

Talajtani ismeretek a rendszer- szemléletű környezeti nevelésben

A szárazföldi ökoszisztémákban a talaj az a közeg, az a nagy felületet biztosító fizikai-kémiai rendszer, amelyben olyan általános anyag- és energiaforgalom zajlik, amelynek közvetítésével a növények képesek a földi körülmények közötti egyetlen „ingyenes” energiát, a Nap energiáját hasznosítani a fotoszintézisen keresztül. Eppen ezért a különböző természetes talajok és a művelt termőföldek fokozottabb figyelmet és nagyobb védelmet igényelnének.

A túlnépesedő emberiség élelmiszerellátásának biztosításához kénytelen az ember a talajokon intenzív természetést folytatni, ami zavart okoz a természetes anyagforgalomban és a termőföldek általános leromlásához, valamint egyéb környezeti károsodásokhoz vezet. Gyorsan változó világunkban, amikor az éhínség számos régióban fenyegeti a népességet, fokozódik az elsivatagosodás veszélye, különösen fontossá válnak a mezőgazdasággal, s közülük is talán a legfontosabbak a talajjal és a vízzel kapcsolatos tényezők.

A napjainkban jelentkező súlyos problémák – mint a túlnépesedés, az éhínség, az energiaforrások kimerülése, az ózonpajzs elvékonyodása – miatt a bioszféra egyensúlya megbomlik. A fenntartható fejlődés alap gondolatát szem előtt tartva hatékony védelem csak a különböző területek: a természetvédelem, a környezetvédelem és a mezőgazdasági természet kölcsönhatásainak figyelembevételével képzelhető el. A jelenlegi állapotok helyes felmérése és a lehetséges, bekövetkező változások miatt egyre inkább előtérbe kerül a rendszerszemléletű, ökológiai megközelítés. Az ökológiai elemzések – amelyek az élő rendszerek és a környezet kölcsönhatásait boncolgatják – mellett egyre jelentősebbé válnak az alkalmazott ökológia kérdései is, amelyek viszont a mezőgazdasági rendszerek és a természetes rendszerek kölcsönhatásait vizsgálják.

A rendszereket anyag- és energiaváltozásokkal, tér-idő szerkezettel jellemezhetjük, a múlt-jelen-jövő összefüggésrendszerén belül a meghatározott térben, de időben állandó változásokat kell figyelemmel kísérnünk. Az élővilág evolúciója során az emberrel olyan biológiai lény jelent meg, aki társadalmi lény is – társadalomban él, amelyben a társadalmi szabályoknak veti alá magát. A túlnépesedés miatt az ember elszakadt a természettől, elidegenedett tőle, szerepe túlságosan megnőtt a Földön; mint élőlény, akár tudomást vesz róla, akár nem, a természetes rendszerek része, viszont különböző beavatkozásokkal megbontja a természetes szabályozási rendszereket. Talán egyáltalán nem véletlen, hogy a tudományos rendszerelmélet kidolgozója biológus, *Ludwig von Bertalanffy* volt, aki felismerte, hogy a földi életben mennyire fontos a természetes egyensúly, és ugyanakkor egy hatalmas, összefüggő rendszer egyensúlyáról van szó.

A tudományos megközelítés hogyan jutott el ideig?

A részből vagy az egészből kiinduló gondolkodásmódok az ókori filozófiai iskolák tanításaitól kezdve szembenállnak egymással. Az újkori természettudomány kialakulásáig a két gondolkodásmód közötti vitának csak teoretikus jellege volt és lényegében a filozófiai

iskolák közötti vitákra korlátozódott. A 18. századi természettudományos megközelítésre az volt a jellemző, hogy a teljes tapasztalati világ iránti érdeklődés és a világnak egész-ként való szemlélete felületességhez, dilettantizmushoz vezet. A 19. század végétől támadt fel a tudósokban az igény, hogy nem az egyes folyamatokat, dolgokat kell tanulmányozni, hanem az egész rendszer változásait kell vizsgálat alá vetni. A „rend” fogalmával először *Hegel* filozófiájában találkozunk. Eszerint a világban valamiféle rend uralkodik, amit az ember mesterséges szabályozással megbont, mert tulajdonképpen nincs fogalma magáról az egész rendszerről, amelyben a rendnek kellene uralkodnia. Az ember, miközben a maga emberi világát megteremti, egy tőle idegen, vele szemben álló világot hoz létre.

