

# Komplex adaptív rendszerek

Szerző: Nemeskéri Robert

A minket körülvevő világ s benne mi magunk, testünk és egészségünk, családjunk és tágabb környezetünk: városunk, országunk, társadalmunk és gazdaságunk, természeti folyamataink és így egész bolygónk és univerzumunk mind-mind rendkívül bonyolult egymásra épülő és különböző szinteken összefüggő, élő és élettelen rendszerek finom mintázatokba tömörülő és folyamatosan változó képletei. Az utóbbi évtizedekben egy markánsan új tudományos terület fejlődött ki a *rendszerelmélet* és *komplexitás* kérdéskörének vizsgálatára, amely matematikai alapjainak kidolgozásában a Santa Fe Intézet, míg rendszerdinamikai modellezésében a Massachusetts-i Technológiai Intézet kutatói vettek részt.

Egy rendszer több mint elemeinek összege; viselkedése alkalmazkodást, lendületességet, olykor célszerűséget, önfenntartóságot és evolúciós tulajdonságokat mutat [Meadows, 2009]. A *komplex adaptív rendszerek* [CAS] nagyszámú rendszerelem és alrendszer nemlineáris tér-idő kölcsönhatásainak eredményei, amelyekben az ok-okozati összefüggések nem egyértelműek [Kaisler, Madey, 2009], ezért elemzésük és értelmezésük bonyolult. A hagyományos, ún. *kartéziánus tudományos módszertan* [Descartes és Newton után], ami – jobb esetben lényeges – komplex rendszer, fenomenaredukciók, derivatívok közeli vizsgálatára, majd az ott észlelt és számolt eredmények extrapolálására épül, nem igazán alkalmas CAS-elemzésre. A CAS eredendően több tudományterületet érint. A komplexitás és rendszerelmélet mellett erősen épít a *hálózati tudományra* és *kontroll elméletre*, valamint a *mesterséges intelligenciára*, *játékelméletre* és *optimalizálásra* [Brownlee, 2007]. Először Holland [1998] fogalmazta meg, hogy miért is nem lehet olyan CAS-ként működő folyamatokat, mint például az embrionális fejlődés, a genetikai evolúció, az emberi agy folyamatai, avagy az időjárás, a piacgazdasági folyamatok, a kultúrák és a politika, érdemben leírni a hagyományos megközelítésekkel. Ugyanis [1] ezen rendszerek jellemzői megváltoznak, amikor elemeit elkülönítve vizsgáljuk, [2] erősen függenek térben és időben való előfordulásuktól, és így nehéz trendeket rajzolni belőlük és velük példákat összehasonlítani valamint [3] messze működnek az egyensúlyi állapotoktól, amiért a hagyományos elemzési módszerek, amelyek tipikusan

rendszerévpontokkal [célok, részben igazolt felvetések] operálnak, nem képesek lekövetni egy CAS fenomenát.

Anélkül, hogy túl bonyolulttá válna a gondolatmenet, és elvesznénk a sokak számára talán kevésbé élvezetes *komputerszimulált modellezés* rejtelmeiben, *sejtautomatákban*, *ügynökalapú szimulációkban*, *mesterséges idegi hálózatokban*, *genetikai algoritmusokban* és *tanulva osztályozó rendszerekben*, fussunk át valamennyit a CAS alapvetésekből, majd térjünk rá azok mindennapi életünkre vonatkozó jelentőségére.

Mi az a komplexitás? A szó gyökere a *latín plexus/complexus*, azaz *összefonódás*. A komplexitás tehát egy rendszer elemei közötti, illetve a rendszer és környezete közötti számos bonyolult összefüggésre utal. A komplex rendszer pedig a gyakran nemlineáris, térben és időben lezajló, sok szereplő közötti, a szerveződés különböző szintjein kialakuló mintázat és viselkedésforma. A CAS pedig olyan komplex rendszer, amely dinamikusan alkalmazkodik, fejlődik a folyamatosan változó környezetéhez. Valójában az ilyen rendszerek nem is értelmezhetők elválasztva az őket körülvevő környezetüktől, a velük összefüggésekben lévő másik rendszerekkel együtt alkotott „*ökoszisztémától*”. Ebben a kontextusban a változások az összes többi rendszerrel való együttes evolúcióként foghatók fel, semmint egy különálló, mástól független környezethez való adaptációként [Chan, 2001].

