

KISS TIBOR–HARTUNG KATALIN–HETESI ZSOLT

## Termelőüzem ökológiai szempontú tervezése

A fenntarthatóság, erőforrás-hatékonyság, hulladékmentes termelés fogalmai, megoldásai egyre inkább teret nyernek a gondolkodásunkban, a politikai irányelvekben és a vállalati stratégiákban. Sokféle előremutató törekvés irányul a problémák megoldására, bár nem minden esetben kínálnak rendszerszintű megoldást. Ebben a tanulmányban arra teszünk kísérletet, hogy egy termelő vállalat tervezésénél figyelembe vegyük az ökológiai rendszerek egyik alapvető működési elvét, a rugalmas ellenálló képességet (*resilience*). Az eredmények azt jelzik, hogy több, fenntarthatónak ítélt rendszer közül van olyan, amely rendszerszintű, az ökológiai rendszerek működési elveinek is megfelel, így nagyobb eséllyel számít valóban fenntarthatónak.\*  
Journal of Economic Literature (JEL) kód: Q01, Q57, R11, R58.

Egy termelővállalat sokféleképpen törekedhet a fenntarthatóságra. A felhasznált anyagok, az előállított termékek, a társadalmi felelősségvállalás, mind olyan területek, amelyeknek az átalakításával elősegíthető ez a folyamat. Az alkalmazott megoldások tükrözik a lehetőségeket, a döntéshozók gondolkodásmódját, valamint a természeti-ökológiai rendszerek által támasztott követelményeket. Ez utóbbi kimondva-kimondatlanul ott van a cselekedetek, döntések mögött, és próbál irányt szabni döntéseinknek. Vannak olyan indikátorok, amelyek a folyamat előrehaladására, mérésére szolgálnak, mint például a megújuló energia aránya vagy a kibocsátott mérgező anyagok mennyisége. Van azonban egy olyan módszer, amely rendszerszintű megoldást kínál, és az adott szervezet struktúrájára, folyamataira vonatkozik. *Lietaer és szerzőtársai* [2012] és *Ulanowicz* [1997], [2009a], [2009b], [2014] ajánlanak egy olyan módszertant, amely megmutatja egy szervezet belső kapcsolatrendszerét, robusztusságát. Eredetileg ezt az eszközkészletet az

\* A kutatást a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta (szerződés száma: 20765-3/2018/FEKUTSTRAT).

input-output elemzésből és az információtechnológia egyes elemeiből alakították át ökológiai rendszerek tanulmányozására: ez az ökológiai hálózatelemzés (*Ecological Network Analysis, ENA*). Az új módszertani elemek azonban általános érvényűek, így már több területen is alkalmazzák ezeket, például városok bizonyos szempontú modellezésére (*Bodini és szerzőtársai* [2012]). *Goerner és szerzőtársai* [2009] felhívja a figyelmet a módszertan fontosságára a gazdaságban is, *Quantitative Economic Development* (QED) néven, de konkrét elemzést nem közöl. A tanulmányban egy termelővállalatra, jelen esetben egy almaléüzemre alkalmazzuk az ökológiában kialakított módszertant. A termelési folyamat kétféle megvalósítási lehetőségén keresztül mutatjuk be a módszer alkalmazását. Mindkét esetben teljesül a nulla hulladékkibocsátás elve, amely az ipari ökológia vagy az új évezredben kifejlesztett elméletek közül a körforgásos, illetve a kék gazdaság alapelve is. Bemutatjuk, hogy a nulla hulladékkibocsátás önmagában még nem jelenti azt, hogy a rendszer elég ellenálló (reziliens) is, ami pedig az ökológiai rendszerek – és így a kék gazdaság – egyik alapvető követelménye.

Ez a tanulmány arra tesz kísérletet, hogy egy termelőüzemet a leírtaknak, az ökológiai elveknek megfelelően tervezzék meg. Amennyiben a gazdasági felépítmény illeszkedik az ökológiai alaprendszerekhez, akkor nagyobb az esély a fenntarthatóbb, harmonizáltabb együttműködésre. Ennek oka elsősorban az, hogy ezzel az újfajta termelőüzem-struktúrával a természetnek egy olyan viselkedési elvét követjük, ami már évmilliók óta működik. A tanulmány eredményei azt támasztják alá, hogy a javasolt megoldás gazdasági-technológiai szempontból is észszerű.

A szakirodalmi áttekintés után az alkalmazott módszertant, az ökológiai hálózatelemzés felhasznált elemeit ismertetjük. Ezt követi az almalégyártás hazai helyzetének rövid leírása, majd az eredmények tárgyalása. A tanulmányt következtetéseinkkel zárjuk.

## Szakirodalmi áttekintés

*Jaehn* [2016] szerint a fenntartható termelés magában foglalja az erőforrás-hatékonyságot támogató irányzatokat, és arra törekszik, hogy kezelje a gazdasági növekedéssel járó negatív környezeti kihívásokat. A fenntartható termeléssel foglalkozó számos irányzat közül kettőt tárgyal: a politikai támogatásnak is örvendő körforgásos gazdaságot,<sup>1</sup> és a még kevésbé ismert kék gazdaságot.

A körforgásos gazdaság gyökerei megtalálhatók az ipari ökológiában (*Esty-Porter* [1988]) a bölcsőtől bölcsőig elv (*Braungart-McDonough* [2002]) és más fenntartható fejlődéssel foglalkozó gondolatok közt (*Sauvé és szerzőtársai* [2016], *Genovese és szerzőtársai* [2017]), ezért számos politikus, üzletember, törvényhozó és oktató figyelmét felkeltette a koncepció. *Sauvé és szerzőtársai* [2016] kutatásaiból kiderül, hogy a körforgásos gazdaság betartására törvényjavaslatot tesznek Kínában és egyes európai országokban. *Li-Su* [2012] szerint a körforgásos gazdaság a természeti erőforrások hatékonyabb kihasználásával törekszik az ember és természet egyensúlyának fenntartására. Ezenkívül

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm).

a körforgásos gazdaság termelési folyamatokat határoz meg. Ezen azt értjük, hogy a vállalat zárt rendszerben működik, ahol a rendszerben tartott hulladék helyettesíti az esetleges ásványi nyersanyag- vagy természetierőforrás-szükségletet.

A kék gazdaságról nagyon kevés publikációt találunk vezető folyóiratokban, ugyanakkor a körforgásos gazdasággal közös eleme a nulla hulladékkibocsátás (Hartung [2016]). A kék gazdaság alapelveit bizonyos fokig megfogalmazták már létező elméletek, például az ipari ökológia (Etsy–Porter [1988]), a nullahulladék-elv (Pauli [1997] és még számos más szerző), illetve a biomimikri (Benyus [2002], Bocken és szerzőtársai [2014]). Ennek ellenére a kék gazdaság határozottan újnak mondható jellemzője, hogy az egész gazdaságot az ökológiai rendszerekkel összhangban képzelel el (Pauli [2010]). A holisztikus megközelítés – eredeti értelmezése szerint – abból indul ki, hogy minden dolog összefüggésben áll a környezetével, így egy adott rendszert a környezetével együtt lehet igazán a maga teljességében vizsgálni. Ezzel a szemléletmóddal ismerhetünk meg egy adott rendszert, illetve annak elemeit. Ezt az alapelvet a biomimikri követi, leginkább termékszinten. A többi elmélet eredetileg nem holisztikus (erre általában utal az elnevezésük is), hiszen a nulla hulladékkibocsátásból indulnak ki, amelynek következetes érvényesítéséhez szükség van a teljesebb rendszer ismeretére. Általában mindegyik rendszerre igaz, hogy körforgásos mintákban gondolkozik, csökkentve az ásványi nyersanyag- és erőforrás-készletek felhasználását, illetve a vállalat indirekt környezetterhelését. Pauli [1997] nélkülözhetetlennek tartja a vállalatok közötti együttműködést a nullahulladék-elv betartása érdekében.

A kék és körforgásos gazdaságnak vannak vállalati szintű alkalmazásai is, illetve erőforrás-hatékonyságuknak köszönhetően gyakran vállalaton belüli vagy vállalati közti szinergikus együttműködést alakítanak ki, hogy hatékonyabb körforgásos struktúrát hozzanak létre. Ghisellinia és szerzőtársai [2016] szerint a körforgásos és kék gazdaság megvalósítása esetén a vállalati stratégia a tisztább termelést és az ökológiai szemléletű tervezést alkalmazza. Li–Su [2012] összegzi a körforgásos gazdaságot alkalmazó vállalatok közös vonásait: miszerint minimális beruházással, minimális ipari szennyezéssel járnak, a rendelkezésre álló készleteket maximálisan kihasználják, és a környezetre a lehető legkisebb hatást gyakorolják.

Morioka–Carvalho [2016] szakirodalmi összefoglalójában rávilágít arra, hogy számos fenntarthatósági indikátor létezik, amelyek mérik a vállalatok fenntarthatóságához való viszonyát. Ezek az indikátorok témájukban és tartalmukban jelentősen eltérnek egymástól. Ennek oka az, hogy egyik sem képes hiányosságok nélkül teljes körű információt biztosítani a fenntarthatóság vállalati alkalmazásáról. Ez alól a tanulmányunk fő módszertani eszköze, az ökológiai hálózatelemzés sem kivétel – ahogy azt a következő fejezetben részletesen tárgyaljuk majd –, azonban egy újszerű megközelítést ad a vállalatok fenntarthatóságának méréséhez. A módszertan ökológiai eredetű új elemei rámutatnak a reziliencia<sup>2</sup> fontosságára, amelynek az ipari-gazdasági rendszerek esetében is van jelentősége.

