakerma/kaurakermat ja näistä valmistetut ruoat, teolliset vaniljakastikkeet ja kermavaahdot, kasvirasvajäätelöt/soijajäätelöt, kaurajuoma/soijajuoma, juustoraastevalmisteet, jäätelöiden täytteet ja vohvelit
Suklaat ja makeiset	Suklaapatukat, suklaakonvehdit, makeisten täytteet
Snack-tuotteet	Kuivatut hedelmät, paahdetut pähkinät, maapähkinävoi
Ruoat	Teolliset valmisruoat, kastikejauheet, pussikeitot, juustodipit, kermaperuna, kiusaukset, marinadit, perunasosejauhe, keitot, pesto

Todennäköisesti merkittävimmän aliarvioinnin glysidolille altistumiseen aiheuttaa se, ettei useista todennäköisesti glysidyyliestereitä sisältävistä elintarvikkeista ole määritetty pitoisuuksia eikä vaapaata glysidolia ole onnistuttu määrittämään elintarvikkeista, joten niitä ei ole voitu ottaa huomioon tässä tutkimuksessa. Todennäköisesti muut virhelähteet kuten muissa EU-maissa määritettyjen glysidyyliesterien pitoisuuksien yleistäminen suomalaisiin elintarvikkeisiin ja mahdollisesti kotitalouksissa valmistettavissa ruuissa syntyvät glysidyyliesterit eivät ole merkittäviä huolenaiheita.

### 2.3.6 Yleistettävyys

#### Aineiston yleistettävyys

Ruoankulutusaineisto ei ollut satunnaistettu, eli kunnat kutsuttiin DAGIS-tutkimukseen mukaan siten, että niiden eri päiväkodeissa voisi havaita sosioekonomisen luokan vaihtelua ja että ne olisivat lähellä tutkimuskeskuksia (Lehto ym. 2018). Toisaalta jokaisen kunnan päiväkodit kutsuttiin tutkimukseen satunnaisesti (Lehto ym. 2018). Satunnaiset aineistot kuvaavat tarkemmin koko väestön ruoankäyttöä, kun tutkittavia ei ole alun perin rajattu tietyn ominaisuuden mukaan.

Tutkimukseen osallistuneet päiväkodit sijaitsevat Uudellamaalla ja Keski-Pohjanmaalla. Tämän vuoksi ruoankulutusaineisto ei edusta koko Suomea, sillä esimerkiksi FinRavinto 2017 -tutkimuksen mukaan maakuntien keskimääräisessä päivittäisessä ruoankulutuksessa on pieniä eroja (FinRavinto 2017).

Ruoankäyttöaineisto on pyritty keräämään siten, että se edustaisi mahdollisimman laajaa vaihtelua sosioekonomisessa asemassa (Lehto ym. 2018) tavoitellen sitä, ettei mikään sosioekonominen ryhmä olisi ylikorostunut ruoankulutusaineistossa. Täten aineisto on hyvin yleistettävissä suomalaisiin lapsiin, mutta tulee ottaa huomioon, että vain 24 % tutkimukseen kutsutuista lopulta osallistui tutkimukseen. Tutkimukseen osallistuneiden perheiden vanhemmista suuri osa oli korkeakoulutettuja (Lehto ym. 2018), mikä saattaa vaikuttaa perheen ruoankäyttöön, eikä tästä näkökulmasta olisi yleistettävissä suomalaisiin lapsiin keskimäärin. Suomalaisesta väestöstä 32 % oli korkeakoulutettuja vuonna 2019 (Tilastokeskus 2019), mutta tässä aineistossa korkeasti koulutettujen vanhempien osuus oli 69 % (Lehto ym. 2018).

Vuonna 2018 lainsäädäntö glysidyyliesterien maksimipitoisuuksista tuli voimaan (EU/290/2018). Elintarvikkeiden analyysitiedot ovat aikaisemmilta vuosilta (2014), ja lainsäädäntö glysidyyliesterien pitoisuuksien vähentämisestä elintarvikkeissa kiristyi vasta 2018, joten tässä tutkielmassa laskettu altistus kuvaa pitoisuuksien ja ruoankäytön suhdetta hyvin. Asetuksessa ruoanvalmistuksessa käytettäville öljyille asetettiin glysidyyliesterien maksimipitoisuudeksi 1000 µg/kg. Elintarviketeollisuudessa seurataan trendejä ja lainsäädäntöä, ja tämän vuoksi elintarvikkeissa on käytetty

palmuöljyä vähenevissä määrin johtuen lainsäädännön muuttumisesta ja kuluttajien painostuksesta, joten vuosina 2015-2016 kerättyjen ruoankäyttötietojen perusteella laskettua altistusta tulee jatkossa tulkita tämä huomioiden.

### Tulosten yleistettävyys

Tulosten yleistettävyttä voidaan kuvata monista eri lähtökohdista. Muun muassa aineistojen tutkimusasetelmat ja -menetelmät vaikuttavat yleistettävyteen. Elintarvikkeiden vierasaineiden näkökulmasta myös imeytymiseen liittyvät seikat ovat olennaisia tulosten yleistettävydessä.