Korunk nagy kihívása, hogy hogyan tudunk fenntarthatóbb közösségeket, társadalmakat építeni és gondozni úgy, hogy tevékenységeinkkel ne akadályozzuk a természet alapvető létfenntartó képességét. Ehhez először is értenünk kell az ökológiai törvényszerűségeket, hogy a komplex természeti folyamatok miként szerveződnek és fejlődnek az „*élet hálójába*” [Capra, Luisi, 2014].

A CAS viselkedésének irányítására nincs egy[etlen] központi kontrollmechanizmus. Noha a rendszerelemek összefüggései következetességet mutatnak, az egész rendszer viselkedése mégsem írható le elemei összefüggéseinek összegzésével. Az egymással többszintű és sokszor nem ismert kapcsolatokban lévő rendszerben bármely elem változása, tevékenysége vagy döntése hatással lehet számos vagy az összes többi rendsze-

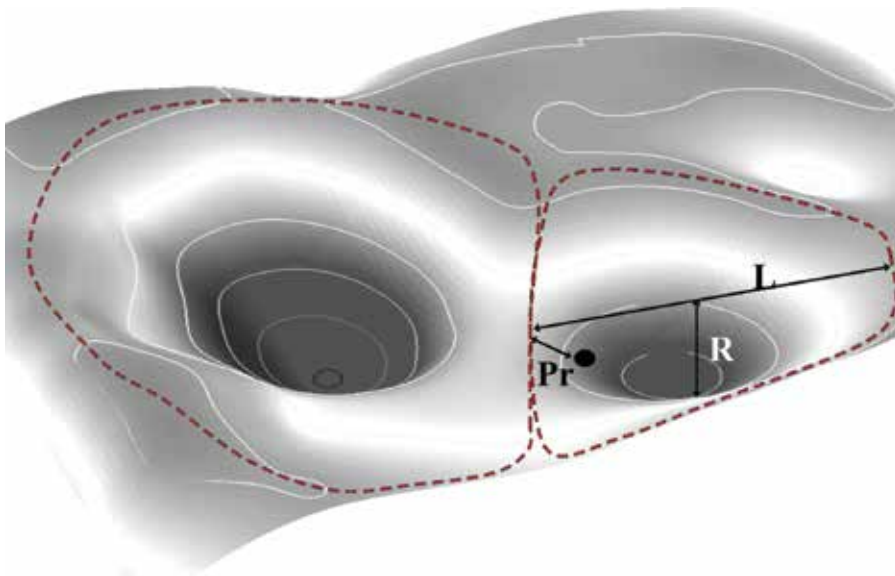
lemre, bár nem valami egységes, könnyen kiszámítható módon.

Amíg egy egyszerű, lineáris rendszerben, mint amilyen például egy inga lengése vagy egy bolygó keringése, egy rendszerelemnél bekövetkező kisebb változás arányosan kis változást idéz elő rendszerszinten, addig egy komplex, nemlineáris rendszernél, mint amilyen például az emberi szervezet, a politikai gazdaság vagy a bolygó ökoszisztémája, egy rendszerelemnél történő kisebb változtatás rendszerszinten okozhat kicsi, nagy vagy éppen semmilyen módosulást, átalakulást [Kaisler, Madey, 2009]. Ez esetben nehéz egyszerű[sített] szabályokat vagy törvényeket feltételezni a rendszer és elemei viselkedésének értelmezéséhez. Ezt azért érdemes hangsúlyozni, mert az ember – hát még a szakember – vonzódik a bizonyossághoz, legyen az tudományosan megalapozott[nak tűnő], avagy valóságosan dogmatikus. Pedig a minket körülvevő valóságot leginkább csak valószínűségekkel lehet értelmezni.

