



## 6.1. A rendszer-gondolkodás és fejlesztése a természetismeret tanításában

Írta: dr. Victor András

**Kulcsszavak:** gondolkodásmód, rendszer, rendszer-gondolkodás, kapcsolati háló, redukcionizmus

A világon minden kisebb-nagyobb rendszerekbe szerveződik. Vannak viszonylag egyszerű rendszerek (például egy talicska), és vannak nagyon összetett rendszerek is (például egy erdő). Az előbbiek esetében jó, ha a megértésükhöz – főleg a megtervezésükhöz vagy megváltoztatásukhoz – egy vagy két szempontra koncentrálnunk (például a talicska esetében arra, hogy milyen az optimális kerékméret és nyélhossz). A többszörösen összetett rendszerek esetében azonban nem tehetjük meg, hogy valamit kihagyunk a szempontok közül (például az erdő esetében mondjuk az aljnövényzetet vagy az évi napsütés időtartamát), mert akkor nagy az esélye annak, hogy nem értjük meg az erdő működését és bajt okozunk benne bármilyen beavatkozással. Ezt a sokszempontú, sok tényezőt figyelő gondolkodásmódot, azaz a rendszer-gondolkodást tanulnunk, és persze a fejlődéslélektani szempontokat is figyelembe véve tanítanunk is kell.

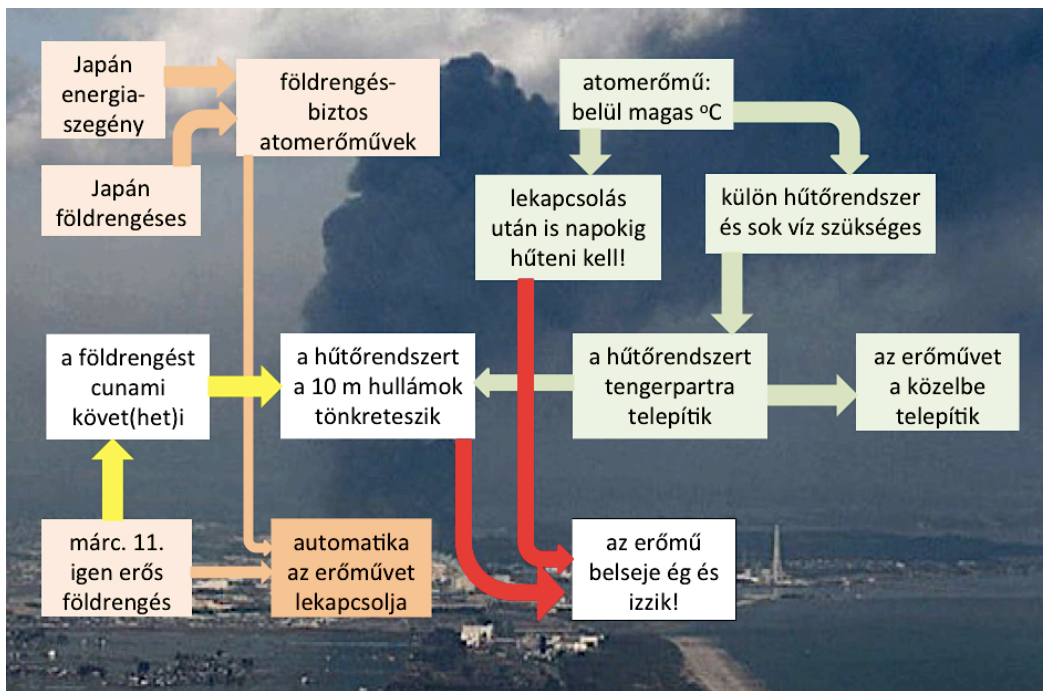
### 6.1.1. Minden mindennel összefügg

A **rendszer-gondolkodás (rendszer szemlélet)** lényege – nagyon leegyszerűsítve – annak figyelembe vétele, hogy a világban „minden mindennel összefügg”. Ez a jelmondat-szerű meghatározás persze túlzás, de mégis jól kifejezi a lényegét, azt, hogy a természet – kicsiben is, nagyban is – egy rendkívül összetett rendszer, amiben nincsenek független részek. Minden csak kapcsolataiban létezik, az egész természet egyetlen óriási **kapcsolati háló**. Nézzünk példákat erre!

- Első hallásra meghökkentő lehet az a kérdés, hogy mi köze van a kéntartalmú barnakőszén hőerőműben való elégetésének ahhoz, hogy nem hallani madárhangot az erdőben, de ha végigkövetjük az ok-okozati láncot, rögtön érthetővé válik (6.1. ábra).
- Hogyan járul hozzá a hamburger-evés a klímaváltozáshoz?  
Hamburgert eszünk (például a McDonald's-ban) → növekszik a marhahús-kereslet → több szarvasmarhát tenyésztünk → több metán kerül a levegőbe (minthogy a kérődző állatok metánt bocsátanak ki) → erősödik az üvegházhatás (hiszen a metán ugyanúgy üvegházgáz, mint a szén-dioxid) → fokozódik a globális melegedés.
- Tanulságos példája a bonyolult kapcsolatrendszernek a fukusimai atomerőmű katasztrófája. Nézzük meg a kapcsolathálóját a 6.2. ábrán!



6.1. ábra. Oksági összefüggéseket bemutató kapcsolati háló (Victor A.)



6.2. ábra. A fukushimai atomerőmű-katasztrófa folyamatábrája (Victor A.)

Ezekből a példák jól látható, hogy veszélyes egy pontra szűkíteni a figyelmet, egy pontra fókuszálni, és veszélyes bármilyen tényezőt elhanyagolni, mert a természetben minden lépésnek, minden változásnak vannak következményei, azoknak további következményei és így tovább egy végtelen láncolatban. Ezért fogalmaznak a környezetvédők úgy, hogy „Nem tudsz egyet csinálni”, azaz veszélyes lehet bármilyen környezeti problémának a leegyszerűsítése egy vagy néhány szempont megismerésére, megoldására. Ugyanakkor ennek a leegyszerűsítő szemléletmódnak más vonatkozásban nagy hagyománya van, más szituációban jogos és szükséges is lehet. Kétségtelen, hogy nagyon sok tudományos eredményt köszönhetünk a leegyszerűsítő látásmódnak. Ennek megértéséhez meg kell

ismerkednünk két ellentétes gondolkodásmóddal, az exkluzív és az inkluzív gondolkodásmóddal.

## 6.1.2. Az exkluzív és az inkluzív gondolkodásmód

### A szempont-kizáró gondolkodás értelmezése

A természet törvényszerűségei sokfélék. Van közöttük olyan is, amely viszonylag egyszerű módon leírható, de vannak olyanok is, amelyek soktényezősök, bonyolultak, tele vannak kölcsönhatásokkal és körkörös folyamatokkal, ezért nem írhatók le egyszerűen. Ugyanez a különbség mutatkozik ezen törvényszerűségek vizsgálata és megértése terén is. Ha például arra vagyunk kíváncsiak, hogy milyen összefüggés van az oldódás sebessége és a hőmérséklet között, akkor lényegében elegendő arra figyelni, hogy mekkora tömegű az oldószer és az oldott anyag, mérni kell a hőmérsékletet és az időt. Vagyis leegyszerűsíthetjük a vizsgált helyzetet. Például nem kell figyelni az edény alakjára, elhanyagolhatjuk az oldandó anyag tisztaságát, nem kell foglalkoznunk a víz (oldószer) izotóp-összetételével. Vannak tehát olyan problémák, amelyekre éppen azáltal kaphatunk világos választ, hogy egy sereg lehetséges tényezőt (szempontot) elhanyagolunk, azokat nem vesszük figyelembe, „kirekesztjük”. Ez az **exkluzív gondolkodás**.

Vannak azonban olyan törvényszerűségek is, amelyeknél nem tehető meg ez a szempont-kirekesztés, mert bármilyen szempontot (tényezőt) elhanyagolunk, fennáll annak a veszélye, hogy teljesen torz eredményt kapunk. Ilyen például a globális melegedés folyamatának értelmezése, amely tehát csakis inkluzív gondolkodásmóddal közelíthető meg, vagyis úgy, hogy törekszünk a teljes rendszer minél több tényezőjét figyelembe venni. Ez utóbbit nevezzük más néven rendszer-gondolkodásnak is, utalva arra, hogy a teljes rendszert vizsgáljuk, nem csak annak bizonyos elemeit. E kétféle – természetesen egymástól nem mereven elválasztott – gondolkodásmódnak a megkülönböztetése és eltérő szerepük tudatosítása nélkülözhetetlen ahhoz, hogy megértsük a természet törvényszerűségeit (ld. ezzel kapcsolatban még az ökológikus gondolkodásmódról szóló fejezetet is!).

Galileo Galilei (1564–1642) híres lejtő-kísérleteinek végső soron az volt a kérdése, hogy hogyan változik és mitől függ az eső testek sebessége. Mivel azonban a ténylegesen eső testek mozgása olyan gyors, hogy azt *Galilei* korában még nem lehetett mérni, a mester azt a zseniális megoldást választotta, hogy „lelassította a szabadesést”, nem ejtette, hanem lejtőn gurította a golyókat. Számos mérést végzett, amelyekben lényegében csak két tényezőt vett figyelembe: a golyó súlyát (illetve tömegét) és a lejtő meredekségét. Nem érdekelte, hogy a golyó miféle fából készült; igazából a golyó méretét sem tartotta lényeges kérdésnek (csak a súlyát); nem foglalkozott a lejtő anyagával, és a hossza is csak annyiban érdekelte, hogy elég hosszú legyen ahhoz, hogy jól lehessen mérni a golyó által megtett távolságokat és a

szükséges időtartamokat. Vagyis az egész méréssorozatnak az volt az alapszemlélete, hogy a sok-sok lehetséges vizsgálati szempont közül csak keveset kelljen figyelni és figyelembe venni, a többit pedig el lehessen hanyagolni. Ezzel *Galilei* lényegében a tudományos kísérletezés alapelvét fogalmazta meg, amely szerint el kell érünk, hogy a vizsgálódások és a kísérletezés folyamán ne kelljen sok szempontra figyelni, hanem csak arra a néhányra, amelyet fontosnak tartunk. Röviden: a kísérletezés lehetséges megfigyelési (mérési) szempontok elhanyagolásával éri el, hogy a megőrzött néhány szempontra egyszerűsített helyzetben világos eredményt kapjon a fölöttet kérdésre. Ezt a „szempont-kizáró” gondolkodásmódot nevezzük **exkluzív gondolkodásnak** (a szó a latin *ex* = ki és *clausus* = zárt, csukott szóból).

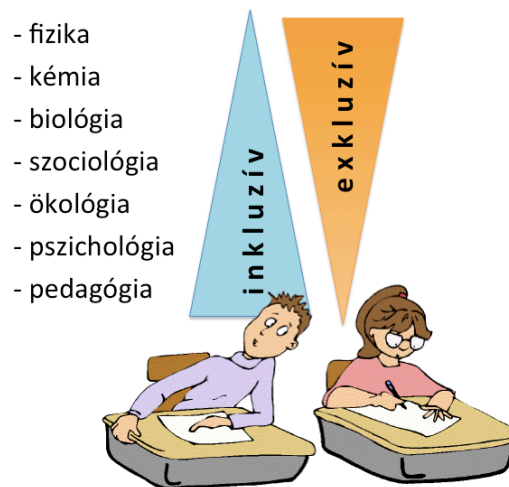
Az exkluzív gondolkodásmód lényegi jellemzője, hogy egyszerűsíti, átláthatóbbá teszi a dolgokat. Érthető, hogy a vizsgálódás és a kísérletezés exkluzív jellegű, azaz törekszik a figyelembe veendő szempontok számának csökkentésére, mert ha nem így tenne, akkor – éppen a természeti folyamatok eredendő bonyolultsága miatt – nehezen vagy egyáltalán nem jutna eredményre. Ez a „kizáró” szemléletmód jellemző egyébként már a tudományos megfigyelésre is (szemben a köznapi megfigyeléssel), hiszen a világ nagyon sok szempontja közül mindig csak az adott tudományág speciális szempontjait veszi figyelembe, a többit kizárja, elhanyagolja, nem figyeli.

Az egyes természettudományokban a törvényszerűségek kísérletes megállapításakor nem egyformán használható az exkluzív gondolkodásmód. Míg a fizikai törvényszerűségek döntő többsége és a kémiai törvényszerűségek nagy részénél igen, a biológiai és a földrajzi törvényszerűségeknek már csak kis részével kapcsolatban alkalmazható. Ennek egyszerűen az a magyarázata, hogy minél bonyolultabb egy folyamat, azaz minél több tényezőnek van meghatározó szerepe az eredmény alakulásában, annál kevésbé engedhetjük meg magunknak szempontok elhanyagolását. Az ökológiai törvényszerűségek vizsgálatában pedig már csak nyomokban lehetséges exkluzív módon gondolkodni.

### **A szempont-befogadó gondolkodás értelmezése**

Az exkluzív gondolkodásmód tehát az összetettség sorrendjében egyre kevésbé alkalmazható, és ezzel együtt az inkluzív (szempont-befogadó) szemléletmód pedig egyre nagyobb szerepű. Az **inkluzív gondolkodásmód** nem egyszerűsít, nem hanyagol el szempontokat, hanem a világot a maga bonyolultságában vizsgálja. Ennek persze az a következménye, hogy – a sok figyelembe vett szempont miatt – nehezebb áttekinteni a helyzetet, és nehezebb kiolvasni a tényekből, adatokból a kapott összefüggést, törvényszerűséget. Az exkluzív-inkluzív jelleg arányát az egyes tudományokban a *6.3. ábra* mutatja. A természetföldrajz elhelyezése ezen a skálán nem egyértelmű, mert vannak olyan részei, amelyek nyugodtan vizsgálhatók exkluzív gondolkodásmóddal (például az ásványok keménységének értelmezéséhez elegendő tudni az alkotó atomok-ionok méretét és a

közöttük lévő kötéseket), ugyanakkor a meteorológia és a talajtan példái a legösszetettebb folyamatokat vizsgáló tudományágaknak.



6.3. ábra. A tudományok exkluzív-inkluzív sora (Victor A.)