A középkorban, de még később, a felvilágosodás századaiban is, egészen a századfordulóig, a hagyományos tudományos gondolkodást elementarista elvek irányították. Ma a fejlődés valamennyi tudományágban nem elemi, hanem totális problémákat vet fel. A rész tanulmányozása helyett megjelenik az egész, a szervezet, a dinamikus kölcsönhatás problémája. A különféle tudományágak gyakran használják a rendszer fogalmát (pl. természeti rendszer). Számos tudományágban fontossá vált a kérdések rendszerszemléletű megközelítése, ugyanakkor tisztázni kellett, hogy mit is jelent a rendszer? Vannak-e a rendszernek közös tulajdonságai, vonásai? Mindezek a kérdések elválaszthatatlanok a tudományok belső fejlődéséből származó problémáktól, a rész és egész dialektikájának tisztázásától.

A Földet globálisan, rendszerben kell vizsgálnunk. A rendszerek akkor működnek jól, ha egyensúlyban vannak. Alapkérdésünk tehát az, hogy a Föld globális egyensúlyát milyen tényezők zavarják? Meg kell próbálnunk képet alkotni az egész rendszerről, s azt jobban megismerve nagyobb felelőséggel gondolkodunk bolygónk életének jelenéről és jövőjéről.

A talajok és termőterületek védelme szempontjából figyelembe kell vennünk a különböző kölcsönhatásokat. Ezek közül a legfontosabbak a talajképző közet – talaj – víz – tápanyag – a talaj élővilága közötti dialektikus kapcsolatok. A talajtani ismeretek rendszerében fontos a Földnek mint bolygónak a kialakulása, illetve az ezzel kapcsolatos tények elhelyezése az ismeretek rendszerében. A csillagászati és űrmegfigyelések alapján az emberiségnek mára be kellett látnia azt aényt, hogy bár a Naprendszerben az élet számos elemi lehetősége adott, mégis a „kék bolygó”, a Föld az egyetlen, amelyen az élet magas szintű, rendszerszerveződési folyamatában a bioszféra létrejöhett. Ennek pedig alapvető feltétele a Földnek mint bolygónak a Naprendszerbeli elhelyezkedése.

Ötmilliárd évvel ezelőtt a Föld eredeti atmoszféráját alkotó csillagközi gáz főként hidrogénből és héliumból állt. A bolygó tömegvonzása nem volt elég erős ahhoz, hogy visszatartsa a könnyű gázokat, így azok megszöktek, elillantak a világűrbe. Nem így a víz. A Föld éppen megfelelő távolságra (93 milliárd mérföld) van a Naptól ahhoz, hogy a felszín hőmérséklete nem emelkedik sokkal 0°C fölé, így a víz folyékony halmazállapotban marad. Ez a Föld, a földi élet fejlődése szempontjából döntő, mivel a kémiai folyamatok legkedvezőbb közege a víz, amely folyékony halmazállapotú lévén, elborította a mélyedéseket és összegyűlt azokban, megteremtve ezáltal az élet kialakulásának lehetőségét.

A Föld kialakulása 4,5–5 milliárd évvel ezelőtt kezdődött, s folytatódott az első élőlények, növények és állatok, végül pedig a Föld geológiai újkorában, a *Homo sapiens*, a bölcs ember megjelenésével, aki nemcsak megéli, hanem meg is érti a történéseket. Közben a hatalmas változásokat, tömeges kipusztulásokat időről időre újabb és újabb újjászerveződési folyamatok követték. Mindeközben a Föld felszínének arculata is állandóan változik. A különböző folyamatok két csoportba oszthatók egyrészt tektonikai mozgásokra, endogén folyamatokra, amelyek a Föld belső erőire vezethetők vissza, továbbá a szilárd földkéreg mozgásaira, a hegységek kiemelkedésére, a medencék besüllyedésére. A másik csoportot exogén folyamatok, geomorfológiai mozgások alkotják, amelyek a szárazföldök felszínét, a domborzatot alakítják, s létrejöttükben különböző hatóerők és energetikai folyamatok játszanak szerepet. Egy részük a napenergiára vezethető vissza (szél, víz, hőmérséklet-ingadozás), és főleg a mállási folyamatokban, a kiemelkedések le-