Poikkileikkaustutkimus ei kuvaa kausaalisuhdetta (Jacobs & Temple 2012). Siten tämän tutkimuksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä sille, että elintarvikkeiden glysidyyliesterit aiheuttaisivat syöpää nykyisellä altistumismäärillä. Tämä tutkimus kuvaa ruoankulutuksen ja glysidyyliesterien pitoisuuksien välistä suhdetta, josta voidaan laskea arvio sille, ovatko altistumismäärät haitallisia syöpävaarallisuuden näkökulmasta.

Eläinkokeiden yleistäminen ihmisiin on aina epävarmaa – matemaattisten mallien käyttäminen ja eläinkokeista yleistäminen syöpävaarallisten aineiden riskinarvioinnissa ei välttämättä kuvaa todellisuutta monien biologisten ulottuvuuksien takia (EFSA 2005). Lisäksi eläinkokeiden annosmäärät ovat hyvin suuria verrattuna annoksiin, joilla ihmiset vierasaineille altistuvat todellisuudessa (EFSA 2005). Määrällä voi olla merkitystä imeytymistehokkuuteen tai solujen käyttäytymiseen, mikä saattaa vaikuttaa syöpävaarallisuuteen. Suoraan DNA:n kanssa reagoivien aineiden kohdalla oletetaan, ettei kynnsarvoa annosvasteeseen ole, mutta oletus ei kuvaa täydellistä varmuutta asiasta (EFSA 2005). Glysidolille altistutaan elintarvikkeista ja tupakansavusta, mutta toistaiseksi epidemiologisia tutkimuksia glysidolille altistumisen ja ihmisten terveyden välillä ei ole.

EFSA (2016) on todennut, että glysidoli voi muuttua mahalaukun happamissa olosuhteissa elintarvikkeissa usein samanaikaisesti esiintyväksi 3-MCPD:ksi ja glysidolin haittavaikutukset voivat ilmentyä sen kautta. Toistaiseksi on epävarmaa missä määrin reaktio tapahtuu. Vapaata glysidolia ei ole elintarvikkeista määritetty, mikä saattaa johtaa tulosten aliarviointiin. Lisäksi se, ettei kaikista elintarvikkeista ole mahdollista arvioida glysidolin tai glysidyyliesterien pitoisuuksia, vaikuttaa tulosten tulkintaan. EFSA (2016) on perustanut laskennallisen glysidolille altistumisarvion siihen, että elintarvikkeiden glysidyyliesterit hydrolysoituisivat täydellisesti glysidoliksi. Lausunnossa todetaan, että eläinkokeiden perusteella glysidolista imeytyy 87-93 %. Glysidolin imeytymistutkimuksissa ei ole otettu huomioon sitä vaikuttavatko elintarvikkeiden muut komponentit glysidolin imeytymiseen. Eläinkokeissa glysidoli tai glysidyyliesterit annosteltiin veteen tai öljyyn liuotettuna ja koe-eläimet olivat paastonneet ennen annostelua (Nomeir ym. 1995, Wakabayashi ym. 2012, Appel



ym. 2013). Toistaiseksi ei siis tiedetä, kiinnittyvätkö glysidyyliesterit elintarvikkeen muihin komponentteihin, kuten kuituihin tai proteiineihin, mikä saattaa vaikuttaa imeytymiseen.

Liukenematon kuitu (mm. selluloosa ja resistentti tärkkelys) lisää ulostemassaa ja sitoo syöpävaarallisia aineita ja näin vähentää syöpävaarallisten aineiden imeytymistä, sillä syöpävaaralliset aineet kulkeutuvat kuitujen mukana pois suolistosta (Mutanen & Voutilainen 2012). Ferguson ym. (1995) toteavat syöpävaarallisen aineen (mm. bentso[a]pyreeni ja MeIQx) liukoisuuden vaikuttavan selluloosaan sitoutumisessa *in vitro* – hydrofobiset aineet sitoutuivat tehokkaammin  $\alpha$ -selluloosaan, mutta liuoksessa mukana ollut liukoinen kuitu (akaasiakumi) vähensi sitoutumista ilmeisesti emulgointivaikutuksen vuoksi. Tutkijat toteavat, että pelkkä liukoisuus ei ole ainoa tekijä syöpävaarallisen aineiden sitoutumisessa  $\alpha$ -selluloosaan, sillä liukoisen kuidun rakenne vaikuttaa sitoutumiseen. Mitä hydrofobisempi syöpävaarallinen aine oli, sitä vähemmän liukoinen kuitu häiritse sitoutumista liukenemattomaan kuituun. Glysidoli on vesiliukoinen, mutta elintarvikkeissa sitä esiintyy rasvaliukoisina glysidyyliestereinä. Tämän teorian mukaan liukenevat kuidut eivät häiritse glysidyyliesterien mahdollista sitoutumista liukenemattomaan kuituun, mutta ei ole kokeellisia tutkimuksia sitoutuvatko glysidyyliesterit esimerkiksi elintarvikkeissa liukenemattomaan kuituun, kuten selluloosaan. Tällainen sitoutuminen voisi tapahtua esimerkiksi sellaisissa kasviöljyä sisältävissä leivonnaisissa, joissa on käytetty selluloosaa emulgointiaineena tai sitä löytyy käytetyn viljamateriaalin rakenteesta. Kokeellisia tutkimuksia aiheesta ei kuitenkaan toistaiseksi ole.