<sup>2</sup> Az ökológiai reziliencia egy ökoszisztéma azon képessége, hogy táplálékkörforgásának és biomassza-termelésének fenntartását biztosítani tudja egy ökológiai kár (zavaró hatás, például katasztrófa) után is (<https://www.britannica.com/science/ecological-resilience>). Tulajdonképpen az alkalmazkodni tudás képességét jelenti, a robusztusság kifejezést is használják rá.

Az ökológiai hálózatelemzés széles körben használt módszer, és nemcsak ökológiai, hanem gazdasági rendszerek esetében is. *Zhang és szerzőtársai* [2015a] a Peking körüli régiók metabolikus rendszerét, annak térbeli eloszlását vizsgálta a szénforgalom segítségével, beleértve az erdők, vizek, közlekedési, ipari és mezőgazdasági célú területek közötti szénforgalmat. *Huang–Ulanowicz* [2014] Peking gazdasági rendszerét vizsgálta 11 input-output tábla segítségével, amelyeket a szerzők pénzárammá konvertáltak. *Bodini és szerzőtársai* [2012] a városokat mint ökoszisztémákat elemezte. *Kiss–Kiss* [2018] egy város stratégiáját az egyes funkcionális területek közötti kapcsolatrendszer alapján alakította ki, ahol az információáramlás a területek egymásra hatása volt (hatásmátrix). A városok metabolizmusát is vizsgálták már hasonló modellekkel (*Zhang és szerzőtársai* [2016], ahol a szerzők a szénforgalom alakulását vették alapul az energiafogyasztás vizsgálatához). *Zhang és szerzőtársai* [2015b] egy ipari park vállalatainak szimbiózisát vizsgálta, az ipari park kénforgalmát alapul véve. *Allesina és szerzőtársai* [2010] egy ellátási láncot elemezett, ahol az áramlás mértékegysége a tonna/év volt. Az Egyesült Államokban a marhahúsellátási láncot vizsgálta *Fiscus* [2009], a nitrogénforgalmat felhasználva egyenértékűként mint áramlási alapegységet.

A tanulmány kísérletet tesz arra, hogy ezt a mérőeszközkészletet kis termelővállalatokra alkalmazza, aminek köszönhetően a szervezeti struktúra fenntarthatósága könnyebben értékelhetővé válik. Az elemzés tárgya egy almaléüzem kétféle – egyaránt nulla hulladék kibocsátásra tervezett – típusa. Az első almaléüzemterv kihasználja a rendszerben rejlő lehetőségeket, és a keletkező melléktermék feldolgozását a rendszeren belül oldja meg. Ennek az üzemtervnek két alváltozatát modellezzük. A második terv egy hatékonyságra törekvő, a melléktermékeket csak a szükséges mértékben figyelembe vevő üzem. A tanulmány elemzi és összehasonlítja a két változat megoldásait az ökológiai hálózatelemzés mérőeszközkészletének segítségével.

## Módszertan

Az ökológiai hálózatelemzés (ENA) legfontosabb mutatóit az információtechnológiából vett módszertani megoldásokból nyeri (például *Shannon* [1948]), amelyek segítségével kimutatható egy ökológiai rendszer robusztussága, rezilienciája. Ezenkívül az ökológiai hálózatelemzés szerves része a Leontief által kidolgozott input-output elemzés is, amelyet az ökológiában is alkalmaznak az 1960-as évektől, és folynak a kutatások a módszertan finomítása érdekében.

### *Egy harmóniapont keresése*

Az ökológiai hálózatelemzés információtechnológiából kiinduló módszertant használva ökológiai rendszereken végzett vizsgálatokkal bizonyítja, hogy nem jó, ha egy rendszer szabadságfoka nagy, azaz túlságosan redundáns, mert akkor hiányzik belőle az a rendező elv, amely az egész rendszert mozgatja és működőképessé teszi.

Az sem jó azonban, ha egy rendszer nagyon hatékony, mivel akkor elveszíti azt a változtatási lehetőséget, hogy a külső körülmények változásához alkalmazkodni tudjon, reziliens legyen. Egy rendszer több tényezője közötti kapcsolatok száma és minősége azonban már hordoz némi információt számunkra, ugyanakkor a tényezők kapcsolatrendszerébe nagyban befolyásolja a rendszer belső struktúráját. Itt a teljes struktúra-nélküliséget, spontaneitást a rendszerelemek közötti kapcsolat teljes hiánya mutatja, míg a teljes strukturáltságot, kötöttséget, szabályozottságot, hatékonyságot az elemek közötti maximális kapcsolati szint jelenti.

Az ökológiai hálózatelemzés módszertana szerint a rendszer elemeit az input-output mátrix követelményeinek megfelelően mátrixba rendezik, ahol a  $p_{ij}$  egy esemény, az elemek között meglévő kapcsolat előfordulásának valószínűségét jelöli. Minél gyakrabban jelentkezik az esemény, és minél jellemzőbb a rendszerre, annál jelentősebb rendszerelemről van szó. Minél kevésbé várt egy esemény, annál nagyobb a meglepetés ( $s_{ij}$ ). Ha ilyen események jellemeznek túlnyomórészt egy rendszert, akkor az meglehetősen spontánnak mondható, azaz több, ugyanazon célt szolgáló esemény párhuzamosan fut, tehát a rendszer redundáns. Az  $s_{ij}$  értéke egy Boltzman által kidolgozott mutatóval kifejezhető (*Ulanowicz és szerzőtársai* [2009] 28. o.), az előfordulás valószínűségének logaritmusával számolható ki:

$$s_{ij} = -k \log(p_{ij}). \quad (1)$$

Az ökológiai rendszerek példáján látható, hogy a rezilienciájukat a megfelelő szabadságszint és a hatékonyság együttes érvényesítésével tartják fenn. Matematikailag ezt a problémát úgy lehet feloldani, hogy egy úgynevezett határozatlansági mutatót hoznak létre ( $h$ ), amely megengedi mindkét irány érvényesülését. Egy esemény határozatlansága a következő:

$$h_{ij} = -kp_{ij} \log(p_{ij}), \quad (2)$$

ahol a  $\log(p_{ij})$  azt jelenti, hogy mekkora meglepetés ( $s_{ij}$ ) lenne az, ha találkozoznánk ezzel az eseménnyel. A  $k$  egy olyan konstans tag, amely a későbbiekben biztosíthatja az adott esemény megfelelő dimenzióját. A negatív előjel az 1-nél kisebb logaritmusértékek negatív előjelét ellensúlyozza.

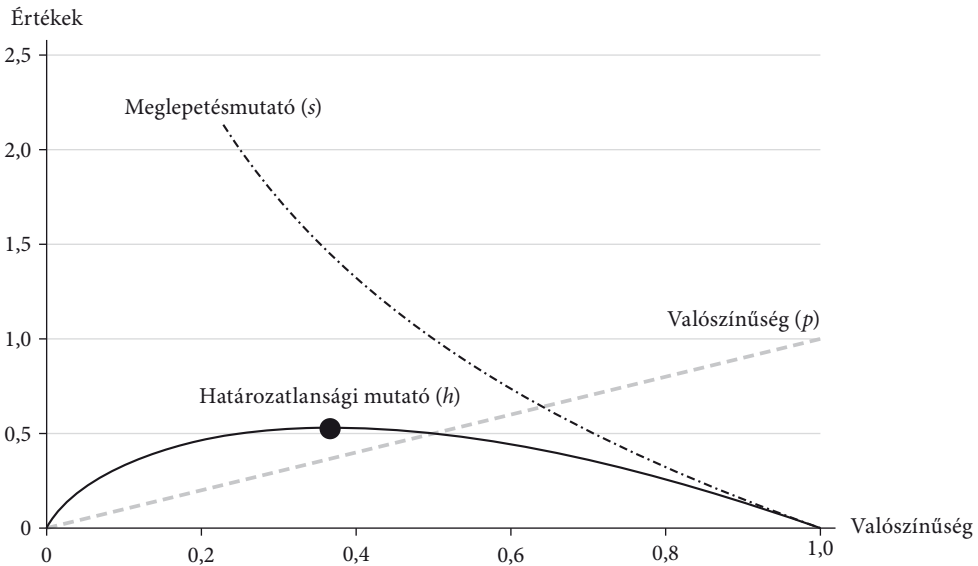
Az egyes események határozatlansági mutatóját összegezve kapjuk a teljes rendszerre vonatkozó (makroállapot) határozatlansági mutatót:

$$H = -\sum k p_{ij} \log(p_{ij}). \quad (3)$$

Az 1. ábra mutatja az összefüggést az  $s$ , a  $p$  és a  $h$  mutató között. Az ábrán látható, hogy a biztos esemény ( $p = 1$ ) nem jelent sem meglepetést, sem határozatlanságot, hiszen  $h = s = 0$ . Amennyiben  $p = 0$ , tehát nem fordul elő a várt esemény, a meglepetés maximális, de a szorzat itt is nulla. A határozatlansági mutató  $p = 1/e$ -nél veszi fel a maximumértékét, bármilyen alapú logaritmusról is legyen szó. Ez azt jelenti, hogy egy eseménynek eléggé jelen kell lennie ahhoz, hogy jelentős szerepet játsszon a rendszer működésében, de teret kell biztosítani a kreativitásnak, változási lehetőségnek, spontaneitásnak. Az ábrán is látható, hogy a rendszernek közelebb kell lennie

## 1. ábra

A meglepetésmutató ( $s$ ), a valószínűség ( $p$ ) és a határozatlansági mutató ( $h$ ) közötti kapcsolat



Forrás: saját szerkesztés.

a spontaneitáshoz, kreativitáshoz, mint a teljes szabályozottsághoz ahhoz, hogy elérje az optimális értéket, egyfajta rezilienciát. Így a  $H$ -érték maximuma (lásd az ábrán lévő fekete pont) egy bizonyos harmóniapontnak is tekinthető.