A CAS-elemzéseknél számunkra talán legizgalmasabb kérdések a rendszer dinamikus – és elkerülhetetlen – változásai és a változó környezethez, illetve annak kihívásaihoz való adaptáció, illetve adaptációs képesség. Itt be kell vezetnünk két fogalmat: a panarchiát, a rendszerek egyetemes működési elvét, rendjét és a rezilienciát, a rendszer ellenálló képességének fogalmát.

Minden CAS és a minket itt leginkább érdeklő ember-társadalom-gazdaság-környezet keretrendszerek alapvetően adaptív ciklusokon mennek keresztül. A panarchia ennek az adaptív ciklikusságnak a metaforája [Gunderson, Holling, 2001], illetve Walker és Salt [2006] szerint a reziliencia koncepcionális keretrendszerét alkotja.

A reziliencia a rendszer azon képessége, hogy mindenféle változás esetén mennyire tudja megőrizni alapvető funkcióit, szerkezetét és önazonosságát. Azaz a szervezet mennyire képes megfelelni, túlélni a rá ható – sokszor kiszámíthatatlan – folyamatok hatásait; az emberi szervezet a környezeti hőmérséklet vagy más fizikai, vegyi és mikrobiológiai támadásokat, a vállalat a változó piaci és hatósági követelményeket, a bolygó létfenntartó rendszere a több évszázados geológiai, biológiai, kémiai és [Nap] sugárzási terheléseket stb., vagy pedig ezek a rendszerek túllépnek egy



1. ábra: Stabilitási tájkép: vonzalmi medencék és billenési küszöbök [Walker et al., 2004]

adott küszöbértéken, és egy másik rendszerbe, állapotba kerülnek. Például összeomlanak, megsemmisülnek, vagy valami új [régi?] rendszerbe rendeződnek.

Walker és szerzőtársai [2004] szerint a rezilienciát a következő komponensekkel írhatjuk le: ellenállási szint [R], mozgási tér vagy túrés [szintvonalak] [L], ingathatóság szintje adott pillanatban [Pr] és maga a panarchia, a rendszer adaptív ciklusában pillanatnyilag elfoglalt helye. Ezen komponenseket és összefüggéseket legjobban egy ún. stabilitási tájkép metaforájával érzékeltethetjük [lásd 1. ábrát]. A vonzalmi medencék mélypontján a CAS stabil [dt] állapotban működik. Ilyenkor masszív sokkhatás szükséges egy alternatív rendszerbe való átbillenéséhez. Amikor a CAS közelebb kerül billenési küszöbéhez [R és Pr csökken], vagy amikor jelen rendszer státusza érzékeny, medencéje sekély [R kicsi, pl. ideológiai megalapozatlanság, környezeti érzékenység], és/vagy átmérője [L] kicsi [pl. erőforrások szűkössége, gazdálkodási nehézségek], lényegesen kisebb változás, zavaró körülmény hatására átbillen[het]; elveszítve, megváltoztatva karakterét.

A CAS reziliencia keretrendszer többszörösen összetett, metastabil állapotokban létezik, nincs egyetlen egyensúlyi helyzete, és benne bármikor és bárhol változások jöhetnek létre. Ugyanakkor a számára [funkcióira és szerkezetére] alapvetően jellemző dinamikus változók és elemei közti összefüggések stabilak maradnak. A CAS-en belül sokszintű hierarchák és a szintek közötti kölcsönhatások figyelhetők meg. A metastabil állapotok között gyors átrendeződések lépnek fel, ahogy bizonyos holtpontokon időnként [akár váratlanul] átbillennek rendszerfolyamatok. A rendszer

