

## Mindennapi kenyér – hétköznapi hálózat

# Az élelmiszerlánc mint komplex rendszer

**K**edves Olvasó, ugye tudta, hogy Ön is része az egész bolygót behálózó, állatokat, növényeket és más élőlényeket is tartalmazó, igen összetett hálózatnak? Mivel Ön is szokott enni, minden bizonnyal érdekelni fogja, hogy mi kerül be szervezetünkbe az élelmiszerek útján, hogyan áll ez kapcsolatban a biológiai-kémiai természeti világgal, és talán arra is kíváncsi, hogy mire és hogyan használhatjuk a hálózatkutatást mint az összetettséget megragadó egyik módszertant.

A biztonságos élelmiszerek, a betegségektől mentes, egészséges növények, állatok iránti igény egyidős az emberiséggel, és ezt az igényt változatos módon és mértékben sikerült kielégíteni, illetve rövidebb-hosszabb ideig fenntartani a történelem folyamán. Az elmúlt évszázadokban, évtizedekben sok mindent elértünk, a legtöbb növény- és állatbetegségtől mentesítettük állományainkat, a legsúlyosabb, akár halálos, élelmiszer-eredetű megbetegedéseket mára sikerült szinte teljesen megelőzni. Ma már megszokottá vált, hogy az évszakoktól, földrajzi előfordulástól függetlenül széles választékban minden élelmiszer és élelmiszer alapanyag beszerezhető Magyarországon. Hazánk – az Európai Unió tagjaként – világviszonylatban azon szerencsés országok közé tartozik, ahol az élelmiszerlánc-biztonság igen magas színvonalú.

Ennek ellenére az élelmiszerlánc-biztonság kérdése világszerte az érdeklődés előterében van. A WHO becslése szerint az élelmiszer-fogyasztással összefüggésbe hozható megbetegedések száma az egész világon folyamatosan emelkedik, az iparilag fejlett országokban is a lakosság 30%-át érinti évente (WHO, 2002). Az élelmiszer-fogyasztással kapcsolatos veszélyeztettség új dimenzióba lépett, a kockázat globálisá vált. A Földünk bármely pontján előállított termékek rövid idő alatt bármely országba és az általuk közvetített kórokozók vagy szennyező anyagok bármelyikünk szervezetébe beelekerülhetnek, a már ismert, gyakran előforduló megbetegedések mellett új típusú élelmiszerlánc-biztonsági veszélyek is megjelentek.

### Egy csodálatosan összetett rendszer: az élelmiszerlánc

Élelmiszereink nagy többsége és környezetünk döntő része élő, melynek sajátos a folyamatos változás – emberi beavatkozás révén vagy anélkül. E csodálatosan változó világ ráadásul méreteit tekintve is érdekes: a nanoméretű anyagoktól a vírusoktól és baktériumoktól át az egész Földet behálózó kereskedelmi hálózatok méretéig terjed vizsgálódásunk. Csak példaként: jelenleg a világon megtermelt minden második élelmiszer exportálásra kerül, és ez az arány várhatóan tovább növekszik; magyar kutatók kimutatták (Ercsey-Ravasz és mtsai, 2012), hogy a világ élelmiszerkereskedelme gyorsabban nő, mint a termelés. Azonban az általános érzékeléssel szemben a globalizáció jelenleg közel sem teljes. Valójában éppen csak elkezdődött ez a folyamat, és a világunk sokkal inkább lokális, mint globális: mind a személyes, mind az üzleti kapcsolatok még mindig inkább a közvetlen környezetünkben jönnek létre (Pankaj, 2012). A trendek egyértelműek: a világ lakosságának növekedésével a globalizációs folyamatok további erősödése és az élelmiszerlánc bonyolultságának növekedése várható.

Az élelmiszerlánc-tudomány ráadásul az egyik leginkább multidiszciplináris terület, szinte minden természet- és társadalomtudományi területhez rengeteg szállal kapcsolódik: a nyilvánvaló kapcsolatokon (biológia, kémia, fizika, matematika, alkalmazott élettudományok) túl olyan területekre is merészkedik, mint például a földtudományok, a közgazdaságtan, szociológia, pszichológia, logisztika és számítástudomány. Az élelmiszerlánc területén nap mint nap olyan hatalmas mennyiségű adat és információ keletkezik, melyek feldolgozása (de akár csak felfogása is) a szokásos módszerekkel gyakorlatilag lehetetlen.

De mi is az az élelmiszerlánc? Miért nem csupán élelmiszerekről beszélünk?