### Az ökológiai hálózatelemzés alapelemei

Ulanowicz és szerzőtársai [2009] ökológiai példájában a táplálkozási láncban meglévő szénforgalmat mérték mint az elemek közötti előfordulási valószínűséget. Az összes szénforgalom adta a rendszer teljesítményét ( $TST$ ), és az ehhez viszonyított egyes széntartalom-átadások adták a  $p_{ij}$  értékeket ( $t_{ij}/TST$ , illetve a  $TST$ -t máshogy kifejezve:  $t_{ij}/T_{..}$ , ahol a pontok az adott index szerinti összegzést jelölik). A gyakorlati alkalmazásokhoz is kell találni mindig egy olyan fizikai jellemzőt, egyenértékűt, amely alkalmas arra, hogy a segítségével be lehessen mutatni a teljes folyamatot.

A rendszer teljes kapacitását az 1. ábrán a  $h$  görbe mutatja, amelynek két összetevője: a rendezetlenség és a rendezettség. A meglepetés ( $s_{ij}$ ) akkor nagy ( $s_{ij}^{ind}$ ), ha a  $p_{ij}$ , az esemény előfordulásának valószínűsége nem tér el az  $i$ -edik és a  $j$ -edik esemény külön-külön történő előfordulásának szorzatától:  $p_{ij}^{ind} = p_i \times p_j$ . Minél nagyobb a rendezettség (a rendszerhatékonyság), annál kisebb a rendszer tartaléka – az a rész, ahol még szabad cselekvésre, változtatásra van lehetőség. Ha az egyes tényezők között van kapcsolat, akkor a meglepetés kisebb lesz, az esemény előfordulásának valószínűsége pedig eltér a várttól, így az  $s_{ij}$  értéke is egyre jobban

eltér az  $s_{ij}^{ind}$ -től. A belső struktúra, belső rendezettség értéke ( $x_{ij}$ ) egy bizonyos eseménynél a két meglepetésérték közötti különbség lesz:  $x_{ij} = s_{ij}^{ind} - s_{ij}$  (Ulanowicz és szerzőtársai [2009]).

Az átlagos, az egész rendszerre jellemző szabályozottsági korlátértékek súlyozott összegét ( $X$ ) a (4) képlet segítségével kapjuk meg (Ulanowicz és szerzőtársai [2009]):

$$X = \sum_{ij} p_{ij} x_{ij} = k \sum_{ij} p_{ij} \log \left( \frac{p_{ij}}{p_{i.} p_{.j}} \right). \quad (4)$$

Az összegzésnél az események előfordulásának valószínűségével súlyozzuk ezt a lekötöttséget, és az így összegzett értékek adják a rendszerre jellemző strukturális jellemzőt, a kötöttség/hatékonyság szintjét.

Az így meghatározott kötöttségi szint után határozzuk meg a lehetőségeket, a tartalékot:

$$\Psi = (H - X) = -k \sum_{ij} p_{ij} \log \left( \frac{p_{ij}^2}{p_{i.} p_{.j}} \right). \quad (5)$$

A már szabályozott, rendezett részből és a rendszer összkapacitásából képezhető a legfontosabb mutató: a szabályozottság mértéke ( $\alpha$ ), amely tulajdonképpen a rezilienciamutató:

$$\alpha = X/H. \quad (6)$$

A teljes szabályozottság esetén ez az érték 1 is lehet, ami a teljesen automatizált rendszerrel egyenértékű. Egy ilyen rendszernek működési zavar esetén nincs változtatási, reagálási lehetősége.<sup>3</sup>

Ulanowicz [2014] kimutatta, hogy az ökológiai rendszerek soha nem annyira hatékonyak, hogy ne tudjanak váratlan helyzetekre reagálni. Fontos a nagyfokú redundancia, a párhuzamos tevékenységek, amelyek rezilienssé teszik a rendszert. Az érett, sok csomóponttal rendelkező rendszerek esetén az  $\alpha$  értéke 0,4 körül van (az  $1/e = 0,368$ ).

### Robusztusság

Minél nagyobb az  $\alpha$  értéke, annál hatékonyabb a rendszer. Egy robusztussági mérőszám kialakításához (Ulanowicz [2014]) az  $\alpha$  értékét ugyanolyan transzformációnak vetjük alá, mint a valószínűségeket, és ezzel kaphatunk egy optimumot [*Fitness for evaluation*,  $Fs = -e\alpha\beta \ln(\alpha\beta)$ ], amely a legjobban tükrözi a rendszer túlélési képességét. Itt a  $k$  helyett  $e$  szerepel, amely az 1-re való normálást végzi el, a  $\beta$ -értékkel pedig az optimumot igazítani lehet a különböző rendszereket jellemző optimális értékre. A tanulmányban a  $\beta$  értékét 1,0869-re állítjuk, ezzel az  $\alpha$  optimális értéke 0,3985 lesz, ami az érett ökológiai rendszerek  $\alpha$ -értékeinek az átlaga (az elérhető adatbázisból saját számítások alapján).<sup>4</sup>

<sup>3</sup> További magyarázó leírások kéziratban elérhetők a szerzőktől.

<sup>4</sup> Az adatbázis elérhető az R programozási környezetben (enaR *package*).



A rendszer robusztusságát *Ulanowicz* [2014] az  $Fs$ -értéknek az eredeti nagyságrendbe történő visszalakításával is kifejezi:  $R = Fs \times T_{..}$ , ahol  $T_{..}$  a rendszer összforgalma. Az  $R$  strukturális mutatószám alkalmas az optimális rendszer kialakításához szükséges változtatások bemutatására. Ehhez az  $R$ -t az egyes  $T_{ij}$ -értékek szerint deriválják, így megkapják azokat az értékeket, amelyek megmutatják, hogy az egyes  $T_{ij}$ -értékeket hogyan és milyen irányban kell változtatni ahhoz, hogy a rendszer az optimum felé mozduljon el. A számítás módja a következő (*Ulanowicz* [2014]):

$$\frac{\partial R}{\partial T_{ij}} = Fs + \frac{T_{..}Fs'}{C} \left\{ \ln \left[ \frac{T_{ij}T_{..}}{T_i.T_j} \right] + \alpha \ln \left[ \frac{T_{ij}^2}{T_i.T_j} \right] \right\}, \quad (7)$$

ahol

$$Fs' = -e\beta\alpha^{\beta-1}[\ln(\alpha^\beta) + 1]$$

és

$C$  a rendszer összkapacitása:  $H \times T_{..}$ .

Az egyes  $r_{ij}$ -értékek megmutatják, hogy milyen irányba érdemes fejleszteni a meglévő kapcsolatokat egy optimális, robusztus rendszer kiépítése felé. Itt szerepet kap az optimális  $\alpha$ -érték, mert az  $r_{ij}$ -értékek ehhez viszonyítva értelmezendők.

### Kapcsolatok, szerepkörök

Egy rendszerben vannak csomópontok (az élőlények vagy termelőüzem esetén a funkciók) és kapcsolatok (linkek, folyamatváltozók), ezek alapján áll elő a közöttük lévő kapcsolatrendszer. Amikor a mikroállapotok által alkotott struktúráról beszélünk, akkor erről a kapcsolatrendszerről van szó. *Zorach-Ulanowicz* [2003] ismertet egy módszertant (*trophic level analysis*), amelynek segítségével ez a kapcsolatrendszer vizsgálható.

A csomópontok (*nodes*,  $N$ ) és a közöttük lévő kapcsolatok a folyamatot (*flow*,  $F$ ) mutatják be. Ezek meghatároznak egy átlagos kapcsolati szintet (*connections*,  $K$ ) egy egyszerű átlagolással:  $K = F/N$ . Ez a kapcsolati szint a rendszer kiterjedése, „szélessége”. Megállapítható, hogy hányféle szerepkört tölt be az adott rendszer (*roles*,  $R$ ). Ez nem a tényleges funkciókat jelöli, hanem funkcióegyütteseket. Így például az almaléüzemben a mosás-válogatás egy szintet jelent, illetve a melléktermék-készítés (akárhány ilyen is van) is egy szintnek feleltethető meg. Ennek kiszámítása:  $R = N/K$ . Ez a mutató a rendszer „mélységét” fejezi ki. Gazdasági rendszereknél minél többretegű egy folyamat (ellátói láncok egymásra épülése), annál nagyobb a rendszer mélysége.

