

Kiss Tibor¹ – Hetesi Zsolt² – Hartung Katalin³

Egy Kék Gazdaság megközelítés a fenntarthatóság mérésére egy termelőüzem esetén

Measuring sustainability in a small production company – a Blue Economy approach

kisst@ktk.pte.hu

¹ Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar, egyetemi docens

² Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar, tudományos főmunkatárs

³ Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar, PhD hallgató

Egy termelővállalat esetén általában számos fenntarthatósági indikátorhoz gyűjtenek adatot, mint pl. a megújuló energia aránya, vagy a kibocsátott mérgező anyagok mennyisége. Azt azonban nem mérik, hogy az adott szervezet struktúrája, folyamatai fenntarthatóak-e, vagy sem. Lietaer et al. (2012) és Ulanowicz et al. (1980, 1986, 1997, 2009, 2009b, 2013, 2014) ajánl egy olyan mérőeszköz-készletet, amely megmutatja egy szervezet fenntarthatóságát, robusztusságát. Eredetileg ezt az eszközkészletet ökológiai rendszerekre fejlesztették ki, azonban a módszertan általánosan használható. Így már több területen is alkalmazták, mint pl. városok (Bodini et al. 2012), vagy gazdaságok (Goerner et al. 2009) elemzése.

A módszertan eredete az ökológia. Bizonyos kisebb ökológiai rendszerek hasonlatosak a kisebb termelővállalatokhoz, így a tanulmány kísérletet tesz arra, hogy ezt a mérőeszköz-készletet kis termelővállalatokra alkalmazza. Ezt két úton teszi: az első egy olyan – nulla hulladék-kibocsátásra törekvő – rendszer, amely megfelel a körkörös gazdaság elvének. A második egy olyan megoldás, amely ezen kívül a Kék Gazdaság elveinek is megfelel. A tanulmány elemzi és összehasonlítja a két megoldást az Ulanowiczék által kidolgozott mérőeszköz-készlet segítségével.

A tanulmány első részében röviden áttekintjük az alkalmazott módszertant, majd termelővállalati alkalmazásként egy almaléüzem két lehetséges működési módját ismertetjük. Ezt használjuk fel arra, hogy értékeljük a módszertant mindkét esetben.

Egy harmóniapont keresése – Ulanowicz elmélete

Ulanowicz et al. (2009) elmélete az ökológiai rendszerek viselkedésén alapszik. Abból indul ki, hogy sem az nem jó, ha egy rendszer nagyon reziliens, nagy szabadságfokkal rendelkezik, mert akkor hiányzik belőle az a rendezőelv, ami az egész rendszert mozgatja és működőképessé teszi. Az sem jó azonban, ha egy rendszer nagyon hatékony, mivel akkor elveszíti azt a változtatási lehetőséget, hogy bármilyen külső körülmény hatásához alkalmazkodni tudjon. Ezt a problémát úgy oldják fel, egy ún. határozatlansági mutatót hoznak létre (h), amely megengedi mindkét irány érvényesülését. Egy bizonyos esemény határozatlansága a következő:

$$h_i = -k p_i \log(p_i) \quad (1)$$

Ahol a p_i egy esemény, dolog előfordulásának valószínűségét jelöli, a $\log(p_i)$ pedig azt, hogy mekkora meglepetés (s) lenne az, ha találkoznánk ezzel a dologgal, eseménnyel. A k egy olyan konstans tag, ami a későbbiekben biztosíthatja megfelelő az adott eseménynek megfelelő dimenziót.

Az egyes események határozatlansági mutatóját összegezve kapjuk a teljes rendszer – makroállapot – határozatlansági mutatóját:

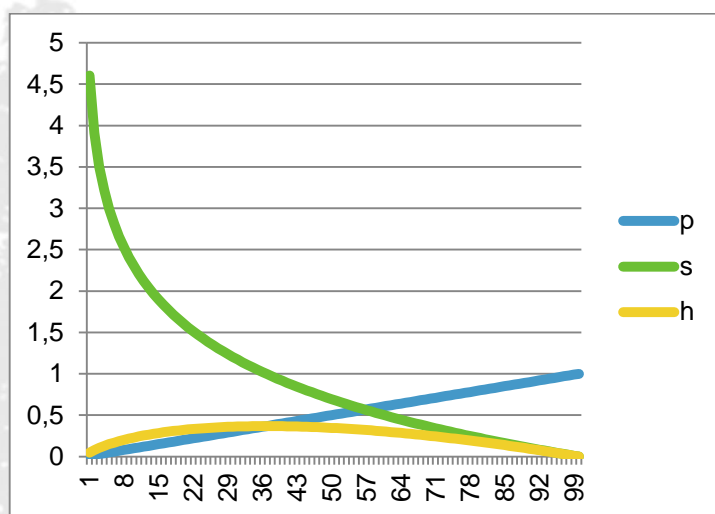
$$H = \sum_i h_i = -k \sum_i p_i \log(p_i)$$

Az alábbi ábra mutatja az összefüggést az s , a p és a h mutató között.