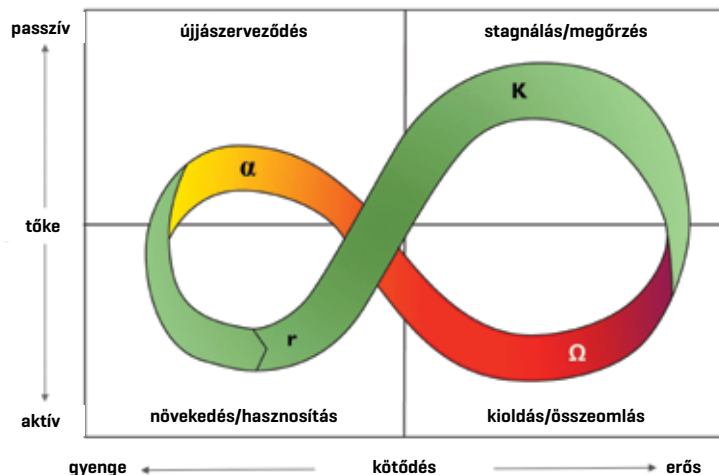
mindazonáltal reziliens, amíg a zavaró körülményeket képes úgy feldolgozni, elnyelni, hogy sem alapvető funkciói és szerkezete, sem fő folyamatai és így jellemző viselkedése nem borul fel. Például a kapitalizmus – egyelőre – reziliensnek tűnik. Míg a kelet-európai szocializmusról és a szovjet kommunizmusról ez nem volt elmondható. Ezért azok már múlt idő, míg a jelen rendszer még nem. Még. Ki gondolta volna három évtizeddel ezelőtt, hogy a hatalmas és nukleárisan felfegyverzett Szovjetunió ilyen sebességgel és ennyire váratlanul egyszer csak összeomlik? Ki gondolja ma, hogy az individualizmusra, versenyre, komparatív előnyökre és profitszerzésre épülő kapitalizmus, és a Homo oeconomicus hátralévő ideje is jócskán meg van számlálva?

Nézőponttól függően jó avagy rossz hír: minden CAS eléri végzetét! A panarchia, mint adaptív ciklus metafora jellegzetessége a szalagként ábrázolható négy jellegzetes állapot:

[1] a növekedés vagy hasznosítás /r/; [2] a stagnálás vagy megőrzés /K/; [3] a kioldás vagy összeomlás /Ω/; [4] az újjászerveződés /α/ [lásd a 2. ábrát].

Ez az adaptív ciklikusság az ember[iség], természet és technológia összefüggéseinek és dinamikájának is értelmes és vizsgálható modelljét adja. A történelem folyamán számos cikluson mentünk keresztül. A korok és rendszerek vizsgálatával látható, hogy a hosszabb és stabilabbnak tekintett időszakokban a rendszerek rezilienciája tipikusan meggyengül [Berkes et al., 2003]. Ilyen időszakokban, esetekben a rendszer szereplői egyre nagyobb termelési, elvonási, profitmaximalizálási, komparatív előny-növelési és hatalom-megőrzési hatékonyságra törekednek, megszüntetve természetierőforrás-tartalékokat, emberi erőforrás-redundanciákat, alternatív utak keresését, a humán és szociális tőke struktúráit, és csökkentik a növekvő nehézségekkel való megbirkózáshoz és újrafeljesztéshez szükséges stratégiai befektetéseket. Az ilyen kontroll és szabályozások növelik a rendszer érzékenységét, meggyengítik azt úgy, hogy egy óhatatlanul előbb-utóbb bekövetkező zavar, pl. gazdasági visszaesés, fokozott népvándorlás, nagyobb járvány, természeti katasztrófa, fegyveres konfliktus az összeomláshoz vezet. Az összeomlás után persze gyakran újjáépülés következik, bár nem mindig jobb irányba, illetve állapotba juttatva a rendszert és szereplőit.

És itt értünk el ezen cikk igazi mondanivalójáig. Látjuk, hogy számos nagy horderejű negatív folyamat működik világunkban, és ezek egyenként is komoly válságot okozhatnak az utánunk következő nemzedékek életében, főleg akkor, ha együtt zajlanak le. Energia és anyaghasználat a környezet állapotának rombolása árán, semmibe vett klímaváltozás,



2. ábra: Panarchia, a CAS jellemző adaptív ciklusai [Gunderson, Holling, 2001]

élelmiszerellátás-biztonság kihívásai, pénzügyi rendszer súlyos zavarai, demokratikus vezetés válsága, népességszaporulat kérdései, háborús zónák és járványok pusztításai – mind összefüggenek.

