



**SZENT ISTVÁN  
EGYETEM**

**A FOGYASZTÓK NÖVÉNYVÉDŐSZER-MARADÉK  
EXPOZÍCIÓJA BIZONYTALANSÁGÁT  
BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK**

SZENCZI-CSEH JÚLIA

GÖDÖLLŐ  
2017

## **A doktori iskola**

<b>megnevezése:</b>	Élelmiszer-tudományi Doktori Iskola
<b>tudományága:</b>	Élelmiszertudományok
<b>vezetője:</b>	Dr. Vatai Gyula, DSc, tanszékvezető egyetemi tanár, Szent István Egyetem, Élelmiszer-tudományi Kar, Élelmiszeripari Műveletek Tanszék
<b>Témavezető:</b>	Dr. habil. Ambrus Árpád, CSc, címzetes egyetemi tanár

## **A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:**

A jelölt a Szent István Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## 1. BEVEZETÉS

A növényvédő szerek használata elkerülhetetlen annak érdekében, hogy megfelelő minőségű és mennyiségű termés álljon rendelkezésre Földünk növekvő lakosságának ellátásához. A táplálékkal bevitt növényvédőszer-maradékok mennyiségét akkor lehet megbecsülni, ha az élelmiszerekben található növényvédőszer-maradék koncentrációján kívül az élelmiszerfogyasztást, azaz az élelmiszer(ek) típusát, összetevőit, fogyasztott mennyiségét is ismerjük. Jelenleg a nemzetközi gyakorlatban annak vizsgálatára, hogy a javasolt növényvédelmi technológia alkalmazását követően a fogyasztásra kerülő terményrészben maradó szermaradék koncentrációk jelentenek-e fogyasztói kockázatot, a WHO irányelvei szerint az egyszerűen alkalmazható és gyors determinisztikus módszerek terjedtek el, melyek a lakosságot reprezentáló átlagos, vagy adott élelmiszert jellemzően nagymértékben fogyasztó (virtuális) személyt érő szermaradék bevitelt becsülik. A rendelkezésre álló fogyasztási és növényvédőszer-maradék adatok, illetve az élelmiszer-biztonsági kockázatbecslés eredményének korrekt értelmezéséhez, kommunikációjához, szükség van az elfogyasztott élelmiszerral az ember szervezetébe jutó számított növényvédőszer-maradék kombinált bizonytalanságának ismeretére, különösen olyan esetekben, amikor a számított expozíció megközelíti a toxikológiai referenciaértéket (ARfD, ADI). Míg a növényvédőszer-maradék vizsgálati eredmények bizonytalanságára, illetve a szermaradékok eloszlására vonatkozóan számos irodalmi adattal rendelkezünk, az elfogyasztott élelmiszerekkel a szervezetünkbe kerülő toxikus vegyületek mennyiségi meghatározáshoz alkalmazott metodika bizonytalanságának becslésére ismereteim szerint eddig csak elvi útmutatók készültek. A bizonytalansági források hozzájárulásának ismerete lehetőséget ad a kritikus komponensek azonosítására, lehetőség szerinti csökkentésére, illetve a rendelkezésre álló erőforrások optimális felhasználására.

## 2. CÉLKITŰZÉSEK

Kutatómunkám során az alábbi, elméleti és gyakorlati célokat fogalmaztam meg:

1. A fogyasztott élelmiszerek mennyiségének - EPIC-SOFT képekönyv alkalmazásával történő - becslése hibájának meghatározása.
2. A fogyasztási adatok becsléséhez társuló bizonytalanság forrásainak azonosítása, lehetőség szerinti számszerűsítésük.
3. A növényvédő szerek engedélyezését megelőző kockázatbecsléshez felhasználható szermaradék koncentrációk bizonytalansági forrásainak azonosítása, lehetőség szerinti számszerűsítésük.
4. A fogyasztók determinisztikus módszerrel meghatározott növényvédőszer-maradék expozíciója kombinált bizonytalanságának számítására alkalmas eljárás kidolgozása és alkalmazásának bemutatása

gyakorlati példával, egy  $2 \times 24$  órás felmérésből származó fogyasztási adatok és a bifentrin modellvegyület alkalmazásával.

5. A bizonytalansági források fontosságának rangsorolása a számított expozíció összegzett kombinált bizonytalanságához történő hozzájárulásuk alapján.

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. Percepció és memória alapú adagbecslés módszere

Az EPIC-SOFT (ES) szoftverhez tartozó képesalbum hazai fogyasztói felmérésekben történő alkalmazhatóságának ellenőrzésére végzett validálási vizsgálatban három korcsoportban (10-17 éves fiatalok, 18-64 éves felnőttek, 64 év feletti idősök) összesen 62 fő vett részt, önkéntes alapon. A percepció készségek vizsgálatában minden résztvevő számára először hét étel 3-3 adagja került bemutatásra. A tányéron prezentált ételek adagjai a képesalbumban szereplő fotósorozat véletlenszerűen kiválasztott egy-egy adagjának tömegével megegyeztek, egy étel esetében közelített. A bemutatásra került ételadagok tömegét a résztvevőknek ezen fényképsorozat segítségével kellett megbecsülniük, és a becslést egy decimális skálán jelölniük. A vizsgálat második fázisában a memória hatásának vizsgálata történt. A visszaemlékezés képességének vizsgálatakor a résztvevők ugyanazon hét ételből 1-1 tetszőleges adagot mértek ki tányérjukra. Az adagok lemérése után kb. 1-2 óra elteltével a résztvevők a kimért adagok nagyságát az adott ES fotósorozat alapján megbecsülték.

#### 3.2. Az adagbecslés hibájának statisztikai értékelése

A fotósorozat egyes adagjaihoz tartozó tömegek közti összefüggést másodfokú egyenletekkel írtam le. Két adag közti, valamint a legkisebb és legnagyobb adag alatti, illetve feletti becslésekhez tartozó tömegértékeket ezen egyenletekkel számoltam ki. A képeskönyvben megadott tömeg ( $m_k$ ) és becslült ( $m_b$ ) tömegek közti relatív eltéréseket százalékos formában adtam meg:

$$\Delta_m \% = \frac{m_b - m_k}{m_k} \quad (1)$$

A relatív eltérés a becslés hibája.

A kimért ételadagok becslült tömegének az átlaga ( $\bar{m}_b$ ) és a valós tömeg ( $m_k$ ) közti relatív eltérést ( $\bar{\Delta}_m$ ) az alábbiak szerint számoltam:

$$\bar{\Delta}_m = \frac{\bar{m}_b - m_k}{m_k} \quad (2)$$

A becslült tömegek átlaga és a valós tömeg értéke közti relatív eltérés meghatározása lehetővé teszi az egyes ételeknél kapott eredmények összehasonlítását. A becslült tömegek relatív standard deviációját (CV) az

alábbi egyenlettel határoztam meg:

$$CV_k = \frac{SD_{ki}}{\bar{m}_i} \quad (3)$$

ahol  $SD_{ki}$  az  $i$ -ik élelmiszer  $k$ -résztvevő által becsült tömegének a szórása,  $\bar{m}_i$  az  $i$ -ik élelmiszer átlagos becsült tömege. A becsült tömegek CV értékét a fotósorozat alkalmazhatóságának vizsgálatához használtam.

A visszaemlékezés alapján történt becslések pontosságát az átlagos relatív eltéréssel ( $\bar{\Delta}_{irel}$ ) határoztam meg, tekintettel arra, hogy a megkérdezett személyek által kimért valamennyi adag (valós érték) különbözött:

$$\Delta_{irel} = \frac{m_s - m_e}{m_s} \quad (4)$$

$$\bar{\Delta}_{irel} = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta_{irel}}{k} \quad (5)$$

ahol  $m_s$  és  $m_e$  az  $i$ -dik étel  $k$  résztvevő által kimért és becsült adagja.

A becsült eltérések eloszlását a relatív standard deviációval ( $CV_{ir}$ ) jellemeztem, melyet a terjedelem (range) statisztika alkalmazásával az eltérések abszolút értékének átlagából számítottam:

$$\Delta_{ira} = \frac{|m_s - m_e|}{m_s} \quad (6)$$

$$CV_{ir} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{\Delta}_{ira}}{k \times 1,128} \quad (7)$$

A kísérleti adatok és a kísérleti adatok átlagával, illetve szórásával generált normál eloszlás összehasonlítása során azt tapasztaltam, hogy a becsült adagok nem tekinthetők normál eloszlásúaknak. Következésképpen, az eredmények kiértékeléséhez nem-parametrikus statisztikai próbákat alkalmaztam. A valós és becsült tömegek közti eltérések szignifikanciájának meghatározásához a Wilcoxon előjeles rangpróbát (WSRT) választottam. A különböző (nem és életkori szerinti) csoportok által becsült tömegek mediánja és az eloszlás közti hasonlóság vizsgálatára a Kruskal-Wallis H próbát (KW) alkalmaztam. A kiugró értékek helyettesítésére a winsorizálás módszerét használtam. A memória módszerrel kapott adatokat, a kimért és becsült adagok közti eltérések szignifikanciáját a párosított mintás Wilcoxon előjeles rangpróbával (WSRTp) vizsgáltam.