pusztulásában nyilvánulnak meg. Maga a mállás kémiai értelemben az ionok stabil állapotba való lassú átalakulását jelenti, mivel a kőzetek és ásványok a Föld felszínén lévő fizikai-kémiai viszonyok között instabilak. Ugyanakkor a gravitáció hatására a kiemelkedések lepusztult kőzet- és törmelékanyagát a mélyedésekbe szállítja és felhalmozza, miáltal a kiemelkedések lepusztulnak, a mélyedések pedig feltöltődnek. A mállott felszínen megindulhat a talajképződés. A fentiekből következik tehát, hogy a mindenkori, kialakult talaj tulajdonságai összefüggnek a kőzet anyagi minőségével és a pusztulási formáival. A kémiai mállás, az oldódás folyamataiban az éghajlati tényezőknek nagyobb szerep jut, mivel fontos feltétel a mozgásban lévő víz, amiért is száraz éghajlatú helyeken teljesen hiányozhat, a humid területeken viszont, a nedves trópusokon például felgyorsul és a talaj mélyebb rétegeiben is teljesen átalakul. A víz közreműködésével az oldható sók, a nitrátok, szulfátok, kloridok elsodródhatnak, az oldhatatlan részek, így a szilikátok felhalmozódnak. A kémiai mállás eredményeként jelennek meg a talajokban a kolloidméretű agyagásványok, amelyek egyéb (főleg ásványi vas-, alumínium-oxidok, valamint humuszanyagok) kolloidféleségekkel együtt a talajok felületi megkötőképességéért felelősek. Így válik a talaj víz- és ionmegkötőképességgel is rendelkező rendszeré. A biológiai mállás folyamatában a szervesetlen rendszerek és az élő szervezetek olyan kölcsönhatása jön létre, amelyben megidul a szervesanyag-felhalmozódás, humuszképződés; minőségileg új anyagok, specifikus humuszmolekulák keletkeznek, amelyek révén a kőzetmálladék talajjá alakul és termékenyvé válik. A mai felszínek borító talajok kialakulásához hosszú időre, adott esetben évezredekre volt szükség.

A rendszerelmélet a rendszereket strukturális működésük alapján vizsgálja. A természetes ökoszisztémák az adott feltételek között fejlődésen mennek keresztül, amelyet a változatos életfeltételek és a nagy fajszám tesz lehetővé. A természetes rendszerek kiegyensúlyozott működésének alapja a negatív visszacsatolás, amely megakadályozza a rendszer túlzott növekedését.

A természetes rendszerek nyílt rendszerek, melyek anyag- és energiakicserélődéssel egyaránt jellemezhetők. Minden ökoszisztéma energiafelvételre szorul, működéséhez kívülről energiát kell felvennie. Valamely energiának a másikba való átalakulása viszont energiavesztéssel jár. A folyamatok az energiaáramlást tekintve tehát irreverzibilisek. Minden rendszerre érvényesek a termodinamikai folyamatok. Az energia csökken, a rendszer rendezetlensége nő. A rendszer akkor működik jól, ha egyensúlyban van, az egyensúly a hatás-ellenhatás elvén alapul.

Az ökoszisztémáknak mint rendszereknek az idő függvényében három állapota lehetséges. Átmeneti, de pozitív állapotot jelent a fiatal és növekvő ökoszisztéma, mint amilyen egy újonnan szárazra került sziget vagy egy frissen vetett szántóföld. Ezt az ökoszisztémát kevés faj, egyszerű táplálkozási láncok, nagy produktivitás, gyors energiaáramlás és alacsony biomassza-termelés jellemzik. Az állandósult állapotot a kiegyensúlyozott ökoszisztéma képviseli. Ilyenek a nagy erdőségek és az óceán. A dinamikus egyensúlyt állandó és kiegyensúlyozott változások biztosítják, az anyagcsere és az energiaáramlás egyensúlyban van, nagy a biomassza és nagy a produktivitás. Szintén átmeneti, de negatív állapotot jelent az öregedő ökoszisztéma, amilyen egy kidőlt fatörzs például.