Akryyliamidin on havaittu kiinnittyvän elintarvikkeiden proteiineihin (kananmunan albumiiniin), mikä heikensi imeytyvyyttä solumallissa (Schabacker ym. 2004). Teoriassa voi olla mahdollista, että glysidoli elektrofiilisenä molekyylinä voi reagoida proteiinien kanssa, mutta kokeellisia tutkimuksia aiheesta ei ole. Synergian selvittäminen elintarvikkeiden muiden komponenttien kanssa on tärkeää, mutta haastavaa toteuttaa elintarvikkeiden moniulotteisten matriisien vuoksi.

Tulosten yleistettävyyttä heikentää se, että glysidolin syöpävaarallisuustutkimukset ovat toteutettu eläimillä ja lisäksi selkeästi suuremmilla annoksilla kuin ihmiset päivittäisestä ruokavaliosta altistuivat. Epidemiologisia tutkimuksia glysidolin syöpävaarallisuudesta ole toistaiseksi toteutettu ihmisillä, joten ei ole varmaa onko elintarvikeperäinen glysidolialtistus merkittävä syövän riskiin liittyvä huolenaihe. Lisäksi glysidoli saattaa elektrofiilisenä molekyylinä kiinnittyä elintarvikkeiden muihin komponentteihin, mikä saattaa vaikuttaa sen imeytymiseen.

### 3 PÄÄTELMÄT

Tämä tutkielma on ensimmäinen tutkielma, jossa arvioidaan glysidolille altistumista Suomessa. Lasten glysidolille altistumista arvioitiin DAGIS-ruoankulutusaineiston sekä EU:n alueella kerättyjen glysidyyliesterien pitoisuustietojen avulla. Altistumisen jakauma laskettiin todennäköisyyspohjaisella BIKE-mallilla, jossa aineistojen epävarmuudet otetaan huomioon samanaikaisesti.

Lasten keskimääräinen pitkän aikavälin altistuminen glysidolille oli 830 ng/kg rp/vrk. Epäviralliseen EFSA:n altistusmarginaaliin verrattuna lasten altistuminen aiheuttaa tällä hetkellä terveys- huolta eli lapset altistuvat glysidolille liikaa Suomessa. Normaalisvainen margariini sekä keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset ovat 3-6-vuotiaiden lasten pääasiallisia glysidolille altistumisen lähteitä. Todennäköisesti normaalisvasta margariinia käytetään eniten leivän päällä, sillä normaalisvaisen margariinin keskimääräinen annoskoko oli pieni, ja leipien ja normaalisvaisen margariinin kulutukset olivat yhteydessä.

Lasten altistumista glysidolille voisi huomattavasti vähentää pienillä ruokavalion muutoksilla, kuten korvaamalla keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset pullapohjaisilla leivonnaisilla ja suosimalla normaalisvaisen margariinin sijaan muita levitteitä leivän päällä.

Kaikkia glysidyyliestereitä sisältäviä elintarvikkeita ei ollut mahdollista ottaa huomioon tässä tutkielmassa, mikä aliarvioi altistusta. Altistuksen arviointia voitaisiin tulevaisuudessa parantaa tutkimalla elintarvikkeiden glysidyyliesteripitoisuuksia enemmän etenkin Suomen markkinoilla olevista elintarvikkeista, jolloin tulosten tulkinta olisi luotettavampaa. Lisäksi resursseja voisi panostaa menetelmien validointiin erityisesti vapaan glysidolin näkökulmasta, ja selvittää miten se imeytyy erilaisia elintarvikematriiseista. DAGIS-tutkimukseen osallistuneiden lasten vanhemmat olivat useammin korkeakoulutettuja kuin väestössä keskimäärin, mikä vaikuttanee lasten ruokavalintoihin ja täten tulosten yleistettävyyteen. Lisäksi ruoankulutusaineisto ei ollut satunnaistettu, mikä vaikuttaa tulosten tulkintaan väestötasolla.

Tämä tutkimus ei osoita kausaalisuutta syövän syntymisen ja glysidolille altistumisen välillä. Tulokset antavat viitteitä siitä, onko glysidolin arvioitu altistumismäärä mahdollisesti terveyttä haittaavalla tasolla suomalaisilla lapsilla, mutta siitä ei voi vetää johtopäätöstä, että nykyinen glysidolille altistuminen aiheuttaisi syöpää.