A kapott eredmények értékelésekor jónak tekintetem az eredményt és a fényképet alkalmazhatónak, ha:

- (a) a relatív eltérés a becsült és valós tömegek közt  $<10\%$ ;
- (b) ha a WRST rangpróba nem jelzett szignifikáns eltérést a becsült tömegek átlaga és a valós tömeg között; és
- (c) az egyes becslések tömegének relatív standard deviációja,  $CV \leq 0,30$ .

Abban az esetben, ha fenti kritériumok nem teljesültek, winsorizálást alkalmaztam a lehetséges kiugró értékek hatásának kiegyenlítése érdekében. A winsorizált adatsorból ugyancsak kiszámoltam az átlag és a valós érték közti relatív eltérést, a  $CV_w$  értéket, majd megismételtem a WSRT és KW próbákat.

A winsorizálást követően az eredményt akkor tekintetem jónak, illetve megfelelőnek, egy fényképet pedig alkalmazhatónak, ha:

(a) a relatív eltérés a winsorizált becslt átlag és a valós érték közt <10% (jó), <25% (megfelelő), és

(b) az egyes becslések tömegének relatív standard deviációja  $CV_w \leq 0,30$ .

Abban az esetben, ha az eredmények nem feleltek meg ezen feltételeknek, az adott fényképet nem tekintetem alkalmazhatónak.

### 3.3. Tömeg egyenértékek meghatározásának módja

A képeskönyv validálási tapasztalatok alapján összesen 21 résztvevő bevonásával meghatároztam az 5 vizsgált ES étel hazai kereskedelmi forgalomban hozzáférhető alapanyagokból, hazai recept szerint készített „azonos” étel tömeg egyenértékét. A résztvevők a hazai vendéglátásban kapható alapanyagokból elkészített ételből az ES képeskönyvben szereplő vizsgált étel adott adagjával ( $w_k$  [g]) megítélésük szerint megegyező mennyiséget vettek ki előre lemért tányérra, majd 0,1 g pontossággal megmértem azok tömegét ( $w_h$ , [g]). Az ismételt adagbecsléssel és méréssel kapott átlagos tömeg ( $\bar{w}_h$ ), valamint a képhez rendelt étel tömegéből ( $w_k$ ) számítottam a konverziós faktort:

$$\rho = \bar{w}_h / w_k \quad (8)$$

A képeskönyv alapján becslt fogyasztási adagok  $w_f$  valódi tömegét a:

$$w_f = w_k \times \rho \quad (9)$$

képlettel lehet kiszámítani.

### 3.4. Testtömeg mérésére alkalmas mérlegek kalibrálása

A mért testtömegek összehasonlíthatósága és a nemzetközi szabványoknak megfelelően a nyomonkövethetősége érdekében, használatuk előtt valamennyi mérleget kalibrálni és a referenciamérleget hitelesíteni szükséges. Az élelmiszer-fogyasztási felmérések gyakorlatában általában önkalibrációs funkcióval felszerelt 0,1 kg kijelzésű mérlegeket használnak a testtömeg mérésére. Ezek magas ára jelentősen növelheti a széleskörű felmérések költségét. Ezért megvizsgáltam a kereskedelmi forgalomban kapható analóg és digitális fürdőszoba mérlegek pontosságát, a mérés reprodukálhatóságát annak eldöntésére, hogy megfelelő kalibrálás után alkalmazhatók-e az ilyen mérlegek az élelmiszer-fogyasztási felméréseknél a testtömeg mérésére. A mérlegek kalibrálására és az eredmények értékelésére kidolgoztam egy egyszerű eljárást, mely könnyen kivitelezhető az egészségügyi központokban, ahol egy, az Országos Mérésügyi Hivatal által akkreditált szervezet által a mérésügyi szabványoknak megfelelően kalibrált referenciamérleg rendelkezésre áll.

Vizsgálataim során 4 mérleg kalibrálást végeztem el hitelesített referenciamérleg alkalmazásával. A mérésben résztvevő 7 személy a többi hat

résztevő testtömegét összesen 3-3 alkalommal mérte meg mérlegenként, vagyis a résztvevő személyek száma P=7, a tesztelt mérlegek száma M=4, egy személy által egy mérlegen végzett ismételt mérések száma n=3.

Az egyes résztvevők testtömegének átlagát ( $\bar{w}$ ) összesen 18 (3x6) független mérésből ( $w_i$ ) kaptam, mérlegenként, az alábbi egyenlettel:

$$\bar{w} = \frac{1}{jn} \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n w_i \quad (10)$$

ahol  $w_i$  egy testtömeg-mérés leolvasott értéke, n a megismételt mérések száma egy résztvevőre, egy mérlegen (jelen eljárásban n=3), j azon csoporttagok száma, akik megmérték a többi résztvevő testtömegét (jelen eljárásban: j=7-1=6). P<sub>1</sub> személy M<sub>1</sub> mérlegen 3-szor megmérve  $w_{P_1M_1}$ ,  $w_{P_2M_2}$ ,  $w_{P_3M_3}$  mérési értéket adott, melynek átlagából ( $\bar{w}_{P_1M_1}$ ) és szórásából ( $SD_{P_1M_1}$ ) számoljuk az egyes résztvevők testtömegméréseinek relatív megismételhetőségét:

$$CV_{r,1,1} = \frac{SD_{P_1M_1}}{\bar{w}_{P_1M_1}} \quad (11)$$

Hasonlóan a négy (közel 148 kg-os személy esetében három) mérlegre jellemző átlagos ismételhetőséget az átlagos varianciából számítjuk:

$$\overline{SD}_{P_1} = \sqrt{\frac{\sum \text{VAR}}{\text{mérlegek száma}}} \quad \overline{CV}_r = \frac{\overline{SD}_{P_1}}{\bar{w}_{P_1}} \quad (12)$$

ahol a  $\bar{w}_{P_1}$  a P<sub>1</sub> személy 4 mérlegen mért átlagos tömege.

P<sub>1</sub> tömeg mérésének reprodukálhatósága 4 mérlegen 6 személy által: P×M×n=6×4×3=72 mérésből számolva:

$$CV_{\text{repr}P_1} = CV_{\text{repr},P_1,M_1-6} = \frac{SD_{P_1M_1-6}}{\bar{w}_{P_1M_1-6}} \quad (13)$$

A mérés reprodukálhatósága a teljes mérési tartományban (a 45-148 kg mérési tartományban) 7 személynél 4 mérleggel 7x4x18=504 mérés alapján:

$$\overline{CV}_{P_1-7;M_1-4} = \sqrt{\frac{df_{RP_1} CV_{\text{repr}P_1}^2 + df_{RP_2} CV_{\text{repr}P_2}^2 + \dots + df_{RP_7} CV_{\text{repr}P_7}^2}{\sum df_{P,M}}} \quad (14)$$

A P<sub>1</sub> ... P<sub>7</sub> személyek  $CV_{\text{repr}P_1} \dots CV_{\text{repr}P_7}$  értékeihez tartozó szabadsági fokok száma attól függ, hogy hány mérlegen lehetett a testtömegüket megmérni.

### 3.5. A mennyiségi bizonytalanságbecslés összefüggései

Az expozíció számítását a fogyasztott élelmiszermennyiség és az élelmiszerben lévő szermaradék koncentráció szorzásával végzik. A becült rövid távú bevitel, a 24 óra alatt elfogyasztott élelmiszerral a szervezetbe jutó szermaradék mennyiségének, számítása az IESTI (international estimated short term intake) egyenletekkel történik, a legegyszerűbb esetben az alábbiak szerint:

$$\text{IESTI} = \frac{LP \times (\text{HR vagy HR-P})}{tt} \quad (15)$$

ahol az LP a nagy adagot, vagyis egy adott élelmiszerből a fogyasztók által naponta fogyasztott mennyiség 97,5 percentilisét, a HR, illetve HR-P a mért szermaradék legmagasabb koncentrációját jelenti feldolgozatlan, illetve feldolgozott terményben.

A becsült krónikus bevitelbecslés az ún. IEDI (international estimated daily intake) vagy NEDI (national estimated daily intake) egyenleteket alkalmazza. Az étrendi beviteli mennyiségeket az STMR (szerkísérletek medián szermaradék szintje) vagy az STMR-P (a szerkísérletek medián szermaradék szintje feldolgozott terményben) eredményei, valamint a vonatkozó fogyasztási adatok alapján számolják nemzetközi (IEDI) vagy nemzeti (NEDI) szinten:

$$EDI = \sum (STMR_i \text{ (vagy STMR-P}_i) \times F_i) \quad (16)$$

ahol az  $STMR_i$  vagy  $STMR-P_i$  a medián szermaradékokat, és  $F_i$  az  $i$ -ik élelmiszer átlag fogyasztását jelöli.