### Helyettesíthető-e egymással a szempont-kizáró és a szempont-befogadó gondolkodás?

Nézzünk két példát arra, hogy milyen veszélyekkel jár, ha egy olyan kérdést (problémát), amely inkluzív gondolkodásmódot igényel, mi mégis a leegyszerűsítő, kevés szempontra figyelő, exkluzív gondolkodásmóddal közelítünk meg! Az allergia tipikusan több-okú betegség. Lényege az immunrendszer hibás működése. Sok tényező együtthatása szükséges azonban ahhoz, hogy valakiben ténylegesen kialakuljon a pollen-allergia, ezek: a genetikai adottság, a túl steril környezet, a magas pollenkoncentráció, a levegőszennyezettség, a pszichés állapot vagy esetleges traumák, a táplálkozási mód, a vitamin- és mikroelem-hiány, a természetidegen anyagok, az E-számok, stb. Vegyük észre, hogy a „parlagfű-háború” – vagyis annak a hitnek a terjesztése, hogy ha sikerülne kiirtanunk a parlagfűvet, akkor megoldódna az egész allergia-probléma – megengedhetetlen leegyszerűsítésen alapul, és tulajdonképpen tévhit. Ha csak a parlagfűvet tüntetjük el, vagyis csak egy tényezőre hatunk, azzal a beteggel nem gyógyítottuk meg, csak a tüneteit enyhítettük, de attól kezdve valószínűleg majd egy más növény virágpóra veszi át a „gonosz” szerepét.

Az exkluzív gondolkodásmód veszélyeire mutat rá az Exxon Valdez olajszállító tankhajó katasztrófája is. 1989 márciusában Alaszka partjainál megfeneklett a zátonyokon, megsérült, és 50 millió liter nyersolaj került a tengerbe, minden idők egyik legnagyobb környezeti katasztrófáját okozva. 1300 négyzetkilométernyi területet szennyezett be a vastag olajréteg. A világ minden tájáról verbuváltak önkénteseket, akik – egészségüket sem kímélve – éjjel-nappal megfeszített erővel dolgoztak a jéghideg vízben a partszakaszok olaj-mentesítésén. Több mint 10 000 ember vett részt a „takarításban” és az élőlények mentésében. Az utólagos ökológiai felmérés meglepő eredménye, hogy ezek az áldozatkész önkéntesek – a munkálatokat vezető szakemberekkel együtt – sajnos több kárt tettek a természetben

(például azzal, hogy a kőolajat mélyre beletaposták a parti iszapba), mint amennyit a kiömlött olaj magától okozott volna. Szakemberek szerint hetven évig is eltarthat, amíg az alaszki madárvilág a katasztrófa előtti szintre visszakerül. Vagyis keményen visszaütött az, hogy egy bonyolult ökológiai problémát nem inkluzív, sokszempontú gondolkodás alapján próbáltunk megoldani, hanem – a leegyszerűsítő, szempont-kizáró, exkluzív gondolkodás mentén – azt hittük, hogy ha a „fő” problémát megoldjuk, azaz eltávolítjuk az olajt, akkor minden rendben lesz.

### **A redukcionizmus értelmezése**

A **redukcionizmus** az exkluzív, leegyszerűsítő szemléletmód egy speciális esete, illetve következménye. (A szó eredete: duco = húz, vezet, re-duco = visszavezet, redukció = visszavezetés, csökkentés, egyszerűsítés.) Ebben az esetben azt értjük ezen, hogy valamely jelenséget vagy tulajdonságot visszavezetünk egy nála egyszerűbb dologra, s olybá tekintjük, hogy nem is több annál. Egy nem természettudományi példával élve: ha úgy gondoljuk, hogy Mozart dallama nem más és nem több, mint különböző frekvenciájú hangrezgések összege. Ebben ott van a hiba, hogy – bár kétségtelenül „ráépül” a zene a különböző rezgésszámú hangokra – téves leegyszerűsítés azt gondolni, hogy nem is több azoknál. Pedig több, hiszen komplexebb, magasabb szintű rendszer. Lássunk egy természettudományi példát is! Tudjuk, hogy az idegsejtek működésének a sejthártya elektromos feszültség-változása az alapja. Mégsem mondhatjuk, hogy egy reflex – sőt: egy gondolat, egy érzés – ne lenne más és több, mint pusztán feszültség-változások összege. Ráépül ugyan, de nem vezethető le belőle. „Benne van” az érzésben az idegsejtek feszültség-változása, de nem azonos vele; nem egyszerűen feszültség-változás, hanem ennek és sok más tényezőnek a szintézise.

Tudatában kell lennünk annak, hogy a redukcionista szemléletnek igen erős hagyománya van különösen Európában. Világlátásunk és világ-magyarázatunk kerete évszázadok óta alapvetően a karteziánus világkép, amely Descartes (1596–1650) matematikai látásmódján és filozófiáján, valamint Newton (1643–1727) mechanikai szemléletén alapul (Des cartes > cartesian > karteziánus). Maga Newton írja Principia (Alapelvek) című könyvében, hogy „először a mozgásjelenségek alapján meg kell érteni a Természet erőit, majd ezekből az erőkből levezetni a többi jelenséget”. Vagyis azt állítja, hogy a természetben minden változás, minden mozgás visszavezethető mechanikai mozgásra. Descartes szerint még „a lélektan is a mechanikán alapszik”. John Locke (1632–1704) angol filozófus egyenesen „társadalom-fizikáról” elmélkedik. Jóval később a német orvos, fizikus és filozófus, Hermann Helmholtz (1821–1894) is így ír: „A fizika feladata, hogy a természeti jelenségeket a változhatatlan vonzási és taszítási erőkre vezesse vissza. Ennek a problémának a tökéletes megoldása egyértelmű a természet hiánytalan megmagyarázásával”. Ebben a mondatban az igazi redukcionista szemléletet a „hiánytalan” szó árulja el.

A redukcionista – ebben az esetben mechanikus – szemléletmódú emberek szerint az élőlények sem mások, mint komplikált gépezetek, és (*Newton* korának legbonyolultabb gépezetére utalva) úgy vélték, hogy „a világ olyan, mint a strasbourgi toronyóra, csak még annál is bonyolultabb”. Jól mutatja ennek a mechanikus szemléletmódnak az erejét, hogy *Madách Imre* is így fogalmaz „Az ember tragédiája” (1860) című műve elején:

*„Be van fejezve a Nagy Mű, igen, / A Gép forog, az Alkotó pihen;  
Évmilliókig eljár tengelyén, / Míg egy kerékfogát újítani kell.”*

A mechanikus szemléletmódból egyenesen következik az a gondolat is, hogy ha minden gép, akkor nyilván minden részekre is szedhető. Így jutott *Descartes* arra a következtetésre, hogy testünk és lelkünk egymástól független – különválasztható – alkotórészünk. Alig tudta valahogy értelmezni, hogy akkor miképpen hatnak egymásra.

Mielőtt elvetnénk a redukcionista gondolkodásmódot, vegyük észre, hogy vannak előnyei. Például sok jelenség működését kétségtelenül megmagyarázza (hiszen az emberi testben vannak ténylegesen mechanikai jellegű „elemek”), könnyebben megérthetővé tesz jelenségeket, analogikus magyarázatokat nyújt más tudományterületek számára (lásd például az Ohm-törvények hidrosztatikai magyarázatát!), nagyon sok tudományos felfedezést elősegített, és nagyban előmozdította a technikai fejlődést. Ugyanakkor legyünk tisztában a redukcionizmus veszélyeivel is! Súlyos félremagyarázásokra vezethet, ha azt is leegyszerűsítjük, ami nem egyszerűsíthető, azt is gépként kezeljük, amit nem szabadna (vagyis amit csak inkluzív gondolkodásmóddal szabadna megközelíteni). Továbbá és legfőképpen az a veszélye, hogy általa becsapjuk magunkat; azt hisszük, hogy a világ egyszerű (pedig csak bizonyos szempontból vagy bizonyos részeiben egyszerű).

A mechanikára „visszavezetett” világkép egy másik fontos következménye a **determinista gondolkodás**, amely azt vallja, hogy minden olyan ok-okozati viszonyban van, mint két billiárdgolyó. Ezért ha a kezdeti állapotot pontosan ismerjük, akkor meg tudjuk mondani, hogy mi lesz a következő állapot, vagyis előre megmondhatjuk a jövőt. Ez a prediktabilitás (előre-megmondhatóság) álláspontja. Ennek a szemléletmódnak is vannak fontos előnyei. Rávilágít az ok-okozati összefüggésekre, erősíti a tudományos gondolkodást, és a tudomány logikája szerint gyakran éppen a prediktabilitás jelenti egy elmélet állításainak igazságát. Vagyis az, hogy ha az elmélet alapján előre „megjósolt” következményeket a kísérletek be is igazolják. Ugyanakkor tudnunk kell, hogy a prediktabilitás csak a világ törvényszerűségeinek egy részére érvényes, a soktényezős rendszerek értelmezésére alkalmatlan. Ezt az „előre-megmondhatatlanságot” nagyon szemléletesen mutatja egy viszonylag egyszerű szerkezet, a kettős inga ([www.youtube.com/watch?v=mhxcMFQjVRs](http://www.youtube.com/watch?v=mhxcMFQjVRs)).

Végezetül a mechanikai (redukcionista) és a rendszer-gondolkodás különbségének megvilágítására nézzünk meg egy összefoglaló táblázatot (*6.1. táblázat*) arról, hogy milyen a



gép, és milyen egy szervezet! Kétségtelen, hogy az organikus látásmód komplikáltabb a mechanikus gondolkodásmódnál, de hiszen a világ nagy része is bonyolultabb egy gépnél.

Gép (masina)	Szervezet (organizmus)
összerakják, szétszedik	nő, fejlődik
szerkezet → működés	szerkezet ↔ működés
merev	rugalmas, hajlékony
lineáris folyamatok	körfolyamatok
vezérlés	szabályozás
zárt program, „betanított”	nyitott program, „tanul”
stabilitása: változatlanság	stabilitása: állandó változás
léte: önállóság, függetlenség	léte: kölcsönhatás
létezik (egzisztál)	ko-egzisztál <sup>1</sup> (szim-biózis) <sup>2</sup>

6.1. táblázat. A mechanikai és a rendszer-gondolkodás összehasonlítása (Victor A.)

### A rendszer-gondolkodás a természetismeret tanítás-tanulás folyamatában

Tudatában kell lennünk annak, hogy az inkluzív gondolkodásmód elsajátítása nem könnyű feladat. Felnötteknek sem megy könnyen, gyermekek számára pedig kifejezetten nehéz lehet. Ugyanakkor – a vizsgálatok szerint – a gyerekekre éppen a „multi-tasking” jellemző, vagyis az, hogy egyszerre többféle dolgot is csinálnak. Vagyis az egy időben többfelé figyelés a mai információ-zsúfolt világban szinte követelmény. Mindenesetre célszerű annak tudatosításával kezdeni, hogy a mindennapi életünkben miképpen követjük az exkluzív gondolkodásmódot, a leegyszerűsítést. Érdeemes ennek a hasznosságára rámutatni, és megértetni, hogy gyakorlatilag minden természettudományos megfigyelés, főleg a vizsgálódás és a kísérletezés egyes szempontok elhanyagolásával jár. Amikor egy fadarab sűrűségét vizsgáljuk, akkor nem figyelünk az évgyűrűkre; és amikor egy fatörzs-korongból a kivágott fa korát akarjuk megállapítani, akkor viszont nem foglalkozunk azzal, hogy puha- vagy keményfáról van-e szó. Amikor egy talaj termékenységét vizsgáljuk, csak a szerves összetevőire és azok állapotára figyelünk, nem fontos a kőzetdarabok kémiai összetétele, ám amikor azt szeretnénk megtudni, hogy alkalmas-e kertünk talaja őszibarackfa ültetésére, akkor a mérsz tartalma lesz az egyik legfontosabb tulajdonság. Ez persze evidencia azon az alapon, hogy „mindig arra figyelünk, ami az adott helyzetben fontos”, és ezekben az esetekben mindig csak egy vagy két tényező fontos.

Ha azonban a globális melegedés hátterét és folyamatát szeretnénk jobban megérteni, akkor nem tehetjük meg, hogy csak egy vagy két tényezőre figyelünk. Ennek megéreztetésére alkalmas feladat lehet például az, hogy olyan listát iratunk a tanulókkal, amelyben felsorolják

<sup>1</sup> A ko (= -vel/vel) azt érzékelteti, hogy valami nem önmagában létezik, hanem csakis valami mással együtt.

<sup>2</sup> A szimbiózis (= együttélés) a fajok egyik kölcsönhatási típusa, ld. az 5.2. fejezetben! Itt szándékosan írjuk kötőjellel, ezzel is érzékeltetve, hogy a biológiai-ökológiai fogalomnál tágabb értelmű együtt-élésről van szó. Arról, hogy valamennyi faj – ha csak több áttételen keresztül is, de – minden más fajjal együtt él.

azokat a tényezőket, amiknek lehet szerepük a globális éghajlatváltozásban. Ha a diákok kiscsoportokban dolgoznak egymástól függetlenül, akkor az is ki fog derülni, hogy minden csoport más és más tényezőket tett a listába, és hogy az egyesített lista sem tartalmazza az összes releváns tényezőt.

### Hallgatói kérdések és feladatok

1. Írják le teljes részletességgel az ok-okozati láncot (illetve annak egy lehetséges útját) az alábbiak között (páronként)!  
A1) sok folyadékot iszunk; B1) megnő a vizelet mennyisége  
A2) 0 °C alá süllyed a hőmérséklet; B2) jégtábla úszik a vízben
2. Keressenek példákat az otthoni életből exkluzív (szempont-kizáró) gondolkodásmódra!
3. Keressenek példákat arra, hogy miféle környezeti problémákat (akár ökológiai zavarokat) okozott már a nem helyénvaló exkluzív gondolkodás!

## 6.2. Az ökológiai szemlélet és a természeti környezet egységes szemlélete

Írta: dr. Victor András

**Kulcsszavak:** ökológia, anyagforgalom, energiaforgalom, körfolyamat, lánc és hálózat, negatív visszacsatolás, pozitív visszacsatolás, egyed alatti és feletti szerveződési szintek, biodiverzitás, kommunikáció, Gaia-elmélet

### 6.2.1. Összefüggések az ökológiai rendszerekben

#### Mi az ökológia?

Az ökológia olyan tudomány, amely csakis rendszerszemlélettel érthető meg, és az inkluzív gondolkodás jellemző rá. Ennek pedig az a magyarázata, hogy olyan bonyolult kölcsönhatás-rendszeren alapul, amely nem egyszerűsíthető le. Az ökológiában egyetlen szemponttól, tényezőtől sem mondhatjuk, hogy figyelmen kívül hagyható, mert soha sem tudhatjuk, hogy – akár csak áttételes hatásokon keresztül is – nincs-e mégis fontos (vagy akár meghatározó) szerepe. Az **ökológia** az élőlények egymással és környezetükkel való kapcsolatrendszerét vizsgáló tudomány. Névadója *Ernst Haeckel* (1866) volt. (A szó etimológiája: görögül οίκος (oikosz) = ház, háztartás, család, tanya, gazdálkodás, otthon, haza, hon, templom és λογος (logosz) = értelem, tudomány, tan.) Magyarul tehát valahogy így mondhatnánk:

háztartásban, gazdálkodásban, a természet gazdálkodásának tana, „Föld-háztartásban”, az együtt-létezés tudománya. Talán az **együtt-létezés tana** a legjobb kifejezés, mert ez világít rá legtalálhatóbb módon arra, hogy a Föld minden része, minden alkotóeleme együtt, egymástól elválaszthatatlanul, egymással állandó és sokrétű kölcsönhatásban létezik. Az „öko” szócskának van egy másik, jól ismert származéka, az ökonómia (görögül νομος (nomosz) = törvény). Így tehát az „öko- (eco-)” címke hol a környezetvédő jellegre utal, hol arra, hogy gazdaságos.