Az élelmiszerlánc (és az élelmiszerlánc-biztonság) egy alig pár éves-évtizedes fogalom, többfajta meghatározása született

már. Az élelmiszerlánc: az élelmiszere közvetlen vagy közvetett hatással járó tevékenységek, termékek és szereplők összetett rendszere (Élelmiszerlánc-biztonsági Stratégia 2013–2022). Vizsgáljuk meg, hogy vajon az élelmiszerlánc több-e az öt alkotó termékek és folyamatok összességénél. Ennek jobb megértését szolgálhatja Örkény István egyperces novellája:

*„Ha sok cseresznyepaprikát madzagra fűzünk, abból lesz a paprikakoszorú.*

*Ha viszont nem fűzzük fel őket, nem lesz belőlük koszorú. Pedig a paprika ugyanannyi, éppoly piros, éppoly erős. De mégse koszorú.*

*Csak a madzag tenné? Nem a madzag teszi. Az a madzag, mint tudjuk, mellékes, harmadrangú valami.*

*Hát akkor mi?*

*Aki ezen elgondolkozik, s ügyel rá, hogy gondolatai ne kalandozzanak összevissza, hanem helyes irányban haladjanak, nagy igazságoknak jöhet a nyomára.”*

*(Az élet értelme)*

És valóban, az élelmiszerlánc felfogható egy igen bonyolult és összetett hálózatnak is, melynek önmagában, hálózatként is vannak vizsgálható tulajdonságai: struktúrája, összetettsége, sérülékenysége, veszélyes anyagok vagy megbetegedések terjedési sebessége mind, mind a hálózat „saját” tulajdonságai, azaz nem következnek, nem vezethetők le csupán a hálózatot alkotó termékek, folyamatok összességéből. Mindezek alapján az élelmiszerlánc nemcsak az azt alkotó szereplőkből, az általuk végzett tevékenységekből és a létrejövő termékekből áll, hanem fontos a köztük lévő szövevényes kapcsolatrendszer is.

A folyamatosan és gyorsan változó élelmiszerláncot rengeteg – egymásra is ható – tényező alakítja. Így a jelenlegi előrejelzéseink szerint, a jövőben az európai élelmiszerlánc-biztonságra az alábbi mozgatórugók, kihívások lesznek hatással (European Commission, 2013):

– globális kereskedelem és gazdasági fejlődés;

- globális együttműködés és szabványosítás (standardizálás), a magánszektor élelmiszerstandardjainak növekvő jelentősége, multipoláris világ kialakulása;
- uniós kormányzás;
- demográfiai és társadalmi kohézió, népességnövekedés, társadalmi egyenlőtlenségek, előregedő társadalmak;
- fogyasztói attitűd- és viselkedésváltozás;
- új élelmiszerlánc-technológiák;
- verseny a kulcserőforrásokért (akár a fosszilis energiahordozókra, akár az ivóvízre is gondolhatunk);
- klímaváltozás;
- növekvő számú élelmiszerlánc-kockázatok (zoonózisok, környezetszennyezés) és katasztrófák (biológiai terrorizmus, szabotázs);
- újabb agrár-élelmiszerlánc-struktúrák megjelenése, helyi, regionális és alternatív élelmiszerláncok jelentőségének növekedése.

### Bonyult problémák megoldásának eszköze: számítástudomány

Világosan látszik, hogy bizonyos összetett ség fölött szinte lehetetlen egyszerűen és

lényegre törően látni és láttatni a problémákat és lehetséges megoldásait. A keletkező nagy mennyiségű, egymással összefüggő adathalmazok kezelésének és értelmezésének igénye új tudományterületek születését váltotta ki, melyek közös jellemzője, hogy megfelelő (számítástudományi) eszközökkel olyan törvényszerűségeket lehet kimutatni, amelyeket kisebb adathalmazból nehéz vagy lehetetlen. Ezek sokszor meglepőek, sőt, akár a „szakmai” megérzéseinkkel ellentétesek is lehetnek (Baranyi és mtsai, 2013). Az ilyen váratlan és nehezen megjósolható „kirajzolódó mintákat” (emergent patterns) keressük: összefüggéseket, mintázatokat próbálunk meg feltárni, melyek segítenek megragadni e bonyolult rendszer lényegét. De miért is jó ez? Mire lehet használni?

A komplex hálózatok kutatása a XX. század végén vált különösen intenzívvé. E kutatások során – meglepő eredményként – kiderült, hogy a természetben előforduló, önszerveződő hálózatok struktúrája és fejlődése sok hasonlóságot mutat, függetlenül attól, hogy mit reprezentálnak. Az ilyen hálózatok közös tulajdonsága, hogy a véletlen hibákkal szemben rendkívül ellenállóak, viszont a nagyobb csomópontokat kiválasztva és a hálózatból céltatosan kiszakítva