Az expozícióhoz tartozó bizonytalanság becslés első lépése, hogy a különböző forrásból származó, bizonytalanságok azonosítása megtörténjen, valamint meghatározzuk azokat az ismerethiányból fakadó korlátokat, melyek nem teszik lehetővé a kombinált bizonytalanság szempontjából lényeges hatások elemzését. A továbbiakban sort kell keríteni azon bizonytalanságok mennyiségi meghatározására, ahol erre adat áll rendelkezésre. Az egyes összetevők bizonytalanságából a hibaterjedés törvényét figyelembe véve kombinált, majd kiterjesztett bizonytalanság számítható.

Az eredmény ( $Y$ ) a mért mennyiségek összege:

$$Y = C_1P \pm C_2Q \pm C_3R \dots \quad (17)$$

Az eredmény véletlen hibája:

$$SD_{(Y(x_{P,Q,R}))} = \sqrt{(C_1 \times SD_P)^2 + (C_2 \times SD_Q)^2 + (C_3 \times SD_R)^2} \quad (18)$$

ahol  $SD_P$ ,  $SD_Q$ ,  $SD_R$  a  $P$ ,  $Q$  és  $R$  mérések szórása;  $C_1$ ,  $C_2$  és  $C_3$  konstansok. Az eredményt szorzással vagy osztással kapjuk:

$$Y = \frac{k \times P}{Q \times R} \quad (19)$$

A  $P$  érték relatív standard deviációja (CV):

$$CV_p = \frac{SD_p}{P} \quad (20)$$

A szórás számítása az eloszlás természetétől függ. A legegyszerűbb eset pl. az analitikai mérések bizonytalanságának becslése, melyek jó megközelítéssel a normális eloszlást követik. Az elemzések során ettől eltérő esetekben feltételezzük, hogy egy-egy érték előfordulása hasonló valószínűséggel jár, pl. amikor egy adott étel receptjét kiválasztjuk az internetről kigyűjtött listából. Ebben az esetben a szórást a különböző receptek egyes értékeinek tartománya (minimum-maximum = 2a) alapján lehet



számítani az alábbiak szerint:

$$SD_x = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (21)$$

A számított Y érték relatív bizonytalansága:

$$CV_Y = \sqrt{(k \times CV_p)^2 + CV_Q^2 + CV_R^2} \quad (22)$$

A mért szermaradék értékek kombinált bizonytalansága ( $CV_R$ ) a mintavétel ( $CV_S$ ), a nagyméretű, ömlesztett laboratóriumi minta méretének csökkentése ( $CV_{SS}$ ), a minta feldolgozása ( $CV_{Sp}$ ), a laboratóriumi minta aprítása, őrlése (homogenizálása), melyet követően a tesztadag elkülönítésre kerül az extrakcióhoz és az analízis véletlen hibája ( $CV_A$ ) bizonytalanságából adódik. A hibaterjedés általános törvénye alapján a mért szermaradék értékek kombinált bizonytalansága az alábbi egyenlettel fejezhető ki:

$$CV_R = \sqrt{CV_S^2 + CV_{SS}^2 + CV_{Sp}^2 + CV_A^2} \quad (23)$$

Mivel a mintavétel és a laboratóriumi vizsgálat térben és időben általában elkülönül egymástól, célszerű a mért érték kombinált bizonytalanságát a mintavételre és a laboratóriumi vizsgálatra bontani. Amennyiben a laboratóriumi fázis bizonytalansága ( $CV_L$ ) magába foglalja a mintaméret csökkentés és a mintafeldolgozás, valamint az analízis bizonytalanságát, a mért szermaradék értékek kombinált bizonytalansága egyszerűbb formában adható meg:

$$CV_R = \sqrt{CV_S^2 + CV_L^2} \quad (24)$$

$$CV_L = \sqrt{CV_{SS}^2 + CV_{Sp}^2 + CV_A^2} \quad (25)$$

A szerkísérletekből származó szermaradék populáció kiválasztott percentilisének becsült szórása a binomiális eloszlás szórásának képletével számolható:

$$SD_p = \sqrt{N \times p \times q} \quad (26)$$

ahol, p a kiválasztott percentilis, q=1-p és N az adatok száma. Medián esetében p=q=0,5. Az összefüggés  $N \geq 20$  adat esetében pontos eredményt, kevesebb adat esetén közelítő értéket ad. Az STMR érték közelítő relatív bizonytalansága ( $SD_{STMR}$ ) – normál eloszlást feltételezve – a szermaradékok 95%-os tartományából ( $R_{P0,975} - R_{P0,025}$ ) számolható:

$$SD_{STMR} = \frac{R_{P0,975} - R_{P0,025}}{2 \times 1,96} \quad (27)$$

$$CV_{STMR} = \frac{SD_{STMR}}{STMR} \quad (28)$$

Az STMR érték kombinált relatív bizonytalansága ( $CV_{\text{komb}}$ ) a  $CV_{\text{STMR}}$  és a szermaradék meghatározás bizonytalanságából ( $CV_{\text{R}}$ ) számolható:

$$CV_{\text{komb}} = \sqrt{CV_{\text{R}}^2 + CV_{\text{STMR}}^2} \quad (29)$$

A feldolgozást számos tényező együttesen befolyásolja, ezért a feldolgozási faktorok változók. Reprezentatív vizsgálati körülmények között egy adott szermaradék-termény kombinációra meghatározott feldolgozási faktor előfordulása azonos valószínűségű. Következésképpen szórásuk ( $SD_{\text{Pf}}$ ) egyenletes eloszlást feltételezve számolható a legnagyobb és legkisebb  $P_{\text{f}}$  értékek különbségéből az alábbiak szerint:

$$SD_{\text{Pf}} = \frac{P_{\text{fmax}} - P_{\text{fmin}}}{2 \times \sqrt{3}} \quad (30)$$

Minden egyes feldolgozási kísérletben kapott adatsor a feldolgozási faktorok ismeretlen valós értékei egy-egy becslésének tekinthető. A  $P_{\text{f}}$  bizonytalanságát célszerűen a relatív standard deviációjával fejezzük ki:

$$CV_{\text{Pf}} = \frac{SD_{\text{Pf}}}{M_{\text{Pf}}} \quad (31)$$

ahol az  $SD_{\text{Pf}}$  értékét a 30. egyenlettel számítjuk, az  $M_{\text{Pf}}$  pedig az egyedi feldolgozási faktorok mediánja, mint az átlag robusztus becslője.

Az egy ételhez tartozó különböző receptekben a nyersanyagok típusa és aránya eltérhet, ami a relatív standard deviációval jellemezhető ( $CV_{\text{cu}}$ ). A gyakorlott ételkészítők többnyire nem mérik le az egyes alapanyagokat, hanem saját ízlésüknek, gyakorlatuknak megfelelően adagolják azokat a kívánt állag eléréséhez. Az írott recepttől való eltérés akár a  $\pm 30\%$ -ot is meghaladhatja. Az összetevők (i) arányának várható variabilitása, figyelembe véve az ételkészítő saját ízlése szerinti módosítást, standard deviációval kifejezve, az alábbi egyenlettel számolható, feltételezve a rendelkezésre álló receptek azonos valószínűségű alkalmazását:

$$SD_{\text{cu}} = \frac{1,3 \times \max P_i - 0,7 \times \min P_i}{2 \times \sqrt{3}} \quad (32)$$

A szórásból ( $SD_{\text{cu}}$ ) és az alapanyagok arányának ( $P_i$ ) mediánjából ( $\tilde{m}_{P_i}$ ) számolható a receptvariabilitáshoz köthető relatív standard deviáció ( $CV_{\text{cu}}$ ):

$$CV_{\text{cu}} = \frac{SD_{\text{cui}}}{\tilde{m}_{P_i}} \quad (33)$$

A fogyasztott élelmiszerek visszaidézésében fontos szerepet játszó memória hatását célzó kutatások különböző módon számszerűsítik az eredményt. Ezek közül a becslt tömegek variabilitására vonatkozó információk szolgáltatják a biztosabb alapot a kitétség becslés bizonytalanságának számításához. A memória hatását vizsgáló kutatások többnyire nem közlik a bizonytalanságot jellemző relatív standard deviációt ( $CV_{\text{di}}$ ), így ahol rendelkezésre állt a becslt adagnagyságok (P-k) szórására

( $SD_{di}$ ) és átlag becsült tömegére ( $\bar{x}_{di}$ ) vonatkozó információ, azt a következő egyenlettel számoltam:

$$CV_{di} = \frac{SD_{di}}{\bar{x}_{di}} \quad (34)$$

### **3.6. Az expozíció kombinált bizonytalanság számítás gyakorlati végrehajtása**

A kitettség becslés számításához egy, 60 kg testtömegű, 19 éves fiú két, nem egymást követő napon történt pontosan ismert tényleges fogyasztási adatait vettem alapul. A kitettség becsléshez növényvédő szernek a bifentrint választottam, tekintve, hogy szermaradék előfordul a két nap során fogyasztott gabona alapú élelmiszerekben, gyümölcsökben és a feldolgozott termékekben. Kellő mennyiségű adat áll rendelkezésre ahhoz, hogy illusztrálni lehessen velük a bizonytalanságot. A kombinált és összegzett kombinált bizonytalanság konkrét számításának módja az eredmény részét képezi, ezért az az Eredmények fejezetben kerül bemutatásra.