Rockström és kutatótársai 2009-ben publikálták nagy horderejű munkájuk eredményeként annak a felismerését, miszerint bolygónk létfenntartó CAS-ében az emberi hatások az utóbbi két évszázadban számos alapvető geológiai, biológiai és kémiai folyamatot jelentősen megváltoztattak, és biztonsági szintet túlléptek. Bolygószínt. A tudomány mai állása szerint kilenc bolygószíntű, a létfenntartásunk szempontjából kritikus határterületet vizsgáltak: az éghajlatváltozást [CO<sub>2</sub>-koncentrációt a légkörben]; az óceánok savasodását; a sztratoszféra ózónrétegének állapotát; a nitrogén- és foszforciklusok állapotát és termőföldjeinkben meg felszíni vizeinkben való [túl]telítettségét; a globális ivóvízhasználatot; a termelésre rendelkezésünkre álló földterületekben való változást; a biológiai sokféleség csökkenését; a bioszféra kémiai szennyezettséget és az atmoszféra aeroszol-telítettségét. Ez utóbbi kettőre nem mutattak ki biztonságos határértékeket. Ugyanakkor megállapították, hogy legalább három területen, a klímaváltozás előrehaladtában, a biológiai sokféleség csökkenésének ütemében és a globális nitrogénciklus változásában az emberiség már 2009-ben túllépte a biztonságosnak tekinthető határértékeket. Ezek a kritikus rendszerek ráadásul összefüggenek, és egyikük

kockázatos változása problémát okoz[hat] a másikkban [lásd a 3-as ábrát].

Rockströmek felhívták a figyelmet arra, hogy a hagyományos szektorális, kompartmentális menedzsment és kormányzás helyett az emberiség biztonságos jövőjét, a bolygót mint létfenntartó „játékeret” és CAS-t figyelembe véve, kezeljük és próbáljuk elkerülni a valószínűsíthető katasztrófá[ka]t.

Miközben ezt a cikket írom, a világ legmeghatározóbb gazdaságának tudományosan képzetlen és képtelen első embere a kapzsiság és unfair komparatív előnyök oltárán éppen hátat fordít a klímaváltozás enyhítését célzó nemzetközi egyezménynek. A trendek nem biztatók. Sem globális, sem lokális szinteken. Pozitív kivételek persze akadnak. Ugyanakkor azok hatása sajnos eltöprel a nagy trendek árnyékában.

A környezeti problémákkal összefüggve és azok problematikájához hozzáadódva nézünk szembe az utóbbi 130 év világgazdaságot tápláló energiaforrása, az olaj, pontosabban, az olcsón elérhető kőolaj korszakának leáldozásával. A Nemzetközi Energia Ügynökség vezető közgazdásza szerint ez 2030 körülre tehető [Bíró, 2006]. Az ember tűnődik, lehetséges ezalatt a kevesebb mint másfél évtized alatt átállítani erőműveink tízezreit, járműveink százmillióit alternatív hajtásra? A választ a tisztelt olvasókra és gondolkodókra hagyom. Hogy mi történik, amikor egyszer csak elfogy az olcsó olaj? Leállnak a nagy kereskedelmi láncok, a világ szegényebb részein leállnak

az erőművek és így az áramszolgáltatás. Nincs világítás, fűtés, hűtés, motorvezérelt közlekedés a nagyvárosokban. A megzavart lakosság alapvető fogyasztási cikkekkel való ellátása megszűnik. Éhes és dühös tömegek követelik, ami nekik jár, majd elszabadul a pokol...