### Anyag- és energiaforgalom az ökológiai rendszerekben

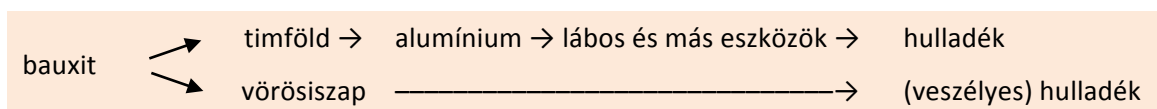
Mint ahogy az ökológiai rendszerben élőlények egymással és környezetükkel kapcsolatban vannak, nyilvánvaló, hogy közöttük anyag- és energiaforgalom van. Mi jellemző alapvetően erre a forgalomra?

Az ökoszisztémákban az **anyagok** többnyire körforgásban vannak, a természetre a **körfolyamatok** jellemzőek:

- nagy léptékben: élettelen világ → élővilág: növény → állat → állat → gomba, baktérium → élettelen világ
- kis léptékben: falevél → avar → humusz → ásványi anyag → falevél;  
tócsa víz → feketeterítő testnedve → ürülék → pára → felhő → eső → víztócsa

Ez egyrészt azt jelenti, hogy elvileg a végtelenségig folyhat ez a körforgás (vagyis fenntartható!), másrészt igen „takarékos” megoldás, mivel a kör valamelyik pontjának „kimenete” egyúttal a következő pont „bemenete”. Vagyis nem keletkezik a folyamat során hulladék. Konkrét példán: a szarvasmarha ürüléke (ami neki már „nem kell”) a ganéjtúró bogár (lárvája) számára fontos tápanyag (neki tehát nagyon is „kell”).

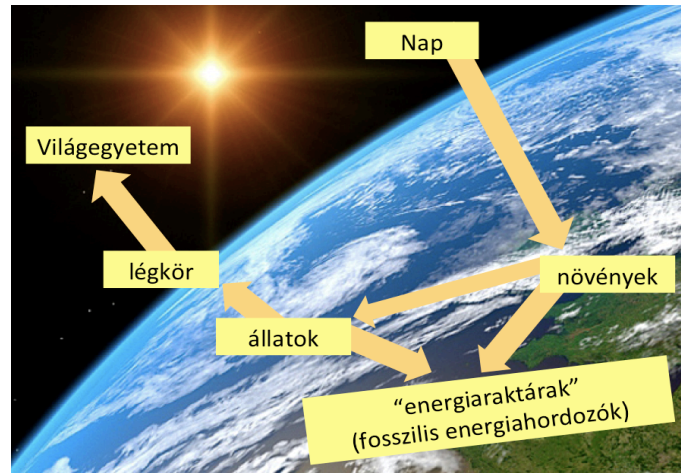
Az ember termelő-fogyasztó folyamataira egyáltalán nem jellemzőek a körfolyamatok! A mi termelési folyamataink többnyire lineárisak, és a „vonal” végén majdnem mindig hulladék van. A kibányászott agyagból (emberi időléptékeken belül) nem lesz megint agyag, a felszínre hozott kőolajból soha sem lesz megint kőolaj. Nézzünk meg lépésenként egy, az emberi termelésre jellemző lineáris folyamatot (6.4. ábra)!



6.4. ábra. A termelés lineáris folyamatsémája

A ma általánosan elterjedt termelési folyamataink menete tehát: nyersanyag → termék → hulladék. A fenntartható termelés megközelítése érdekében olyan gyártási folyamatokat kellene kidolgozni, amelyeknek a „maradék” nem hulladék (szemét), hanem egy másik

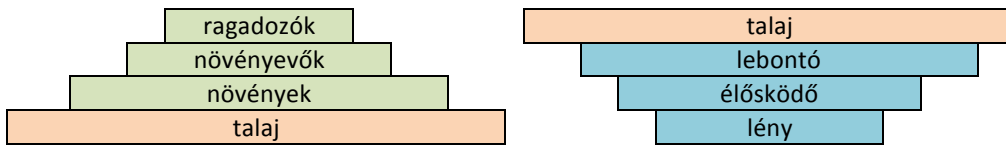
folyamat nyersanyaga. Ezzel közelítenénk meg a természeti folyamatok jellegét. Egyébként a fenti, bauxitos példa még azért is külön tanulságos, mert a vörösiszap (magas vastartalma révén) lehetne vasgyártási nyersanyag, csakhogy jelenleg még nincs kidolgozva ennek megfelelő vasgyártási technológia.



6.5. ábra. Az ív mentén áramló energia (Victor A.)

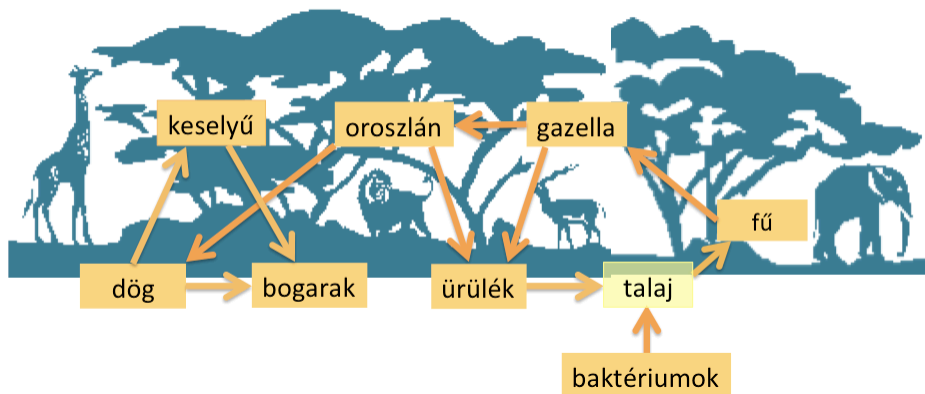
Az anyagtól eltérően, az **energia** útja a természeti rendszerekben nem kör, hanem ív. Az energia egy **ív mentén áramlik** (6.5. ábra). A Napból érkező fényenergiát a növények (a fotoszintézis folyamatában) megkötik, és testük anyagaiban – lényegében kémiai energia formájában – tárolják. Ezzel az energiával működnek a növények, a növényevő állatok, és rajtuk keresztül a ragadozó állatok is, vagyis gyakorlatilag az egész élővilág. Az élőlények által a különböző életműködésekhez felhasznált energia egy része azonban elkerülhetetlenül hőenergiává alakul, ami pedig kisugárzódik a légkörbe, onnan pedig a Világegyetembe. Vagyis a földi élővilág végső soron napenergiával működik, de ez az energia – a földi rendszereken keresztül – végül ugyanúgy a Világegyetembe sugárzódik, mintha közben nem is tett volna egy bonyolult „körutat” a Földön. Ne tekintsük azonban abszolút elvnek, hogy a természeti folyamatokra a kör és az ív jellemző! Van ugyanis kivétel itt is. Amikor hajdani élőlények szerves anyagai (szénhidrátok, fehérjék stb.) a felszín alatt szép lassan elbomlanak, fosszilizálódnak és végül ásványi szén vagy kőolaj, földgáz lesz belőlük, akkor tulajdonképpen „kilépnek” a körforgásból. A Föld mélyén „rejtőző” kőszén és szénhidrogén anyagát és energiatartalmát tekintve is olyan raktár, amelyet – jelen ismereteink szerint – csak az ember hasznosít, az ember azonban túlságosan is.

Egy ökológiai rendszerben az ott élő fajok között bonyolult kapcsolatrendszer biztosítja az anyagok körforgását. Ezt egyszerűen fogalmazva **táplálékláncnak** nevezzük, és azt jelzi, hogy fajok egyedein keresztül jutnak el a talaj, a víz és a levegő anyagai a fotoszintézist végző növényektől a csúcsragadozóig, valamint „visszafelé” mely fajokon keresztül bomlanak le ismét a környezet élettelen anyagaivá. Lássunk példaként egy ilyen egyszerű táplálékláncot (6.6. ábra)!

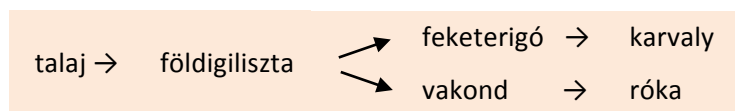


6.6. ábra. Kettős táplálkozási piramis (Victor A.)

Azonban még ennél a „kettős piramisnál” is bonyolultabb, hiszen nemcsak egy vonalú táplálékláncok léteznek, hanem többszörös kereszt-kapcsolatokat jelentő **hálózatok** (6.7. ábra) is, továbbá a lánc két (nem szomszédos) pontja között **párhuzamos útvonalak** (6.8. ábra) is vannak.



6.7. ábra. Anyagáramlás egyszerű táplálékhálóban (Victor A.)



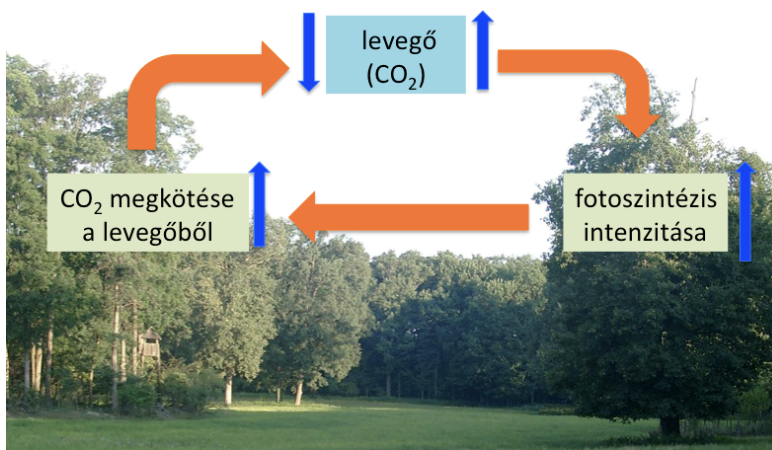
6.8. ábra. Anyagáramlás párhuzamos útvonalak mentén (Victor A.)

### Visszacsatolások az ökológiai rendszerekben

Az ökológiai rendszerekben zajló folyamatok szabályozását az ún. **negatív visszacsatolások** biztosítják. (Egyébként gyakorlatilag mindenféle folyamatszabályozásnak ez az alapja.) A visszacsatolásnak (visszajelentés; angolul feed-back) az a lényege, hogy egy állapot változása olyan következménnyel jár, amely visszatéríti a rendszert az eredeti állapotába (vagy legalábbis annak közelébe). Konkrét példán: ha egy hűtőgép belseje a külső hőmérséklet hatására lassan melegszik, akkor egy „szerkezet” érzékeli a beállított hőmérsékleti értéktől való eltérést, és ha ez az eltérés már elér egy kritikus mértéket, akkor bekapcsolja a motort. A motor működése következtében a hűtőgép hőmérséklete elkezdi csökkenni, és egy idő múlva már a beállított értéknél hidegebb lesz belül. Ha a „szerkezet” azt érzékeli, hogy a belső hőmérséklet már egy kritikus mértéket meghaladóan alacsonyabb a beállított értéknél, akkor kikapcsolja a motort, ezzel lényegében hagyja, hogy ismét elkezdődjön a lassú melegedés.

Azért nevezzük ezt visszacsatolásnak (visszajelentésnek), mert a rendszer „központja” jelentést kap a „végek” felől arról, hogy a tevékenysége (vagy éppen annak szüneteltetése) milyen kimeneti következményekkel járt. Negatív visszacsatolásnak pedig azért mondjuk, mert – evidens módon – a korrekció mindig ellenkező előjelű, mint a tervtől való eltérés. A kibernetikának, ami a szabályozás tudománya, érthetően alapfogalma a negatív visszacsatolás. (A tudomány neve a görög κυβερνητης (kibernetész) = kormányos szóból származik.) A hajókormányos tevékenysége valóban kristálytiszta mutatja a negatív visszacsatolás lényegét: ha jobbra tér el a hajó a kitűzött irányhoz képest, akkor balra forgatja a kormánykereket; ha balra tér el, akkor jobbra forgatja.

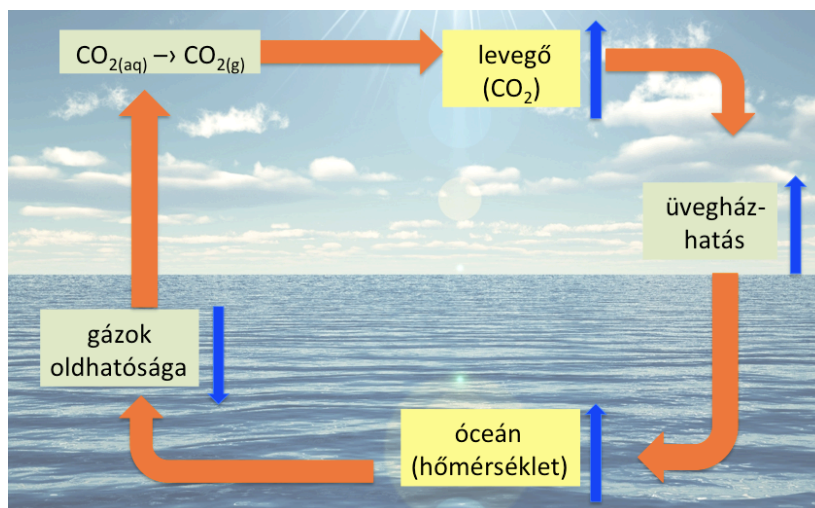
A természet – különösen az élővilág – tele van negatív visszacsatoláson alapuló szabályozási folyamatokkal. Már szinte közhelyszerű erre a szabályozásra az a példa, hogy ha egy mezőn valamiért az átlagosnál több fű nő, akkor – a bőséges tápláléknak köszönhetően – elszaporodnak a nyulak. A sok nyúl azonban „feléli” a fűvet, ezért a következő időszakban már táplálékhiány jelentkezik, és a nyulak kevés utódot képesek felnevelni. Ha viszont ezért kevés a nyúl és nem sok kárt tesz a fűben, akkor megint sok lesz a fű, és a kör kezdődik előlről. Ha ehhez hozzávesszük, hogy az ott élő nyulak és a rókák számát illetően hajszára ugyanez a körfolyamat érvényesül, akkor azt látjuk, hogy két visszajelentéses körfolyamat még egymást is szabályozza. (A valóságban egy mezőn ilyen szabályozó körfolyamatok százai érvényesülnek egyszerre!)