LVII. GEORGIKON NAPOK

57th Georgikon Scientific Conference

1.sz. ábra - A meglepetés-mutató (s), a p -valószínűség és a h határozatlansági mutató



Forrás: saját szerkesztés

Innen látható, hogy a biztos esemény ($p=1$) nulla meglepetést hoz magával, így a h értéke is nulla. Amennyiben $p=0$, tehát nem fordul elő az 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 elég sok szabad helye kell legyen a kreativitásnak, változási lehetőségnek, spontaneitásnak. Az is látható az ábrából, hogy a rendszernek közelebb kell lennie a spontaneitáshoz, kreativitáshoz, mint a teljes szabályozottsághoz ahhoz, hogy elérje az optimális értéket.

A kapcsolatrendszerrel

Amennyiben több tényező van egy rendszerben, ezek száma már valamilyen információval bír, de a közöttük lévő kapcsolatrendszer alkotja a rendszer belső struktúráját. Itt a teljes struktúranélküliséget, spontaneitást a rendszerelemek közötti kapcsolat teljes hiánya mutatja, míg a teljes strukturáltságot, kötöttséget, szabályozottságot az elemek közötti maximális kapcsolati szint jelenti. Ekkor a p_i (egy-egy elem előfordulási valószínűsége) helyett p_{ij} (elemek közötti kölcsönhatások előfordulási valószínűsége) lép be.

Ulanowicz et al. (2009) az ökológiai példájukban a táplálkozási láncban meglévő szénforgalmat mérték, mint az elemek közötti előfordulási valószínűséget. Az összes szénforgalom adta a rendszer teljesítményét (total throughput – TST), és az ehhez viszonyított egyes széntartalom-átadások adták a p_{ij} értékeket. A későbbi gyakorlati alkalmazásoknál is kell találni mindig egy olyan fizikai jellemzőt, amely alkalmas arra, hogy a segítségével be lehessen mutatni a teljes folyamatot.

A további számítások érdekében előbb fel kell tárni az összes lehetőséget, amelyet a határozatlansági mutató (1) egy elemre már bemutatott meghatározásának kibővítéséként most a kapcsolatokra alkalmazott formájában írunk fel:

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

illetve

$$H = -\sum kp_{ij} \log(p_{ij}) \quad (2)$$

A teljes kapacitás úgy értelmezhető, mint az 1.sz. ábrán a h görbe által lefedett terület. Ez a terület két részből áll, a teljes rendezetlenségtől ($p=0$) indulunk ki, és minél nagyobb a rendezettség (a rendszerhatékonyság), annál kisebb a rendszer tartaléka. A szabad kapacitás meghatározásához ismernünk kell a $p=0$ -nál és a rendezettség p -értékénél lévő értékek által meghatározott területeket. Láttuk, hogy a $p=0$ -nál a meglepetés (s_i) az elemek közötti (közös

valószínűség) kapcsolatnélküliség esetén maximális. Ilyenkor a p_{ij} , közös valószínűség értéke szintén 0. Ez azt jelenti, hogy a közös valószínűségük semmivel sem nagyobb, mint az i és a j esemény külön-külön történő előfordulása: $p_{ij} = p_i \cdot p_j$.

Amennyiben van az egyes tényezők között kapcsolat, úgy a meglepetés kisebb lesz, a közös valószínűség pedig nagyobb. A belső struktúra, belső rendezettség mértéke (x_{ij}) ilyenkor a maximális meglepetés és az új meglepetés-érték közötti különbség lesz.