Tutkimustuloksia voidaan käyttää ja soveltaa lainsäädännön asettamisessa, elintarviketeollisuuden sekä muiden ruokapalvelujen suunnittelussa sekä opetuksessa. Yksilötasolla tuloksia voi hyödyntää esimerkiksi glysidolin altistuslähteiden tarkastelussa ja ruokavalion suunnittelussa.

## LÄHDELUETTELO

Aasa J, Vryonidis E, Abramsson-Zetterberg L, Törnqvist M. Internal Doses of Glycidol in Children and Estimation of Associated Cancer Risk. *Toxics* 2019, 7 (1): 7. <https://doi.org/10.3390/toxics7010007>

Aniołowska M, Kita A. The effect of type of oil and degree of degradation on glycidyl esters content during the frying of french fries. *Journal of American Oil Chemist's Society*. 2015. 92: 1621–31.

Appel KE, Abraham K, Berger-Preiss E, Hansen T, Apel E, Schuchardt S, Vogt C, Bakhiya N, Creutzenberg O, Lampen A. Relative oral bioavailability of glycidol from glycidyl fatty acid esters in rats. *Archives of Toxicology* 2013, 87: 1649–1659. doi: <https://doi.org/10.1007/s00204-013-1061-1>

Cheng W, Liu G, Wang L. Glycidyl Fatty Acid Esters in Refined Vegetable Oils: A Review on Formation, Occurrence, Analysis and Elimination Methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2017, 16: 263-281. doi: 10.1111/1541-4337.122

Cheung L, Tomita H, Takemori T. Mechanisms of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid loss from pacific saury and comparison of their retention rates after various cooking methods. *Journal of Food Science* 2016, 81 (8): 1899-1907. doi: 10.1111/1750-3841.13367

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

De Boer WJ, van der Voet H, Bokkers BGH, Bakker MI, Boon PE (2009). Comparison of two models for the estimation of usual intake addressing zero consumption and non-normality. *Food Additives and Contaminants* 26: 1433- 1449. doi: <https://doi.org/10.1080/02652030903161606>

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

[EFSA] European Food Safety Authority. Food consumption database. Viitattu: 27.4.2021. Saatavilla: <https://www.efsa.europa.eu/en/food-consumption/comprehensive-database>

[EFSA] European Food Safety Authority. Opinion of the Scientific Committee on a request from EFSA related to A Harmonised Approach for Risk Assessment of Substances Which are both

Genotoxic and Carcinogenic. The EFSA Journal 2005, 282: 1-31. doi:

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.282>

[EFSA] European Food Safety Authority. Opinion of the Scientific Committee related to Uncertainties in Dietary Exposure Assessment. The EFSA Journal 2006, 438: 13-54. doi:

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2007.438>

[EFSA] European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Risk Assessment Terminology. The EFSA Journal 2012, 10(5): 2664. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2664>

[EFSA] European Food Safety Authority. Scientific opinion of acrylamide on food. Scientific opinion. The EFSA Journal 2015 13(6): 4104. 321 pp. doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4104

[EFSA] European Food Safety Authority. 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. Scientific opinion. The EFSA Journal 2016, 14 (5): 4426. doi:

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426>

[EFSA] European Food Safety Authority. 2017. Risks for public health related to the presence of furan and methylfurans in food. Scientific Opinion. The EFSA Journal 2017. doi:

[10.2903/j.efsa.2017.5005](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.5005)

Euroopan komission asetus (EU) 2018/290. 2018. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32018R0290>

Euroopan komission suositus (2014/661/EU). 2014. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014H0661&from=EN>

Euroopan komission asetus (EY) N:o 1888/2006. 2006. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006R1888&from=EN>

Ferguson L, Robertson A, Watson M, Triggs C, Harris P. The effects of a soluble fiber polysaccharide on the adsorption of carcinogens to insoluble fibers. *Chemico-biological interactions* 1995, 95: 245-255. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2797\(94\)03358-F](https://doi.org/10.1016/0009-2797(94)03358-F)

Ganguli N, Jain M. Ghee: Its chemistry, processing and technology. *Journal of Dairy Science* 1973, 56 (1): 19-25. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(73\)85109-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(73)85109-4)

Gelman A, Carlin J, Stern H, Dunson D, Vehtari A, Rubin D. Bayesian data analysis. Kolmas painos. CRC Press. Taylor and Francis Group. 2014. s. 656

Hagmar, L, Törnqvist, M, Nordander, C, Rosén, I, Bruze, M, Kautiainen, A, Magnusson, A, Malmberg, B, Aprea, P, Granath, F, Axmon, A. Health effects of occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose. *Scandinavian journal of work, environment & health* 2001, 27(4), 219–226. <https://doi.org/10.5271/sjweh.608>