6.9. ábra. A szén-dioxid körforgalma mint negatív visszacsatolás (Victor A.)

Negatív visszacsatolás az élettelen természetben is előfordul. Nézzünk egy ilyen példát a levegő szén-dioxid tartalmával kapcsolatban (6.9. ábra)! Ha megemelkedik valamiért a levegőben a  $\text{CO}_2$ -koncentráció, akkor a növényekben gyorsabb lesz a fotoszintézis (vagyis a  $\text{CO}_2$ -nak a levegőből való megkötése), ezért csökkenni fog a  $\text{CO}_2$ -koncentráció. Ez a negatív visszacsatolási körfolyamat tehát segít abban, hogy a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma ne változzon számottevően.

A valóság azonban nem ilyen egyszerű. Találunk a természetben **pozitív visszacsatolási folyamatokat** is, amelyek öngerősítő körök. Éppen a szén-dioxiddal kapcsolatban is lehetséges ilyen (6.10. ábra). Ha valamiért megemelkedik a CO<sub>2</sub>-koncentráció a levegőben, akkor fokozódik az üvegházhatás, aminek következtében lassan melegebbé válik az óceán vize. A gázok vízben való oldhatósága romlik a hőmérséklet emelkedésével, ezért az óceánok óriási víztömegében oldott CO<sub>2</sub> egy része kilép a vízből a légkörbe, vagyis emelkedik a levegő CO<sub>2</sub>-szintje. Ez további globális melegedést okoz.



6.10. ábra. A szén-dioxid körforgalma mint pozitív visszacsatolás (Victor A.)

Ez a két egymás melletti, de egymással ellentétes jellegű visszacsatolás csak egy példa a sok közül. A bioszféra egyensúlya száz és száz egymást erősítő és egymást ellensúlyozó folyamat rendkívül bonyolult kölcsönhatás-rendszerén alapul. Még önmagában a szén-dioxid esetében sem tudjuk igazán, hogy vajon a fenti negatív vagy pozitív visszacsatolás mértéke nagyobb-e, nemhogy az egész kölcsönhatás-rendszerrel meg tudnánk mondani, hogy valamely tényezőjének mesterséges megváltoztatása miképpen fog hatni az egész rendszerre. Ezért igen fontos, hogy minden beavatkozás megfontolt legyen. A Föld (és így persze önmagunk) védelme érdekében ajánlatos a „kötelező óvatosság”. A környezeti (ökológiai) rendszerek sok-elemű rendszerek, ahol az alkotó elemek között bonyolult kölcsönhatások működnek. Jól megfigyelhető rajtuk a hierarchikus rendeződés, vagyis az, hogy minden rendszer egyrészt szintézise nála kisebb (és kisebb összetettségű) alrendszereknek, ugyanakkor része (alkotója, alrendszere) egy nála nagyobb (és nagyobb komplexitású) rendszernek.

### Az ökológiai folyamatok beágyazása a tananyagba

Az ökológiai folyamatok megismertetése során is elsősorban a gyerekek mindennapi tapasztalataiból kell kiindulni. Tehát például a lineáris és a körfolyamatok

megismertetésekor olyan példákat keresni, amelyekkel otthon is találkozunk. Ilyen lehet a lineáris folyamatokra:

Miből készült a televízió? (fémekből, műanyagból, üvegből stb.) → Miből készült a műanyag és miből az üveg? (kőolajból illetve homokból) → Mi történik majd a tévével, ha elromlik és már javíthatatlan? (hulladék lesz belőle) → Hová kerül ez a hulladék? (például a pusztaamori hulladéklerakóba) → Ott mi történik vele? (ezer év alatt talán lebomlik, de nem tudjuk, hogy mire, de az biztos, hogy nem lesz belőle újra kőolaj). Hasonló kérdés-felelet sor eljárázható minden otthoni tárggyal, eszközzel kapcsolatban, ideértve a gyerek iskolatáskájában lévő dolgokat is. A (legalább részleges) körfolyamatra is találhatunk példákat az otthoni életből: Honnan származik az alma anyaga? (a környezet anyagaiból, azaz a talajból, a vízből) → Mi történik az almacsutkával, amit a komposztáló keretbe dobtál? (baktériumok hatására lebomlik) → Mi történik a kapott komposzttal? (beássuk az almafa tövéhez, ott lényegében föld lesz belőle).

Az energia útjának megértéséhez a visszafelé vezető út gondolati végigjárása is vezethet: Amikor futsz, akkor fogy az energiád. → De miből, minek a lebontásából van ilyenkor energiád, amelyet elhasználsz a futkosáshoz? (például a keményítő lebontásából) → Ezek szerint keményítő formájában „becsomagolt” energia volt benned. → Honnan származott? (megettem a kenyeret) → Hogyan került ez az energia-tartalmú keményítő a kenyérbe? (a búzalisztből) → Hogyan került a búzába? (maga a búzanövény készítette a cukrot és abból a keményítőt a napenergia segítségével) → Ezek szerint te áttételesen napenergiával futsz. Ha két-három ilyen példát végigjárunk, akkor világossá válik a gyerekek számára is, hogy – ha többszörös áttételen keresztül is, de – gyakorlatilag az egész földi élet a Nap sugárzó energiájának köszönhetően létezik.

A negatív és pozitív visszacsatolás fogalmának megértéséhez is legjobb, ha a gyerekeket közvetlenül érintő példákat keresünk, olyanokat, amelyeket ők maguk is lépten-nyomon megtapasztalnak. A negatív visszacsatolás megértésére lényegében a fent leírt példák (a hajó kormányosa vagy a hűtőszekrény működése) is alkalmasak, egyik sem bonyolult. Azonban példaként szolgálhat más, az élőlényekkel kapcsolatos szabályozási folyamat is. Például:

1. Ha egy cserepes növényt elfelejtünk megöntözni, és már nem elég nedves a földje, akkor a levelek további párologtatása miatt felborul a vízfelvétel és a vízleadás egyensúlya, kevesebb vizet tud fölvenni, mint amennyit lead. Ezért végül csökkenni fog a növény testének a víztartalma.
2. A víztartalom csökkenése olyan változást vált ki a levelekben, hogy összeszűkülnek a levél felületén azok a nyílások, amelyeken keresztül a párologtatás történik. Így csökken a párologtatás mértéke, és ezzel megint egyensúlyba kerül a víz felvétele és leadása, persze az eredetinel alacsonyabb szinten. (És ehhez hasonló, csak fordított előjelű változások történnek, ha túlöntözzük a cserepes növényt).



3. Tudni kell azonban, hogy ennek az alkalmazkodásnak határa van. A növény tűrőképességétől függ, hogy milyen alacsonyra képes károsodás nélkül leszállítani a párologtatás mértékét.

A pozitív visszacsatolások önerősítő folyamatok. A gyerekek mindennapi életéhez legközelebbi példa talán a tűz; az égés jelensége. Itt érhető tetten legkönnyebben az a gondolat, hogy az égés által fejlesztett hő elősegíti további anyagok meggyulladását, így a tűz egyre nagyobb lesz (amíg van éghető anyag).

Érdekes szubjektív példa lehet az önerősítő visszacsatolásra a feleléstől, vizsgázástól való erős drukkk. Ha valaki (a szükségesnél erősebben) izgul egy szereplés miatt, mert fél, hogy nem fogja tudni jól elmondani, amit megtanult, akkor ettől nő az esélye annak, hogy éppen a drukkk miatt valóban rosszabbul szerepel, mint ahogyan lehetett volna. Ilyenkor a következő alkalommal ugyanez a gyerek már „bizonyítva” is látja, hogy ő tényleg nem jó felelő, úgysem tudja meggyőzően elmondani, amit kell, ezért természetesen megint leszerepel. Vagyis belekerült egy önmagát rontó spirálba.

## 6.2.2. Ökológiai szintek és kapcsolatok

A környezeti (ökológiai) rendszerek sokelemű rendszerek, ahol az alkotó elemek között bonyolult kölcsönhatások működnek. Jól megfigyelhető rajtuk a **hierarchikus rendeződés**, vagyis az, hogy minden rendszer egyrészt szintézise nála kisebb (és kisebb összetettségű) alrendszereknek, ugyanakkor része (alkotója, alrendszere) egy nála nagyobb (és nagyobb komplexitású) rendszernek.

### Az ökológiai szintek hierarchiája

Az ökológiai szintezettségnek a *6.11. ábrán* látható „emeleteit” különböztetjük meg. Mint látjuk, megkülönböztetünk „egyed alatti” és „egyed feletti” szinteket, de ennek nincs elvi jelentősége, hiszen némileg önkényes döntés éppen az egyedet tekinteni viszonyítási pontnak. A szintek értelmezése a következő:

- Különböző sejtszervecskék (sejtmag, kloroplasztisz, ostor stb.) építik fel a sejteket.
- Hasonló alakú és működésű sejtekből (hámsejt, idegsejt stb.) állnak a szövetek.
- Különböző szövetekből (hámiszövet, izomszövet, csontszövet stb.) állnak a szervek.
- Adott működés részfeladatait ellátó szervekből (gyomor, bél, máj stb.) áll a szervrendszer.
- Szervrendszerek (légzés, emésztés, kiválasztás stb.) építik fel a szervezetet (az egyedet).
- Az egyedek csoportokba rendeződhetnek (szivacstelep, farkas-falka, méhcsalád stb.)

- Az adott helyen élő – egymással szaporodási közösséget alkotó – egyedek és csoportok együtt alkotják a populációt.
- Közeli rokon populációk összessége a faj (amelynek más populációba tartozó egyedei között a szaporodás – például a nagy távolság vagy más korlát miatt – csak elvi lehetőség).
- Adott helyen együtt élő fajok társulást (biocönózis) alkotnak (ilyet láttunk előzőleg táplálék-hálózatként).
- A társulások az ott lévő élettelen világgal kölcsönhatásban alkotják az ökoszisztémákat.
- Sok-sok egymással kölcsönható ökoszisztémából áll a bioszféra (vagyis a Föld „élő burka”).



6.11. ábra. Az ökológiai szintek

Ebben a felsorolásban eltekintettünk a sejtszervecskék alatti szintek feltüntetésétől, de tudjuk, hogy az egyre kisebb alrendszerek felé haladva végül az atomokhoz, illetve az elemi részekhez jutunk. Fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy ennek a sornak gyakorlatilag minden szintjére jellemző, hogy az élő és az élettelen anyagi világ együtt alkotja. Az **élő és az élettelen világ szétválaszthatatlan egységét** jól mutatja például a talaj. Ha egy gyűszűnyi erdei talajt nézünk, akkor megállapíthatjuk annak a kémiai összetételét (szilikátok, fémionok, mézst tartalom, kémhatás stb.), amely élettelen jellegű sajátsága ugyan, de tudnunk kell, hogy ez a kémiai összetétel egyrészt alapja az ott létező életnek, másrészt (és ez legalább ugyanolyan fontos!) valamilyen mértékben és értelemben eredménye is az életfolyamatoknak. Ebben a gyűszűnyi talajban milliószámra élnek baktériumok és gombák, ezerszámra mikroszkópos egysejtű állatok, százsámra parányi férgek és rovarlárvák. Vagyis az „élettelen tárgynak” látszó talaj hihetetlen gazdag élővilág is egyben.

## A biodiverzitás

Az ökológiai rendszerek alapvető sajátsága a sokféleség, a diverzitás. A **diverzitás** sokféle fajtája és szintje közül most csak háromra figyeljünk: az egyedek, a fajok és a társulások sokféleségére!

Nem lehet ugyan tökéletes pontossággal definiálni, hogy mely élőlények tartoznak egy fajba, de az mégiscsak igaz, hogy a meghatározó sajátságok tekintetében nagyon nagy hasonlóság

van minden földigilisza, minden feketerigó, minden gepárd között. Ugyanakkor azt is látnunk kell, hogy nem létezik két, tökéletesen egyforma élőlény. Nincs két egyforma ember, két egyforma kutya, de két egyforma szúnyog sincs. Persze az utóbbi esetben már nagyító kell ahhoz, hogy meglássuk két dalos szúnyog különbségét. Nincsen két tökéletesen egyforma fűszál sem a réten, valami apró, esetleg csak mikroszkóppal látható különbség mindenképpen van közöttük.

Becslések szerint 15-20 millió faj van a Földön, de alig haladja meg az 1 milliót a már meghatározott, leírt fajok száma. Az ismert fajok legnagyobb része állatfaj, utánuk következnek a gombák, végül a növények. Ezekből a számokból is kiderül, hogy a földi élővilágnak még mindig csak a töredékét ismerjük. Az emlősállatokat és a zárvatermő növényeket ismerjük legjobban, és valószínűleg a baktériumok, férgek és rovarok között van a legtöbb, amelyet még nem fedeztek fel a tudósok.

A társulások sokféleségét már egyszerűen a fontosabb típusok felsorolása is jól jelzi: édesvízi, tengeri, tengerparti, korallzátonyok, láp, erdős sztyepp, esőerdő, lombhullató erdő, tajga, tundra, magashegységi, mediterrán, füves puszta, szavanna, pampa, préri, sivatagi ökoszisztémák. Miért olyan fontos a **sokféleség** az ökológiai rendszerekben? Azért, mert ez biztosítja e rendszerek stabilitását. Ha nem egyformák az egyedek például egy baktériummal szembeni ellenálló képesség tekintetében, akkor van esély arra, hogy valamely egyedek túléljék a fertőzést és biztosítják az adott faj továbbélését. Ha több rovarévő madárfaj is él egy adott ökoszisztémában, akkor van esély arra, hogy valamelyik rovarévő madárfaj esetleges kipusztulása esetén is életképes maradjon az egész ökoszisztéma. Ha drasztikusan megváltozik valamilyen környezeti feltétel – például kevesebb lesz a csapadék –, akkor növeli az egész rendszer helyreállási képességét (rezilienciáját) a nagy változatosság. A sokféle egyed és faj között ugyanis nagyobb valószínűséggel lesznek olyanok, amelyek jobban tűrik ezt a változást.