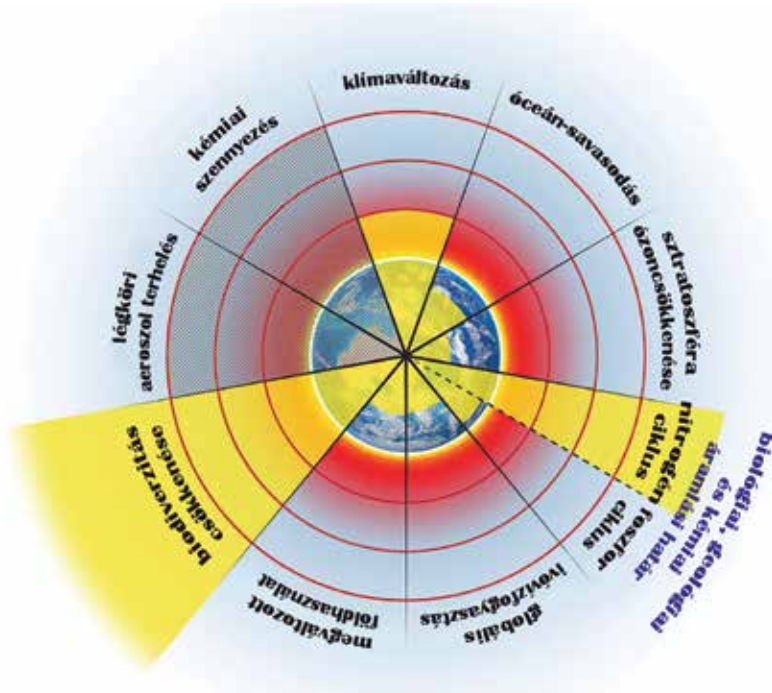
Ez persze csak egy lehetséges forgatókönyv a jó néhány közül. Ha megértenénk a számunkra létfontos CAS-ek működését, megpróbálhatnánk csökkenteni az elkerülhetetlen ómega fázis lefutási görbéjének meredekségét. Hogy ne kontrollálhatatlanul következzen be, legalábbis ne mindannyiunk számára!

Chief Seattle indián törzsfőnök szavaival zárom írásomat, amelyeket a suquamish nép földjét felvásárolni szándékozó washingtoni területi kormányzóknak címzett 1859-ben [Abruzzi, 2000]:

„Hogyan lehet megvenni vagy eladni az eget? A földet? Furcsa nekünk az elképzelés. Ha nem a miénk a levegő frissessége és a víz csillogása, hogyan vehetnétek azt tőlünk meg? E föld minden része szent a népünknek. Minden megcsillanó tűlével, homokos vízpart, sötét erdő kődjé, minden mező és megrezzenő rovar. Mindez szent a népünk tapasztalatában és emlékezetében... Ha eladjuk nektek a földünket, emlékezzetek, hogy a levegő értékes számunkra, hogy a levegőnek ugyanaz a lelke, mint a sak élőlénynek, melyet fenntart. A szél, mely nagyapáink első lélegzetét adta, és utolsó sóhajuk befogadta. Ez a szél adja gyermekeinknek is az élő lelket. Így ha eladjuk nektek a földünket, jó állapotban és tiszteletben kell tartanotok azt; a helyet, ahová járhatnak az emberek, hogy érezzék a réti virágok illatától megédesült szelet. Megtanítjátok majd saját gyermekeiteknek, amit mi tanítottunk a mieinknek? Hogy a föld a mi anyánk? Ami a földdel történik, az történik a föld fiaival. Ezt tudjuk: a föld nem az emberhez tartozik, hanem az ember tartozik a földhöz. Minden dolog összefügg, mint ahogy a vér mindannyiunkat összeköt. Nem az ember szötte az élet hálóját, ő csak egy szál abban. Bármit tesz a hálával, magával teszi azt. Egy dolgot tudunk: a mi istenünk a ti istenetek. A föld értékes számunkra, és így a földet bántani annyit jelent, mint a Teremtőt megvetni.”

#### IRODALOMJEGYZÉK

- Abruzzi, W. S. [2000]: **The Myth of Chief Seattle**. Human Ecology Review, Vol. 7, No. 1.  
 Berkes, F., Colding, J., és Folke, C. [eds.] [2003]: **Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change**. Cambridge Uni Press, Cambridge UK.



3. ábra: Föld-rendszer – kritikus planetáris határok [Rockström et al., 2009]



Birol, F. [2006]: **IEA Energy Outlook 2006**. OECD/IEA, Paris, France.

Brownlee, J. [2007]: **Complex Adaptive Systems**. Technical Report 070302A. Complex Intelligent Systems Laboratory, Swinburn University, Melbourne, Australia. [retrieved on 25 May 2017 from <https://pdfs.semanticscholar.org/44de/012ccf9ff522ab6ed6dfb-66c75e39e986be1.pdf>]

Capra, F., Luisi, P. I. [2014]: **The Systems View of Life: A Unifying Vision**. Cambridge Uni Press, Cambridge UK.