Az átlagos szabályozottsági, korlátértékek súlyozott összegét az alábbi képlet segítségével kapjuk meg (Ulanowicz et al. 2009):

$$X = \sum_{ij} p_{ij} x_{ij} = k \sum_{ij} p_{ij} \log \left(\frac{p_{ij}}{p_i \cdot p_j} \right) \quad (3)$$

A már felépített korlátok után határozzuk meg a lehetőségeket, a még le nem kötött részt, ami mindig a görbe jobb oldalán maradó terület. Ezt „feltételes entrópiának” nevezzük.

$$\Psi = (H - X) = -k \sum_{ij} p_{ij} \log \left(\frac{p_{ij}^2}{p_i \cdot p_j} \right) \quad (4)$$

A belső struktúra mutatói

A legfontosabb mutató (α) a szabályozottság mértéke, amely az

$$\alpha = A/C \quad (5)$$

képlet segítségével fejezhető ki. A teljes szabályozottság esetén ez az érték 1 is lehet – az a teljesen automatizált rendszer, nulla reagálási lehetőséggel zavar esetén. Ebből úgy alakítható ki egy fenntarthatósági mérőszám, hogy ugyanolyan transzformációnak vetjük alá az α értékét, mint a valószínűségeket, és ezzel kaphatunk egy optimumot (F_s), amely a legjobban tükrözi a rendszer túlélési képességét:

$$F_s = -k\alpha \log(\alpha) \quad (6)$$

Látható, hogy a teljesítmény-érték (TST, vagy $T..$) magában nem mutatja meg, hogy mennyire van a rendszer felkészítve a túlélésre. Ezért, ha a (6)-ot megszorozzuk a jelenlegi teljesítménnyel (TST), úgy megkapjuk azt, hogy mennyire robosztus a rendszer, mennyiben képes arra, hogy hatékonyan működjön, de reagálni tudjon a változásokra is. Ezt a robosztusságot a következőképpen lehet kiszámolni:

$$R = F_s \cdot T.. \quad (7)$$

Kapcsolatok, szerepek

Egy rendszerben vannak csomópontok (az élőlények) és kapcsolatok (linkek, folyamatváltozók), ami a közöttük lévő kapcsolatrendszer eredményezi. Amikor a fentiekben tárgyalt mikroállapotok által alkotott struktúráról beszélünk, akkor erről a kapcsolatrendszeréről van szó. Zorach és Ulanowicz (2003) felvázol egy módszertant, amely segítségével ez a kapcsolatrendszer vizsgálható.

A kapcsolatokra, szerepekre a következő mutatószámok alakíthatók ki: A csomópontok (a továbbiakban: N - nodes) és a kapcsolatok (link), amely a folyamatot mutatja be (a továbbiakban: F -flow) meghatároznak egy átlagos kapcsolati szintet (K - connections) egy egyszerű átlagolással: $K = F/N$. Megállapítható, hogy hányféle funkciót, szerepet tölt be az adott rendszer (R =roles). Ennek kiszámítása: $R = N/K$. A súlyozás azonban egy komplex rendszer esetén fontos, mivel a kapcsolatok erőssége jelentősen módosíthatja az adott mutatók értékét. Zorach és Ulanowicz (2003) a súlyozott értékeket a következőképpen számolták ki:

$$K = \prod_{i,j} \left(\frac{T^2}{T_i \cdot T_j} \right)^{-(1/2) \cdot (T_{ij}/T_{**})} \quad (8)$$

LVII. GEORGIKON NAPOK

57th Georgikon Scientific Conference

$$F = \prod_{i,j} \left(\frac{T_{ij}}{T_{**}} \right)^{-(T_{ij}/T_{**})} \quad (9)$$

$$N = \prod_{i,j} \left(\frac{T_{ij}^2}{T_i T_j} \right)^{(1/2) * (T_{ij}/T_{**})} \quad (10)$$

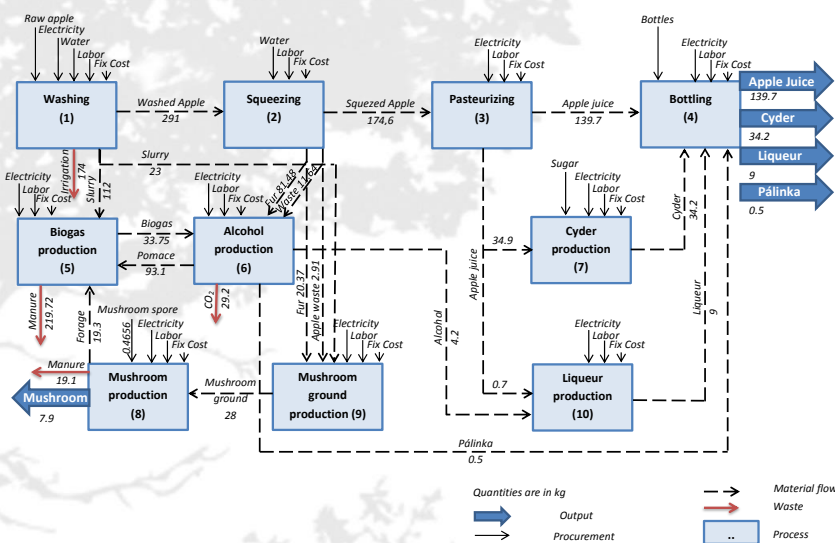
$$R = \prod_{i,j} \left(\frac{T_{ij} T_{**}}{T_i T_j} \right)^{(T_{ij}/T_{**})} \quad (11)$$

A K a rendszer súlyozott kapcsolati értéke, az F a súlyozás következtében kialakult átlagos folyamatérték, az N a hatékony csomópontok száma, és az R pedig a súlyozott értékek alapján kialakult szerepek/funkciók száma a rendszerben.