A **biodiverzitás** tehát az állandóan változó környezethez való alkalmazkodás kulcsfontja. Ebből logikusan az is következik, hogy ha csökken a diverzitás, akkor a stabilitás (túlélőképesség, reziliencia, továbbfejlődési képesség) is csökken. A nagyüzemi mezőgazdaságban nagyon elterjedtek az óriás táblák, ahol kilométereken keresztül csak egyfajta növény terem, és a termesztők mindent el is követnek azért, hogy ott lehetőleg csak az az egyetlen növényfaj legyen jelen, amit termesztetni akarnak. Itt tehát a faj szintű diverzitás nagyon kicsi (de az egyedi diverzitás természetesen továbbra is érvényesül). Ezek a táblák monokultúrák (mono = egy), és mint ilyenek, nagyon sérülékenyek is. Egy monokultúra csakis állandó emberi beavatkozással (műtrágyázással, gyomirtó és rovarirtó szerek használatával) tartható fenn. Ha magára hagynánk, fokozatosan megszűnne a monokultúra jellege, minthogy azonnal megjelenének más növényfajok, valamint különböző gombák és állatfajok is.

## Az ökológiai rendszerek elemei közötti kapcsolatok sokfélesége

Mint ahogy az ökológiai rendszerek nagyon összetettek (komplexek), a rendszer alkotóelemei közötti kapcsolatok, hatások és kölcsönhatások is sokfélék. Nézzük a fajok közötti viszonyok legfontosabb típusait (6.2. táblázat)! A két zárójel [ ] közötti jelek azt szimbolizálják, hogy az egyik és másik faj számára előnyös vagy hátrányos-e a kapcsolat.

	+	0	-
+	szimbiózis	kommenzalizmus	predáció parazitizmus
0		neutralizmus	antibiózis
-			kompetíció

6.2. táblázat. Az ökológiai rendszerek közötti kapcsolatok

### - **Predáció** (ragadozás) [+,-]

A ragadozás a gepárd számára előnyös, a gazella számára azonban halálos kapcsolat. Nem egyszerű válaszolni arra a kérdésre, hogy az adott gazella faj számára káros-e ez a kapcsolat. Ugyanis az a gazella egyed, amelyik áldozatul esik, elpusztul. Ugyanakkor a gepárd nyilvánvalóan a legkevésbé életrevaló egyedeket ejti el, és ezzel „hozzájárul” ahhoz, hogy bizonyos betegségek vagy káros gének elterjedjenek a gazellák között. Vagyis a gepárd az „eszköz” abban a szelektációs folyamatban, amely állandóan erős-egészséges állapotban tartja a gazellapopulációt. Ha a ragadozás fogalmát tágabban értelmezzük, akkor a gazella (és persze minden más növényevő) is ragadozó, hiszen megeszi egy másik faj (jelen esetben valamilyen fűféle) egyedét. Csak emberi (lelki) szempontból van különbség egy állat és egy növény megevése között. Viszont az is igaz, hogy a gazella legelésétől a növény nem igazán pusztul el, inkább csak károsodik.

### - **Parazitizmus** (élősködés) [+,-]

Az élősködés csak annyiban különbözik a predációtól, hogy nem fogyasztja el az „áldozatát”, hanem csak károsítja, elvesz tőle anyagot-energiát. Külső élősködők például a szúnyogok és a kullancsok, amelyek táplálékként kiszívják valamennyi vért. Belső élősködők például a bélférgek, amelyek (általában) a bélcsatornánkban lévő, már nagyjából megemésztett táplálék egy részét szívják el tőlünk. Különleges esete az élősködésnek a fél-élősködés. Például a fehér fagyöngy esetében figyelhető meg, ami például nyárfákon él, de fotoszintetizál (a télen is zöld leveleivel), tehát „csak” a nyers tápanyagot szívja el a fától, nem az elkészített szerves anyagot.

### - **Kommenzalizmus** (asztalközösség) (a latin mensa = asztal) [+0]

Az asztalközösség táplálkozási kapcsolatrendszer, amit a zsákmányból például az oroszlán otthagya, az például a keselyűké. Ez a keselyűk számára pozitív kapcsolat, az

oroszlán számára pedig semleges. Érdekes párhuzam, hogy a nagyvárosi szeméttelpeken való guberálás vagy a kukázás is lényegében kommenzalizmus.

- **Antibiózis** [-,0]

Az antibiózis szó szerint 'élet-ellenes' hatást jelent, aminek leghíresebb példája a penicillin, amelyet a *Penicillium notatum* gombafaj választ ki magából, amely meggátolja bizonyos baktériumok szaporodását. Az antibiotikumok fontos gyógyszereink a bakteriális betegségek ellen. Antibiózis jellegű kapcsolat az is, hogy a diófa bomló levele olyan anyagokat bocsát ki magából, amely gátolja más növények magjának a csírázását. Ebben az esetben a „0” jelzés nem egyértelmű. Magára a penicillium gombára nincs hatással a saját maga által termelt antibiotikum (hiszen – érthetően – van olyan génje, amely rezisztenssé teszi ellene), és az is igaz, hogy a károsított baktérium valóban nincs hatással a gombára, ugyanakkor valamilyen értelemben mégiscsak előnyös a gomba számára ez a helyzet, hiszen csökken a konkurenciája.

- **Neutralizmus** [0,0]

Rengeteg olyan faj van, amely gyakorlatilag nincs hatással egymásra, semlegesség van közöttük, például a baktériumfajok kb. felének semmiféle kapcsolata sincs az emberrel. (Ez persze ellentmond annak, amiből kiindultunk, hogy tudniillik a természetben „minden mindennel” összefügg, de mégis van olyan, hogy a kapcsolat annyira áttételes és annyira csekély – legalábbis mai ismereteink szerint –, hogy elhanyagolható.) Nem ismerünk kimutatható kapcsolatot például a földigiliszta és a szövőlepkék között, ami érthető, hiszen élőhelyük, táplálékigényük stb. annyira eltér még ugyanabban az erdőben is, hogy nincs realitása közöttük sem pozitív, sem negatív kölcsönhatásnak.

- **Kompetíció** (vetélkedés) [-,-]

A természetben az erőforrások (szinte mindig) korlátosak, ezért az erőforrásokért folytatott vetélkedés teljesen általános viszony akár fajok, akár egy faj egyedei között. A darwini „létért folytatott küzdelem” lényegében ennek a megfogalmazása. Vetélkedés folyik az erdőben a fényért, ezért „próbálja” mindegyik fa túlnőni a másikat. Vetélkedés folyik a hasonló táplálékon élő fajok egyedei között is, hogy melyik szerzi meg (vagy szerez belőle többet). Ez a vetélkedés esetenként egyes fajok (valahonnan való) kipusztulásával, vagy legalábbis visszaszorulásával jár. Így például az Amerikából Európába behozott szürke mókus olyan erős versenytársa a nálunk őshonos vörös mókusnak, hogy az utóbbi kisebb-nagyobb területekről már teljesen kiszorult.

- **Szimbiózis** (együttélés) [+,+]

A tág értelemben vett együttélés – vagyis az, hogy két faj kölcsönösen előnyös lehetőséget jelent egymás számára –, ugyanolyan általános jelensége az élővilágnak, mint a vetélkedés. Az evolúció során tengernyi változata alakult ki annak, hogy különböző fajok kölcsönösen pozitív hatással vannak egymásra. Példaként: a bivaly

hátán ülő nyűvágó madarak kicsípi a bivaly bőréből a rovarok élősködő lárváit. Ez jó a bivalynak, a madárnak pedig táplálék. A zárvatermő virágos növények kifejlődése időben egybeesik a rovarok megjelenésével, ami nem véletlen, hiszen ez a szimbiotikus kapcsolat a növény számára a szél által történő beporzásnál sokkalta biztosabb rovarbeporzást jelenti, a rovarok számára viszont „megbízható” táplálékforrást. Rovarvilág nélkül nem léteznének virágok – és viszont.

„Tankönyvi” példát jelentenek a szimbiózisra a zuzmók. A zuzmók ugyanis gombák és moszatok együttélésével jöttek létre, ahol a moszat számára fontos, hogy a gombák (vékony fonalaikkal) elvégzik a nedvek felszívását, a gomba számára viszont előnyös, hogy kész szerves anyagot kap az algától, és így „mentesül” a fotoszintézis végzése alól. Szimbiózis folyik a pillangós virágú növények gyökerén lévő gümőkben is, ahol Rhizobium baktériumok élnek, amelyek azért nagyon fontosak, mert megkötik a levegőben lévő elemi nitrogént olyan nitrogénvegyületek formájában, amelyek a gazdanövény számára már jól felhasználhatóak például a fehérjék szintéziséhez. Nagyon érdekes példa a szimbiózisra a mikorrhiza. Sok növényfaj nem fejleszt hajszálgöykeret, nincs is rá szüksége, mert speciális talajlakó gombák ránőnek a gyökérágaikra, és ott – vékony fonalaikkal – ellátják a hajszálgöykerék felszívó funkcióját (ez a mikorrhiza). A kölcsönös előny lényegében ugyanaz, mint a zuzmók esetében. Ma már tudjuk, hogy a mikorrhiza nem néhány növény specialitása, hanem igencsak elterjedt forma a növényvilágban.

A leginkább elgondolkoztató szimbiotikus forma az **endoszimbiózis** (a görög ενδο = bent). A fejlett növényi és állati sejtekben a mitokondrium nevezetű sejtszervecskék végzik a lebontó anyagcsere-folyamatokat. Lényegében ezek a sejt „energia-termelő központjai”. A mitokondriumok a földtörténet őskorában még önálló baktériumok voltak, amelyek „beköltöztek” egy másik sejtbe (vagy amelyeket ez a másik sejt bekebelezett ugyan, de nem emésztett meg), s azóta ott végzik tápanyaglebontó folyamataikat. Minden emberi sejtben százas nagyságrendben található mitokondriumok, tehát valamilyen értelemben több bennünk a baktérium, mint a saját sejtünk. De ez így nem pontos, hiszen most már éppenséggel azokkal a baktérium-mitokondriumokkal együtt a saját sejtünk. Ugyanez a helyzet a növényi sejtekben lévő kloroplasztiszokkal, amelyekről szintén kiderült, hogy hajdan önálló cianobaktériumok voltak, de ma már a növényi sejteken belül végzik a fotoszintézist.

### **Kommunikáció az ökológiai rendszerekben**

Az ökológiai rendszerekben tapasztalható sokféle kölcsönhatás csak úgy működhet jól, ha állandó információcsere van a partnerek között, vagyis ha kommunikálnak egymással. **Kommunikáció** alatt itt nem emberi jellegű kommunikációt kell érteni, hanem egyszerűen azt, hogy élőlények jeleket adnak (hagynak) egymásnak.

A kommunikáció legősibb formái kémiai jellegűek. Az anyagcsere folyamatok során a környezetbe került (juttatott) vegyületek jelző funkciója – mint primitív információcsere – már a legősibb egysejtű élőlények esetében is működött. E nélkül semmiféle együtt-létezés nem képzelhető el. Később – evolúciós fejlődésként – másféle kommunikációs csatornák is megjelentek, például a szaglás, a látás, a hallás, de esetenként a jelképes üzenetek is hatnak. Amikor egy kutya vizelettel megjelöli a „birodalma” határait, akkor szagjelekkel kommunikál. A rajban úszó halak (vagy „felhőben” repülő seregélyek) látható jelekből olvasnak, a magasban csicsergő pacsirta „hang-kerítést” énekel a fészke (vagy fészkelő-helye) köré. Jelzés-szerű üzenet a vetélytárs felé, amikor a hím gorilla (vagy akár ember is) kihúzza magát és kidüleszti a mellét, jelképesen azt üzeni: „láthatod, hogy én vagyok az erősebb!”.

### **Az ökológiai szintek és kapcsolatok megismerése a természetismeret tanulása során**

Az ökológiai szintek tanulását a közepén – az egyednél – érdemes kezdeni, mert az van legközelebb a gyerekekhez. Ez az a szint, amelyet „látnak” is, hiszen a körülöttünk lévő növények és állatok mind egyedek. Innen érdemes először „lefelé” menni, vagyis a szervek-szervrendszerek irányába, de nem feltétlenül szintenként követve az egymásra épülést. A szervekről (szív, gyomor, szem stb.) ugyanis mindennapi tapasztalat és tudása van a gyerekeknek. A szervrendszer azonban absztrakció; előbb tehát meg kell ismerni az egyes szerveket, majd azután rájönni, hogy néhány szerv egymás „partnere” valamely folyamat egyes részeiben. Nem „előírás”, hogy minden szinttel foglalkozni kell 5-6. osztályban. Talán nem is a konkrét szintek megismerése a legfontosabb „üzenetünk” a tanulók számára, hanem az egymásra épülő (felnőtteknek szóló kifejezéssel: hierarchikus) szintezettségnek a meglátása. Ha „lefelé” eljutottunk odáig, ameddig a tananyag előír (és a gyerekek absztrakciós szintje lehetővé tesz), akkor elindulhatunk „fölfelé”. Érdekes módon itt sem követnénk mereven az egymás utáni szinteket. Például a faj fogalmát érdemes előbb kialakítani, mint a populációt. Az utóbbit ugyanis leginkább a faj „szűkítéseként” lehet értelmezni.

Az ökológiai kapcsolatok típusainak tanításakor eleinte még ne szorgalmazzuk, hogy táblázatosan képzelje el a gyerek a típusok rendszerét! Bőven elegendő, ha egészen konkrét példákon először csak azzal foglalkozunk, hogy egyáltalán mit értsünk azon, hogy az egyik élőlény a másik számára pozitív vagy negatív (vagy semleges) szerepű. Legjobb talán, ha velük gyűjtetünk példákat, és beszélgetünk arról, hogy mely élőlények ragadozók vagy élősködők, mit tudnak az antibiotikumokról, kiben volt már kullancs, tudnak-e kapcsolatot találni például a vakond és a széncinke között stb. Első lépésként tulajdonképpen sokkal fontosabb százféle konkrét kölcsönhatás feltárása és megértése, mint az, hogy ezek milyen kategóriákba sorolhatóak. A kölcsönhatások rendszerezése csak egy későbbi fejlődési szakaszban válik lehetségessé és fontossá.