Hirvonen T, Jestoi M, Tapanainen H, Valsta L, Virtanen S-M, Sinkko H, Kronberg-Kippilä C, Kontto J, Virtamo J, Simell O, Peltonen K. Dietary acrylamide exposure among Finnish adults and children: the potential effect of reduction measures, *Food Additives & Contaminants: Part A* 2011, 28 (11): 1483-1491. doi: 10.1080/19440049.2011.593559

Hirvonen T, Hokkanen M, Mikkilä A, Pasonen T, Uusitalo L, Erkkola M, Korkalo L, Tuominen P. Riskinarviointi suomalaisten lasten altistumisesta elintarvikkeiden polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH). *Ruokaviraston tutkimuksia* 2/2020. [sähköinen julkaisu]. Saatavilla: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/julkaisut/julkaisusarjat/tutkimukset/riskiraportit/tutkimuksia\\_2\\_2020\\_pah.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/julkaisut/julkaisusarjat/tutkimukset/riskiraportit/tutkimuksia_2_2020_pah.pdf)

Hoffmann D, Hoffmann I, El-Bayoumy K. The Less Harmful Cigarette: A Controversial Issue. A Tribute to Ernst L. Wynder. *Chemical Research in Toxicology* 2001, 14(7): 768-790. doi: 10.1021/tx000260u

[IARC] International Agency for Research on Cancer. Allyl Compounds, Aldehydes, Epoxides and Peroxides IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Volume 36. [sähköinen julkaisu]. 1985. Saatavilla: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Allyl-Compounds-Aldehydes-Epoxides-And-Peroxides-1985>

[IARC] International Agency for Research on Cancer. Some Industrial Chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 77. [sähköinen julkaisu]. 2000. Saatavilla: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono77.pdf>

Inagaki R, Hirai C, Shimamyra Y, Masuda S. Formation of glycidol fatty acid esters in meat samples cooked by various methods. *Journal of Food Processing Technology* 2016, 7(2). doi: 10.4172/2157-7110.1000557

Jacobs D, Temple N. *Methods in Nutrition Research*. Teoksessa: Temple N. Wilson T. Jacobs D *Nutritional Health*. Nutrition and Health. 2012. Humana Press, Totowa, NJ. doi: [https://doi/10.1007/978-1-61779-894-8\\_1](https://doi/10.1007/978-1-61779-894-8_1)

- Jestoi M, Järvinen T, Järvenpää E, Tapanainen H, Virtanen S, Peltonen K. Furan in the baby-food samples purchased from the Finnish markets – Determination with SPME–GC–MS. *Food Chemistry* 2009, 117 (3): 522-528. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.029>
- Koponen P, Borodulin K, Lundqvist A, Sääksjärvi K, Koskinen S. Raportti 4/2018. Terveys, toimintakyky ja hyvinvointi Suomessa. FinTerveys 2017-tutkimus. [sähköinen julkaisu]. Saatavilla: [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136223/Rap\\_4\\_2018\\_FinTerveys\\_verkko.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136223/Rap_4_2018_FinTerveys_verkko.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Laakso J, Lavinto M, Rasikari H, Karlström U, Siivinen K, Lukkarinen T, Ovaskainen M-L, Sinkko H, Tapanainen H, Virtanen S. Ravinnon kasvinsuojeluainejäämät Kumulatiivinen riskinarviointi. *Eviran tutkimuksia* 3/2010. [sähköinen julkaisu]. Saatavilla: <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/julkaisut/julkaisusarjat/tutkimukset/ravinnon-kasvinsuojeluainejaamat---kumulatiivinen-riskinarviointi.pdf>
- Lehto E, Ray C. M-L, Vepsäläinen H, Korkalo L, Lehto R, Kaukonen R E, Suhonen E, Nislin M A, Nissinen K, Skaffari E, Koivusilta L, Sajaniemi N, Erkkola M, Roos E. Increased Health and Well-being in Preschools (DAGIS) Study – differences in children’s energy balance-related behaviors (EBRBs) and in long-term stress by parental educational level. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, 15 (10): 2313. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph15102313>
- Lioret S, Touvier M, Balin M, Huybrechts I, Dubuisson C, Dufour A, Bertin M, Maire B, Lafay L. Characteristics of energy under-reporting in children and adolescents. *British Journal of Nutrition* 2011, 105 (11): 1671-1680. doi: [10.1017/S0007114510005465](https://doi.org/10.1017/S0007114510005465)
- Liu R, Cheng M, Kothapalli K, Wang Z, Mendralla E, GuyPark H, Block R, Wang X, Brenna T. Glycerol derived process contaminants in refined coconut oil induce cholesterol synthesis in HepG2 cells. *Food and Chemical Toxicology* 2019, 127: 135-142. doi: [doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.005](https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.005)
- MacMahon S, Begley TH, Diachenko GW. Occurrence of 3-MCPD and glycidyl esters in edible oils in the United States. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. 2013, 30 (12) :2081-92. doi: [10.1080/19440049.2013.840805](https://doi.org/10.1080/19440049.2013.840805)
- Marghan J, McAdam K, Forster M, Liu C, Wright C, Mariner D, Proctor C. Chemical composition of aerosol from an e-cigarette: a quantitative comparison with cigarette smoke. *Chemical Research in Toxicology* 2016, 29 (10): 1662-1678. doi: [10.1021/acs.chemrestox.6b00188](https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.6b00188)