A súlyozás azonban komplex rendszer esetén fontos, mivel a kapcsolatok erőssége jelentősen módosíthatja az adott mutatók értékét. *Zorach-Ulanowicz* [2003] a súlyozott értékeket a következőképpen számolta ki:



$$\begin{aligned}
 K &= \prod_{i,j} \left( \frac{T^2}{T_i T_j} \right)^{-(1/2)(T_{ij}/T..)} & F &= \prod_{i,j} \left( \frac{T_{ij}}{T..} \right)^{-(T_{ij}/T..)} \\
 N &= \prod_{i,j} \left( \frac{T_{ij}^2}{T_i T_{i,j}} \right)^{(1/2)(T_{ij}/T..)} & R &= \prod_{i,j} \left( \frac{T_{ij} T_{..}}{T_i T_{i,j}} \right)^{(T_{ij}/T..)}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

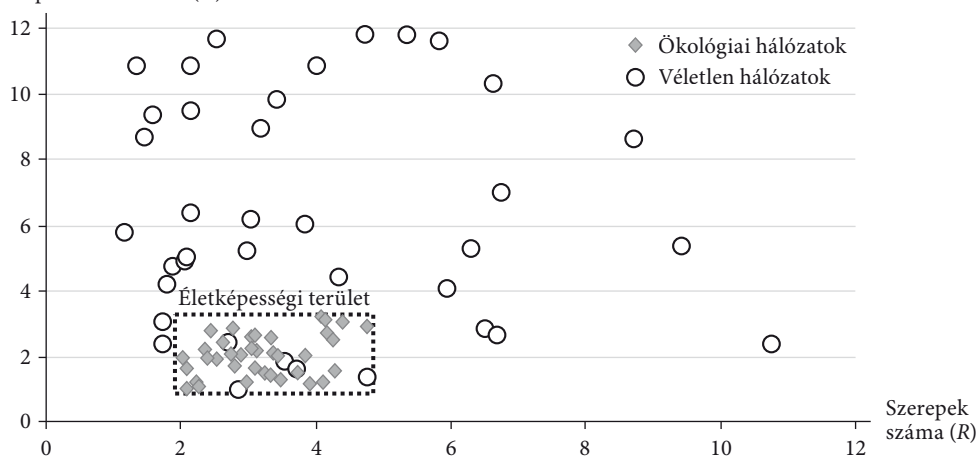
A  $K$  a rendszer súlyozott kapcsolati értéke, az  $F$  a súlyozás következtében kialakult átlagos folyamatérték, az  $N$  a hatékony csomópontok száma, az  $R$  pedig a súlyozott értékek alapján kialakult szerepkörök száma a rendszerben. Ezeket a mutatókat használjuk majd a következőkben az almalüzem terveinek tesztelésére.

A 2. ábrán láthatók a véletlen hálózatok és a tényleges ökológiai hálózatok által elfoglalt területek. A tényleges ökológiai rendszerek – a szerepek száma ( $R$ , a rendszer mélysége) és a kapcsolatok száma ( $K$ , a rendszer szélessége) alapján – egy meghatározott területre korlátozódnak, amit életképességi területnek (*window of vitality*) neveznek.

## 2. ábra

Életképességi terület a kapcsolatok és a szerepek száma alapján

Kapcsolatok száma ( $K$ )



Forrás: Ulanowicz és szerzőtársai [2009] 31. o. 4. ábra.

Ulanowicz és szerzőtársai [2009] az életképességi terület határait a következőképpen határozták meg:  $K$  az 1–3,  $R$  pedig a 2–4,5 értékek között mozog.

## A belső forgás mutatói

Az input-output elemzésnél felhasznált módszertani eszközök közül a tanulmányban a Leontief-inverzéből számítható belső forgás mutatót, az úgynevezett Finn-indexet (lásd például Allesina–Ulanowicz [2004]) használjuk fel. Ennek tervezési szempontból

azért van jelentősége, hogy tudatosan figyeljünk az eddig hulladéknak tekintett, de még a termelési folyamaton belül felhasználható melléktermékekre, mert így érvényesülhet a nullahulladék-elv.

Azok az elemek vesznek részt a belső körforgásban, ahol a Leontief-inverz diagonális elemeinek ( $L_{ii}$ ) értékei magasabbak, mint 1 (nincs az egyes termelőegységeknek saját felhasználása). Ezekből képeznek egy vektort ( $l_i$ ) a következőképpen:  $l_i = (L_{ii} - 1)/L_{ii}$ , majd ezt súlyozzák az egyes elemek részarányával ( $x'_j/T_{..}$ ). Így a Finn-index (*Finn cycling index, FCI*) képlete (*Allesina-Ulanowicz* [2004]):

$$FCI = \sum \frac{x'_j}{T_{..}} l_j. \quad (9)$$

A következőkben a (9) mutatószámokat használjuk fel az almaléüzem tervezésénél.

## Alkalmazás

### *Az almalégyártás hazai helyzete*

*Gonda-Apáti* [2014] közlése szerint a 2000-es évek elején Magyarországon körülbelül 41 ezer hektár almaültetvény volt, ami mára 28 ezer hektárra zsugorodott: ez közel 70 százalékos visszaesést jelent. A KSH 2019-es jelentése szerint sem változott sokat a helyzet, hiszen 2017-ben 32 ezer hektár termőterületet regisztráltak az országban.<sup>5</sup> Az almatermelés esetében is hasonló a helyzet, hiszen az 1980-as évek 1,0-1,2 millió tonna éves szintjéhez képest felére esett vissza a termelés. A KSH szerint 2017-ben további visszaesés volt tapasztalható, a betakarított termés mindössze 473 ezer tonna volt. Ennek hátterében elsősorban technológiai kihívások szerepelnek, ám számos egyéb nehézség is felmerül, mint például az előregedő ültetvények rossz terméshozama, minőségi problémák, extenzív termelés vagy öntözetlen ültetvények. Magyarországon mindössze 6-8 ezer hektár mondható ma korszerűnek, ahol a termésbiztonság és az infrastrukturális feltételek adottak. *Kurmai* [2016] rávilágít arra, hogy a hazai almatermés 25 százalékát étkezési almaként értékesítik, és 75 százalékot a feldolgozóipar használ fel. A KSH [2019] adatai is igazolják *Kurmai* [2016] állítását.

Általánosságban elmondható, hogy az almatermesztéssel foglalkozó gazdák a terményt két kategóriába sorolják:

- a piacon értékesíthető, első osztályú nyersalmára, illetve
- a hibás, piacon kevéssé eladható, másodosztályú almára.

Gazdasági szempontból az első csoport számít nyereségesnek, mivel a léalma kilogrammonkénti ára jelenleg nyomott. Önköltségi ára 20–30 forint közötti, azonban a nyereséges gazdálkodáshoz ezt az almát is legalább 40–50 forintért kellene értékesíteni, ehelyett csak 10–20 forintért tudják a termelők eladni (*Kurmai* [2016]).

<sup>5</sup> Az itt következő adatok forrása: KSH [2019].

Az alma felvásárlási ára évről évre ingadozik, 2014-ben 17, 2015-ben 40, 2016-ban 27, 2017-ben 61 forint volt kilogrammonként. A léalmának azonban számos másodlagos hasznosítási lehetősége van, mint például almalégyártás, pálinkakészítés, almalekvár- és befőttkészítés, almabor-előállítás stb. Ezek termelése révén ez az alma is lehet nyereséges, és egyúttal az ökológiai rendszerek hatékonyságának szempontjai is érvényesülhetnek. Az alma ipari célú felhasználásából összesen 40-50-féle termék állítható elő *Kurmai* [2016]. Az alma sokoldalú hasznosíthatósága lehetőséget ad a jelen tanulmányban az ökológiai rendszerekhez hasonlatos vállalati struktúra szemléltetésére.

A gyümölcslelégyártás során keletkező, kipréselés utáni törköly hasznosítására több elképzelés is létezik a szakirodalomban, mint például a törkölyből kivont anyagok élelmiszeripari adalékként történő hasznosítása (*Majerska és szerzőtársai* [2019]) vagy állati takarmánnyként történő felhasználása (*Kowalska és szerzőtársai* [2017]), de ezek a tanulmányok a törkölyt legtöbbször hulladékként értelmezik, míg a jelen cikk felfogása szerint alapanyagként tekinthető egy teljes értékű, többlépcsős feldolgozási művelet elején.

Magyarországon az alma üzemen belüli feldolgozása és felhasználása csökkenő tendenciát mutat: 2014-ben 62 249 tonna volt, míg 2017-ben 14 816 tonna. Ebből a felhasználásból a szeszipari részarány is hasonlóképpen alakul: míg 2014-ben 5228 tonna almát használtak fel erre a célra, addig 2017-ben már csak 3674 tonnát. Szeszipari felhasználása többcélú lehet, ilyen például az almabor- vagy almalikőr-előállítás, de más jellegű alkoholos készítmények alapanyaga is lehet.

Az almalégyártás melléktermékei kiváló alapanyagként szolgálnak biogáz előállításához is. Magyarországon összesen 46 biogázüzemet találunk, amelyek közül 36 mezőgazdasági alapanyagokat használ fel a gyártáshoz. Az Európai Unió 2020-ig szóló fejlesztési tervei szerint további üzemek létesítésére lesz lehetőség. Ennek háttérében az a törekvés húzódik meg, hogy a megújuló energiák részarányát a jelenlegi 7 százalékról 2020-ra 14,65 százalékra szeretnék növelni (*Biogázüzemek...* [2012], *Dobai* [2017]).

Az almatörkölyön gomba is termesztethető. Magyarországon a gombatermesztés egyre jelentősebb részarányt képvisel. Míg 2008-ban 18 ezer tonna gombát termesztettek, addig 2017-re ez a mennyiség 32,7 ezer tonnára növekedett. A leggyakoribb fajták a csiperkegomba és a laskagomba. A megtermelt gombák jelentős részét, 60 százalékát exportálják. A külföldi piacokon további igény lenne a magas minőségű magyar gombára. A csiperkegomba értékesítési ára 2018-ban 485 forint volt kilogrammonként, a laskagombáé 630 forint (*Gombapiaci kitekintés...* [2018]).