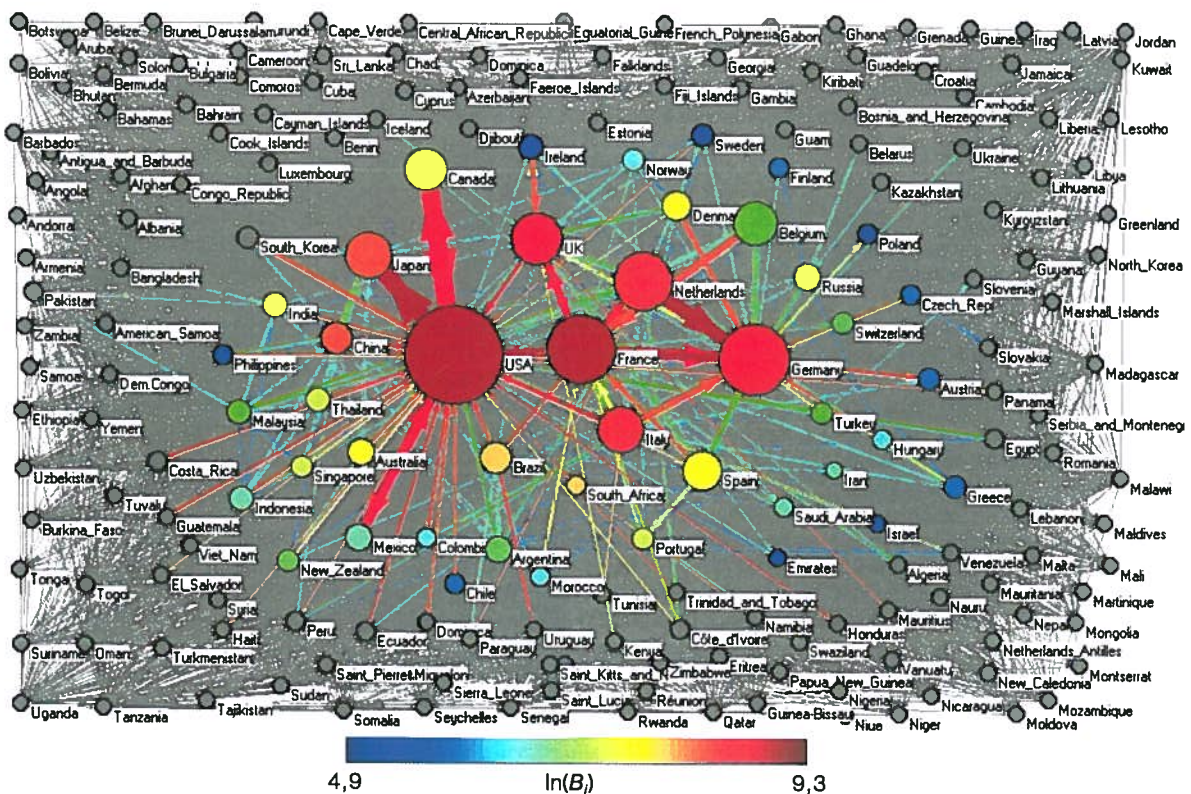
a hálózat megszűnik létezni, és több, izolált, kis hálózatra esik szét. Ennek a ténynek különböző jelentősége lehet, ha a bioterrorizmus, az élelmiszer-terrorizmus vagy csupán a szándékos károkozás megelőzését, kivédését célozzuk meg.

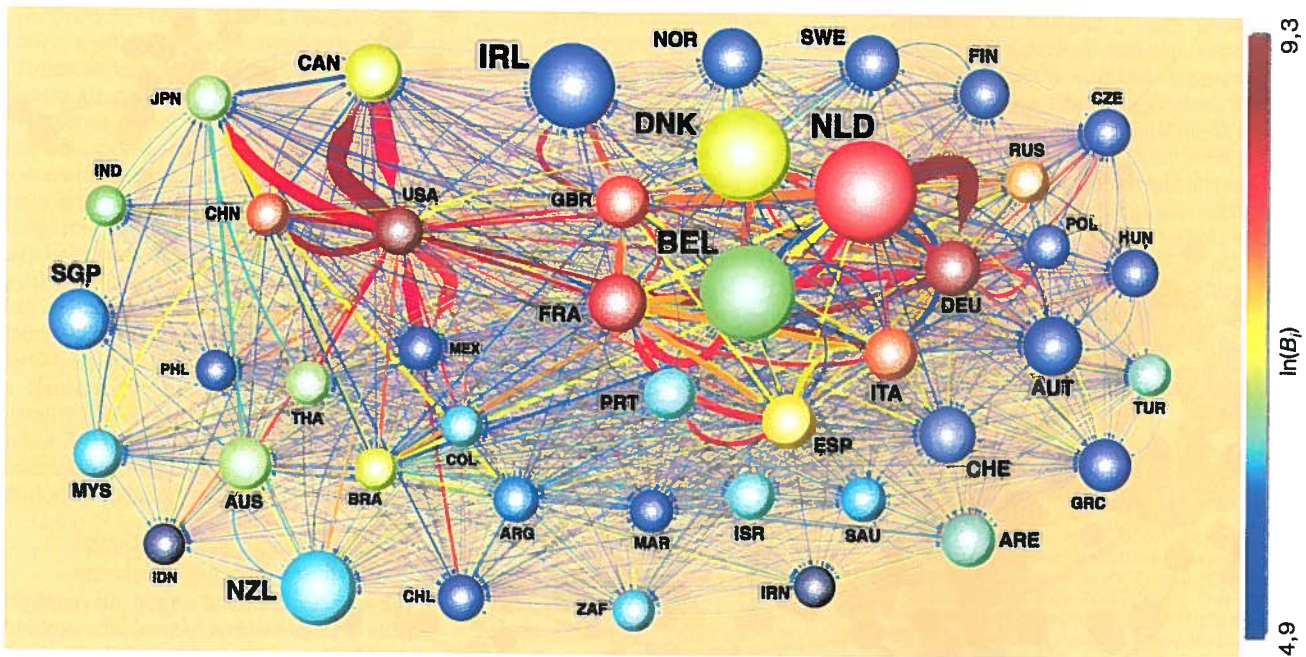
A hálózatkutatás (és tágabb értelemben a számítástudomány) felhasználása mellett a nyilvánvaló alkalmazás mellett igen sokrétű lehet, de most – az egyszerűség kedvéért – csak kettőt emelnék ki. Az élelmiszerláncot vizsgálók alapvető feladata az élelmiszerláncban zajló folyamatok pontosabb követése, megismerése, feltérképezése annak érdekében, hogy egyrészt képesek legyünk a bekövetkezett élelmiszerlánc-események pontos okának, forrásának felderítésére, *nyomon követésére*, másrészt – és ez a fontosabb és előremutatóbb –, hogy képesek legyünk *előre jelezni* a különböző ágensek felbukkanását, terjedését, a kritikus helyeket, termékeket, vállalkozásokat.