Chan, S. [2001]: **Complex Adaptive Systems**. ESD.83 Research Seminar in Engineering Systems. [retrieved on 25 May 2017 from <http://web.mit.edu/esd.83/www/notebook/Complex%20Adaptive%20Systems.pdf>]

Gotts, N. M. [2007]: **Resilience, Panarchy, and World-Systems Analysis**. Ecology and Society, Vol. 12, No. 1.

Gunderson, L. H., Holling, C. S. [2001]: **Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems**. Island Press, Washington D. C.

Holland, J. H. [1998]: **Emergence: From Chaos to Order**. Addison-Wesley, Redwood, California.

Kaisler, S. H., Madey, G. [2009]: **Complex Adaptive Systems: Emergence and Self-Organization**. [retrieved on 25 May 2017 from <https://www3.nd.edu/~gmadey/Activities/CAS-Briefing.pdf>]

Meadows, D. H. [2009]: **Thinking in Systems**. EarthScan, London UK.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton,

T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. [2009]: **Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity**. Ecology and Society, Vol. 14, No. 2.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., Kinzig, A. [2004]: **Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems**. Ecology and Society, Vol.9, No. 2.

Walker, B. és Salt, D. [2006]: **Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World**. Island Press, Washington D. C.

# Mit tanulhatunk az ökoközösségektől?

**SZERZŐ:** Szemerédi Eszter PhD hallgató / Széchenyi István Egyetem Nemzetközi és Elméleti Gazdaságtan Tanszék

A fenntartható életmód úttörőinek számító ökofalvak olyan megalkotott közösségek [Farkas, 2013], amelyeket hasonlóan gondolkodó emberek hoznak létre. Közös céljuk az ökológiailag, társadalmilag és gazdaságilag fenntartható élet megvalósítása. A magyarországi ökofalvakban élők meglehetősen kis számot tesznek ki, mégis érdemes ezzel az érdekes társadalmi kísérlettel foglalkozni. Az ökofalu jelensége számos megközelítésből vizsgálható. Példáuk a tágabb társadalom problémáinak lehetséges megoldásait ismerhetjük meg. De vajon milyen tanulságokkal szolgálhat ez a közösségi modell az üzleti élet számára? A legismertebb ökofalvak Magyarországon: galgahévízi ökofalu, Gyűrűfű, a Krisna-völgy közössége, Visnyeszéplak és Máriaalom [Farkas, 2013]. Mi az, ami e hazai ökoközösségek működését eredményessé teszi? Jelenkori társadalmunkban a közösségek kezdenek szétesni, az emberek individualizmusa pedig erősödik. Az ökofalvak közösségeinek alapja ezzel szemben a szoros együttműködés. A tagok a közösséggel azonosítják magukat, közösségben és a közösséggéért dolgoznak. Egy-egy falu lakosságának az ideális létszámát 3–500 főben határozzák meg. Ez azért lényeges tényező, mert így még áttekinthetők az egyén számára azok a kapcsolati



háló, amelyek az egész falut áthatják [Farkas, 2014]. Robin Dunbar antropológus a főemlősök, az iparilag kevésbé fejlett társadalmak és a strukturált katonai szervezetek tanulmányozása alapján az ember személyi hálójának maximális nagyságát 150 főben határozta meg. Szerinte a legtöbb ember ennél több ismerőssel nem tud érdemi kapcsolatot fenntartani [Dunbar, 1998]. A magyar ökofalvak lakossága 2009-es adatok alapján 15–150 fő között mozgott [Cáke-Baly, 2009], viszont

a falvak viszonylag állandó lakosságsszámmal rendelkeznek. Tehát a Dunbar-számok alapján ideális a létszámuk. Bármely közösség csak akkor működhet jól, ha megvan az erős kötődés és a bizalom a tagok között. A kollektív értékek, a kötődés és a bizalom képezi az alapját a tagok közötti együttműködésnek. Községi együttélési szabályok, normák alapján lépnek egymással interakcióba a tagok. Ezek betartására a kölcsönösség elve alapján mindenki törekszik. A bizalom és a kölcsönösség az