A hazai manufaktúras gyümölcslelégyártásban kevés mért adattal lehet találkozni a gazdaságosság és a másodtermékek (almatörköly, almamag stb.) felhasználása terén. *Szilágyi* [2013] kimutatja, hogy a jelenlegi hazai gyakorlat részben a deponálás, részben az állati takarmányozás útját követi. A szerző szakdolgozata fő részében az almatörköly szárítására és almamagolaj kinyerésére tesz javaslatot. Az írásban felbukkanó egyéb megoldások (gombatáptalajként történő hasznosítás, szeszyártás, komposzt, szárítottadalékanyag-előállítás, energetikai felhasználás, égetés) érdekessége, hogy a jelen cikkben bemutatott eljárás majdnem

mindegyiket használja, nem különállóan, hanem folyamatba rendezve. A gazdaságosság kérdését érinti *Tóth-Kurmai* [2018], amely PhD-értekezés kimutatja, hogy a léalma-minőségű gyümölcs termelése esetén a gyümölcs helyi feldolgozása gazdaságosabb, mint léalmaként történő, élelmiszeripari célú közvetlen értékesítése. Saját környezetünkben működő manufaktúrák tapasztalatai is azt mutatják, hogy megfelelő körülmények között egy manufaktúra jellegű almapréselő üzem akár bér munkából is nyereséges lehet, megtérülése akár egy szezonnal megtörténik. A feltétlenül szükséges berendezések – daráló, víznyomásos prés, fermentáló kukta, tasaktöltő – bekerülési költsége nem haladja meg az 1 millió forintot (netes webáruházak adatai alapján),<sup>6</sup> és a bérpréselésből származó bevétel naponta elérheti a 60 ezer forintot, amely két alkalmazott napi bérezése és a rezsiköltség (áram a darálóhoz és a pasztőrözőhöz, mosóvíz) levonása után is legalább 30 ezer forint hasznot eredményez. A berendezés évi – 75 napos szezonnal üzemével – egy éven belül megtérül. Így érthető, hogy miért marad a manufaktúras feldolgozás meg azon a szinten, ahol a törkölyt mint hulladékot értelmezik, és vagy komposztálásra, vagy állati takarmányként hasznosítják: a beruházás már akkor is megtérül, ha a melléktermékekre nem épül komplex feldolgozási lánc.

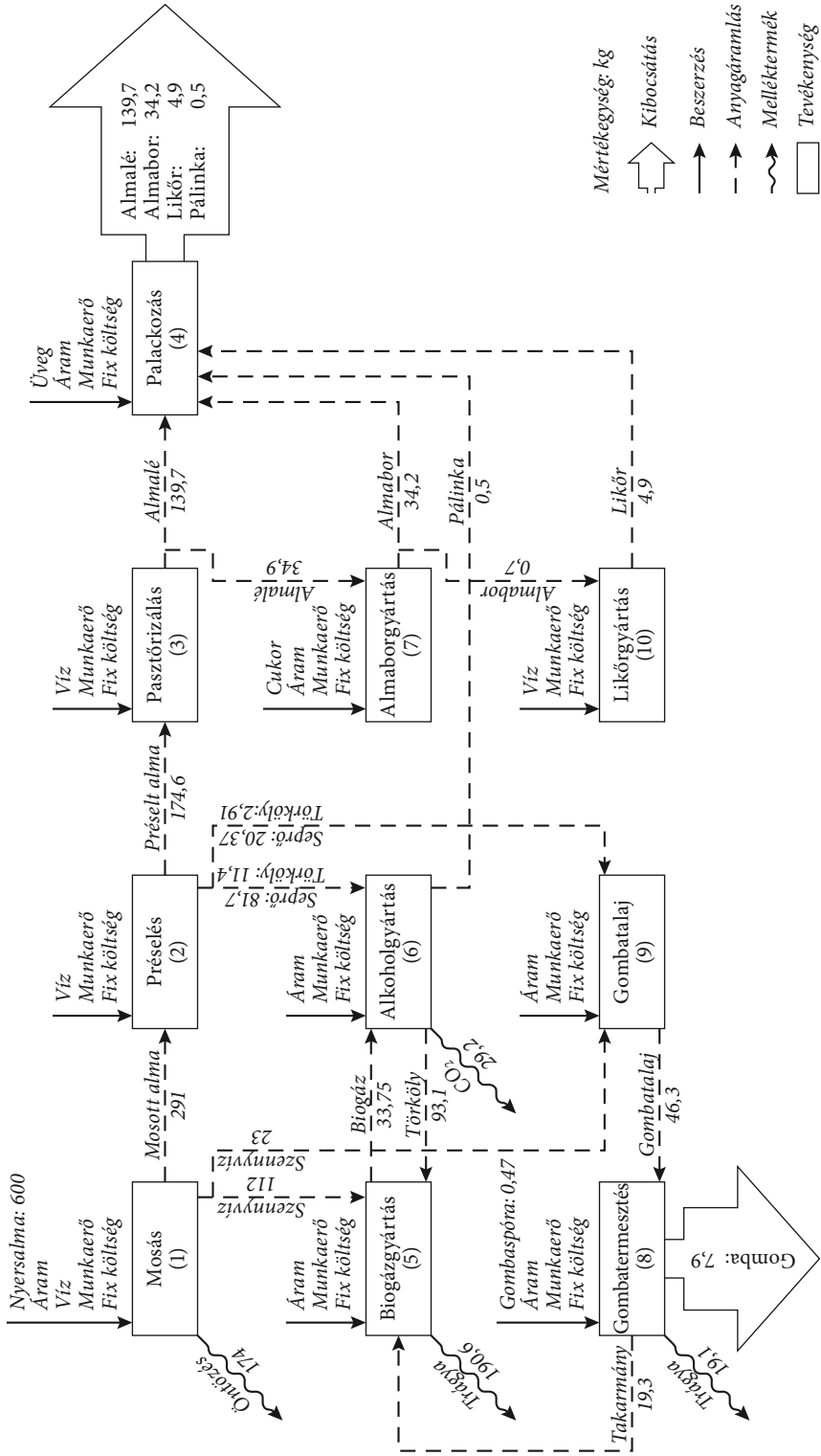
### *Egy almaléüzem tervei*

A fent ismertetett módszer alkalmazására egy nulla hulladékkibocsátású almaléüzemet választottunk. Hagyományos értelemben az almaléüzem almalevet és hulladékot állít elő, négyféle tevékenységgel. Ezek a tevékenységek a mosás, préselés, pasztőrözés, csomagolás. A kék gazdaság alapelvéből kiindulva azonban a vállalat lehetőség szerint a külső erőforrások mellett felhasználja a saját melléktermékeit is. Ezeket a melléktermékeket szerepeltetik a vállalat felhasznált és keletkezett javai között is, azonban mivel nincs tényleges piaci kereslet rájuk, ezért piaci árjuk sincsen, tehát a bekerülési értékük közel nulla. A továbbiakban az eladásra szánt termékeket *végtermékeknek*, a termelésben újra felhasznált termékeket *közbenső termékeknek* és a használatra már nem alkalmas termékeket – hulladék helyett – *melléktermékeknek* nevezzük az adott termelési folyamatban.

A szerint a gondolat szerint, hogy a vállalat melléktermékei új tevékenységek termelési tényezői lesznek, kialakítjuk az új vállalati struktúrát. A nullahulladék-elv és a kék gazdaság szemléletmódjának érvényesülése lehetővé teszi, hogy egy olyan rendszert hozzunk létre, ahol a vállalat (üzem) képes felhasználni a gyártás során keletkezett melléktermékek túlnyomó többségét, hasonlóan egy ökológiai rendszerhez. Egy ilyen típusú üzem folyamatközpontú modellezési elven alapuló folyamatleírása a 3. ábrán látható, amelyben minden egyes részelemet követni lehet. Az üzem itt öt végterméket állít elő: almalevet, almabort, pálinkát, almalikórt és gombát, mindössze tíz tevékenységgel. Látható a különbség a hagyományos és az új almalégyártó üzem között. Míg a hagyományos egy végterméket (almalé) állít elő, addig az új öt végterméket.

<sup>6</sup> <https://palinkaust.hu/gyumolcsfeldolgozas>.

3. ábra  
Egy almálüzem részletes folyamatábrája



Forrás: saját szerkesztés.

A modellalkotás során feltételezzük, hogy a végtermékek piacán standard árel-fogadó pozícióval rendelkezik a vállalat. Az alapegységként használt mértékegység a kilogramm, mivel 1 liter víz is 1 kilogramm. Az esetleges, ebből adódó torzításokat (például a mosóvíz, amelyben már vannak almadarabok is) figyelmen kívül hagytuk. A légnemű anyagoknál (két ilyen elem van, a biogáz és a  $\text{CO}_2$ ) az adott mennyiségből (kilogramm, liter) nyerhető légnemű anyag mennyiségét értjük, így megtartható az egységes jelölés.

A tervezett almaléüzem<sup>7</sup> minden eleme működik már különálló gyártási folyamatként a gazdaságban, azaz minden alrendszerre létezik egy valós példa, ahol az adott alrendszer mint önálló üzem funkcionál. Összefűzésük nem abban újdonság, hogy minőségileg más gyártmányok kerülnek ki a folyamat során az üzemből, hanem abban, hogy a részegységek egymásnak adják tovább az anyagáram megfelelő részeit. Ilyen működő üzem egyelőre csak részben létezik.

Az adatok tapasztalati, mért adatok: a tanulmány egyik szerzője saját természetű másodosztályú almát préseltetve, manufaktúras körülmények között a termékánc egyes elemeinek a megvalósításával a cefrézést, a helyi szeszfőzdével együttműködve a kifőzetést és a kiegészített cefrén a komposztkészítést, valamint a házi likörgyártást is alkalmazta.

A Baranya megyében található sásdi kistérségben működik egy olyan vállalkozás, amely kizárólag bérpréselést végez. Jelenleg a kisüzemi gyümölcspréselés reneszánszát éli, amelyről egy egyszerű internetes kereséssel bárki meggyőződhet, a jelen folyamatinnováció elemei mindenütt hasznosíthatók.