Moortgart M, Schamph N, Van Langenhove H. Assessment of Odour Nuisance Problems in Flanders: a Practical Approach. *Studies in Environmental Science* 1992, 51:447-452. doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)70729-5](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)70729-5)

Männistö S. Ruoankäytön tutkimusmenetelmät. Teoksessa: Aro A, Mutanen M, Uusitupa M. Ravitsemustiede. 2012. Kustannus Oy Duodecim. ISBN: 978-951-656-577-7.

Nissinen K, Sillanpää H, Korkalo L, Roos E, Erkkola M. Annoskuvakirja lasten ruokamäärien arvioinnin avuksi. Unigrafia, Helsinki, 2016. s. 54

[NNR] Nordic Nutrition Recommendations 2012: Integrating nutrition and physical activity. 2014. 5. painos. doi: <http://dx.doi.org/10.6027/Nord2014-002>

Nomeir AA, Silveira DM, Ferrala NF, Markham PM, McComish MF. Comparative disposition of 2,3-epoxy-1-propanol (glycidol) in rats following oral and intravenous administration. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 1995, 44: 203–217. doi: 10.1080/15287399509531955

[NTP] National Toxicology Program (1990). NTP Toxicology and Carcinogenesis Studies of Glycidol (CAS No. 556-52-5) In F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Gavage Studies). [sähköinen julkaisu]. 1990. Saatavilla: [https://ntp.niehs.nih.gov/publications/reports/tr/300s/tr374/index.html?utm\\_source=direct&utm\\_medium=prod&utm\\_campaign=ntpgo-links&utm\\_term=tr374abs](https://ntp.niehs.nih.gov/publications/reports/tr/300s/tr374/index.html?utm_source=direct&utm_medium=prod&utm_campaign=ntpgo-links&utm_term=tr374abs)

Nusser S, Carriquiry A, Dodd K, Fuller W. A Semiparametric Transformation Approach to Estimating Usual Daily Intake Distributions, *Journal of the American Statistical Association* 1996, 91 (436): 1440-1449. doi: 10.1080/01621459.1996.10476712

Pustjens A, Boerrigter-Eenling R, Koot A, Rozijn M, van Ruth S. Characterization of Retail Conventional, Organic, and Grass Full-Fat Butters by Their Fat Contents, Free Fatty Acid Contents, and Triglyceride and Fatty Acid Profiling. *Foods* 2017, 6 (4): 26. <https://doi.org/10.3390/foods6040026>

Püssa T. Food toxicology. 2<sup>nd</sup> edition. Taylor and Francis group. 2014. ISBN: 978-1-4665-0410-3. s. 392

Schabacker J, Schwend T, Wink M. Reduction of Acrylamide Uptake by Dietary Proteins in a Caco-2 Gut Model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2004, 52: 4021–4025. doi: 4021 10.1021/jf035238w

Sedighi M, Dardashti B. Finite element analysis of heat transfer in multi-layer cooking pots with emphasis on layer number. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering* 2015, 11: 2253:2261. doi: <http://dx.doi.org/10.15282/ijame.11.2015.8.0189>

Segal A, Solomon J, Mukai F. In vitro reactions of glycidol with pyrimidine bases in calf thymus DNA. *Cancer Biochemistry Biophysics* 1990, 11 (1): 59-67. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2797\(93\)90087-F](https://doi.org/10.1016/0009-2797(93)90087-F)

Slob W. Probabilistic dietary exposure assessment taking into account variability in both amount and frequency of consumption. *Food and chemical toxicology* 2006, 44 (7): 933-951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.11.001>

Suomi J, Ranta J, Tuominen P, Hallikainen A, Putkonen T, Bäckman C, Ovaskainen M-L, Virtanen S, Savela K. Eviron julkaisu 2/2013. Kvantitatiivinen riskinarviointi lasten ja aikuisten altistumisesta nitraatille ja nitriitille. [sähköinen julkaisu]. Saatavilla: [https://www.ruokavirasto.fi/global-asets/tietoa-meista/julkaisut/julkaisusarjat/tutkimukset/riskiraportit/kvantitatiivinen-riskinarviointi-lasten-ja-aikuisten-altistumisesta-nitraatille-ja-nitriitille\\_2\\_2013.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/global-asets/tietoa-meista/julkaisut/julkaisusarjat/tutkimukset/riskiraportit/kvantitatiivinen-riskinarviointi-lasten-ja-aikuisten-altistumisesta-nitraatille-ja-nitriitille_2_2013.pdf)

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, Kansanterveyden edistäminen -yksikkö. Fineli. Elintarvikkeiden koostumustietokanta. Versio 20. Helsinki 2019. [www.fineli.fi](http://www.fineli.fi)

[TILASTOKESKUS] Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön koulutus rakenne [verkojulkaisu]. 2019. Helsinki. Saatavilla: [http://www.stat.fi/til/vkour/2019/vkour\\_2019\\_2020-11-05\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/vkour/2019/vkour_2019_2020-11-05_tie_001_fi.html). Viitattu: 3.2.2021.