### Nyomon követés

Mivel az élelmiszerlánc egyre bonyolultabbá válik, így a termékek útja egyre nehezebben követhető nyomon. Miközben egyre koncentráltabb az élelmiszer-előállítás,

1. ábra. A teljes nemzetközi agrár-élelmiszer kereskedelmi hálózat 1998-ban. A hálózat a jelentett export-adatokon alapul. A 44 legjelentősebb összesített kereskedelmi országot (import+export), valamint a 300 legnagyobb kereskedelmi fluxust a betweenness centrality értékek alapján színesen ábrázolták, a többi ország és él szürke. A csomópontok mérete arányos a teljes kereskedelmi aktivitás logaritmusával. Az élek vastagsága az adott irányba történő kereskedelmi áramlás logaritmusával arányos. A hálózat struktúrája azonos volt az 1998 és 2008 közötti időszakban, bár a hálózaton szállított összes élelmiszertömeg több mint kétszeresére nőtt





2. ábra. A 44 legnagyobb kereskedelmi ország hálózata 2007-ben.

A 44 legjelentősebb összesített kereskedelmi országot (import+export), valamint az ezekhez tartozó éleket a betweenness centrality értékek alapján színesen ábrázolták. Az élek vastagsága az adott irányba történő kereskedelmi áramlás logaritmusával arányos. A csomópontok mérete ezen az ábrán az egy agrár-főre vetített kereskedelmi aktivitás logaritmusával arányos

az egyes alap-, adalék-, és csomagolóanyagok olyan specializált termelőktől származhatnak, amelyek egymástól és fogyasztóiktól is kontinensnyi távolságban működnek. Az élelmiszerek és más termékek a fejlett logisztikai rendszerek és a mindinkább globálissá váló nemzetközi kereskedelmi szabályozás segítségével egyre gyorsabban jutnak el a világ legkülönbözőbb tájaira, sokszor ráadásul ezek kereskedelme az interneten zajlik, tovább nehezítve a nyomon követést. Mindezek eredményeképpen egyetlen szándékos vagy véletlen szennyezés esetén a következmények ma már sokszor több ország lakosságát veszélyeztetik.

Az áruk és a személyek korábban nem ismert intenzitását, és csak a hálózatok kutatás legfejlettebb eszközeivel kutatható mozgása minden valószínűség szerint jelentős, de ma még nehezen értékelhető hatással járhat az élelmiszerlánc-biztonságára. Ezek olyan újszerű, tömeges, gyors és jelentős távolságokra kiterjedő helyváltoztatással járó jelenségek, amelyek az emberiség történetében korábban nem voltak ismertek, és amelyek minden bizonnyal hozzájárulnak a kórokozók és szennyező anyagok világméretű terjedéséhez, így tömeges, akár globálisan jelentkező mérgezés, illetve járvány veszélyével fenyegetnek.

### Előrejelzés

Az élelmiszerláncban tevékenykedők (akár az érintett vállalkozásokat nézzük, akár a

hatóságokat, kutatókat) mind szeretnék előre jelezni a lehetséges problémákat, ezek terjedését, hatását. Ez az előrejelző munka egyre fontosabb lett az utóbbi időszakban, hiszen az élelmiszerlánc biztonságához és minőségéhez való hozzáállásunk sokat változott az elmúlt évtizedekben. A végtermék ellenőrzésére koncentrált megközelítést világszerte felváltotta az egész folyamatot felügyelő, megelőző jellegű hozzáállás. Ennek lényege, hogy akár egy konkrét termék gyártásának folyamatát (egy vállalkozás szintjén), akár az egész élelmiszerláncot (hatósági vagy kutatási szempontból) vizsgálni, elemezni kell, majd ennek eredményeképpen meghatározott különböző kockázatokat még *azelőtt* kezelni kell, mielőtt azok előfordulnának. Ez a sokkal inkább rendszerszerű megközelítés hatékonyabb működést tesz lehetővé: sokkal kevesebb nem megfelelő (biztonságú vagy minőségű) termék keletkezik, illetve az esetleges problémák is sokkal gyorsabban kezelhetők.