## **4. EREDMÉNYEK**

### **4.1. A képeskönyv validálás eredményeinek értékelése**

A képeskönyv validálásban kapott tesztelt ételek percepció alapú tömegbecslését összesen 62, a memória alapú becslést 53 fő eredménye alapján értékeltem. A percepció és memória alapú becslésnél ugyanazt az 5 ételt értékeltem. A felállított elfogadási kritériumok alapján a becsléseket jónak, illetve megfelelőnek tekintettem, kivéve a főtt burgonya kis adagjának becsült értékei esetében, ahol a releváns ES képet nem találtam alkalmazhatónak. A becslés hibájának iránya és aránya korábbi kutatások eredményeivel egybevágott. A percepció és memória alapú becslés eredményeit összehasonlítva egyértelmű, hogy – az előzetes feltételezésnek megfelelően – a becslés hibája idővel nő, ami már 1-2 órás eltérés esetén is megfigyelhető (akár 61%). A kapott eredmények legkedvezőbb esetként kezelhetők, mivel az étel fogyasztása és a kikérdezés időpontja között rendszerint több idő (legalább 24-36 óra) telik el, mint a jelen vizsgálatban, ami tovább torzíthatja az eredményeket. Az adagok felidézésének bizonytalansága vizsgálatomban 24-55%-os volt.

### **4.2. Tömegegyenértékek meghatározása**

A validálási eljárás keretében meghatároztam a vizsgált ételek tömegegyenértékét is. Az 1. táblázat tartalmazza ételenként az ES adagok eredeti tömegét, a kinézetre azonos mennyiségű becsült, tányérra kivett adagok mért tömegét, valamint a számított konverziós faktort.

1. táblázat: ES képesalbum adagjainak tömegegyenértékek számítása

Étel megnevezése	Főtt burgonya	Paraj-főzelék	Sertés-pörkölt	Spagetti	Sült hússzelet
ES alapján kimért adag sorszáma	2	4	4	5	2
Adott ES sorszámmal tartozó tömeg (g)	141	243	276	320	132
Átlag	271,68	265,11	292,72	228,52	129,77
Szórás	64,68	43,07	94,76	45,14	34,18
CV	0,24	0,16	0,32	0,20	0,26
Medián	266,0	271,0	276,0	240,0	111,0
Min.	112,6	161,0	57,0	127,6	89,0
Max.	456,0	319,1	469,7	317,0	203,8
Konverziós faktor	1,93	1,09	1,06	0,71	0,98

Magyarázat: ES: EPIC-SOFT;

Min: legkisebb becslés tömeg;

Max: legnagyobb becslés érték.

Az eredmények alátámasztják annak fontosságát, hogy a képesalbum fényképsorozatainak szereplő ételekkel egyező ételek adagbecslése esetében is számolni kell a térfogattömeg különbségekkel. A nemzeti ételmiszer-fogyasztási felmérések során alkalmazott nemzetközi képesalbum segítségével a becslés adagok valódi tömegének meghatározása pontosabban végezhető a tömegegyenérték ismeretében. Ezen részterület további kutatómunkát igényel.

### 4.3. Mérlegkalibráció

A mérleg kalibrálását a mérési tartományt átfedő résztvevők testtömegével végeztem, feltételezve azt, hogy a hitelesített referenciamérleggel ( $M_{ref}$ ) mért tömegek pontosak. A mért átlag testtömegek alapján ( $\bar{w}$ ) lineáris regressziós egyenletek paramétereivel számoltam a becslés tömegeket ( $W'$ ):

$$W' = \frac{\bar{w} - a}{b} \quad (35)$$

A 2. táblázatban feltüntettem a relatív különbségek négyzetének összegét a kalibráció előtt ( $SSQ_w$ ) és után ( $SSQ_w$ ), valamint a hányadosukat ( $SSQ_w/SSQ_w = SSQ_w/w$ ). A relatív eltérések négyzet összegének összehasonlítása, főként az arányuk alapján megállapítható, hogy ( $SSQ_w \ll SSQ_w$ ) a mérlegkalibráció jelentősen javítja a testtömeg-mérés pontosságát, ezáltal a kereskedelmi forgalomban kapható fürdőszobai mérleg kalibrálást követően hasonló eredményt adtak, mint a referenciamérleg. A testtömeg-mérések a helyesen kalibrált digitális mérleg esetében 0,5%-os pontossággal, analóg mérlegnél 1%-os pontossággal végezhető, következésképpen a fogyasztási felmérésekben a testtömeg-mérésre alkalmasak.

2. táblázat: A mérlegkalibráció eredménye

Kód <sup>+</sup>	Kalibrálás előtti relatív különbség* $\times 10^{+3}$				Kalibrálás utáni relatív különbség* $\times 10^{+3}$			
	1	2	3	4	1	2	3	4
I	4,89	7,55	-15,8	-31,3	-2,27	2,2	3,60	-3,37
II	6,29	6,29	-14,5	-25,8	-0,67	5,45	3,37	-3,60
III	4,57	5,96	-1,07	-22,6	-2,21	6,55	5,71	-2,99
IV	6,92	3,70	-20,6	-30,9	0,73	-8,55	-8,73	-2,08
V	6,26	6,68	-13,6	-20,3	0,43	-2,03	-4,50	2,75
VI	6,85	0,92	-2,76	-11,4	1,61	1,12	1,74	0,06
VII	4,06	-2,43		-4,87	-0,63	0,2		-0,4
SSQ <sub>w, w</sub>	0,24	0,2	1,19	3,68	0,01	0,05	0,16	0,16
SSQ <sub>w/w</sub>	0,06	0,23	0,13	0,04				

Magyarázat:

<sup>+</sup>: Vizsgálatban megmért személyek azonosító kódja (I-VII).

\* Referenciamérleggel és tesztelt mérlegekkel mért tömegek közti relatív különbség.

1-4: Tesztelt mérlegek kódja.

SSQ<sub>w</sub>: Kalibrálás előtti relatív eltérések négyzetének összege.

SSQ<sub>w</sub>: Kalibrálás utáni relatív eltérések négyzetének összege.

SSQ<sub>w</sub>/SSQ<sub>w</sub>: Kalibrálás utáni és kalibrálás előtti relatív eltérések négyzetének összegének hányadosa.

#### 4.4. Élelmiszerfogyasztásból származó bifentrin expozíció kombinált bizonytalanságának becslése

Az expozíció számításakor sorra vettem és számszerűsítettem a folyamat potenciális bizonytalansági forrásait.

##### 4.4.1. Növényi termények és állati eredetű nyers élelmiszerek szermaradék tartalma relatív bizonytalanságának számítása

A kétnapos felmérés során fogyasztott élelmiszerekben vagy komponenseikben végzett szerkísérletek során mért bifentrin szermaradék értékeket, a számított STMR-t és 95%-os várható tartományát, valamint a számított STMR relatív bizonytalanságát a 3. táblázat tartalmazza.

Az expozíció számításánál a szervezetbe kerülő szermaradék mennyiségét (mg) a szerkísérletek eredményei alapján minden élelmiszer-komponensnél figyelembe vettem. A számított mennyiség bizonytalanságát az állati eredetű élelmiszerek vagy élelmiszer-alapanyagok esetében adathiány miatt nem tudtam számítani. Az utóbbi eset tipikus példája az információhiányból származó bizonytalanságnak.

3. táblázat: A bifentrin koncentráció eloszlása a szerkísérleti mintákban és az STMR számított bizonytalansága

Termény	Szerkísérletek száma	Szermaradékok [mg/kg]					CV <sub>STMR</sub>
		Min.	STMR	HR	P0,025	P0,975	
Citrusfélék <sup>1</sup>	36	0,005	0,05	0,05	0,0082	0,05	0,213
Alma			0,1 <sup>a</sup>				NA
Banán, pép	9		0,01	0,01	0	0	
Bab, fejlett	7			<0,05	0	0	0
Áfonya <sup>2</sup>	5	<0,05	0,29	0,51	0	0,51	0,676
Sárgarépa <sup>3</sup>	10		0,05	0,05			NA
Padlizsán	6	<0,05	<0,05	0,1	0	0,1	0,769
Körte			0,1 <sup>a</sup>				NA
Borsó, héjában <sup>4</sup>	6	0,17	0,225	0,49	LOQ	LOQ <sup>b</sup>	0
Kukorica	25		0	0			0
Mangó <sup>5</sup>	4	0,066	0,14	0,23	LOQ	LOQ <sup>c</sup>	0
Hús (ízom), (emlős-állatok)			0,07	0,104			NA
Paprika	11	<0,055	0,14	0,31	<0,055	0,24	0,337
Paprika, chili, szárított <sup>6</sup>			1,4				0,337 <sup>d</sup>
Burgonya	17		0,05	0,05	0	0	0
Repceolaj	6		0,05		0	<0,05	NA
Repcemag-olaj (ehető)			0,08				NA
Szamóca	19	0,27	0,46	2,3	0,33	0,59	0,144
Paradicsom	7	0,03	0,06	0,15	0	0,15	0,638
Búza <sup>7</sup>	13	0,19	0,25	0,40	0,2	0,28	0,082

Magyarázat:

NA: nincs megfelelő adat

\*: Kimutatási határon vagy felett.