Cheung L, Tomita H, Takemori T. Mechanisms of Docosahexaenoic and Eicosapentaenoic Acid Loss from Pacific Saury and Comparison of Their Retention Rates after Various Cooking Methods. *Journal of Food Science* 2016, 81 (8): 1899-1907. doi: 10.1111/1750-3841.13367

Wakabayashi K, Kurata Y, Harada T, Tamaki Y, Nishiyama N and Kasamatsu T. Species differences in toxicokinetic parameters of glycidol after a single dose of glycidol or glycidol linoleate in rats and monkeys. *The Journal of Toxicological Sciences* 2012, 37: 691–698. doi: <https://doi.org/10.2131/jts.37.691>

Shimamura Y, Inagaki R, Honda H, Masuda S. Does external exposure of glycidol related chemical influence the forming of hemoglobin adduct, N-(2,3-dihydroxypropyl)valine, as a biomarker of internal exposure to glycidol? *Toxics* 2020, 8 (4): 119. doi: 10.3390/toxics8040119



## LIITTEET

### Liite 1 (1). EFSA:n (2016) raportissa käytetyt glysidyyliesteripitoisuudet

Elintarvike	EFSA:n riskinarvioinnin glysidyyliesteripitoisuus
<b>Leivät</b>	
Ruis-vehnäleivät ja sekaleivät	Ruis-vehnäleivät (0,8), sekaleivät (4,1)
Vehnäleivät	12
Teolliset rieskat, tortillat ja näkkileivät	28
<b>Viljavalmistet</b>	
Murot ja mysli	Murot (6,3), mysli (84)
Muropatukat	12
<b>Lisukkeet</b>	
Paistetut perunatuotteet	6,4
Nuudelit	Ei ole
<b>Kalat ja lihat</b>	
Savukalat	5,8
Paistettu kala	30
Paistettu liha	43
Lihakastikkeet	Ei ole
<b>Pata- ja vuokaruokat</b>	
Makaronilaatikat ja riisiruokat	Ei ole
Lasagne, laatikot, ja risotot	Ei ole
<b>Kastikkeet</b>	
Suurustetut kastikkeet	Ei ole
<b>Suolaiset</b>	
Pizzat ja lounasvoileivät	8
Ranskalaiset	41
Sipsit	110
Snack-tuotteet	15
<b>Leivonnaiset</b>	
Pullapohjaiset leivonnaiset	81
Keksit ja murotaikinapohjaiset leivonnaiset	Keksit (134), pinnalta paistetut leivonnaiset (137), piirakat (engl. shortcrusts) (149)
Kakut	102
Voitaikinaleivonnaiset	21
<b>Kasviöljypohjaiset margariinit ja kastikkeet</b>	
Normaalirasvainen margariini	582
Vähärasvainen margariini	209
Ruoanvalmistusrasva	223
Rypsiöljy	166
Vähärasvainen salaattinkastike	45
Vähärasvainen majoneesi	45
Keskirasvainen salaattinkastike	78
Keskirasvainen majoneesi	67
Runsarasvainen salaattinkastike	112
Runsarasvainen majoneesi	167

Liite 2 (1). Elintarvikeryhmien osuus glysidolialtistuksesta (ng/kg rp/vrk)

Elintarvikeryhmä	Keskiarvo	Mediaani	2,5 %	97,5 %
Muropatukat	0	0	0	0
Savukala (säilyke)	0	0	0	1
Keskirasvainen salaatinkestike ja majoneesi	1	0	0	3
Nuudelit	1	0	0	3
Runsarasvainen salaatinkestike ja majoneesi	1	1	0	5
Ruoanvalmistusrasva	1	0	0	3
Rypsiöljy	1	0	0	3
Snack	1	0	0	3
Vähärasvainen salaatinkestike ja majoneesi	1	0	0	3
Makaronilaatikat ja riisiruokat	2	1	0	6
Paistetut perunat ja kasvikset	2	1	0	6
Pizzat ja lounasvoileivät	2	2	0	7
Ranskalaiset	2	1	0	7
Voitaikinaleivonnaiset	2	1	0	11
Ruis-sekaleipä	3	2	1	7
Suurustetut kastikkeet	4	3	0	13
Laatikkoruokat, lasagnet ja risotot	5	4	1	15
Vehnäleipä	5	3	0	19
Vähärasvainen margariini	7	0	0	82
Aamiaismurot ja mysli	8	5	1	33
Näkkileivät, korput ja rieskat	8	5	1	34
Sipsit	9	7	1	34
Lihakastikkeet	15	13	4	34
Paistetut kalat	16	14	4	40
Kakut ja muffinsit	26	19	3	94
Pullaleivonnaiset	44	34	7	136
Paistetut lihat	46	40	10	119
Keksit ja murotaikinaleivonnaiset	174	156	57	391
Normaalirasvainen margariini	442	421	194	818