### 6.2.3. Bolygónk mint élőlény?

#### A Gaia-elmélet lényege

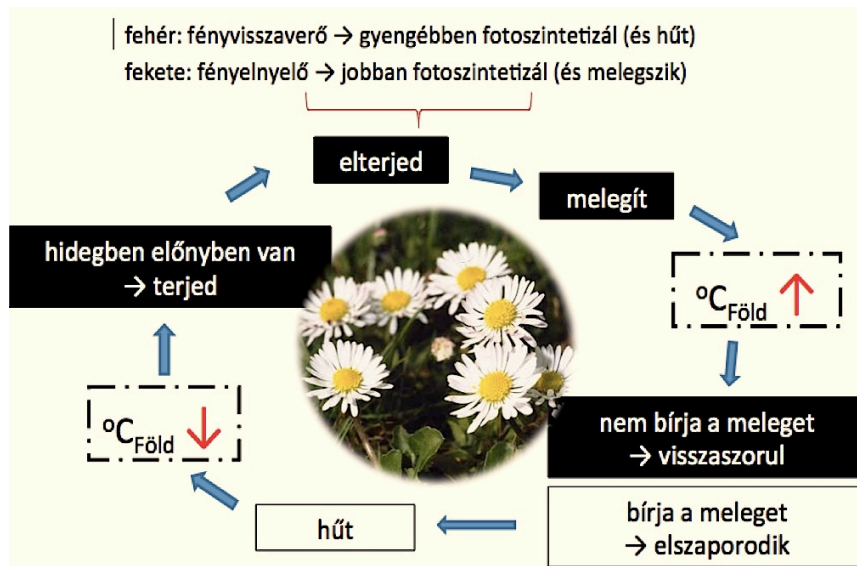
Az eddigiekből is kiderül, hogy az egész bioszféra – a Föld nevű bolygóval együtt – egyetlen nagy hálózat, egyetlen nagy rendszer. Ebből kiindulva többen is föltételezik, hogy amiként egy ökoszisztémának van önszabályozása, úgy talán az egész Föld is önszabályozó bizonyos mértékig. (Önszabályozás alatt itt az értendő, hogy negatív visszacsatolások révén stabilizálja valamilyen mértékben a meglévő állapotát, és ezzel biztosítja a földi élet lehetőségének fennmaradását.)

*James Lovelock* Gaia – A new look at life on Earth – (1979) című könyvében ezt írja: „A Föld lito-, hidro-, atmo- és bioszférája komplex, önszabályozó rendszer, amely képes az élethez szükséges fizikai és kémiai környezetet kialakítani/fenntartani.” Ez nagyon merész állítás, hiszen ezzel gyakorlatilag azt mondja, hogy a Föld (a rajta kialakult élettel együtt) gyakorlatilag „kvázi-élőlény”. Erre utal egyébként a Gaia névadás is, minthogy Γη (*Gé*) vagy másképpen Γαία (*Gaja*) a görög mitológiában a Földanya; a Földet és a termőföldet megszemélyesítő istennő (az ő nevéből származnak a geo- összetételű szavak (például geológia, geometria, geopolitika stb.). *Lovelock* sok támadásnak tette ki magát merész elmélete révén, ezért megpróbálta egy viszonylag egyszerű példával szemléltetni, hogy bizony létezhet ilyen önszabályozás földi méretekben is. Leghíresebb példája a „százsorszép-világ” (*Daisy-world*), amely nagyon leegyszerűsítve, de mégiscsak mutatja az önszabályozás lehetőségét (6.12. ábra, [library.thinkquest.org/C003763/flash/gaia1.htm](http://library.thinkquest.org/C003763/flash/gaia1.htm), [www.youtube.com/watch?v=CU7Keei-ClS](http://www.youtube.com/watch?v=CU7Keei-ClS)).

- Képzeljünk el egy bolygót, amelyen a százsorszépnek fekete és fehér változata is van, és beborítják a bolygó felszínét! Közismert fizikai törvény, hogy (leegyszerűsített fogalmazással) a világos felület visszaveri a ráeső fényt, a sötét pedig elnyeli.
- Ebből az következik, hogy a fehér egyedek egyrészt gyengébben fotoszintetizálnak, mint a feketék (hiszen nem nyelik el a fényt és így a fényenergiát), másrészt összességében hűtik a bolygót, hiszen „visszaküldik” a napenergiát a Világegyetembe. A feketék – pont fordítva – erősebben fotoszintetizálnak és melegítik a bolygót.
- Ezért a fekete egyedek – hatékonyabb fotoszintetizálásuknak köszönhetően – előnyösebb helyzetben vannak és el is szaporodnak (s ezzel visszaszorítják a fehérek arányát).
- Minthogy a bolygó összességében egyre sötétebb lett, emelkedik az átlaghőmérséklete.
- Egy idő után a feketék már nem bírják a meleget, mivel az emelkedő hőmérséklet azokat (a jobb hőelnyelésük miatt) inkább károsítja, mint a fehéreket.



- Ezért a feketék kezdenek visszaszorulni, és helyüket (a meleget jobban bíró, bár gyengébben fotoszintetizáló) fehérek veszik át.
- A bolygó tehát egyre világosabb színű lesz, és ebből következően az átlaghőmérséklete elkezd csökkenni.
- Egy idő után megint a feketék lesznek előnyben.



6.12. ábra. A „százsorszép-világ” (Victor A.)

Abból, hogy a Föld kvázi-élőlény, egyenesen következik, hogy van saját evolúciója (amire például a légkör négy milliárd éves története is szép példa), és van valamekkora tűrőképessége (és annak határa). Azt azonban sajnos még megbecsülni sem tudjuk, hogy mekkora ez a tűrőképesség és hol van a határa!

### A Gaia-elmélet a természetismeret tanítás-tanulás folyamatában

Kicsi az esélye annak, hogy a Gaia-elmélet tantervi anyag lesz valamikor. Az végképp csak érdekesség, hogy az önszabályozási képesség alapján egyesek szuper-élőlénynek tartják a Földet. Ugyanakkor szemléletileg fontos az arra való rávilágítás (rádöbentés), hogy negatív visszacsatolások formájában nemcsak növény- vagy állat-egyedek végzik életfolyamataik szabályozását, hanem ehhez hasonló önszabályozás globális szinten, Föld-méreteken is lehetséges (sőt folyik). Ezzel – akár csak játék szintjén is – érdemes foglalkozni.

#### Hallgatói kérdések és feladatok

1. Állítson össze olyan anyag-körforgást, amelyben szerepel a papír és a banán!
2. Állítson össze lineáris termelési-fogyasztási sort a PET-palackra és az íróasztalra vonatkozóan!

3. Hol van a helye az energia-áramlási folyamatban a kövér ember hájának, mi az eredete és mi a sorsa?
4. Fejtsen ki 3 különböző negatív visszacsatolási folyamatot egy 12 éves gyerekkel kapcsolatban!
5. Eldől egy oszlop. Mi a pozitív visszacsatolás ebben a folyamatban?
6. A globális melegedés következménye lesz, hogy fokozódik az óceánok vizének párolgása. Keressen ezzel kapcsolatos további lehetséges következményeket! Elemezze, hogy közülük melyik lesz negatív, és melyik pozitív visszacsatolásos!
7. Elemezze egy cserepes virág (mint egyed) szerveződési (ökológiai) szintjeit „lefelé”!
8. Keressen példákat arra, hogy a mezőgazdálkodás során csökkentik egy adott helyen a biológiai sokféleséget! Elemezze, hogy ennek mi lehet az előnye és a hátránya!

### 6.3. A környezettudatosság és a fenntarthatóság szemlélete

Írta: dr. Victor András

**Kulcsszavak:** környezetvédelem, Föld-védő életmód, ember–természet viszony, hálózatok, veszélyeztetett faj, indikátor faj, kihalás, élőhely

#### 6.3.1. A környezetvédő gondolkodás

##### A környezetvédő gondolkodás fejlődése

Mint ahogyan – azt az imént is bemutattuk – a bioszférában minden mindennel összefügg, nyilvánvaló, hogy nem lehet a rendszer valamely részét önmagában megvédeni, csak az egészet együtt. Azonban akármilyen evidens ez a gondolat, mégis csak az utóbbi évtizedekben fogalmazódott meg. A természetért aggódó emberek – főleg erdészek és vadászok – eleinte csak arra gondoltak, hogy egy-egy veszélybe került fajt kell védeni. A természetvédelem tehát úgy „indult”, hogy védeni kezdték például a nagykócsagot vagy az óriás pandát. (Mindkettő jelvényyé vált; az egyik a magyar természetvédők jelvényállata, a másik a WWF nemzetközi alapítvány címere.) A veszélyeztetett, azaz visszaszoruló vagy már a kipusztulás szélén álló fajok védelme valóban fontos feladat, és az ezeket a fajokat bemutató „Vörös könyvek” sokkoló és egyben figyelmeztető olvasmányok.

Egyes fajok valahonnan való kiszorítása, eltűnése mindig a jelzése valami olyan változásnak, amely már meghaladja az adott faj tűrőképességét. Ezzel kapcsolatban meg kell említenünk

az **indikátorfaj** fogalmát. Az indikátor szó jelentése: jelző. Vannak olyan fajok, amelyek a jelenlétükkel jeleznek valamit, például a csalán a megjelenésével a talaj magas nitrogéntartalmát, a dohánylevél a foltosodásával a levegő káros szintű ózontartalmát. Olyanok is vannak, amelyek viszont az eltűnésükkel jeleznek valamit, például a zuzmók és a kék cinegék a levegő szennyezettségét jelzik az adott területről való eltűnésükkel.

Később rájöttek a természetvédők arra, hogy nem elegendő a nagykovácsot megvédeni, ha nem védjük a táplálékát és az élőhelyét. Ezért a fajok védelme helyett egyre inkább az élőhelyek védelme került előtérbe. Ennek megfelelően jelöltek ki az illetékes hatóságok hazánkban is tájvédelmi körzeteket, majd nemzeti parkokat.

A következő szintet annak tudatosítása jelentette, hogy számos esetben nemzetközi szinten kell fellépni valaminek a védelme érdekében. Ezért sorra születtek a **nemzetközi védettséget** deklaráló egyezmények, például a vadon élő állatok kereskedelmével foglalkozó Washingtoni egyezmény, vagy a vizes élőhelyek védelmével foglalkozó Ramsari egyezmény. És lassan végre eljutunk annak felismeréséhez is, hogy csakis **globális szinten** gondolkodva lehet eredményes a természet- vagy környezetvédelem. A „Föld-úrhajó” fogalma fejezi ki ezt érzékletesen, rámutatva arra, hogy az „élő Föld” olyan, mint egy úrhajó, annyi java van csak, amennyit magával visz, és mindig a teljes (és egységes) rendszer működképességének fenntartása a cél. Örvendetes, hogy lassan a hazai egyházak is felismerik, hogy milyen fontos feladatuk a Föld védelme. A végeredményt tekintve mindegy, hogy valaki ökológiai látásmódjából következően véli úgy, hogy a Föld egészében védendő meg, vagy vallásos világnézetéből következően, hogy amire az Isten a teremtés napjainak végén következetesen azt mondta, hogy „minden, amit alkotott, igen jó” (*1. Mózes 1,31*), azt nekünk is értékelnünk és védenünk kell. Ennek a látásmódnak a talaján válnak egyházi gyülekezetek „ökogyülekezetté”, és ünneplik meg évente a „teremtésvédelem” zászlaja alatt a „Teremtés hetét”.

### **Miért és mitől kell védeni a természetet?**

Tegyük fel magunknak a címben szereplő kérdést! Válaszolhatjuk, hogy például azért kell védeni a természetet, mert veszélyes mértékben csökken a biodiverzitás (ami pedig a fennmaradás záloga). Becslések szerint óránként három faj pusztul ki, közöttük természetesen olyan is, amelyet még meg sem ismertünk. A legijesztőbb ebben az, hogy ennek a kipusztulásnak – legalábbis az emlősök és madarak esetében, az elmúlt évszázadban – 99%-a emberi hatásra következik be! Az is fenyegető körülmény, hogy nem tudjuk: melyiknek a kipusztulása milyen további következményekkel jár! Vagyis arra a kérdésre, hogy mitől kell védeni a Földet, sajnos az a rövid válasz, hogy az embertől! Mértéktelenül kihasználjuk a körülöttünk lévő világot. Kétségtelen, hogy nemcsak objektív szükségleteink ellátása érdekében, hanem szubjektív – és lényegében kielégíthetetlen – vágyaink kielégítése érdekében is.

Az élővilág kizsákmányolásának, sőt pusztításának messze a legfontosabb tényezője az, hogy – ilyen-olyan okokból – elfoglaljuk vagy megváltoztatjuk az élőhelyeket (szántóföldnek használjuk a hajdani erdőt, házat és utat építünk a mezőre, lecsapoljuk az ártérről a vizet, kiirtjuk a mangrovét stb.). Ez ellen némely faj úgy védekezik, hogy beköltözik az ember által alkotott terekre (például városokba), és ott keresi meg az életlehetőségeit (például nálunk és napjainkban a nyest vagy a szarka). Ez a megoldás azonban kivételes, csak egyes fajok számára lehetőség.

Vegyük számba példákon keresztül, hogy milyen formákban **teszünk kárt a természetben!**

- A legáltalánosabb probléma az, hogy az ember a **terjeszkedésével** elveszi a növények és az állatok élőhelyét. Felszántjuk a rétet, kivágjuk az erdőt, lebetonozzuk (utak, házak, gyárak stb. építésével) a talajt, és ezzel megszüntetjük ott élő lények létfeltételeit. Az erdőirtással kapcsolatos adat, hogy az Alföld erdősültsége a honfoglalás korában még 66% körül volt, ma pedig csak kb. 20%.
- Azzal is elveszük fajok élőhelyét, hogy gazdasági célokból más növényeket vagy állatokat **telepítünk a helyükre**. Például a szarvasmarha-legelő kialakítása céljából kivágunk egy őserdő-területet, vagy a kukoricatermesztés érdekében felszántjuk, tehát megszüntetjük az eredeti gyepet.
- Az óceánok **túlhalászása** is óriási károkat és veszélyeket rejt magában. Becslések szerint az Atlanti-óceán 47%, a Balti-tenger 70%, a Földközi-tenger 80%-ban túlhalászott állapotban van. Sok halfaj (és más fajok) lehalászása olyan mértékű, hogy fennáll a veszélye a populáció összeomlásának és a faj eltűnésének az adott területről (vagy talán a Földről). A gazdaságilag jelentős halak (például a tőkehal) 35%-a végveszélyben van.
- Gazdasági okai vannak hegyek **lebányászásának** is. Például a Naszály számottevő része eltűnt már a cementgyárak kemencéiben, a gyönyörű – kultúrtörténetileg is értékes – romániai Verespatak pedig áldozatul eshet a kanadai tulajdonú aranyüzemeknek.
- Egyes állatfajok **luxusigények** vagy (tév)hitek miatt kerültek veszélybe. Például az „elefántcsontpiac” megrendelésére az afrikai elefántok száma 100 év alatt kb. a tizedére csökkent. Az orrszarvúk az orrvadászok áldozatául esnek, mert tülkének a porát afrodiziákumnak (azaz szexuális vágyat fokozó szernek) hiszik. Medvék szenvednek ketrecbe zárva, májukban kanüllel, mert a kínaiak csodagyógyszernek tartják az epét.
- A **divat, a szórakozási és a sport igények** is veszélyesek lehetnek állat- és növényfajokra. A darut például kegyetlenül vadászták a kalap mellé tűzendő darutoll divatja miatt. Az amerikai vándorgalamb hajdan milliós csapatokban vonult, de sportvadászata olyan „sikeres” volt, hogy 1899-ben lelőtték az utolsó egyedet is. A golfpályák elkerülhetetlenül ökológiai sivatagok, ugyanis ott semmiféle más élőlénynek „nincs helye”, csak egy meghatározott fűfélének. A sípályák alatti talajok is komoly

veszélyben vannak a hóágyúk miatt, ugyanis a természeteshez képest többszörös a vízterhelésük.