Az eszközkészlet gazdasági alkalmazása

A fentebb kialakított eszközkészlet alkalmazására egy nulla-hulladék kibocsátására tervezett almaléüzemet választottunk. Ez az ábra egy folyamatközpontú (discrete-event) modellezési elven alapuló folyamatleírás, amiben minden egyes részletem követni lehet. Az alapegységként használt mértékegység a kg , mivel 1 liter víz is 1 kg . Az esetleges, ebből adódó torzításokat (pl. az a mosóvíz, amiben már vannak almadarabok is) figyelmen kívül hagytuk. A légnemű anyagoknál (2 ilyen elem van, a biogáz és a CO_2), ahol ezt nem tudtuk érvényesíteni.

2.sz. ábra – Egy almaléüzem részletes folyamatábrája



Forrás: saját szerkesztés

Látható az ábrából, hogy az egyes termelőegységekből kijövő anyag mindegyike valamelyik lépésben hasznosul, és elég sok outputtal rendelkezik a folyamat. Az egyes áramlási mutatókból számolhatók a p_{ij} -elemek a fenti módszertan segítségével.

A modell fontosabb mutatószámai a következők: $K=1,723$, $N=7,03$, $F=12,11$ és $R=4,084$.

Látható, hogy a 10 csomópontból csak 7 ténylegesen hatékony, valamint négyféle szerepet töltenek be, tehát bizonyos dolgok feleslegesek benne – a módszertan szempontjából. A hatékonyság-mutatója (α) 0,564 ami az optimálishoz képest túlságosan hatékonynak számít.

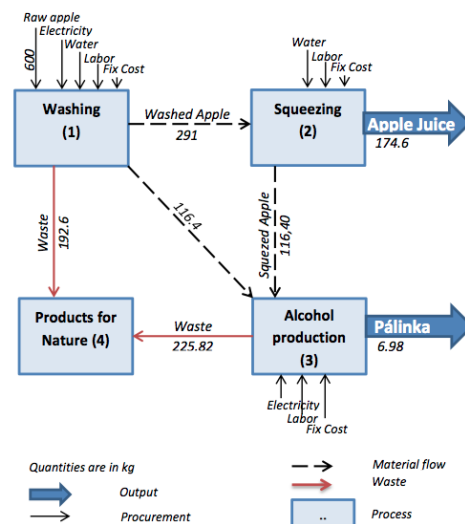
Ez a fajta ábrázolásmód egy pontos folyamatleírás, ami a tanulmány által használt elemzési módra szükségtelenül részletes. Ezért összevonásokat alkalmaztunk, így a mosás-préselés-pasztörözés, illetve a gombatáptalaj és a gombakészítés egy-egy műveletként került be a folyamatba, valamint a palackozást elhagytuk, ami csak egy technikai elem a folyamatban.

Így a fenti mutatószámrendszer a következőképpen alakult: $K=1,805$, $N=4,6$, $F=8,32$ és $R=2,55$.

Így a 6 csomópontból 4 ténylegesen hatékony, és a szerepek lecsökkentek 2,5-re. A hatékonyságmutató lényegesen csökkent a robosztusság felé ($\alpha=0,442$), és tisztább, egyszerűbb modellhez jutottunk.

Úgy tűnik, hogy a folyamat egyszerűsítése a fenntarthatóság irányába hat, ezért tovább egyszerűsítettük a modellt úgy, hogy csak a nulla hulladék elvét a lehető legminimálisabban teljesítettük, a préselés utáni törkölyből csak szeszt főztünk, és a maradékot vittük ki trágyának és öntözésre. A modell folyamatábrája a következő:

3.sz. ábra – Az almaléüzem funkciócsökkentett, még nulla-hulladékkal működő folyamatábrája



Forrás: saját szerkesztés

Ebben az esetben a következő eredményre jutottunk: Itt a hatékonyságmutató 0,571 – hatékonyabb megoldás, és jelentősen messzebb van az optimumtól, mint az előző üzemterv, azaz sokkal hatékonyabb – annak ellenére, hogy a folyamat leírása már csak a lényeges elemekre fókuszált (az első változathoz képest). A hatékony csomópontok száma 4,6-ról 2,8-ra csökkent, a kapcsolatok száma is kevesebb, tehát kevésbé hálózatszerű megoldást kaptunk. A megfelelő paraméteregyüttes a következő: $K=1,323$, $N=2,785$, $F=3,68$ és $R=2,106$.