A 3. ábrán követhető, hogy az egyes termelőegységekből kilépő anyag (output) mindegyike valamelyik lépésben tovább hasznosul. Az ezt az ábrát pontosan lefedő input-output mátrix a *Függelék F1. táblázatában* látható. A sor- és oszlopösszegek megegyeznek, biztosítva ezzel azt, hogy a bejött anyagokat teljesen lekövetjük. A környezet mint input egy sorban [(11) sorban] szerepel, míg az oszlopoknál két részre bontjuk mindenhol a továbbiakban. Itt a (11) oszlopnál outputként szerepel, ami felveszi a mellékterméket, esetünkben a trágyázásra alkalmas törkölyt stb. és az öntözővizet. Az egyetlen még nem hasznosuló elem az az alkoholgyártás folyamatából távozó  $\text{CO}_2$ , ami szintén itt szerepel. A (12) oszlopban a végtermékeket láthatjuk. A további táblázatoknál is ezeket az elveket követjük. A teljes terv jelölése a továbbiakban  $Al_{teljes}$  (F1. táblázat).

Az almalégyártás folyamatát leíró mátrixok megfelelnek egy statikus, egy időszaki (Zalai [2012]) input-output mátrixnak; a sor- és oszlopösszegek megegyezik. Ez a fajta ábrázolási mód az üzem részletes kapcsolatrendszerét mutatja be úgy, ahogy a folyamat modellezése megkívánja. Ez a modell azonban a folyamatra vonatkozik. Túlzottan részletes a tanulmány szempontjából: míg az ökológiai alkalmazásnál az élőhelyek, addig a gazdaságban is összevont egységek (például ágazatok) szerepelnek. Itt nem a folyamat, hanem a struktúra modellezése a cél. Ezért elkészítettük a fenti folyamat olyan változatát, ahol a lényeges, strukturális elemeket hagytuk csak a modellben. Így a mosás–préselés–pasztörözés, illetve a gombatáptalaj és

<sup>7</sup> Az almaléüzem terve jelenleg egy pályázat alapja.

a gombatermesztés egy-egy műveletként került a folyamatba, valamint a palackozást elhagytuk, mert az csak egy technikai elem. Az 1. táblázat mutatja az átalakított folyamat kapcsolatrendszerét ( $AI_{\text{lényeg}}$ ). Ebben a változatban is megjelenik a rendszer teljessége, az a törekvés, hogy a melléktermékeket – amennyiben lehetséges – még a keletkezésük helyén kezeljük, az ökológiai rendszerekhez hasonlóan. Így ez a változat ebből a szempontból megfelel a kék gazdaság elveinek is.

### 1. táblázat

Az almaléüzem lényeges elemei közötti kapcsolatrendszer ( $AI_{\text{lényeg}}$ , kilogramm)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Összesen
Almaléggyártás (1)		112,0	93,1	34,9	46,3		174,0	139,7	600,0
Biogázgyártás (2)			33,7				190,6		224,3
Alkoholgyártás (3)		93,0				4,2	29,1	0,5	126,8
Almaborggyártás (4)						0,7		34,2	34,9
Gombatermesztés (5)		19,3					19,1	7,9	46,3
Likörgyártás (6)								4,9	4,9
Környezet (7)	600,0								600,0
Összesen	600,0	224,3	126,8	34,9	46,3	4,9	413,0	187,0	1637,0

Megjegyzés: az oszlopok nevei megegyeznek a sorok neveivel, zárójelben lévő számokkal jeleltük őket.

Forrás: saját szerkesztés.

Az 1. táblázat megmutatja az anyag áramlását (kilogrammban) egyik tevékenységtől a másik tevékenységig. Egy-egy cellában az  $i$ -edik termelőegységből a  $j$ -edik termelőegységbe áramló anyag mennyisége látható. Tehát az (1) sorhoz és a (2) oszlophoz tartozó cella azt mutatja, hogy 112 kilogramm anyag áramlik az almaléggyártásból a biogázgyártáshoz.

Elkészült az almaléüzemnek az a változata is, amelyik hatékonyságra törekszik, a nullahulladék-elvet betartva. A 2. táblázatban a modell kapcsolatrendszere látható. Ez a változat az  $AI_{\text{hatékony}}$  nevet viseli. Itt csak két terméket állítanak elő: az almalén kívül a préselés utáni törkölyből csak szeszt főznek, és a maradékot viszik ki trágyának és öntözésre. Ezzel a modellel a mai gazdasági rendező elvnek megfelelő tervezési módot követik, amelyet a hatékonyság és a főtermék-központúság határoz meg. Ebben az esetben nem érvényesül az az elv, hogy a keletkező melléktermékeket a leghasznosabban, például újabb termék előállítására használják fel, hanem igyekeznek „megszabadulni” tőlük, betartva a nullahulladék-elvet.



## 2. táblázat

Az almalüzem leegyszerűsített változata ( $Al_{hatekony}$ , kilogramm)

	(1)	(2)	(3)	(4)	Összesen
Almalé (1)		251,6	174,4	174,0	600,0
Alkoholgyártás (2)			242,0	9,6	251,6
Környezet (3)	600,0				600,0
Összesen		251,6	174,4	174,0	1451,6

Megjegyzés: lásd az 1. táblázat megjegyzését.

Forrás: saját szerkesztés.

## Eredmények

## Kapcsolatok, szerepkörök

A 3. táblázatban közöljük a három tervhez tartozó rezilienciamutatót ( $\alpha$ ) és az előzőkben ismertetett jellemző értékeket:  $K$  (súlyozott kapcsolat),  $F$  (súlyozott folyamatérték),  $N$  (hatékony csomópontok száma) és  $R$  (szerepek/funkciók száma).

## 3. táblázat

A rezilienciamutató és a súlyozott mutatószámok összehasonlítása

	$Al_{teljes}$	$Al_{lenyeg}$	$Al_{hatekony}$
$a$ (reziliencia)	0,63	0,40	0,54
$K$ (kapcsolatok)	1,60	1,90	1,40
$R$ (szerepkörök)	4,87	2,41	2,26
$N$ (csomópontok)	7,74	4,57	3,20
$F$ (folyamatérték)	12,30	8,67	4,50

Forrás: saját szerkesztés.

Mindhárom esetben a  $K$ - és az  $R$ -értékek az életképességi területen belül vannak (2. ábra). A lényeges elemeket kiemelve a fenti mutatószámrendszer a következőképpen alakul: az  $\alpha$  rezilienciamutató a lényeges elemeket tartalmazó (középső) változatnál a legjobb, gyakorlatilag optimális, hiszen az érett ökológiai rendszerek átlaga is 0,4 körüli. Mind a teljes, mind a hatékony rendszer eltolódik a hatékonyság felé. A súlyozott kapcsolati értékeknél is a lényeges elemeket tartalmazó (középső) rendszernek van a legmagasabb mutatója, bár a tényleges kapcsolatok száma a nagy rendszerénél sokkal nagyobb. A súlyozott esetben a teljes és a hatékony rendszer között nincs jelentős különbség. A szerepkörök számánál azonban látszik az egyszerűsítés a súlyozás után is. Az első esetben a mosás és palackozás mint egy-egy jól megfogható szint jelentkezett, amelyek kikerültek a modellből. Az egyszerűsítés után

a közbenső termékek, valamint a mellék- és végtermékek maradtak meghatározó szerepkörök, így az  $Al_{\text{lényeg}}$  és az  $Al_{\text{hatékony}}$  között alig van különbség, annak ellenére, hogy az első esetben több végterméket állítunk elő. A csomópontok számának csökkenése magyarázható a rendszer méretével, a hatékony folyamatok száma azonban igazodik a rezilienciamutatóhoz: a rendszert átszövő hatékony folyamatok száma majdnem kétszerese az  $Al_{\text{lényeg}}$  esetében, ami mutatja a teljesebb, „élőbb” rendszertulajdonságot. A lényeges elemeket tartalmazó változat rezilienciamutatója optimálisnak tekinthető, és az  $R$  és a  $K$  értékei az életképességi terület középső részén helyezkednek el, tehát ebből a szempontból a rendszer struktúrája hasonlít az életképes ökológiai rendszerek struktúrájához. Az  $R$ -nek és  $K$ -nak az életképességi területen kívüli értékei azonban segíthetnek a rendszer újratervelésénél. Nagyobb rendszerek esetében, mint az Egyesült Államokban a marhahúsellátási tápláléklánc nitrogénhálózatánál megfigyelhető, hogy a hatékonyságra való törekvést nem ellensúlyozza a redundancia, ezért ebben a rendszerben a többi vizsgált rendszernél sokkal magasabb a szerepek és a szintek száma, és a rendszer az ipari folyamatokban lévő részeinél sokkal hatékonyabb és sokkal kevésbé redundáns (Fiscus [2009]).

### Robusztusság

Az előzőkben a diverzitás, azaz a csomópontok száma játszott jelentős szerepet, mivel annak csökkentésével alakítottuk ki az egyes rendszereket. A következőkben a középső, legreziliensebb rendszer esetén nézzük meg, hogy az adott csomópontkapcsolat ( $N-K$ ) rendszer mellett milyen irányban fejleszthető tovább a rendszer még reziliensebbé. A (7) képlet alapján kiszámított robusztusságmutatók a *Függelék F2. táblázatában* láthatók.

Az 1-nél nagyobb értékeknél az értékek megnövelése viszi a rendszert közelebb az optimumhoz. Például a biogáztermelés a robusztusabb rendszer érdekében adhatna többet az alkoholgyártásnak (ha technológiailag lehetséges lenne), míg jelentős csökkentési igényeket is láthatunk, például az almaborgyártásnál a végtermékek oszlopában. Az értékek átlaga alig tér el az 1-től, mivel a rendszer a vizsgált reziliencia szempontjából már így is majdnem optimális. A mátrix egészével kapcsolatban a következő megjegyzéseket tesszük.

a) Amennyiben a technológia nem teszi lehetővé valamelyik érték növelését, akkor a többi kapcsolatot kell újra értékelni.

b) Ezek az értékek iránymutatók. Ha csak kevésbé kell a rendszert elmozdítani, akkor akár egy lépésben is optimális eredményt kaphatunk, de általában – és ebben az esetben is – iterációk útján kerülhetünk el egy optimális megoldáshoz. Így például a (3) sor (8) oszlopához tartozó cella 0,973 értékét nem úgy kell kezelni, mintha 2,7 százalékos csökkentést kellene elérni, hanem egyfajta iránytangensként, ahol a görbe meredekségét mérjük. Ennélfogva nem számolhatunk ezekből az értékekből „átlagos csökkentési szintet”.

c) A meglévő kapcsolatrendszerre kapjuk a változtatási indikátorokat, ahol nincs kapcsolat, ott nem is kapunk értéket.