<sup>a</sup>: Konzervatív becsléssel származtatva almatermésűekre vonatkozó MRL=0,3 alapján.

<sup>b</sup>: Szermaradék nem volt kimutatható a héj nélküli zsenge borsóban.

<sup>c</sup>: Szermaradék nem volt kimutatható az ehető hányadban.

<sup>d</sup>: Szárított chili paprika esetében a friss paprika minták szermaradék koncentrációjának variabilitását vették alapul.

<sup>1</sup>: Tartalmazza: citrom, grépfruit és narancs.

<sup>2</sup>: Tartalmazza: málna, szeder.

<sup>3</sup>: Gyökérzöldségek csoportja; a csoport minden terményére alkalmazható szermaradék érték.

<sup>4</sup>: Lédús magokban szermaradék nem várható. Konzervatív becslésként LOQ=0,05 mg/kg értékkel számolva.

<sup>5</sup>: Egész gyümölcs; pép nem tartalmaz szermaradékot.

<sup>6</sup>: 10-es alapértelmezett faktorial számolva.

<sup>7</sup>: Betakarítást követően kezelt.

#### 4.4.2. Feldolgozott termékek szermaradék tartalma relatív bizonytalanságának számítása

A számításhoz alkalmazott fogyasztási adatokból származó kitettség becsléséhez szükséges feldolgozási faktorok jellemző értékeit a 4. táblázat tartalmazza. A medián érték bizonytalanságát kifejező szórást a 21. egyenlettel számítottam azokban az esetekben, amikor a feldolgozási kísérletek száma  $\geq 22$ . Egy-két kísérlet esetén, a feldolgozási faktorok variabilitását különböző termék-szermaradék kombinációk feldolgozásának JMPR értékelésére alapozva az  $1,4P_{\max}-0,6P_{\min}$  tartományból a 21. egyenlettel számított szórással

jellemeztem (4. táblázat). Ez utóbbi becslések azon bizonytalansági kategóriába tartoznak, melyek hiányos ismeretet tükröznek.

4. táblázat: Kiválasztott feldolgozási tényezők sztenderd és relatív bizonytalansága

Termék	Kísérletek száma	Min-max $P_f$ értékek	$P_f^1$	STMR-P mg/kg	$SD_{P_f}$	$CV_{P_f}$
Liszt, teljes kiőrlésű	30	0,29-1,1	0,765	0,19	0,228	0,306
Kenyér, teljes kiőrlésű lisztből	22	0,11-0,97	0,75	0,19	0,248	0,331
Liszt, fehér	22	0,038-0,52	0,31	0,078	0,139	0,449
Kenyér, fehér	22	0,04-0,31	0,245	0,061	0,078	0,318
Repceolaj	1		1,6	0,08	0,370	0,231
Paradicsom, süritett	2	<0,63, <0,71	<0,67	0,04	0,178 <sup>3</sup>	0,265 <sup>3</sup>
Paradicsom, püré	2	<0,63, <0,71	<0,67	0,04	0,178 <sup>3</sup>	0,265 <sup>3</sup>
Chilipaprika, szárított			10	1,4 <sup>2</sup>	2,309	0,231 <sup>4</sup>

Magyarázat:

<sup>1</sup>: Medián érték vagy legjobb becslés.

<sup>2</sup>: Alapértelmezett dehidratációs tényező (10) és paprika STMR (0,14 mg/kg) alapján.

<sup>3</sup>: Pesszimista becslés alapján számolva (hiányzó ismeret vagy adat).

<sup>4</sup>: Becsült  $P_f=10$  alapján számolva ( $1,4P_{fmax}-0,6P_{fmin}$  és 21. egyenlettel).

#### 4.4.3. Receptvariabilitás relatív bizonytalanságának számítása

Ugyanazon név alatt futó ételek elkészítésének módja, összetevőinek aránya különbözhet. Munkám során összehasonlítottam néhány véletlenszerűen kiválasztott receptvariánst. A gyakorlott ételkészítők esetében az adott recepttől való eltérés akár a 30%-ot is meghaladhatja. Ők ugyanis többnyire nem mérik le az egyes alapanyagok tömegét, hanem „érzés” szerinti mennyiségben keverik össze azokat a kellő állag eléréséig, ezért a  $CV_{cu}$  értékét a 0,7 min – 1,3 max tartományból számoltam a 33. egyenlet szerint. A receptvariánsok relatív bizonytalansága ( $CV_{cu}$ ) a kiválasztott ételek esetében, véletlenszerűen kiválasztott receptek alapján 0,22 és 1,44 között változik.

#### 4.4.4. Otthon készített ételek bifentrin koncentrációjának kombinált bizonytalanságának számítása

Kutatómunkám során a modellétrendben szereplő ételeket saját receptem szerint elkészítettem. A nyers alapanyagok és a késztermékek tömegét lemértem. A készételben lévő szermaradék-koncentráció relatív bizonytalansága ( $CV_{res}$ ) magában foglalja a mintavétel ( $CV_s$ ), analitikai vizsgálatok ( $CV_L$ ), a szerkísérleti adatok ( $CV_{STMR}$ ), a receptvariánsok ( $CV_{cu}$ ) és a feldolgozási faktorok ( $CV_{P_f}$ ) relatív bizonytalanságát. Az otthon készített ételek szermaradék koncentrációjának és kombinált bizonytalanságának részletes számítását a palacsinta példáján mutatom be. A számítás lépései:

- Az i-ik alapanyag adott tömegének ( $M_i$ ) szermaradék-koncentráció (mg) számítása STMR értékek alapján. Tojás esetében STMR=0, így a

szermaradék-koncentrációhoz ez az alapanyag nem járul hozzá. Repceolaj esetén:

$$R_1 = M_1 \times \text{STMR}, \text{ azaz } 0,18 \text{ kg} \times 0,08 \text{ mg/kg} = 0,0144 \text{ mg}.$$

- ii. A következő lépésben a releváns alapanyagokként (k) (repceolaj, tej, liszt, fehér) számított szermaradékok együttes mennyiségét kell számolni:

$$R_T[\text{mg}] = \sum_{i=1}^k R_i \quad (36)$$

$$0,0144 \text{ (repceolaj)} + 0,0196 \text{ (tej)} + 0,0320 \text{ (liszt)} = 0,0660 \text{ mg}.$$

- iii. A 16 darab töltetlen palacsinta összömege a recept alapján készítve ( $M_T$ ) 1,34 kg; a bifentrin koncentráció ( $R_c$ ):

$$R_c = \frac{R_T}{M_T} = \frac{0,06599}{1,34} = 0,0493 \text{ mg/kg} \quad (37)$$

- iv. A palacsinták egyenként 5-5g számócalekvárt tartalmaznak tölteléként. Figyelembe véve, hogy az otthon készített számócalekvár 90,7% számócat tartalmaz, illetve a tisztítási ( $F_{cl}$ ), elkészítési ( $F_{cu}$ ) tényezőket, 5g lekvár 5,5125 g nyers számóccal ekvivalens mennyiségű. A számócatartalomról származó bifentrin-koncentráció ( $\text{STMR} = 0,46 \text{ mg/kg}$ ):

$$0,00551 \text{ kg} \times 0,46 \text{ mg/kg} = 0,0025 \text{ mg}.$$

Ha 16 darab töltelék nélküli palacsinta 0,0660 mg szermaradékot tartalmaz, 1 darab töltelék nélküli palacsinta átlagosan 0,0041 mg szermaradékot tartalmaz, és 1 darab számócalekvárral töltött palacsinta  $0,0041 + 0,0025 = 0,0067 \text{ mg}$  bifentrint tartalmaz. A szermaradék koncentráció kombinált bizonytalansága ( $CV_{\text{komb}}$ ) tartalmazza a szermaradék relatív szórását ( $CV_R$ ), az ipari feldolgozási eljárások vagy háztartási konyhai műveletek variabilitásának bizonytalanságát ( $CV_{Pf}$ ) és a szerkísérletek bizonytalanságát ( $CV_{\text{STMR}}$ ):

$$CV_{\text{komb}} = \sqrt{CV_R^2 + CV_{Pf}^2 + CV_{\text{STMR}}^2} \quad (38)$$

- v. A  $CV_R$  a nyersanyag mintavétel ( $CV_{S1}$ ) és a mintaelőkészítés, analitikai vizsgálat relatív bizonytalanságát ( $CV_L$ ) tartalmazza. Az utóbbi a laboratóriumi minta homogenizálását, a vizsgált minta extrakcióját és annak mennyiségi meghatározását foglalja magába:

$$CV_R = \sqrt{CV_{S1}^2 + CV_L^2} \quad (39)$$

A  $CV_{Pf}$  a gyári vagy otthoni feldolgozási eljárás és a feldolgozott termék analitikai vizsgálatának variabilitását magában foglalja, de nem tartalmazza a feldolgozás előtti szakaszban az ömlesztett anyagból analitikai vizsgálatra vett minta szermaradék tartalmának bizonytalanságát ( $CV_R$ ).