Ebből az következik, hogy nem elég a nulla hulladékra való törekvés, az sem mindegy, hogy ezt milyen eszközökkel érjük el. A hulladékmentes gazdaság elve teljesül ez utolsó esetben is, hiszen minden hulladékot felhasználtunk valami hasznosra. Azonban ez a viselkedés önmagában még nem természetszerű, látva az ökológiai rendszerek működésekor számított α értékeket. Így az ökológiai elvekből kiinduló Kék Gazdaság (Pauli, 2010) elveit sem elégíti ki. Azonban a második megoldás, ahol több, összevont funkció kölcsönös kapcsolatrendszere útján alakult ki az üzem működése, már sokkal természetszerűbb, és így jobban megfeleltethető a Kék Gazdaság elveinek is.

Összegzés

A tanulmányban egy olyan módszertant mutattunk be, amely az ökológiai rendszerek vizsgálatán alapul, és megmutatja, hogy a nagyobb, életképes ökológiai rendszerek meglehetősen nagy rugalmassággal (rezilienciával) rendelkeznek a jövőbeni változásokhoz való alkalmazkodás érdekében, de ugyanakkor eléggé hatékonyak is azért, hogy szervezett működésre képesek legyenek.

Ezt a módszertant alkalmaztuk egy ipari rendszerre, egy almalégyártó üzemre, ahol megmutattuk, hogy a túlzott hatékonyságra való törekvés, a túlzott leegyszerűsítés elmozdítja a rendszert a megfelelő reagálóképességtől, és sérülékenyebbé teszi azt.

Referenciák

Bodini A, Bondavalli C, Allesina S (2012) *Cities as ecosystems: growth, development and implications for sustainability*. Ecological Modelling 245: 185–198.

Common, M. – Stagl, S. (2005) Ecological Economics, *University Press, Cambridge*

Goerner, S.J., Lietaer, B., Ulanowicz, R.E., 2009. *Quantifying economic sustainability: implications for free-enterprise theory, policy and practice*. Ecological Economics, 69, 76–81.

Daly, H.E. – Farley, J. (2003) Ecological economics: principles and applications *Island Press*

Hartley, R. V. L. (1928), “Transmission of Information,” *Bell System Technical Journal*, July 1928, p. 535.

Lietaer, B. – Arnsperger, C. – Goerner, S. – Brunnhuber, S. (2012) Money and Sustainability – The missing link *Triarchy Press*

Pauli, Gunter (2010) A Kék Gazdaság, *PTE KTK Kiadó*

Shannon, C.E. (1948) A mathematical theory of communication, *Bell Syst. Tech. J.* 27, 379–423.

Ulanowicz, R.E. (2014) *Reckoning the nonexistent: Putting the science right*. Ecological Economics, 293, 22–30

Ulanowicz, R.E. (1980) *A hypothesis on the development of natural communities*. J. Theor. Biol. 85, 223–245.

Ulanowicz, R.E. (1986) *Growth & Development: Ecosystems Phenomenology*. Springer-Verlag, NY, pp. 203.

Ulanowicz, R.E. (1997) Ecology, The Ascendent Perspective. *Columbia University Press*, NY, pp. 201.

Ulanowicz, R.E., Goerner, S.J., Lietaer, B., Gomez, R. (2009) *Quantifying sustainability: resilience, efficiency and the return of information theory*. Ecological Complexity 6, 27–36.

Ulanowicz, R.E. (2009). *The dual nature of ecosystem dynamics*. Ecol. Model. 220, 1886–1892.

Ulanowicz, R.E., 2009b. *A Third Window: Natural Life Beyond Newton and Darwin*. Templeton Foundation Press, West Conshohocken, Pennsylvania, 196 p.

Ulanowicz, R.E., 2013. *A world of contingencies*. Zygon 48, 77–92.

Ulanowicz, R.E., Wolff, W.F., 1991. *Ecosystem flow networks: loaded dice?* Math. Biosci. 103, 45–68.

Zorach, A. – Ulanowicz, R.E. (2003) *Quantifying the Complexity of Flow Networks: How many roles are there?* Complexity, Wiley Periodicals, Inc. Vol 8, No.3