Az emberiség számára az állandó fejlődés, a növekedési állapot az ismert, ezt tartja természetesnek, és a nagy energiafelhasználással a bioszférában negatív energiámérleget hozott létre.

Az emberre is vonatkoznak az ökológia és az ökoszisztémák törvényszerűségei, mint biológiai lény, mint élő szervezet a természetes ökoszisztémák része. A táplálékláncban a legmagasabb szintű konzumens tag, rá van utalva a producensekre. A többi élőlényvel ellentétben az ember egyre nagyobb mértékben változtatja meg az élőhelyét. Az anyag- és energiaellátottságot biztosítania kell, a hulladékokat a lebontó szervezeteknek le kell

bontaniuk. Ezek a folyamatok főleg a talajban mennek végbe. Az élővilág nem tudja követni ezt a nagy iramú fejlődést, a pozitív visszacsatolás túlnépesedéshez és óriási anyag- és energiafelhasználáshoz vezet. Korlátozó tényező, hogy a szárazföldeknek mindössze 30%-a alkalmas szántóföldi művelésre, és az, hogy az ember által magas szintre fejlesztett mesterséges ökoszisztémák anyag- és energiaellátás szempontjából nem önállóak, hanem állandó bevételre szorulnak.

Az ökoszisztémák anyag- és energiaviszonyai

- ANYAG** – körforgás
ENERGIA – egyirányú áramlás – állandó utánpótlást igényel
 – energiahasznosítás – a trofikus szinteken végighaladva fokozatosan romlik
 – legalacsonyabb szinten a legjobb

- ZÖLD NÖVÉNYEK** – *napenergiát hasznosítanak*
 – több szervesanyagot építenek be a testükbe, mint ami szervezetük fenntartásához szükséges
 – *szárazföldi ökoszisztémákban a TALAJ* változásai meghatározók
 – *tulajdonságai szabják meg a producensek tevékenységét, az elsődleges produkciót.*

Ökoszisztémák TÉR-IDŐ SZERKEZETE

dinamikus – térben és időben állandóan változik

Természetes ökoszisztémák

az eltávozó energia a napenergiából pótlódik
 a producensek száma a trofikus láncban nagy
 a trofikus láncok bonyolultak, összetettek
 nagy fajgazdagság

dinamikus ökológiai egyensúly
 nagy stabilitás
 pozitív energiamérleg

tér-idő szerkezet stabil, de nem merev

Agrár-ökoszisztémák

pótenergiát igényelnek
 a konzumensek száma ugrásszerűen nő
 túlnépesedés
 fajszegény, hiányos ökoszisztémák
 monokultúrák
 fokozottan sebezhető
 produktív, de kizsákmányoló
 negatív energiamérleg
 az egész bioszférára kihat
 fosszilis energiahordozók kimerülése
 tér-idő szerkezet labilis
 regenerációs képesség csökken
 emberi beavatkozás szükséges
 a terhelések a környező természetes ökoszisztémákra hárulnak
 a természetes ökoszisztémák tűrőképessége is csökken

Az általános trofikus struktúrák tehát azonosak. Az elsődleges termelők a zöld növények, amelyek megkötik a napenergiát. A különbség abban rejlik, hogy a természetes ökoszisztémák táplálkozási láncai bonyolultabbak, és kevés energia- és anyagáramlással valósulnak

meg, az agrár-ökoszisztémák egyszerű felépítésűek. Az egyensúlyt az embernek kívülről kell biztosítani. Energetikai szempontból a napenergián kívül kiegészítő energiára szorulnak.

A természetes ökoszisztémák szerteágazó kapcsolatrendszerükből eredően biztosabb egyensúlyi állapotban vannak, ezért a kívülről jövő zavaró hatások kivédése biztosabb. Az agrár-ökoszisztémák egyensúlyának megbomlása gyakran vezethető vissza az ökoszisztéma számára idegen fajok (pl. gyomok, élősködők, kártevők) elszaporodására, vagy a normális produktivitást meghaladó igénybevételre (pl. tápanyaghiány a talajban). A monokultúrák oxigéntermelése, víztárolása kicsi. A rövid életű, rendszerint egyéves kultúrák betakarítása leggyakrabban a vegetáció közepén történik, amikor pedig már fokozódna az oxigéntermelés. A sokszor emlegetett vegyszerek a környezet számára idegen anyagok. Az egész oxigéntermelés és a vízháztartás szabályozása az egyébként is egyre csökkenő természetes ökológiai rendszerekre hárul, és főleg a talajokban, illetve a természetes vizekben érezeteti hatását.