Abban az esetben, amikor a feldolgozott termék kellően homogén (pl. finomított olaj vagy tej esetében) a feldolgozott termék mintavételi bizonytalansága elhanyagolható egyéb befolyásoló tényezők mellett és



nullának vehető. Másrészt, ha a feldolgozott termék szilárd állagú, elegyítése egyenetlen, ezért az analitikai vizsgálatra kivett rész relatív mintavételi bizonytalanságát ( $CV_{S2}$ ) is figyelembe kell venni. Ez utóbbi általában kisebb, mint a nyersanyagok relatív mintavételi bizonytalansága.

Következésképpen a feldolgozott termék kombinált bizonytalansága az alábbiak szerint számolható:

$$CV_{\text{komb}} = \sqrt{CV_R^2 + CV_{Pf}^2 + CV_{STMR}^2 + CV_{S2}^2} \quad (40)$$

A receptek variabilitásából származó relatív bizonytalanság ( $CV_{cu}$ ) az összetett élelmiszer különböző alapanyagai esetében eltérő, amit a szermaradék kombinált bizonytalanságának számításakor az összetevők szintjén ugyancsak szükséges figyelembe venni:

$$CV_{\text{komb}} = \sqrt{CV_{cu}^2 + CV_{Pf}^2 + CV_{STMR}^2 + CV_{S1}^2 + CV_{S2}^2 + CV_L^2} \quad (41)$$

Feldolgozatlan termékek esetében a  $CV_{Pf}$  és  $CV_{S2}$  nullával egyenlő. A számításokban a gabonaszemekre vonatkozó relatív mintavételi bizonytalanságot ( $CV_{S1}=0,2497$ ) és a szerkísérletekre jellemző  $CV_L$  ( $CV_L=0,15$ ) értéket alkalmaztam. Liszt esetében, ahol az alapos elegyítés nem megoldható, a  $CV_{S2}$  0,11,  $CV_{STMR}$  0,082,  $CV_{Pf}$  0,449,  $CV_{cu}$  0,2424. Ezen adatok alapján a finomliszt  $CV_{\text{komb}}$  számítása az alábbi szerint történik:

$$CV_{\text{komb}}=(0,082^2+0,449^2+0,2497^2+0,15^2+0,11^2+0,2424^2)^{1/2}=0,603$$

A szermaradék koncentráció bizonytalanságának számításához először az összetevők (i) lépés szerint számított szermaradék tartalma és a kombinált relatív bizonytalanság ( $CV_{\text{komb}}$ ) figyelembevételével kiszámítjuk a szermaradék érték szórását és varianciáját ( $SD_{Ri}=CV_{\text{komb}} \times Ri$ ;  $SD^2=VAR$ ). Az átlagos variancia négyzetgyökét osztva az  $R_T$ -vel kapjuk az adott ételben lévő szermaradék  $CV_{\text{res}}$  értékét, azaz a szermaradék relatív standard bizonytalanságát. A palacsinta tészta szermaradék tartalma 0,066 mg, szermaradék koncentráció előbbieket szerint számított szórása 0,0296, a bifentrin szermaradék vonatkozó relatív bizonytalansága ( $CV_{\text{res}}$ ) 0,4487.

- vi. Töltött palacsinta esetén az üres palacsintában ( $0,0296/16=0,0019$  mg) és a szá mócalekvárban (0,0009 mg) lévő alapanyagok szermaradék koncentrációinak szórásait kell összesíteni (eredmény: 0,0021 mg). A két szórás szabadsági foka nem ismert, első megközelítésben ezért feltételezzük, hogy azonosak és az összesített SD a 18. egyenlettel számolható. Az összesített SD és a szermaradék összegéből (0,0067 mg) származtatható a relatív bizonytalanság (0,3072 az egy töltött palacsintában lévő, 0,0746 mg/kg szermaradéokra).

A részletes adatokat az 5. táblázat tartalmazza. A számítás elvei a többi étel esetében megegyeznek. A relatív bizonytalanságot minden élelmiszerre külön-külön ki kell számolni.

5. táblázat: Szamócalekvár-töltelékes palacsinta bifentrin-koncentrációjának és bizonytalanságának számítása\*

Összetevők	Tömeg [kg]	STMR, STMR-P [mg/kg]	Szermaradék kombinált bizonytalanságának tényezői						CV <sub>komb</sub>	Bifentrin			
			CV <sub>STMR</sub>	CV <sub>Pf</sub>	CV <sub>cu</sub>	CV <sub>S1</sub>	CV <sub>S2</sub>	CV <sub>L</sub>		mg <sup>a</sup>	SD mg	mg/kg <sup>b</sup>	CV <sub>res</sub> <sup>c</sup>
Tojás	0,14	0								0	0		
Repceolaj	0,18	0,08	0	0,23	1,44	0,18	0	0,15	1,48	1,4x10 <sup>-2</sup>	2,1x10 <sup>-2</sup>		
Tej	0,37	0,05			0,34			0,15	0,37	0,02	0,007		
Liszt, fehér	0,41	0,08	0,082	0,45	0,24	0,25	0,11	0,15	0,60	3,2x10 <sup>-2</sup>	1,9x10 <sup>-2</sup>		
M <sub>Ti</sub>	1,49									6,6x10 <sup>-2*</sup>	2,9x10 <sup>-2*</sup>		
M <sub>T</sub>	1,34											4,9x10 <sup>-2</sup>	0,05
1db üres palacsinta	0,084									4,1x10 <sup>-3*</sup>	1,9x10 <sup>-31*</sup>		
Lekvár számoctartalma	0,0055 <sup>♣</sup>	0,46	0,144			0,27		0,15	0,34	2,5x10 <sup>-3</sup>	8,7x10 <sup>-4</sup>		
1db töltött palacsinta	0,089									6,7x10 <sup>-3</sup>	2,1x10 <sup>-3</sup>	7,5x10 <sup>-2</sup>	0,31

Magyarázat:

\* A táblázat kerekített értékeket tartalmaz, azonban a számítás kerekítés nélkül történt.

<sup>a</sup>: A szerkísérleti medián szermaradékokból és az alapanyagok tömegéből számolva.

<sup>b</sup>: A bifentrin koncentráció [mg/kg] számítása a szermaradékok összegéből [mg] és a fogyasztásra kész étel tömegéből történik.

<sup>c</sup>: A fogyasztásra kész étel szermaradék koncentrációjának relatív bizonytalansága.

♣: Nyers alapanyagban lévő szermaradékok összege.

\*: Nyers alapanyagok szermaradékának összesített szórása.

♥: 1db palacsintában lévő szermaradék-tartalom [mg].

<sup>1</sup>: 1db palacsintában lévő szermaradék szórása.

♣: Nyers számocekvivalens, lekvár 90,7%-os gyümölcstartalmával számolva.

A napi bifentrin expozíció az elfogyasztott élelmiszerek bifentrin koncentrációjának összegéből számolható. Az elfogyasztott élelmiszer kombinált relatív bizonytalansága a szermaradékok bizonytalanságából ( $CV_{res}$ ) és az elfogyasztott élelmiszer becsült adagjának relatív bizonytalanságából ( $CV_{di}$ ) származtatható. A bifentrin szermaradék számított napi beviteli szintjei egy 60 kg testtömegű személy esetében 0,0026 mg/ttkg és 0,0028 mg/ttkg, az 1. és 2. nap vonatkozásában. Feltételezve, hogy a mérés közönséges fürdőszobai mérleggel történt ( $\leq \pm 0,5$  kg pontosság), a testtömeg-mérés vonatkozó szórása az alábbiak szerint számolható:

$$SD=0,5/1,96=0,2551 \text{ kg}$$

Relatív bizonytalansága:

$$CV_w=0,2551/60=0,0043$$

Az első fogyasztási nap becsült napi szermaradék expozíció kombinált relatív bizonytalanságát ( $CV_{EDI}$ ) az alábbi egyenlettel számítottam:

$$CV_{EDI} = \sqrt{CV_{total}^2 + CV_w^2} = (0,30042^2 + 0,0043^2)^{1/2} = 0,30 \quad (42)$$

A második fogyasztási nap becsült napi szermaradék expozíció kombinált relatív bizonytalansága 0,28. Abban az esetben, ha professzionális mérleggel történik a mérés ( $\pm 0,1$  kg pontosság), ami fogyasztási felmérésekben megszokott, a napi étrendi expozíció becsült bizonytalansága gyakorlatilag nem változna, ezért alkalmazásuk nem szükségeszerű.