Hálózatelméleti szempontból gyakorlatilag ez nem jelentene mást, mint a hálózatok kutatási eszközök segítségével kontrollálni az élelmiszer-hálózatot, azaz hatékonyan megtalálni a kontrollpontokat egy végtelenül bonyolult rendszerben, és még az előtt beavatkozni (például az ellenőrzések intenzitásának fokozásával, szabályozók bevezetésével), mielőtt nagyobb hatású esemény bekövetkezne. (Index.hu, 2015.)

Természetesen egy ilyen alapelvek mentén működő rendszer működtetése renge-

teg adatot, tudást és elemzési képességet igényel. És míg a hagyományos kockázatbecslés (FAO/WHO, 2007) is már sokszor nehéz elemzési feladatok elé állította a vállalkozásokat, kutatókat, felügyelő hatóságokat, addig a jelenlegi, sok adatot produkáló, egyre inkább globalizálódó, igen intenzív élelmiszer-előállítás és -kereskedelem még több ilyen jellegű képességet kíván.

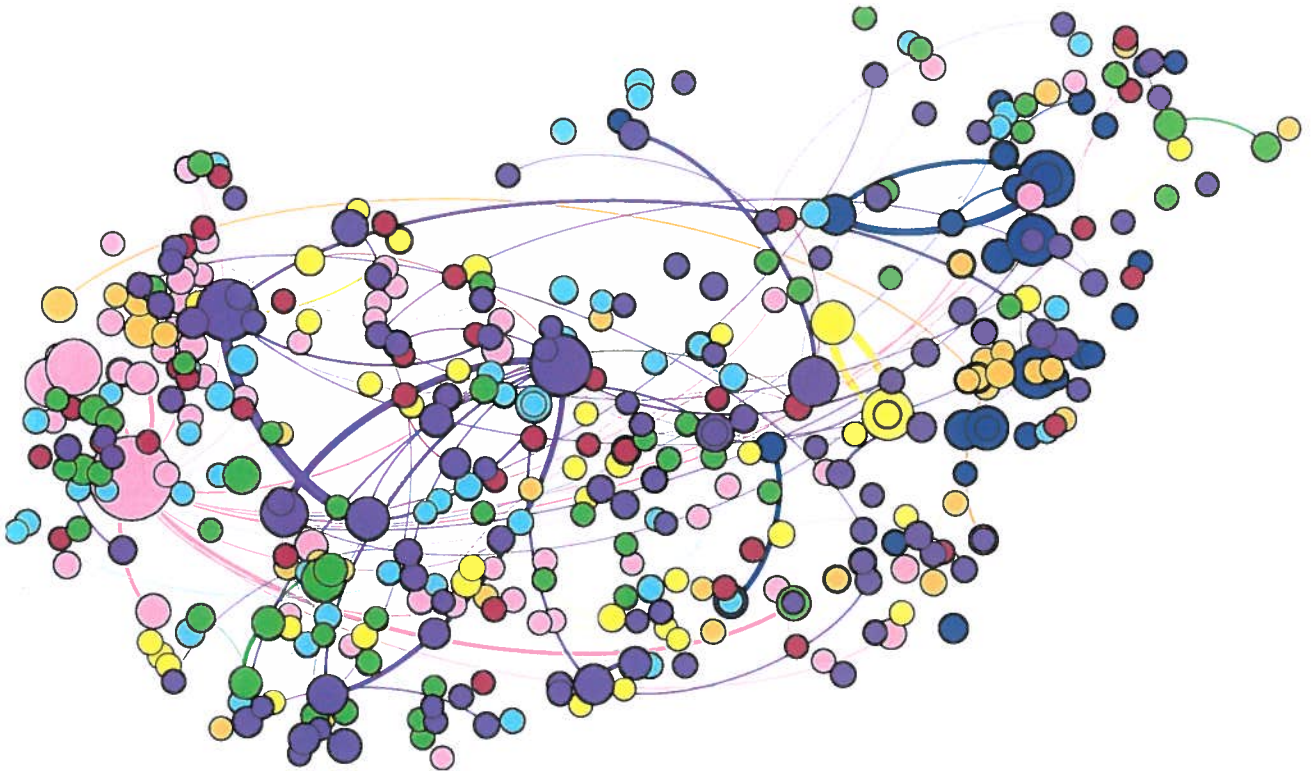
### Komplex hálózatok élelmiszerláncal kapcsolatos elemzésekben

#### Országok hálózata

Az élelmiszerláncot érintő hálózatelméleti megoldások közül kiemelve a nyomon követésre és előrejelzésre összpontosítottakat, kezdjük a legátfogóbbakkal!

Az egyik első hálózatelméleti alkalmazás ezen a területen az egymással kereskedelmi kapcsolatban lévő országok elemzését célozta. Az európai élelmiszer- és takarmánybiztonsági gyorsriasztási rendszerben (RASFF<sup>1</sup>) a riasztást bejelentő és a nem megfelelő terméket előállító országok hálózatát Petróczi és munkatársai (2010) elemezték. A szerzők a riasztási megfigyelésekből és azok hálózatelméleti módszerekkel történő elemzéséből mintázatokra következtettek, és a modellt előrejelzésre is felhasználták.