E. P. Odum Fundamentals of Ecology című munkájában a természetes és művelt rendszerek közti fő különbséget a produktivitásban látja. Míg a természetes ökoszisztémákban a természet a bruttó produktivitást, az ökoszisztéma össz tömegét, biomasszáját, addig az agrár-ökoszisztémákban az ember a hasznosítható biomasszát, a nettó produktivitást növeli. A termodinamikai és ökológiai törvényszerűségeket is figyelembe véve az agrár-ökoszisztéma a bioszférának olyan, ember által létrehozott funkcionális egysége, amelyet az ember irányít és az embertől függ. Természetes viszonyok között kölcsönhatások működnek, az agrár-ökoszisztémák fenntartásához viszont kívülről van szükség szabályozásra, ami nagy energiafelhasználást igényel. Egy mezőgazdaságilag művelt területet fiatal korban a nagy produktivitás jellemez, de érett, vagy öregedő szakaszban nem tudja biztosítani a fiatal korra jellemző termőképességet.

Nézzük most a természetes és művelt talajok közti különbséget!

Az agrár-ökoszisztémák stabilitását klimatikus, növénytani, állattani tényezők és a talaj változásai befolyásolhatják. Az egész rendszerben a talajtulajdonságok és talajváltozások azért nagyon fontosak, mert ezek szabják meg az elsődleges produkciót, a producensek tevékenységét.

A talaj a bioszféra része, a szárazföldi biocönózisok élőhelye, ökológiai szempontból nem pusztán aljzat, hanem a talaj felszínén és a talajban lévő élőlények rendszere. A talajban lévő gyökérszövet, elhalt szervesanyagok, gyökér- és talómaradványok, ezeket, valamint a talajlakó mikroorganizmusokat fogyasztó állatok összessége. A talajban végbemennő fizikai és kémiai folyamatok alapja a talajban folyó biológiai tevékenység. A talaj termékenységének biológiai körülményeit a legutóbbi időkig figyelmen kívül hagyták. A talajlakó szervezetek nemcsak tápanyaglebontást, hanem detoxikálást is végeznek.

A természetes talaj önfenntartó, önszabályozó. A művelt talaj nem képes az önszabályozásra, sok szerves és szervetlen anyag elvonódik belőle. A lebontó szervezetek a szerves anyag lebontásával nem tudják pótolni a növények számára fontos ásványi anyagokat, ami az anyagok körforgásában hiányt okoz, s ezt műtrágyázással próbáljuk meg kiküszöbölni. A szárazföldi ökoszisztémák lebontó szakasza, a mineralizáció a talajban zajlik. Ebben nagyon fontos szerepet játszik az edafon, a talaj élővilága, amely amiatt is fontos, hogy a szerves anyagokból vízben oldható és felvehető tápanyagok keletkeznek. Agrotechnikával ez a folyamat felgyorsítható. Az ember ma a felvehető tápanyagokat műtrágyákkal pótolja, vagyis tápanyagok a mikroorganizmusok közvetítése nélkül is felvehetőek.

A növénytermesztésben, a talajok művelésekor, a műtrágyák alkalmazása beavatkozást jelent a természetes anyagforgalomba. A bioszférában, az ökoszisztémákban a kémiai elemek kör vagy spirál alakú pályákon, biogeokémiai ciklusokban mozognak. A kőzetek mállása, a talajképződés, a víz általi felvétel, a növényi anyagcsere-folyamatok után visszajutnak a talajba. A ciklusok nem mindig szabályosak, a Föld fejlődése során voltak megtorpanások. Legjellemzőbb a szén felhalmozódása a különböző fosszilis szervesanyagokban, de CaCO_3 formájában is, az üledékes kőzetekben. Ma a biogeokémiai cik-

lusok – különösen a szén-ciklus – felgyorsulását figyelhetjük meg, amely az évmilliókon keresztül összegyűlt napenergia rendkívül gyors felhasználását jelenti.