A számított napi bifentrin expozíció kiterjesztett kombinált bizonytalansága ( $U=2 \times u$ ) és az expozíció 95%-os felső határa a 6. táblázatban szerepelnek.

6. táblázat: Vizsgált személy napi bifentrin kitétsége\*

Nap	Bifentrin <sup>1</sup> (mg)	u <sup>2</sup> [mg]	U <sup>3</sup> [mg]	95%UCL	EDI (mg/ttkg)	EDI 95% UCL (mg/ttkg)
1	0,154	0,0462	0,0925	0,246	$2,57 \times 10^{-3}$	$4,11 \times 10^{-3}$
2	0,168	0,0475	0,0950	0,263	$2,81 \times 10^{-3}$	$4,39 \times 10^{-3}$

Magyarázat:

\* A táblázat kerekített értékeket tartalmaz, azonban a számítás kerekítés nélkül történt.

<sup>1</sup>: Bifentrin szermaradék (mg) adott napon elfogyasztott élelmiszerben.

<sup>2</sup>: Standard bizonytalanság.

<sup>3</sup>: Kiterjesztett bizonytalanság.

95% UCL: Felső 95%-os konfidenciaszint.

Ha első napra 30%, a 2. napra 28%-os összegzett kombinált bizonytalansággal számolunk, a kiterjesztett bizonytalansággal ( $U=2 \times u$ ) terhelt számított bifentrin expozíció 95%-os konfidencia intervallumban a következőképpen adható meg 1. napra:  $2,57 \times 10^{-3} \pm 0,77 \times 10^{-3}$  mg/ttkg, a második napra:  $2,81 \times 10^{-3} \pm 0,59 \times 10^{-3}$  mg/ttkg. A napi bifentrin expozíció 95%-os

konfidencia intervallumának felső határa is 2,4 és 2,3-szor kisebb, mint az ADI (0,01 mg/ttkg), így az összegzett kombinált bizonytalanságot is figyelembe véve szintén nem éri el az ADI-t.

#### 4.5. Bizonytalansági források rangsorolása

A számított étrendi expozíciót befolyásoló tényezők bizonytalanságainak mértéke változó, az elfogyasztott élelmiszer összetevőitől, a szermaradékok koncentrációjától, az élelmiszer elkészítésének módjától függ, ezért általánosan jellemző értékek nem adhatók meg. A példában az első napi fogyasztás alapján pl. a bogyós gyümölcsök (47%) és az almalé (18%), második nap pedig a szeder- (44%) és palacsintafogyasztás (31%) járult hozzá legnagyobb mértékben az összegzett kombinált bizonytalansághoz.

A bevitel egyes lépései bizonytalanságának hozzájárulása a kombinált bizonytalansághoz az adott élelmiszertől függ. Például a szederrel történő bifentrin bevitel bizonytalansága magába foglalja a fogyasztás becslésének ( $CV_{di}=0,89$ ), a mintavételnek ( $CV_S=0,16$ ), a növényvédőszer-maradék laboratóriumi kimutatásának ( $CV_L=0,15$ ), illetve a szerkísérleti adatoknak ( $CV_{STMR}=0,68$ ) a bizonytalanságát. A palacsintánál a szermaradék bevitel bizonytalansága magába foglalja a szermaradék becslésének ( $CV_{res}=0,31$ ) és a fogyasztásnak ( $CV_{di}=0,94$ ) a bizonytalanságait. Az elfogyasztott mennyiség bizonytalanságának ( $CV_{di}$ ) részaránya a varianciák összegéhez szeder esetében 61%, palacsinta esetében 90%, vagyis az, hogy az egyes bizonytalansági tényezők milyen értéket vesznek fel, az adott élelmiszer és szermaradék tartalmának a függvénye. Összetett élelmiszerek esetén, mint amilyen a palacsinta, a  $CV_{cu}$ ,  $CV_{S1}$ ,  $CV_L$ ,  $CV_{Pf}$ ,  $CV_{S2}$  és  $CV_{STMR}$  értékeket a  $CV_{res}$  részeként, az alapanyagok szintjén kell számolni.

A számított napi étrendi növényvédőszer-maradék expozíció ismert, mennyiségileg behatárolható kombinált bizonytalanságát - kutatómunkám eredményei alapján - elsősorban az ételreceptek variabilitásának ( $CV_{cu}=22,3-144\%$ ), az elfogyasztott élelmiszer mennyisége felidézésének ( $CV_{di}=29-98\%$ ), a szerkísérleti szermaradék koncentrációk mediánjának ( $CV_{STMR}=8-90\%$ ), a mintavétel ( $CV_S$ ; friss gyümölcsök: 20-30%, feldolgozott szilárd termékek: ~10%; nagyméretű termények részmintavétele: 7-21%), a nyers termények minta feldolgozásának ( $CV_{Pf}=30-50\%$ ) és a szerkísérletekből származó analitikai vizsgálatok ( $\leq 15\%$ ) relatív bizonytalansága határozza meg. Konkrét információ hiányában nem, vagy csak részben lehetett figyelembe venni az állati eredetű élelmiszerek vagy élelmiszer-alapanyagokban várható szermaradék bizonytalanságát.

#### 4.6. Új tudományos eredmények

1. Meghatároztam öt étel, a hazai kereskedelmi forgalomban hozzáférhető alapanyagokból készült élelmiszeradagjainak, nemzetközileg kidolgozott EPIC-SOFT képeskönyv alkalmazásával történő mennyiségi becslése véletlen hibájának mértékét, irányát, illetve a felidézés relatív

bizonytalanságát. A valós és becsült adagok közti különbséget tömegszinten jellemeztem, mivel ez a megközelítés pontosabb, mintha a becsléseket az adag-megfelelőség szempontjából értékeltém volna. A tömegbecslések variabilitására vonatkozó információk kedvezőbb alapot szolgáltatnak a kitettség bizonytalanságainak becsléséhez. A kiugró értékek hatását lehetőség szerint „winsorizálással” csökkentettem. A percepció és memória alapú becslés eredményeit összehasonlítva egyértelmű, hogy – az előzetes feltételezésnek megfelelően – a becslés hibája idővel nő, ami már 1-2 órás eltérés esetén is megfigyelhető (akár 60%). A kapott eredmények legkedvezőbb esetként kezelhetők, mivel az étel fogyasztása és a kikérdezés időpontja között rendszerint több idő (min. 24-36 óra) telik el, mint a jelen vizsgálatban, ami tovább torzíthatja az eredményeket. Az adagok felidézésének bizonytalansága vizsgálatomban 24-55%-os volt.

2. Megállapítottam, hogy egy képsorozat csak akkor ad helyes eredményt a fogyasztott ételadagok mennyiségére, ha a hazai kereskedelmi forgalomban hozzáférhető alapanyagokból és receptek szerint készített ételek térfogattömegét figyelembe vesszük.
3. Azonosítottam a fogyasztási adatok értékét befolyásoló relatív bizonytalansági tényezőket, matematikai összefüggéseket alkalmaztam azok számszerűsítésére. Megállapítottam, hogy a fogyasztók növényvédőszer-maradék kitettségének összetett bizonytalanságának egyik fő forrása a fogyasztott étel-mennyiség visszaemlékezés alapján történő becslése és a receptek összetételének változatossága.
4. Azonosítottam a növényvédő szerek engedélyezését megelőző kockázatbecsléshez felhasználható növényvédőszer-maradékok medián értékének (STMR) megállapításához és a nyerstermények feldolgozásához kapcsolódó bizonytalanság forrásokat, matematikai összefüggéseket alkalmaztam azok számszerűsítésére. A megállapított összefüggések alapján lehetővé válik a szermaradék koncentrációk hozzájárulásának meghatározása a fogyasztói expozíció kombinált bizonytalanságához.
5. Módszert dolgoztam ki a növényvédőszer-maradékok determinisztikus expozíciójának kvantitatív bizonytalanságának számítására, melynek gyakorlati alkalmazási lehetőségét a bifentrin modellvegyület példáján keresztül mutattam be. Meghatároztam a növényvédőszer-maradék étrendi expozíció bizonytalanságát befolyásoló különböző tényezők kombinált hatásának számítási összefüggéseit és azokat egzakt egyenletekkel írtam le. A számítás alapösszefüggései érvényesek az akut és krónikus determinisztikus expozíció becslés esetén.
6. Megállapítottam, hogy a számított expozíció kombinált bizonytalansága étel-mennyiség-növényvédőszer-maradék páronként változik, a befolyásoló tényezőket csak közelítőleg lehet rangsorolni. Az elemzésem tárgyát képező 2-napos fogyasztási adatok és a modellvegyületnek választott bifentrin szermaradék koncentrációk alapján a mennyiségileg behatárolható bizonytalansági források hozzájárulásuk sorrendjében az

ételreceptek variabilitása ( $CV_{cu}=22,3-144\%$ ), az elfogyasztott élelmiszer becsült tömege ( $CV_{di}=29-98\%$ ), a szerkísérletekből származó szermaradék értékek koncentrációinak a mediánja ( $CV_{STM}=8-90\%$ ), a nyers termények feldolgozása ( $CV_{P}=30-50\%$ ), a mintavétel ( $CV_S$ : friss gyümölcsöknél 20-30%, feldolgozott szilárd termékeknél ~10%, nagyméretű termények részmintavételénél 7-21%) és a szerkísérletekből származó analitikai vizsgálatok ( $\leq 15\%$ ). Megállapítottam, hogy az egyes bevételek bizonytalanságának hozzájárulása a kombinált bizonytalansághoz az adott élelmiszer és szermaradék tartalmának a függvénye.