- A **turizmus** a gazdag világ egyik leginkább természetterhelő időtöltése. Tengerparti szállodasorok építése miatt ma a mediterrán homokdűnék 50%-a biológiailag halott, eredeti élővilágából csak a legellenállóbb gyomnövények maradtak meg.

### A természettel kapcsolatos szemléletmódunk

Az ember felsőbbrendűsége „tudatában” sajnos igen gyakran agresszív a természettel szemben, és ott is erőszakot tesz rajta, ahol nem szükséges. Melyek e „felsőbbrendűség” árulkodó kifejezési formái? Például amikor először járt európai ember a Kibon vagy az Északi-sarkon, minden újság beszámolt a *meghódításukról*. Fogalmazhattak volna úgy is, hogy *tiszteletteljes látogatás, sőt személyes hódolat* a Kibon, és nem úgy, mintha legyőzendő ellenség lenne (legfeljebb önmagát győzte le a felfedező, nem a hegyet). Büszke írások szóltak és szólnak arról, hogy az ember igába fogta a természet erőit, pedig „csak” arról van szó, hogy **felhasználjuk valamire a természeti energiákat**. A Tiszát is *szabályozták* a Vásárhelyi-terv szerint, pedig csak (részlegesen) *kiegyenesítették*. Ez a fogalmazás is úgy szól, mintha addig a Tisza szabálytalan lett volna, pedig lényegében éppenséggel addig volt szabályos, mármint a természet szabályainak megfelelő. Ezek a szavak arról árulkodnak, hogy amit teszünk a természetben, a természettel, azt a természetet lenézve – valamiféle emberi felsőbbrendűségi érzéssel – tesszük. A „keresztény Európa” azt megtanulta a Bibliából, hogy „hajtsátok uralmatok alá” a Földet (*I. Móz 1,28*), de azt sajnos nem, hogy „műveljétek és őrizzétek” (*I. Móz 2,15*).

Különösen érdekes a természethez való viszonyunkban, hogy akik kivágnak a természetbe és vesznek maguknak egy hétvégi telket, azok közül nagyon sokan ott szinte az utolsó fűszálig mindent átalakítanak, vagyis mesterségesse – emberi alkotássá – teszik a helyet. Mintha kevesellnék a természet „önként nyújtott” szépségeit, és meg akarják toldani azokat a saját elképzeléseikkel. A természetes lét emberi elképzeléseknek és úgymond esztétikai igényeknek való durva alávetése az is, ahogyan például a „francia parkokban” szobrokat formálnak a fákból és bokrokból, vagy ahogyan a budapesti Deák téren drót-kockákba zárják a fák koronáját, és ami kilóg, azt levágják. Vagy gondoljunk csak arra, ahogyan sok kutyafajtának természetidegen formára nyírják a szőrét (vagy esetenként akár a farkát és fülét is).

Tanulságos megnézni, hogy mit mond a tojásokon lévő pecsét. Minden vásárolható tojásnál kell legyen egy pecsét; ennek az első karaktere egy szám, amely a tojást tojó tyúk tartási körülményeit jelzi.

- 0 – biotojás, ökológiai tartásból
- 1 – szabadtartás, kifutós tartási rendszerből
- 2 – alternatív vagy mélyalmos tartási mód

### 3 – ketreces tartásmód

Az átlagos vevő gyakorlatilag nem találkozik 0-kódos tojással, az esetek döntő többségében 3-as jelű tojással találkozunk az üzletekben. A ketreces tartás úgy történik, hogy a tyúkok egy óriási drótketrec-hálózatban vannak, egymás mellett és alatt-fölött lévő „lyukakban”. Ebben a ketrecben töltik az életüket, szabad eget soha sem látnak, és a nagy zsúfoltság miatt folyamatos stresszhatás éri őket. Gyakorlatilag tojógépeket csinálnak ezekből az állatokból: csak esznek az előttük elhaladó szállítószalagról és tojják a tojásokat. Annak érdekében, hogy meg ne sértsék egymást a zsúfoltság miatt, sok helyen levágják a csőrük végét. Vagyis egyértelmű, hogy nem állathoz méltó életkörülmények közé kényszerítjük ezeket a lényeket.

#### A környezetvédő gondolkodás és a természetismeret tananyaga

A **környezetvédő, Föld-védő életmód** alapvetően attól függ, hogy ki milyen értékeket követ. A kulcs-szavak: mértékletesség, előrelátás, a szépség meglátása a természetben és a kicsiben. Ennek az **értékrendszernek** az elsajátításában nem annyira a tananyag tartalma, hanem a pedagógus személyisége a meghatározó. Az a legfontosabb, hogy a tanuló meglássa, megérezze, hogy a tanára mit tart fontosnak, esetleg még úgy is, ha kiderül, hogy a körülmények vagy emberi gyengeség miatt a tanár sem tudja mindig követni azokat az értékeket, amelyeket pedig fontosnak gondol. Ez a **példamutatás** valamennyire meg is tervezhető. Nem olyan értelemben, hogy minden adódó alkalommal „levonjuk a környezetvédő tanulságot”, hanem úgy, hogy tudatosan betervezzük azokat a témákat, amelyek lehetőséget kínálnak a környezetvédő szemlélet erősítésére. A megtervezés alatt csak annyit értünk, hogy a témakör végiggondolásakor ne feledkezzünk meg a lehetséges környezeti vonzatokról. Nézzünk mutatóban néhány konkrét példát (6.3. táblázat)!

Témakör	Környezeti vonzat
Energia	Csak a fel nem használt energia környezetbarát!
Vízi élővilág	Sok halfaj a kipusztulás szélén áll a túlhalászás miatt.
Rovarok	Szúnyogirtáskor más rovarok is pusztulhatnak.
Táplálkozás	Szükségesebnél többet enni nemcsak egészségtelen, környezetterhelő is.
Szántóföld	Ahol csak pl. kukorica van, az ökológiailag természetellenes.

6.3. táblázat. Példák a környezetvédő szemlélet erősítésére (Victor A.)

A **mértékletesség** kérdése életünk szinte minden területén előjön. Az evésben, a játékban, a vásárlásban stb. Minden tevékenységünk anyagok és energiák fogyasztását igényli, ezért ha minden döntésünkben okosan mérlegelünk, akkor gyakorlatilag biztos, hogy összességében kevésbé fogjuk terhelni a környezetet. Ez a téma a természetismeret tanításában lépten-nyomon előkerül, hiszen végig anyagok (ideértve az élettelen természet anyagait és az élőlényeket is!) valamely célra való felhasználásáról van szó. Az energiafogyasztással kapcsolatban érdemes rávilágítani arra, hogy valamilyen formában minden energia-„termelés” terheli a környezetet; csak a mértékük különbözik. A környezetbarátnak számító

napenergia a napelemek gyártása közben, a vízi energia a folyók életébe a gátak építésével való durva beavatkozással, a szélenergia a madarakat veszélyeztető szélkerekekkel árt a természeti környezetnek. Ezért – bár az sem mindegy, hogy melyik energiatermelő folyamatra alapozzuk az életünket – a legfontosabb kérdés az, hogy mennyi energiát használunk hűtésre-fűtésre (a háztartási energiafogyasztásnak ez a legnagyobb szelete!), hőtakarékosan szellőztetünk-e, spórolunk-e a világítással, terepjáróval közlekedünk-e ott is, ahol a bicikli is megtenné, folyton messzi tájakra megyünk-e nyaralni.

„**A kicsi szép**” jelmondat értelmét leginkább talán azáltal fogadhatják el a gyerekek, ha látják a felnőtten, hogy őszintén rá tud csodálkozni egy kavics, egy vadvirág, egy fűszálon csillogó harmatcsepp szépségére. Ha látják rajta, hogy nemcsak a különleges, egzotikus természeti dolgokat értékeli, hanem a mindennapi, hazai, kicsi dolgokat is. A „kicsi” szép elve nem a „nagy” ellen van, hanem a „feltétlenül nagy” ellen. Nyilvánvaló, hogy nagy gyönyörűség meglátogatni az Etnát, a Grand Canyont, a grönlandi gejzíreket és más világgraszoló természeti csodát. Csak közben nyitva maradjon a szemünk és szívünk a mindennapi csodákra, az itthoni (persze kevésbé világgraszoló) szépségekre; a Balaton-felvidéki települések utcaképeire, a somogyi dombok ritmusára, a Szigetköz zugaira vagy akár csak egy szarka szárnyának irizálására.

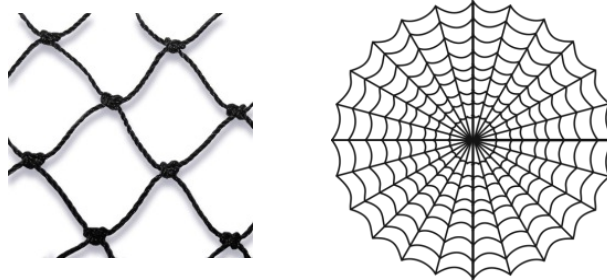
### 6.3.2. A hálózatok világa

A rendszer-szemlélet (ökologikus vagy környezeti gondolkodásmód) kapcsán meg kell említenünk a **hálózatokban való gondolkodást**. A természetben ugyanis – és az emberi társadalomban is – rengeteg **hálózat** van. Az emberek az ismerőseikkel egyfajta hálózatot alkotnak, a közlekedés hálózatban folyik, az internet szintén hálózat, a kommunikáció egyre nagyobb hányada mobiltelefon hálózatokon bonyolódik le, kb. 30 ezer génünk is bonyolult hálózat része. A gének ezerféle kapcsolata összességében olyan komplex hálózatot alkot, amelyben a lehetséges variációk száma elképesztően nagy. A génjeinket most már ismerjük, a hálózatukat viszont még csak kevésbé. Erről ír *Barabási-Albert László* *Behálózza* című könyvében: „Most már ismerjük néhány fontos élőlény – az *Escherichia coli* baktériumtól az emberig – teljes génállományának felépítését. De még csak a kezdeténél tartunk egy másik hasonlóan forradalmi kalandnak: hogy feltárjuk a géneknek a sejt működésében játszott szerepét. Ahhoz, hogy ezt elérjük, szükség van egy második genomprojektre, amely ezúttal a sejten belüli hálózatot térképezi fel. Rendelkezzünk „az élet könyvével”; most már az élet térképére van szükségünk.”

## Hálózattípusok a világban

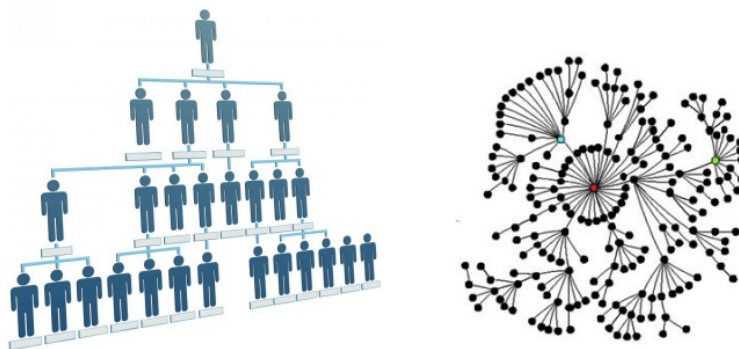
Mostanában kezdjük csak tanulmányozni és megérteni azt, hogy miféle hálózatok léteznek egyáltalán, és azok hogyan, miféle törvényszerűségek szerint működnek. A sokféle hálózat közül nézzük most meg három alaptípust!

1. Az **egyszerű vagy elosztott hálózat** olyan, mint a halászháló, benne minden szem azonos módon kapcsolódik a szomszédaihoz. Ennek változata a pókháló, amelynek ugyan van valamiféle geometriai közepe, de a háló szemei (a fonalak kapcsolódási pontjai) ugyanúgy egyenrangúak, mint a halászhálóa (6.13. ábra).



6.13. ábra. Az egyszerű hálózati szerkezetek

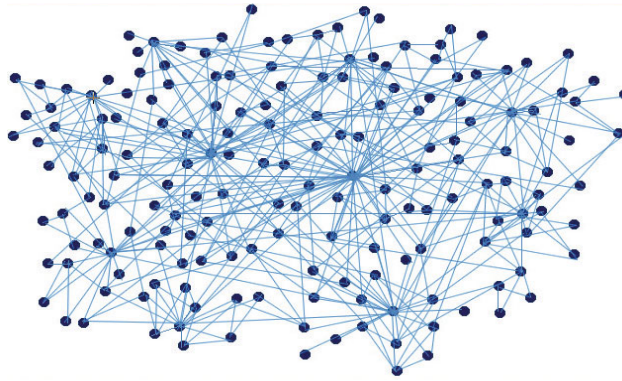
2. A **központos hálózatban** van egy központ, ahhoz kapcsolódnak alközpontok, azokhoz alközpontok és így tovább (6.14. ábra).



6.14. ábra. Központos hálózati szerkezetek

3. Ma már tudjuk (többek között éppen *Barabási* kutatásai nyomán), hogy a természetben és a társadalomban működő (és folyamatosan alakuló) hálózatok nagy része egészen más logikájú. Ezek a természetes hálózatok – új névvel – **skálafüggetlen hálózatok**, amely elnevezés arra utal, hogy a hálózat szemei „rangjukat” tekintve nem illeszthetők semmiféle skálára. Vannak kiemelkedő fontosságú skálapontok, vannak kisebbek, és vannak egészen marginálisak is (6.15. ábra).