A mezőgazdasági rendszerek fajszegény ökoszisztémák, monokultúrák. Ma a művelt talajokon folyó intenzív termesztési körülmények között a kemikáliák alkalmazása durva beavatkozást jelent az ökoszisztémába, a műtrágyahasználat talajtani és agrokémiai szempontból beavatkozás a természetes tápanyagforgalomba, a növényvédőszer pedig a felhalmozódás mellett a hasznos rovarokat is pusztítják.

A biológiai gazdálkodás mellőzi a kemikáliákat, energiatakarékos, környezetkímélő, biológiai eljárásokat alkalmaz. Nem biztos azonban, hogy biztosítani tudja az emberiség növekvő élelmiszer-szükségletét, másrészt gyakran idegen elemeket, például fajokat telepít az ökoszisztémákba. A biológiai módszerek is lehetnek veszélyesek ökológiai értelemben, azáltal hogy közvetlenül a természetes trofikus láncba avatkoznak be.

Az emberi kultúra fejlődése során csupán ötezer évvel ezelőtt alakult ki a helyhez kötött gazdálkodás. Az azóta eltelt rövid idő alatt, de különösen az utóbbi száz évben az ember olyan eszközöket tárt fel, amelyekkel feléli a korábbi évmilliók során felhalmozódott energiaforrásokat és természetes környezetét mesterséges környezettel váltja fel. Az ember ökológiája sokkal gyorsabban változik, mint bármely más élőlényé. A változásokat a technológiai fejlődés motiválja, aminek következtében az emberi lét lényegét illetően túl sok és felesleges, mélyreható változtatással az ember maga veszélyezteti azt a biocönózist, amelyben és amelyből él.

A földművelés ökológiai jövőjét illetően az egyik lehetséges megoldás, hogy az az ember étleterével egyensúlyban legyen, vagyis az a mód, ahogy azok a természeti néptörzsek élnek, amelyek gyűjtögetésből, halászatból, vadászatból, csekély földműveléssel tartják fenn magukat. Az ilyen emberi kultúrák egy állatfaj populációjához hasonlóan nem, vagy csak kismértékben befolyásolják a biotópot. A másik mód olyan paraszti kultúrák és földművelési rendszerek fenntartása, amelyben az emberek a növénytermesztéssel és állattartással, egészében saját *igényeire szabott biocönózist* teremt. Nemzedékeken keresztül ugyanazt a talajt használja, és a gyakorlatban több nemzedék által szerzett ökológiai ismeretek alapján megtanulta és tudja azt, hogy az élet alapfeltételei nem kimeríthetetlenek. A hagyományos paraszti gazdálkodásban az igazi jó gazda, aki utódaira jó állapotban akarta hagyni a földet, mindent megtett azért, hogy a talaj termékenységét megőrizze, vetésforgót, szerves trágyázást alkalmazott, különböző módokon pótolta azt, amit a talajtól elvett.

Jól működő ökológiai rendszerben az agrár-ökoszisztémák feladata a terméshozam növelése kisebb energiafelhasználással, a dinamikus ökológiai egyensúly felborulása nélkül. A fenntartható talajhasználatban a termésátlagok növelésén túl fontos az is, hogy a képződött szervesanyag hogyan épül be a bioszféra általános anyagforgalmába. Mindeközben nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy az agrár-ökoszisztémáknak is van egy tér-idő szerkezetük, és a pillanatnyi állapotok rögzítésén túl figyelembe kell vennünk azt is, hogy a rendszer bonyolult hatásmechanizma állandóan működik, maga is állandóan változik.

Irodalom

- Kemenessy E.: *Talajerő-gazdálkodás*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1959.
 Lorenz, K.: *A civilizált emberiség nyolc halálos bűne*. Ikva Könyvkiadó, Sopron, 1988.
 Odum, E. P.: *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia, London, 1965.
 Richards, B. N.: *Introduction to the Soil Ecosystem*. Longman, Essex, 1974.
 Stefanovits, P.: *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1992.
 Ökológiai tanulmányok. Szerk.: Szabó A. – Kovács A. Kriterion Könyvkiadó, Bukarest, 1980.
 Székely P.: *Ökológia*. Natura, Budapest, 1979.