Ez utóbbi jellemző elvezet egy hasznos tervezési segédeszközhez: az észszerű kapcsolati helyekre beírhatjuk azokat az értékeket, amelyek technológiailag lehetségesek. Esetünkben egy technológiai bővítés jöhet szóba: ha biogázzal lehetne fűteni a gombatermesztő helyiséget, akkor oda tervezett értéket – például 6-ot – írhatunk, és így erre a cellára is kaphatunk robusztusságmutatót. Így újrafuttatva a modellt a (2) sor (5) oszlophoz tartozó 1 feletti értéket kaptunk, ami azt jelzi, hogy érdemes áttervezni a rendszert. A módosított rendszer fontosabb jellemzői (a 3. táblázatban közölt mutatóknak megfelelően) így tehát gyakorlatilag nem változtak, csupán a hatékony csomópontok és folyamatértékek száma némileg megnövekedett.

Ezután – a robusztusságmutatóknak megfelelően – optimalizáltuk a rendszert, ahol már csak minimális eltéréseket találtunk. A Függelék F3. táblázatában láthatjuk a módosított robusztusságtáblázatot, ahol a negatív értékek jelzik, hogy a tervezetthez képest milyen irányban kellene módosítani, így például a (2) sor (7) oszlopbeli értéke (-3,52) azt jelzi, hogy a biogázgyártás után a földekre kivitt trágyát/komposztot csökkenteni kellene 3,52 egységgel. Megjegyzendő, hogy a robusztussági (reziliencia-) mutatók nem figyelnek a sorok és az oszlopok egyezőségeire, hiszen nem ez a céljuk.

A 4. táblázatban látható a végleges almaléüzemterv, amely nemcsak a nulla-hulladék-elvelet követi, de az ökológiai rezilienciaelvnek is megfelel. Ennek a rendszernek a rezilienciamutatója közelebb van ugyan a 0,4-es elméleti értékhez, de a különbség jelentéktelen (hiszen az eredeti folyamatmátrix is nagyon közel volt az optimálishoz). A gyakorlatban kimerítettük a technológiailag szóba jöhető kapcsolatokat, ami már önmagában is megakadályozza a túlzott redundancia kialakulását. Ebből további következtetéseket majd több mikrovállalati szintű technológiai folyamat összehasonlításakor vonhatunk le.

#### 4. táblázat

A végleges almaüzemterv

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Almalé (1)		112,0	93,1	34,9	46,3		174,0	139,7
Biogázgyártás (2)			27,0		6,7		190,6	
Alkoholgyártás (3)		93,0				4,2	22,4	0,5
Almaborgyártás (4)						0,7		34,2
Gombatermesztés (5)		19,3					25,8	7,9
Likörgyártás (6)								4,9
Környezet (7)	600,0							

Megjegyzés: lásd az 1. táblázat megjegyzését.

Forrás: saját szerkesztés.

### A belső forgás mutatói

A belső körforgás mértékét kimutató Finn-index (9) képletbeli értékének kiszámításához a (7) és (8) oszlopot mint a rendszer outputjait összevontuk. A Finn-index értéke 0,0216, ami alacsonynak mondható, de már utal valamilyen szintű belső körfolyamatra: az inputok nem csak áthaladnak a rendszeren. A tervezett üzemben ez a belső körforgás például az, hogy a préselés után megmaradó almatörköly nem minősül hulladéknak, hiszen felhasználható biogáztermelésre. A biogázzal pedig melegíthetünk, fűthetünk, így jól látható a belső körfolyamat. Ennek a mutatónak ugyancsak a többi mikrovállalati rendszerrel való összehasonlítás során lesz értelme. Az ökoszisztémák esetében sem feltétlenül magas ez az érték: az egyik sokat vizsgált és hivatkozott ökoszisztéma esetében 0,066 (*Allesina–Ulanowicz* [2004] 231. o.). *Kiss* [2019] tanulmányában a négysectoros ÁKM esetén a Finn-index értéke 0,01245, mintegy fele az almalégyártó üzem indexének).

### Következtetés

A tanulmányban az ökológiai hálózatelemzés során kialakított módszertan néhány olyan elemét mutattuk be, amely ugyan összetett előismereteket igényel, de jól használható egy kis termelőüzem tervezésénél is. A nulla hulladékkibocsátás a fenntarthatóság egy elismert és korszerű követelménye, de ennek az elvnek a betartása még önmagában nem eredményez „természetszerű” működést. A természeti-ökológiai rendszerek ugyanis ügyelnek a rezilienciaelv betartására, azaz legyenek elegendő mértékben hatékonyak, de készek a körülmények változása esetén az alkalmazkodásra. Ebből az következik, hogy nem elég a nullahulladék-elv betartása, az sem mindegy, hogy ezt milyen eszközzel érjük el. Annak ellenére, hogy a hulladékmentes gazdaság elve teljesül a termelőüzem mindegyik terve esetében, minden hulladékot hasznosítunk, ez azonban önmagában nem jelenti azt, hogy mindegyik struktúra természet-szerű. Ezt igazolják a számított  $\alpha$  rezilienciaértékek is. Az eredmények arra engednek következtetni, hogy az ökológiai elvek követése, ami a kék gazdaság egyik eleme, elősegítheti a termelőüzemek rezilienciáját is.

Az almaléüzem véglegesnek tekinthető terve alapján a technológiai lehetőségek kihasználása éppen optimális struktúrát eredményezett, ezért szélesebb termékskálával rugalmasabb alkalmazkodást tesz lehetővé ez az üzem a termékportfólióban szereplő termékek arányainak változtatásával. Ezek a termékek keresettek itthon és külföldön egyaránt. Más struktúra és termékskála esetén is kiépíthető reziliens struktúra. A tervezéshez felhasznált adatok ugyan egyediak, de – fizikai folyamatokról lévén szó – eltérő körülményekhez, hatékonysági mutatókhoz is igazítható a modell, mivel minden esetben igaz az input-output egyezőségek fennállása.

*Kiss–Kiss* [2018] várostervezési példájában az volt a hüvelykujjszabály, hogy körülbelül a cellák felének kell tényleges áramlási értékeket tartalmaznia. Jelen esetben (4. táblázat) ez 20 cella az 56-ból, de – figyelembe véve az 1. ábrához fűzöttet – a rezilienciamutató matematikai optimuma  $1/e$ , azaz 0,368, tehát a 0,4-es tapasztalati érték több kapcsolat kiépítésével még redundánsabbá tehető.

A tanulmány eredményei azt támasztják alá, hogy egy kis termelőüzem esetén is kialakíthatók az ökológiai rendszerekre jellemző struktúrák, azaz ezek is megszervezhetők a kék gazdaság elvei alapján. Az ilyen üzemek a szélesebb termékportfóliójuk következtében rugalmasabbak, ami nem jelent feltétlenül nagyobb nyereségességet (erre vonatkozóan nem végeztünk még kutatásokat). Az almaléüzem példája azt is sugallja, hogy a technológiai megvalósíthatósági lehetőségek teljes kihasználása közel járhat az optimális struktúrához, amit a fenti hüvelykujjszámbálya segítségével ellenőrizni is lehet.

### *Hivatkozások*

- BIOGÁZÜZEMEK... [2012]: Biogázüzemek Magyarországon. Agrárágazat, augusztus, <https://agraragazat.hu/cikk/biogazuzemek-magyarorszagon>.
- ALLESINA, S.–ULANOWICZ, R. [2004]: Cycling in ecological networks: Finn's index revisited. *Computational Biology and Chemistry*, Vol. 28. No. 3. 227–233. o. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2004.04.002>.
- ALLESINA, S.–AZZI, A.–BATTINI, D.–REGATTIERI, A. [2010]: Performance Measurement in Supply Chain: New Network Analysis and Entropic Indexes. *International Journal of Production Research*, Vol. 48. No. 8. 2297–2321. o. <https://doi.org/10.1080/00207540802647327>.
- BENYUS, J. [2002]: *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Harper Perennial. <https://doi.org/10.2307/4450504>.
- BOCKEN, N. M. P.–SHORT, S. W.–RANA, P.–EVANS, S. [2014]: A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 65. 42–56. o. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>.
- BODINI, A.–BONDAVALLI, C.–ALLESINA, S. [2012]: Cities as ecosystems: growth, development and implications for sustainability. *Ecological Modelling*, Vol. 245. 185–198. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.02.022>.
- BRAUNGART, M.–MCDONOUGH, W. [2002] *Bölcsőtől a bölcsőig: Környezettudatosság – a tervezéstől a gyártásig*. HVG Könyvek, Budapest.
- DOBAI GÁBOR [2017]: A biogáz ügyének helyzete Magyarországon. Fejezetek a gázszolgáltatás történetéből XXV. Vgf & hkl, Víz, Gáz, Fűtéstechnika és Hűtő, Klíma, Légtechnika szaklap, április, <https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2017/aprilis/4345-a-biogaz-ugyenek-helyzete-magyarorszagon>.
- ESTY, D.–PORTER, M. [1988]: Industrial Ecology and Competitiveness. Strategic Implications for the Firm. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 2. No. 1. 35–43. o. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.35>.
- FISCUS, D. A. [2009]: Comparative network analysis toward characterization of systemic organization for human–environmental sustainability. *Ecological Modelling*, Vol. 220. No. 22. 3123–3132. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.05.006>.
- GENOVESE, A.–ACQUAYE, A. A.–FIGUEROA, A.–KOH, A. C. L. [2017]: Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy. Evidence and some applications. *Omega*, Vol. 66. Part B. 344–357. o. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>.
- GHISELLINIA, P.–CIALANIB, C.–ULGIATIC, S. [2016]: A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 114. 11–32. o. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