<sup>1</sup> Rapid Alert System for Food and Feed (<http://ec.europa.eu/food/safety/rasff/>)



3. ábra. Magyarországi szarvasmarha-tenyészetek kapcsolati hálózata 2011–2012. Az eltérő színek a modularitás alapján egy osztályba tartozó csoportokat jelölik

Az országok közötti kereskedelemre vonatkozóan jelenleg több, bárki számára hozzáférhető adatbázis is létezik, ilyen például az ENSZ által gondozott Com-Trade<sup>2</sup> adatbázis. Ennek felhasználásával Ercsey-Ravasz és mtsai (2012) kimutatták bizonyos országok átlagosnál nagyobb felelősségét a biztonságos élelmiszer-kereskedelemben. A tanulmány az élelmiszer-áramlást országok mint hálózati pontok között, USA dollárban mérte. A pontok nagysága az ország élelmiszerkereskedés-értékével (import + export) volt arányos, az élek vastagsága pedig az illető két ország közötti élelmiszer-áramlás (fluxus) nagyságával (1–2. ábra).

Ezen elemzés során megállapítható volt például, hogy a holland-német határon átmenő élelmiszerek esetében (ahol a „központosság”<sup>3</sup> mértéke a legnagyobb volt), ha azokban fertőzöttség/szennyezettség fordul elő, nagy késedelem várható a megbetegedés eredetének kiderítésében. Erre jó példa volt a 2011. júniusi *E. coli* (STEC) O104:H4 -fertőzés Németországban, ahol több hét telt el az első megbetegedések megjelenése és a fertőzési forrás azonosítása között.

A kereskedelmi áramlások elemzése a továbbiakban a „központosságot” és az országok specifikus forgalmát<sup>4</sup> együtt vizsgálta. Kiderült, hogy a holland agrár-élelmiszer populációnak van a legnagyobb felelőssége az élelmiszerek közvetítésében. Ők azok, akikhez érkező, illetve akik által termelt/feldolgozott élelmiszer nagy valószínűséggel sok országot érint. Ez fontos információ a nemzetközi élelmiszer-kereskedelem felügyelete, szabályozása, az abban dolgozók képzése és a ráfordított költségek meghatározása szempontjából. Ez az eredmény korábban csak sejtető volt, és annak objektív, kvantitatív kimutatásához hálózattudományi módszerek voltak szükségesek. Érdemes megjegyezni, hogy a legutóbb Nagy-Britanniában kirobbant „lőhúsbotrány” ugyancsak igazolta a cikk azon konklúzióját, hogy a nyomon követés egyre nehezebb lesz, és bizonyos országok kulcs szerepet fognak benne játszani.

#### Vállalkozások hálózata

Az élelmiszerlánc hálózatos elemzése kezdetben országokat céltzott, hiszen ilyen jellegű publikus kereskedelmi adatok voltak elérhetők. Azonban látni kell, hogy valójában a kapcsolatok egyes vállalkozások között jönnek létre, és ezek feltérképezéséhez elméletileg rengeteg adat létezik. A vállalkozások ugyanis kötelesek a vásárolt alapanyagokat, termékeket, illetve az eladott áru-

kat nyilvántartani. Jelenleg azonban nincs kötelezettség sem belső nyomon követésre (azaz, hogy pontosan melyik alapanyagból melyik termék készült), sem pedig elektronikus adatbázisok használatára, így bár világszerte potenciálisan hatalmas mennyiségű elemezhető adat állna rendelkezésre, ennek a hálózatnak a felderítése (pontosabban: a megfelelő adatgyűjtés) hatalmas korlátokba ütközik. Kívánatos lenne a jövőben ilyen irányú kutatások és fejlesztések indítása, az adatok adatbázisrendszerekben történő gyűjtése, a különböző adatgazdák (kutatóintézetek, egyetemek, laboratóriumok, vállalkozások, hatóságok és egyéb ellenőrző szervezetek) közötti adatcsere, közös adatgyűjtés, valamint az adatbázisrendszerek ontológiájának egyeztetése, azok kompatibilissé tétele.

#### Járványügyi előrejelzések

Szerencsére vannak területek, ahol ilyen, vállalkozás-szintű adatok rendelkezésre állnak. Ezek leggyakrabban állatállományok nyilvántartásához köthető adatbázisok, melyek a fertőzött állatok szállításából eredő vírus vagy baktérium eredetű járványok elemzésére is kitűnően használhatók. Egy német kutatócsoport (Lentz és mtsai, 2011) egy publikációban – miután feltérképezték a sertések szállítási útvonalát – ki tudott mutatni olyan gócpontokat, ahol a kereszt-fertőzés valószínűsége nagyobb, ezért azokra különös figyelemmel kell lenni. Az

<sup>2</sup> <http://comtrade.un.org/db/>

<sup>3</sup> Egy csomópont vagy él „központossága” (betweenness centrality): hány bármely két másik pont közötti legrövidebb útvonal megy át a kérdéses ponton/élen.