Liite 3 (1). Kulutusfrekvenssit lukuina (%)

Elintarvikeryhmä	Keskiarvo	Mediaani	2,5 %	97,5 %
Muropatukat	0,50	0,30	0,10	1,50
Savukala (säilyke)	0,80	0,60	0,10	2,90
Nuudelit	1,10	0,70	0,10	4,50
Ruoanvalmistusrasva	1,30	0,90	0,10	4,90
Runsasrasvainen salaattinkastike ja majoneesi	1,70	1,30	0,30	5,60
Rypsiöljy	1,90	0,90	0,00	10,00
Keskirasvainen salaattinkastike ja majoneesi	2,70	1,60	0,20	11,80
Sipsit	2,70	2,20	0,50	8,60
Vähärasvainen salaattinkastike ja majoneesi	3,10	2,00	0,20	13,10
Voitaikinaleivonnaiset	4,20	2,90	0,50	15,20
Ranskalaiset	5,00	4,10	0,90	14,80
Snack	5,50	3,50	0,40	23,30
Suurustetut kastikkeet	5,70	4,50	0,90	17,50
Pizzat ja lounasvoileivät	5,70	5,10	1,70	13,60
Vähärasvainen margariini	6,10	0,10	0,00	73,50
Kakut ja muffinsit	6,90	5,70	1,30	19,60
Laatikkoruoat, lasagnet ja risotot	8,30	7,10	2,00	21,50
Paistetut perunat ja kasvikset	8,50	7,30	2,10	21,80
Näkkileivät, korput ja rieskat	10,00	7,90	1,50	31,30
Paistetut kalat	11,10	10,10	3,90	23,70
Makaronilaatikat ja riisiruoat	11,50	9,30	1,90	34,50
Pullaleivonnaiset	19,60	18,70	8,20	36,30
Lihakastikkeet	20,20	18,90	6,90	40,80
Vehnäleipä	21,60	17,40	2,60	61,60
Aamiaismurot ja myslit	23,20	18,70	2,40	67,30
Paistetut lihat	26,40	24,10	6,80	58,10
Keksit ja murotaikinaleivonnaiset	36,70	36,00	18,20	58,80
Ruis-sekaleipä	52,10	52,20	20,40	82,40
Normaalirasvainen margariini	81,90	85,30	48,40	97,30

Liite 4 (1). Keskimääräinen annoskoko

Elintarvikeryhmä	Keskiarvo	Mediaani	2,5 %	97,5 %
Rypsiöljy	0,17	0,16	0,07	0,35
Ruoanvalmistusrasva	0,22	0,2	0,07	0,54
Keskirasvainen salaattinkastike ja majoneesi	0,37	0,34	0,15	0,76
Vähärasvainen salaattinkastike ja majoneesi	0,54	0,49	0,21	1,12
Runsasrasvainen salaattinkastike ja majoneesi	0,57	0,51	0,2	1,28
Vähärasvainen margariini	0,58	0,53	0,21	1,29
Snack	0,83	0,78	0,37	1,61
Normaalirasvainen margariini	0,93	0,88	0,48	1,63
Ranskalaiset	1,07	0,97	0,39	2,33
Aamiaismurot ja mysli	1,38	1,29	0,62	2,68
Muropatukat	1,54	1,43	0,68	3,05
Vehnäleipä	1,92	1,82	0,94	3,51
Suurustetut kastikkeet	2,1	1,92	0,79	4,43
Näkkileivät, korput ja rieskat	2,12	1,96	0,85	4,39
Ruis-sekaleipä	2,19	2,08	1,09	3,96
Voitaikinaleivonnaiset	2,72	2,52	1,13	5,47
Paistetut perunat ja kasvikset	2,97	2,71	1,11	6,37
Kakut ja muffinsit	3,05	2,88	1,48	5,64
Sipsit	3,1	2,91	1,43	5,84
Savukala (säilyke)	3,2	2,55	0,78	9,34
Nuudelit	3,23	2,97	1,36	6,6
Keksit ja murotaikinaleivonnaiset	3,43	3,26	1,72	6,12
Pullaleivonnaiset	3,91	3,7	1,92	7,09
Paistetut lihat	4,06	3,88	2,14	7,01
Paistetut kalat	4,76	4,51	2,29	8,72
Pizzat ja lounasvoileivät	5,07	4,58	1,83	11,15
Lihakastikkeet	5,87	5,64	3,22	9,79
Laatikkoruuat, lasagnet ja risotot	7,51	7,11	3,71	13,72
Makaronilaatikat ja riisiruuat	8,56	7,99	3,83	16,59