- GOERNER, S. J.–LIETAER, B.–ULANOWICZ, R. E. [2009]: Quantifying economic sustainability: implications for free-enterprise theory, policy and practice. *Ecological Economics*, Vol. 69. No. 1. 76–81. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.018>.
- GOMBAPIACI KITEKINTÉS... [2018]: Gombapiaci kitekintés, 2017–18. MushroomForum. <https://www.gombaforum.hu/2018/gazdasag/gombapiaci-kitekintes-2017-18/>.
- GONDA ISTVÁN–APÁTI FERENC [2014]: Az almatermesztésünk helyzete és kilátásai. Almatermesztés új alapokon. Naturalma Zrt., 7–13. o. [http://www.hollandalma.hu/useruploads/files/naturalma-almatermeszt%C3%A9s\\_%C3%A9j\\_alapokon\\_e-book.pdf](http://www.hollandalma.hu/useruploads/files/naturalma-almatermeszt%C3%A9s_%C3%A9j_alapokon_e-book.pdf).
- JAHEHN, F. [2016]: Sustainable Operations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 253. No. 2. 243–264. o. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.046>.
- HARTUNG KATALIN [2016]: Természeti környezetbe ágyazott vállalatok és termelésük módszertani szakirodalmának áttekintése. *Sigma*, 47. évf. 1–2. sz. 63–77. o.
- HUANG, J.–ULANOWICZ, R. E. [2014]: Ecological Network Analysis for Economic Systems: Growth and Development and Implications for Sustainable Development. *PLoS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100923>.
- KISS TIBOR [2019]: Négyszektoros ÁKM vizsgálata az ökológiai hálózatelemzés (ENA) módszertanával. *Sigma*, 50. évf. 1–2. sz. 89–121. o.
- KISS TIBOR–KISS VIKTOR [2018]: Ecology-related resilience in urban planning – A complex approach for Pécs (Hungary). *Ecological Economics*, Vol. 144. 160–170. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.004>.
- KOWALSKA, H.–CZAJKOWSKA, K.–CICHOWSKA, J.–LENART, A. [2017]: What’s new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 67. 150–159. o. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016>.
- KSH [2019]: 4.1.20. tábla: A fontosabb gyümölcsfélék termesztése és felhasználása (2013–2017). KSH STADAT, [https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_omn006b.html](https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn006b.html).
- KURMAI VIKTÓRIA [2016]: Az almasúrítmény-termelés piaci és üzemgazdasági elemzése. *Gazdálkodás*, 60. évf. 3. sz. 225–240. o.
- LI, R. H.–SU, C. H. [2012]: Evaluation of the circular economy development level of Chinese chemical enterprises. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 13. 1595–1601. o. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.151>.
- LIETAER, B.–ARNSPERGER, C.–GOERNER, S.–BRUNNHUBER, S. [2012]: Money and sustainability. The missing link. Triarchy Press, Devon.
- MAJERSKA, J.–MICHALSKA, A.–FIGIEL, A. [2019]: A Review of New Directions in Managing Fruit and Vegetable Processing By-Products. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 88. 207–219. o. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>.
- MORIOKA, S. N.–DE CARVALHO, M. M. [2016]: A systematic literature review towards a conceptual framework for integrating sustainability performance into business. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 136. Part A. 134–146. o. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.104>.
- PAULI, G. [1997]: Zero emissions: The ultimate goal of cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 5. No. 1–2. 109–113. o. [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(97\)00013-9](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(97)00013-9).
- PAULI, G. [2010]: A Kék Gazdaság. PTE KTK Kiadó.
- SAUVÉ, S.–BERNARD, S.–SLOAN, P. [2016]: Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, Vol. 17. 48–56. o. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>.
- SHANNON, C. E. [1948]: A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27. No. 4. 379–423. o. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x>.

- SZILÁGYI ARTÚR [2013]: Almalégyártási melléktermék hasznosításának vizsgálata. Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, diplomamunka, [http://midra.uni-miskolc.hu/JaDoX\\_Portlets/documents/document\\_14742\\_section\\_7124.pdf](http://midra.uni-miskolc.hu/JaDoX_Portlets/documents/document_14742_section_7124.pdf).
- TÓTH-KURMAI VIKTÓRIA [2018]: A magyar léalma-almasúrítmény termékpálya gazdasági elemzése. Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar, PhD-értekezés, [https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/254819/Toth\\_Kurmai\\_Viktori\\_PhD\\_ertekezes\\_nyilvanos\\_titkosított.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/254819/Toth_Kurmai_Viktori_PhD_ertekezes_nyilvanos_titkosított.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- ULANOWICZ, R. E. [1997]: *Ecology: The Ascendent Perspective*. Columbia University Press, New York.
- ULANOWICZ, R. E. [2009a]: The dual nature of ecosystem dynamics. *Ecological Modelling*, Vol. 220. No. 16. 1886–1892. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.015>.
- ULANOWICZ, R. E. [2009b]: *A Third Window: Natural Life Beyond Newton and Darwin*. Templeton Foundation Press, West Conshohocken, PA, 196 o.
- ULANOWICZ, R. E. [2014]: Reckoning the nonexistent: Putting the science right. *Ecological Economics*, Vol. 293. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.03.014>.
- ULANOWICZ, R. E.–GOERNER, S. J.–LIETAER, B.–GOMEZ, R. [2009]: Quantifying sustainability: Resilience, efficiency and the return of information theory. *Ecological Complexity*, Vol. 6. No. 1. 27–36. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2008.10.005>.
- ZALAI ERNŐ [2012]: *Matematikai közgazdaságtan. II.* Akadémiai Kiadó, Budapest.
- ZHANG, Y.–ZHENG, H.–YANG, Z.–LI, J.–YIN, X.–LIU, G.–SU, M. [2015a]: Analysis of urban energy consumption in carbon metabolic processes and its structural attributes: a case study for Beijing. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 103. 884–897. o. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.075>.
- ZHANG, Y.–ZHENG, H.–FATH, B. D. [2015b]: Ecological network analysis of an industrial symbiosis system: A case study of the Shandong Lubei eco-industrial park. *Ecological Modelling*, Vol. 306. 174–184. o. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.05.005>.
- ZHANG, Y.–XIA, L.–FATH, B. D.–YANG, Z.–YIN, X.–SU, M.–LIU, G.–LI, Y. [2016]: Development of a spatially explicit network model of urban metabolism and analysis of the distribution of ecological relationships: case study of Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112. No. 5. 4304–4317. o. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.052>.
- ZORACH, A.–ULANOWICZ, R. E. [2003]: Quantifying the Complexity of Flow Networks: How many roles are there? *Complexity*, Vol. 8. No. 3. 68–76. o. <https://doi.org/10.1002/cplx.10075>.



## Függelék

A teljes almaléüzem input-output mátrixa, a folyamat részletes modellje

Az F1. táblázat tartalmazza az almaléüzem teljes kapcsolatrendszerét mátrix formában.

### F1. táblázat

Az almaléüzem teljes kapcsolatrendszere (kilogramm,  $Al_{teljes}$ )

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	Összes
Mosás (1)		291,0			112,0				23,0		174,0		600,0
Préselés (2)			174,6			93,1			23,3				291,0
Pasztörizálás (3)				139,7			34,9						174,6
Palackozás (4)												179,3	179,3
Biogázgyártás (5)				0,5	93,1		33,8				190,6		224,4
Alkoholgyártás (6)										4,2	29,2		126,9
Almaborgyártás (7)				34,2						0,7			34,9
Gombatermesztés (8)					19,3						19,1	7,9	46,3
Gombatáptalaj (9)								46,3					46,3
Likörgyártás (10)													4,9
Környezet (11)	600,0												600,0
Összesen	600,0	291,0	174,6	179,3	224,4	126,9	34,9	46,3	46,3	4,9	412,8	187,2	2328,0

Megjegyzés: lásd az I. táblázat megjegyzését.

Forrás: saját szerkesztés.

*A hatékony almaléüzem robusztusságmutatói**F2. táblázat*

## Robusztusságmutatók

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Almalé (1)		1,014	1,004	1,003	1,001			1,014
Biogázgyártás (2)			1,014					
Alkoholgyártás (3)		0,973				0,979		0,973
Almaborgyártás (4)						1,010		
Gombatermesztés (5)		1,005						1,005
Likörgyártás (6)								
Környezet (7)	0,978						0,978	

*Megjegyzés:* lásd az 1. táblázat megjegyzését.

*Forrás:* saját szerkesztés.

*F3. táblázat*

## Módosított robusztusságmutatók

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Almalé (1)	0,000	1,600	0,180	0,100	0,220	0,000	2,700	0,000
Biogázgyártás (2)	0,000	0,000	0,560	0,000	0,350	0,000	-3,520	0,000
Alkoholgyártás (3)	0,000	-2,600	0,000	0,000	0,000	-0,100	1,070	0,090
Almaborgyártás (4)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	-1,100
Gombatermesztés (5)	0,000	0,180	0,000	0,000	0,000	0,000	0,420	0,300
Likörgyártás (6)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,100
Környezet (7)	-13,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

*Megjegyzés:* lásd az 1. táblázat megjegyzését.

*Forrás:* saját szerkesztés.