<sup>4</sup> Specifikus forgalom: az egy agrár-főre (az agrár- és élelmiszeriparban és -kereskedelemben dolgozók) jutó import-export mennyiség.

ellenőrzéseket tehát oda kell összpontosítani, és a preventív intézkedéseknek is várhatólag ott lesz a legnagyobb, az egész hálózatra kiterjedő hatása.

A sertés-adatokhoz képest sokkal részletesebb, egyedi adatokat tartalmazó szarvasmarha-adatbázisok segítségével egy olasz kutatócsoport (Bajardi és mtsai, 2012) dolgozott ki hálózat kutatáson alapulóan egy kockázatbecslési, élelmiszerlánc-felügyeleti módszertant, mellyel a szarvasmarhák mozgásának elemzésével lehetséges előrejelzéseket tenni a legkritikusabb állattartó-telepekre. Hasonló próbálkozások már a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) elemzésein belül is születtek. A 3. ábrán a hazai szarvasmarha-állományok és tenyészetek egymással való kapcsolódása látható.

*Vállalkozások és fogyasztók egymásba ágyazott hálózata*

Nyilvánvaló, hogy a hálózatelmélet további fontos alkalmazási területe lehet az élelmiszer eredetű humán megbetegedések epidemiológiai vizsgálata is. Kellően nagyszámú adat elemzésével előrejelzéseket lehet készíteni a megbetegedett legnagyobb valószínűséggel előidézhető élelmiszerek, országok, vállalkozások vagy a veszélyeztetett populáció, illetve akár konkrét személyek tekintetében.

A fogyasztók egymással való kapcsolatát megfigyelve (mobiltelefon-adatok, facebook, twitter követések stb.) szociológiai hálózatok rajzolhatók fel. Ezeket a nagyméretű adatbázisokat már ma is felhasználják epidemiológiai modellezésre: Broniatowski és mtsai, (2013) twitter-adatok elemzésével igen korán, igen pontos képet kaptak humán influenzajárvány terjedésével kapcsolatban. Ezen elemzési módszerek jelenleg kidolgozás alatt állnak, és pontosításra szorulnak, azonban igen jól mutatják a publikus adatbázisokban rejlő lehetőségeket.

Látni kell azonban, hogy ezekben a modellekben emberről emberre terjedő kórokozókkal dolgoznak. Az élelmiszerláncban problémát okozó ágensek ritkán ilyenek, inkább élelmiszerről emberre terjednek, így ezen korábbi modellek nem alkalmazhatók közvetlenül. Voltaképpen itt egymásba ágyazott hálózatok vannak: vállalkozók-vállalkozók, vállalkozók-fogyasztók és fogyasztók-fogyasztók közti kapcsolatok léteznek egymásba ágyazottan, így ezen a területen módszertani fejlesztésre (és adatgyűjtésre) is szükség van. De a helyzet nem reménytelen: a korábban említett német E. coli járvány retrospektív elemzésében német kutatók (Wilking és mtsai, 2012) kimutatták, hogy fejlettebb számítástudományi ismeretekkel, adatbányászattal a különféle fizetési dokumentumokban fellelhető adatok segíthettek volna hamarabb felderíteni a veszélyt.

*Szándékos cselekmények és összetett problémák*

Az eddig ismertetett elemzési módszertanok általában a hagyományos élelmiszerlánc-biztonsági hatósági vagy vállalkozói felügyeleti munkát segítik. Ez a terület alapvetően természettudományos alapokon nyugszik, és a fizikai, kémiai vagy biológiai ágensek előfordulását próbálja meg természettudományos szabályok mentén előre jelezni. Létezik azonban emellett egy másik fontos tényezőcsoport, mely az elemzéseinket teljesen más irányba fordítja: az ember által elkövetett szándékos cselekmények. Ezek esetében más motiváló tényezők játszanak igen fontos szerepet (és így az elemzések is más végeredményre vezetnek): ez már a gazdasági elemzések, pszichológia, szociológia területe. A szándékosan tetten érhető az élelmiszerlánc kapcsolatos hamisítások, csalások területén, de a szabotázs- vagy terrorista cselekmények esetében is.

Természetesen itt más-más tényezők komplex összefüggésrendszerét is érdemes lenne még feltárni, így például a klímaváltozás közvetlen hatására esetlegesen felbomló kereskedelmi hálózatok mellett, a klímaváltozásnak nem elhanyagolható a gazdasági-társadalmi szerepe sem: a víz- és erőforráshiány kapcsán megnő a szándékosan ártó cselekmények valószínűsége. Az ezekre vonatkozó predikciók sokat segítenének mind a probléma feltárásában, mind a megoldásában.

**Következtetések**

Az élelmiszerlánc csodálatos és bonyolult rendszere egy sor egyéb, hálózat kutatási módszerekkel feltárható kutatási területhez is kapcsolódik. Nem beszéltünk most arról, hogy az emberi mikrobiom<sup>3</sup> (az emberi testet alkotó sejtekkel együtt) bonyolult hálózatot alkot, és ez a rendszer összefüggésbe hozható több, élelmiszer- vagy táplálkozás-eredetű megbetegedéssel. Arról sem ejtettünk szót, hogy az élelmiszeripar által „használt”, vagy akár az élelmiszer eredetű megbetegedéseket okozó mikroorganizmusokban zajló biokémiai folyamatok is intenzív hálózat kutatás tárgyát képezik. Mint ahogy jelen cikkben nem tértünk ki olyan érdekes, a gasztronómiai tárgykörbe tartozó kutatásokra, mint például az egyes alapanyagok és összetevők egymással való kapcsolata különböző nemzetek konyhájában (Ahn és mtsai, 2011), segítve megérteni, hogy mely összetevőket miért használunk együtt főzés során, másokat meg nem.