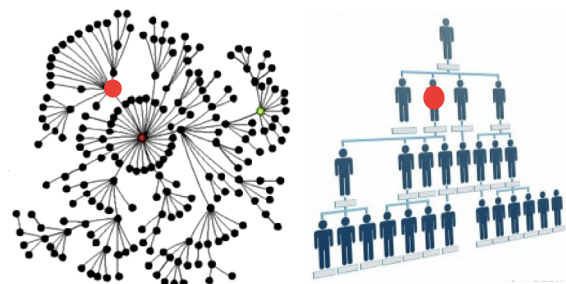
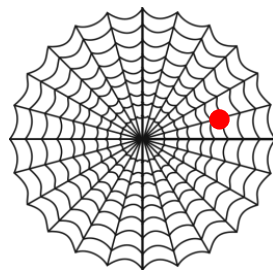
6.15. ábra. A skálafüggetlen hálózat szerkezete

### Az egyes hálózattípusok sérülékenysége

Nagyon fontos kérdés, hogy melyik hálózat mennyire sérülékeny, azaz hogyan viseli el egy-egy láncszem kiesését (sérülését). Az egyszerű hálóznak előnye, hogy alig sérül, ha valahol elszakad (6.16. ábra). Ha egy halászháló valamelyik szeme hiányzik, akkor ott a nagyobb lyukon néhány hal esetleg ki tud szökni, ez azonban a teljes halfogásnak csak kis töredéke. A háló így is ellátja feladatát. Ugyanakkor a természeti világban létező komplex rendszereknek (a sejtek kapcsolatainak, az idegrendszernek vagy egy táplálék-hálózatnak) nem lehet a sablonja, mert ahhoz túlságosan alacsony az egy csomópont által alkotható kapcsolatok száma, vagyis kicsi a háló komplexitása. A központos háló károsodásának mértéke attól függ, hogy milyen szintű központ sérült. Szélsőséges esetben az egész hálózat működésképtelenné válik egyetlen láncszem kiesésétől (6.17. ábra). Egy hadseregben minél magasabb beosztású katona „esik ki”, annál nagyobb a zavar. Egy középkori csatában a király halála akár a teljes vereséget is jelenthette. Vagyis egyetlen láncszem kiesése a teljes hálózat szétesését okozta. Ez a hálótípus tehát lehet ugyan magas szinten komplex, viszont nagyon sérülékeny, ezért korlátozottan alkalmas csak ökológiai rendszerek számára.



6.16. ábra. Az egyszerű hálózat sérülései

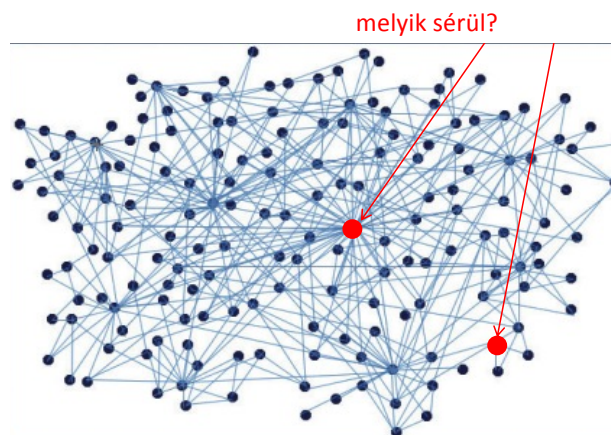


6.17. ábra. A központos hálózat sérülései

A skálafüggetlen hálózatok sérülésének mértéke attól függ, hogy sok vagy kevés kapcsolata volt-e a kiesett hálózatszemnek. Véletlenszerű „támadás” esetén kicsi az esélye annak, hogy a hálózat súlyosan sérül. Ha azonban a háló szerkezetét pontosan ismerő „hacker” olyan csomópontot támad, amelynek nagyon sok kapcsolata van, akkor a háló komolyan sérül. Ugyanakkor még egy viszonylag súlyos sérülés sem jelenti a hálózat teljes szétesését,

ellehetetlenülését (6.18. ábra). Ebben az értelemben tehát a skálafüggetlen hálózatok nyújtják a legnagyobb valószínűségű garanciát a rendszer túlélésére, ez a hálótípus jelenti a legnagyobb mértékű rezilienciát (helyreálló képességet). Nem véletlen tehát, hogy az evolúció során lassan kifejlődő hálózatok – táplálékláncok, falkán belüli együttműködések stb. – nagyrészt ilyenek, továbbá a társadalomban alulról jövő, spontán alakuló hálózatok – például a Facebook hálózat vagy általában az internet világa – is ebbe a típusba tartozik.

Befejezésül ismét *Barabási* gondolatait idézzük: „Miközben a huszadik századot a fizika évszázadának láttuk, a huszonegyedik századról gyakran azt jósolják, hogy a biológia évszázada lesz. Egy évtizeddel ezelőtt kísértésbe eshettünk volna, hogy a gének századának nevezzük. Kevés ember merné most ezt mondani az új évszázadról, amelybe éppen átléptünk. Valószínűleg a komplexitás százada lesz. És a biológiai hálózatok évszázada is. Ha létezik olyan terület, amelyben a hálózati gondolkodás forradalmat idézhet elő, azt hiszem, az a biológia.”



6.18. ábra. A skálafüggetlen hálózat sérülései

## A hálózatok tanítása a természetismeretben

A hálózatosság tanításához két játékot ajánlunk. Az első a „minden mindennel összefügg” gondolatot szemlélteti, a másik pedig azt, hogy a természeti (skálafüggetlen) hálózatok viselkedése milyen nagymértékben függ attól, hogy melyik láncszem helyzetét változtatjuk meg.

### Gubanc-játék

- A gyerekek kapnak egy-egy papírtáblácskát, amelyet a nyakukba akasztanak. Mindegyikre egy erdő életének más-más tényezője van (nagy betűkkel!) felírva (pl. talaj, napsugár, eső, fa, harkály, gomba stb.).
- Körbe állnak úgy, hogy mindenki elolvashassa a többiek nyakában lévő táblácskát.
- A pedagógus egy spárga-gombolyagot ad valamelyik (pl. a fa) játékos kezébe azzal a megjegyzéssel, hogy a játék végéig erősen fogja a madzag végét, de dobja a gombolyagot valakinek a körben, akivel kapcsolata van, s ezt a kapcsolatot mondja is ki hangosan. (Pl. a harkálynak dobja, s elmondja, hogy „dobom a harkálynak, mert odút készít bennem”.)
- A második játékos egyrészt megmarkolja és feszesen tartja a madzagot, és dobja a gombolyagot egy további játékosnak (természetesen megfogalmazva a közöttük lévő kapcsolatot).

- Ha már mindenki fogja a madzagot (esetleg néhányan már többszörösen is), akkor a játékvezető arra kéri valamelyik játékost, hogy üljön le vagy lépjen hátra két lépést. (A spárgát persze mindenkinek továbbra is feszesen kell tartania.)
- Végül megbeszéljük a tanulságokat egyrészt a kapcsolatok sokrétűségéről, másrészt arról, hogy egy ilyen hálózat valószínűleg mindenestül megváltozik kisebb-nagyobb mértékben, ha akár csak egyetlen láncszemével történik valami.

### Háromszög-játék

- Ez a játék akkor működik jól, ha viszonylag sok – húsznál több – gyerek van együtt. A gyerekek körbe állnak, és az a feladatuk, hogy titokban (úgy, hogy a másik gyerek ezt ne vegye észre) kiválasztanak a társaik közül kettőt.
- Ezután az a feladat, hogy helyezkedjenek el úgy a (kellően nagy) területen, hogy egyforma távolságban legyenek a két „kiválasztott” társuktól (akik továbbra sem tudhatják, hogy ők valakinek a kiválasztottjai-e). [Nagy nyüzsgés lesz, hiszen ha egy ember arrébb megy, hogy megfeleljen a feladatnak, akkor szinte biztos, hogy másoknak is mozdulniuk kell. De előbb-utóbb ki fog alakulni a rendszer.]
- A játékvezető ekkor kiválaszt egyet a játékosok közül, és őt néhány méterrel arrébb vezeti.
- A következő fordulóban ő nem mozdulhat onnan, ahova a játékvezető vitte, de a többieknek megint teljesíteniük kell az eredeti feladatot (hogy t.i. a két „kiválasztott” társuktól egyforma távolságban legyenek).
- Zárásként megbeszéljük a tapasztalatokat, közöttük azt is, hogy mitől függött, hogy amikor a játékvezető egy tanulót arrébb vitt, akkor utána nagy (vagy éppen viszonylag kicsi) volt-e az újabb nyüzsgés.

Ez a játék tehát a természeti (skálafüggetlen) hálózatoknak arra a sajátosságára hívja fel a figyelmet, hogy egy ilyen hálózatban egyáltalán nem mindegy, hogy melyik csomópont helyzetében történt külső beavatkozás révén változás.

### 6.3.3. A fenntarthatóság szemlélete

A **fenntarthatóság** fogalma viszonylag új, ezért még nagyon sok értelmezési probléma van körülötte. Maga a szó (sokak szerint nem szerencsésen megválasztott szó) azt fejezi ki, hogy egy folyamat (például az ipari termelésünk vagy akár az egész életünk) évszázadokig vagy még tovább folytatható. Azt jelenti, hogy valami – persze kisebb-nagyobb változásokkal, de – nemcsak ideig-óráig működhet, hanem nagyon sokáig, mert maga a folyamat és annak környezete is olyan marad, hogy ezt lehetővé teszi. A hivatalos meghatározás szerint az az életforma fenntartható, amely nem csökkenti a következő generációk életlehetőségeit, nem akadályozza őket abban, hogy ugyanolyan teljes életet éljenek, mint mi most.

Ez a mi mostani (európai, a „fejlett” világra jellemző) életformánkra sajnos nem mondható el. Sok-sok tényező közül most csak egyet említünk, ez pedig a kőolaj-földgáz kérdése. A mi mai civilizációnk olyan szélsőséges mértékben függ a kőolajtól (földgáztól) és azok származékaitól (például a benzintől, a kerozintól, a gázolajtól), hogy ha politikai csetepaté miatt leáll egy olajkút, vagy elzárnak egy szénhidrogén-vezeték, akkor ebbe „beleremeg” az egész világ gazdasága még akkor is, ha ez a kút mindössze 2%-át adta a világ teljes termelésének vagy a szénhidrogén-kereskedelmi forgalmának. Működésképtelen a fejlett világ élete, ha nem állandó a kőolajellátás. Mivel azonban a kőolaj- és földgáz-források

előbb-utóbb kimerülnek, nyilvánvaló, hogy unokáink, dédunokáink nemzedékének számottevően csökkennek a lehetőségei. Ami a mi „gazdagságunkat” és jólétünket biztosítja, az nekik már nem (vagy csak korlátozottan) fog rendelkezésre állni.

A fenntarthatóság gondolatának tehát az a magva, hogy minden cselekedetünkben, minden választásunkban, minden döntésünkben figyelembe kell vennünk a következő – még akár meg sem született – generációk szempontjait, érdekeit. Ez pedig azt követeli meg, hogy a Földet – annak élő és élettelen rendszereit – „működőképes” állapotban kell hagynunk illetve tartanunk. Szelídebben, kíméletesebben – mértékletesebben! – kellene bánnunk a Föld erőforrásaival, megőrizve azokat az utódaink számára. A fenntartható élet szemléletmódjára való nevelésnek egyetlen módszere van, a **személyes hitelesség**.

### Hallgatói kérdések és feladatok

1. Keressen természetvédő szervezeteket jelző logókat! Értelmezze azok tartalmi és pszichológiai oldalát!
2. Értelmezze a „Föld-úrhajó” kifejezést! Kifejezi-e a lényegét? Indokolja a választát! Van-e hátrányos oldala, és ha igen, mi az?
3. Keressen példákat saját lakóhelyén arra, hogy egy növény- vagy állatfaj eltűnésének az élőhely elvétele az oka!
4. Értelmezze az okait és következményeit annak, hogy ma a Földön az emberi faj után tömeg (kg) alapján számítva szarvasmarhából van legtöbb!
5. Keressen művészeti alkotásokat, amelyek azt sugallják, hogy az ember magasabb rendű az állatoknál!
6. Értelmezze a mértékletesség és a jó dolgokról való fájdalmas lemondás közötti különbséget!
7. Magyarázza el, hogy a pókhálót miért nem a központos hálótípusba soroljuk!
8. Egy csimpánzcsoportban az egyedek közötti kapcsolatoknak elég erős központos háló jellege van. Mik ennek a következményei?
9. Hogyan változik egy több évszázados őserdőben egyik évről a másikra a biomassa, és hogyan az egyes fajok mennyisége?

## A fejezetben felhasznált és ajánlott irodalom

1. *Albert J. – Varga A. (szerk., 2004):* Lépések az ökoiskola felé, Országos Közoktatási Intézet, Budapest, pp. 11–54.
2. *Barabási A.-L. (2010):* Villanások. Libri Könyvkiadó, Budapest, 336 p.
3. *Barabási A.-L. (2013):* Behálózva. Helikon Kiadó Kft., Budapest, 320 p.
4. *Csányi V. (2007):* Az emberi viselkedés. Sanoma Budapest Kiadó Rt., Budapest, 392 p.
5. *Demeter Z. – Gondos G. – Honti Sz. (szerk., 2003):* Gondolatok a fenntartható fejlődésről. Zöld Akció Egyesület, Miskolc
6. *Goleman, D. (2009):* Zöld út a jövőbe. Nyitott Könyvműhely Kiadó Bt., Budapest, 240 p.
7. *Gore, A. (1993):* Mérlegen a Föld. Föld Napja Alapítvány, Budapest, 419 p.
8. *Gore, A. (2006):* Kellemetlen igazság. Göncöl Kiadó, Budapest, 328 p.
9. *Heinrich, D. – Hergt, M. (1994):* Ökológia. SH atlasz. Springer-Hungarica 214 p.
10. *Kiss F. – Webster, K. (szerk., 2001):* A környezet védelmétől a fenntarthatóság felé. Bessenyei Kiadó, Nyíregyháza, 213 p.
11. *Koestler, A. (2007):* Alvajárók. Európa Könyvkiadó, Budapest, 864 p.
12. *Lányi A. (szerk., 2000):* Természet és szabadság. Osiris Kiadó, Budapest, 283 p.
13. *László E. (2002):* Meg tudod változtatni a világot. Magyar Könyvklub, Budapest, 111 p.
14. *László E. (2009):* Új világkép. Nyitott Könyvműhely Kiadó Bt., Budapest, 160 p.
15. *Liedloff, J. (2010):* Az elveszett boldogság nyomában. Kétezerregy Kiadó, Piliscsaba, 196 p.
16. *Lükő I. (2003):* Környezetpedagógia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 251 p.
17. *Margulis, L. (2000):* Az együttélés bolygója. Vince Kiadó, Budapest, 156 p.
18. *Nánási I. (szerk., 2005):* Humánökológia. Medicina Könyvkiadó, Budapest, 543 p.
19. *Peccei, A. (1984):* Kezünkben a jövő. Gondolat Kiadó, Budapest, 191 p.
20. *Schmuck E. (szerk., 2010):* Jövőkereső. Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács,
21. *Tillmann, J. A. (1994, 2004):* A későújkor józansága I-II. Göncöl Kiadó, Budapest, 213 p., 235 p.
22. *Varga É. (szerk., 2010):* Hétköznapi kalauz. Föld Napja Alapítvány, Budapest, 408 p.
23. *Zsolnai L. (2001):* Ökológia, gazdaság, etika. Helikon Kiadó, Budapest, 165 p.