7. Megállapítottam, hogy a fogyasztók testtömeg mérésének relatív bizonytalansága érdemben nem befolyásolja a számított expozíció összegzett kombinált bizonytalanságát.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

1. A jól kiválasztott, különböző ételadagokat bemutató képeskönyv alkalmazása fokozza az elfogyasztott élelmiszer mennyiség becslésének pontosságát. Az ételek különböző mennyiségét bemutató képsorozatokat a felmérésbe vont korosztály fogyasztási szokásaihoz kell igazítani, mind tartalmi, mind a feltüntetett adagok tekintetében.
2. A képeskönyv terjedelme korlátozott, ezért abban olyan ételeket célszerű ábrázolni:
  - a. melyeket a felmérésben szereplő személyek gyakran fogyasztanak és mennyiségük a háztartásban általában használt eszközökkel (evőkanál, kávéskanál, pohár, kávéscsésze stb.) nem becsülhető;
  - b. melyek alapján, egyéb hasonló megjelenésű ételek mennyisége is becsülhető.
3. Az EPIC-SOFT képeskönyvben szereplő adagokhoz rendelt tömegek csak az ábrázolt ételre vonatkoznak. A különböző alapanyagokból és receptek szerint készített, vizuálisan azonos térfogatú (mennyiségű) ételek valódi tömege eltérő lehet.

Az elfogyasztott ételadagok tömege lehető legpontosabb meghatározásának elősegítésére, a különböző ételek adagjának becslésére szolgáló, egyazon képsorozathoz, ételenként célszerű a megfelelő tömegeket (g) hozzárendelni.
4. A fogyasztási felmérésekben résztvevő személyeknek csak kis hányada rendelkezik az elfogyasztott élelmiszer összetételére vonatkozó részletes információval. A kikérdező személynek ezért részletes ismeretekkel kell (célszerű) rendelkeznie a szokásos ételek összetételére, komponenseire vonatkozóan, hogy segítő kérdésekkel tegye pontosabbá a fogyasztott étel összetételének behatárolását.
5. A becslés hibája idővel nő, ami már 1-2 órás eltérés esetén is megfigyelhető. A kapott eredmények legkedvezőbb esetként kezelhetők, mivel az étel fogyasztása és a kikérdezés időpontja között rendszerint több

idő (min. 24-36 óra) telik el, mint a jelen vizsgálatban, ami tovább torzíthatja az eredményeket.

6. A növényvédőszer-kísérletek eredményeiből számított fogyasztói expozíció lényegesen magasabb, mint ahogy a növényvédő szer rendeltetésszerű felhasználása esetén várható, tekintve, hogy a szerkísérletek célzottan a javasolt növényvédelmi technológia alkalmazásakor előforduló maximális szermaradékszint meghatározására irányulnak. A gyakorlatban azonban nem minden termő területet kezelnek, illetve nem az adott növényvédő szer engedélyezett maximális dóziséját és a legrövidebb várakozási időt alkalmazzák. Azon esetekben amikor a szerkísérleti eredmények alapján számított expozíció megközelíti az elfogadható napi vagy átlagos szintet, célzott mintavétellel végrehajtott szermaradék vizsgálatokkal célszerű a véletlen mintavételen alapuló monitoring vizsgálati eredményeket kiegészíteni és azok figyelembevételével meghatározni a reális fogyasztói expozíciót és meghozni a megfelelő kockázatkezelési intézkedéseket.
7. A számított fogyasztói expozíció bizonytalanságát okozó tényezőket két csoportba oszthatjuk. Az első csoportba a hiányos információon alapuló tényezők tartoznak, mint például a fogyasztott élelmiszer nyersanyag komponensei és részarányuk a készételben, a kereskedelmi fogalomban kapható kész élelmiszerek összetétele, a fogyasztásra kerülő terményrész (pl. a banán húsa, a megtisztított sárgarépa, burgonya) szermaradék tartalma az analizált terményrész szermaradék tartalmához viszonyítva stb. Az ilyen és hasonló forrásból származó bizonytalanságok célirányos adatgyűjtéssel csökkenthetők. Ugyanakkor a szermaradék természetes körülmények között előforduló variabilitásából adódó mintavételi, mintafeldolgozási és analitikai mérési bizonytalanságok, a jelenleg tipikus jó analitikai gyakorlat és műszerezettség alkalmazása mellett, gyakorlatilag nem csökkenthetők. A belőlük származó bizonytalanság minimális méretű csökkentése is jelentős költségráfordítással járna, ami nem eredményezné a számított expozíció kombinált bizonytalanságának érdemi csökkenését.
8. Az azonosított bizonytalansági források számszerűsítésére alkalmazott alapösszefüggések és a leírt egzakt egyenletek az akut és krónikus determinisztikus expozíció bizonytalanság becslése során egyaránt érvényesek, alkalmazhatók.  
A viszonylag egyszerű eljárás a rutin determinisztikus kockázatbecslés munkában alkalmazható. A komplex számítást megkönnyítő, például Excel makróval támogatott alkalmazás esetleges jövőbeni kidolgozása további kutatómunkát, jelentős adatgyűjtést igényel. A hiányzó információk legmegfelelőbb pótlása során a különböző input paraméterek összefüggéseit jól ismerő, szakértő becslése nélkülözhetetlen.

## 6. DISSZERTÁCIÓ TÉMÁJÁBAN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

### Impakt faktoros folyóiratban megjelent közlemények

**SZENCZI-CSEH, J., HORVÁTH, ZS., AMBRUS, Á.** (2017): Validation of a Food Quantification Picture Book and Portion Sizes Estimation Applying Perception and Memory Methods. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. DOI: 10.1080/09637486.2017.1309521.

IF: 1,504.

**AMBRUS, Á., SZENCZI-CSEH, J.** (2017): Principles of estimation of combined uncertainty of dietary exposure to pesticide residues. *EC Nutrition* 7.5: 228-251.

IF: 1,337.

**SZENCZI-CSEH, J., AMBRUS, Á.** (2017): Uncertainty of exposure assessment of consumers to pesticide residues derived from food consumed. *Journal of Environment Science and Health, Part B*. DOI: 10.1080/03601234.2017.1331671.

IF: 1,31.

### Nem IF-os folyóiratban megjelent, lektorált közlemények

**AMBRUS, Á., HORVÁTH, ZS., FARKAS, ZS., DOROGHÁZI, E., CSEH, J., PETROVA, S., DIMITROV, P., DULEVA, V., RANGELOVA, L., CHIKOVA-ISCENER, E., OVASKAINEN, M-L., PAKKALA, H., HEINEMEYER, G., LINDTNER, O., SCHWETER, A., NASKA, A., SEKUŁA, W., GUIOMAR, S., LOPES, C., TORRES, D.** (2013) Pilot study in the view of a Pan-European dietary survey - adolescents, adults and elderly, *EFSA Supp. Publ.* EN-508. Vol 10: 1-104. p.

### Hazai és nemzetközi konferencia kiadványok, előadások

**HORVÁTH, ZS., CSEH, J., FARKAS, ZS., AMBRUS, Á.** Az egységes európai fogyasztási tényező felmérés metodikai alapelvei. Magyar Táplálkozástudományi Társaság, *Aktualitások a táplálkozástudományi kutatásokban című workshop*. Budapest, 2014. január 16. ISBN 978-963-88108-7-8, 9. p.

**CSEH, J., AMBRUS, Á.** Az adagbecslés lehetőségei az élelmiszer-fogyasztási felmérésekben. *A Magyar Táplálkozástudományi Társaság XXXVII. Vándorgyűlése*. Balatonöszöd, 2012. október 4-6. ISBN 978-963-88108-5-4 14. p.

**AMBRUS, Á., HORVÁTH, ZS., CSEH, J., SZEITZNÉ SZABÓ, M.** Principles of planning risk-based monitoring programmes. *European Pesticide Residue Workshop*. Bécs, 2012.