*Kürti Miklós* magyar fizikus *The Physicist in the Kitchen* címmel 1969-ben a Royal Society of London előtt tartott elő-

adásában azt mondta: „...úgy gondolom, hogy civilizációnkról szomorú képet mutat, hogy képesek vagyunk megmérni, és meg is mérjük a Vénusz légkörének hőmérsékletét, de nem tudjuk, mi történik a rizsfelfűjt belsejében.” Ma ennél jobb már a helyzet, az élelmiszer-tudósoknak (és nemkülönben a molekuláris gasztronómusoknak) köszönhetően pontosan tudjuk, mi történik élelmiszereink belsejében előállításuk során. Most már csak azt kellene tudni, mi történik velük, illetve az alapanyagul szolgáló összetevőikkel az egész hálózatban. Ha már mindenki eszik. ☞

**Irodalom**

Ahn, Yong-Yeol, Ahnert, S. E., Bagrow, J. P., Barabási A. L.: Flavor Network and the Principles of Food Pairing. Scientific Reports. 1, 196, DOI: 10.1038/srep00196. (2011)

Bajardi, P., Barrat, A., Savini, L., & Colizza, V.: Optimizing surveillance for livestock disease spreading through animal movements. Journal of the Royal Society Interface the Royal Society. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22728387>). (2012)

Baranyi J, Józwiak A, Varga L, Mézes M, Beczner J, Farkas J: A hálózat kutatás, a bioinformatika és a rendszerbiológia alkalmazási lehetőségei az élelmiszer-tudományban; Magyar Tudomány 174:(9), 1094-1102. (2013)

Broniatowski, D. A., Paul, M. J., & Dredze, M.: National and Local Influenza Surveillance through Twitter : An Analysis of the 2012-2013 Influenza Epidemic, 8(12), 1-8. doi:10.1371/journal.pone.0083672. (2013)

Élelmiszerlánc-biztonsági Stratégia 2013-2022 ([www.elbs.hu](http://www.elbs.hu)); Vidékfejlesztési Minisztérium (VM) és Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH); pp.30., ISBN 978-963-08-7671-1. (2013)

Ercsey-Ravasz Mária, Toroczkai Z., Lakner Z., Baranyi J.: Complexity of the International Agro-Food Trade Network and its Impact on Food Safety. PLoS ONE. 7(5): e37810. (2012)

European Commission Directorate General for Health and Consumers: Scoping study – Delivering on EU food safety and nutrition in 2050 – Scenarios of future change and policy responses. Framework Contract for evaluation and evaluation related services - Lot 3: Food Chain; Final Report, 2013.

FAO/WHO Codex Alimentarius :Working Principles for Risk Analysis for Food Safety for Application by Governments. CAC/GL 62-2007. [http://www.codexalimentarius.org/download/standards/10751/CXG\\_062e.pdf](http://www.codexalimentarius.org/download/standards/10751/CXG_062e.pdf) (2007)

index.hu: Stöckert Gábor interjúja Barabási Albert-Lászlóval: Az NSA primitíven használta a begyűjtött adatokat ([http://index.hu/tudomany/2015/02/20/az\\_nsa\\_primitiven\\_hasznalta\\_a\\_begyujtott\\_adatokat/](http://index.hu/tudomany/2015/02/20/az_nsa_primitiven_hasznalta_a_begyujtott_adatokat/)) (2015)

Lentz, H. H. K., Korschake, M., Teske, K., Kasper, M., Rother, B., Carmanns, R., Selhorst, T.: Trade communities and their spatial patterns in the German pork production network. Preventive Veterinary Medicine, 98(2-3), 176-181. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21111498>). (2011)

Pankaj Ghemawat, Steven A . Altman: DHL Global Connectedness Index 2012. Analyzing global flows and their power to increase prosperity. IESE Business School. (2012)

Petróczi, A., Taylor, G., Nepusz, T., & Naughton, D. P.: Gate keepers of EU food safety: Four states lead on notification patterns and effectiveness. Food and Chemical Toxicology, 48(7), 1957-1964. (2010)

WHO global strategy for food safety: safer food for better health. World Health Organization ([www.who.int/foodsafety/publications/general/global\\_strategy/en/index.html](http://www.who.int/foodsafety/publications/general/global_strategy/en/index.html)) (2002)

Wilking, Hendrik, Götsch, U., Meier, H. et al.: Identifying Risk Factors for Shiga Toxin-producing Escherichia coli by Payment Information. Emerging Infectious Diseases. 18, 169-170. (2012)

<sup>3</sup> Az emberi testben élő mikroorganizmusok összetett ökológiai rendszere.