Környezeti rendszerek

Dr. Kerényi Attila

Dr. Kiss Tímea

Dr. Szabó György

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Környezeti rendszerek

Dr. Kerényi Attila
Dr. Kiss Tímea
Dr. Szabó György

Publication date 2013
Szerzői jog © 2013 Debreceni Egyetem, Szegedi Tudományegyetem

TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1 MSc Tananyagfejlesztés

Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Tartalom

Bevezetés ... v
1. A környezettudomány, mint a környezeti rendszerek tudománya ... 1
    1. Önellenőrző feladatok ... 5
2. A rendszerek tulajdonságai, rendszertípusok ... 8
    1. 2.1. A rendszer fogalma és alapvető tulajdonságai ... 8
    2. 2.2. A rendszerek csoportosítása, rendszertípusok ... 10
    3. Önellenőrző feladatok ... 14
3. Az anyagi rendszerek működése ... 17
    1. 3.1. A visszacsatolások ... 17
    2. 3.2. A rendszerek viselkedése külső vagy belső hatásokra ... 19
    3. Önellenőrző feladatok ... 25
4. A környezeti rendszerek tulajdonságai ... 27
    1. Önellenőrző feladatok ... 30
5. A természetföldrajzi rendszerek egyensúlya és érzékenysége ... 32
    1. 5.1. Egyensúly és érzékenység ... 32
    2. 5.2. Küszöbérték ... 34
    3. 5.3. Robosztus és érzékeny rendszerek ... 36
    4. 5.4. Az agressziós hullám ... 36
    5. 5.5. A rendszer zavaró hatásokkal szembeni ellenállása ... 37
    6. Önellenőrző feladatok ... 39
6. A rendszermodellek és a modellalkotás ... 42
    1. 6.1. Grafikus modellek ... 43
    2. Önellenőrző feladatok ... 46
7. Az élettelen Föld ... 48
    1. Önellenőrző feladatok ... 49
8. Az élő Föld ... 51
    1. 8.1. Az élet megjelenése, mint a legfontosabb minőségi változás a Földön ... 51
    2. 8.2. A légköri oxigén koncentrációjának gyorsuló növekedése ... 52
    3. 8.3. A bioszféra teljessé válása ... 53
    4. Önellenőrző feladatok ... 57
9. A társadalmasított Föld ... 59
    1. 9.1. Az emberi társadalom, mint a földi rendszer új eleme: környezeti hatások a történelmi középkorig ... 59
    2. 9.2. A társadalom környezeti hatásainak módosulása a földi rendszerben a középkortól a 20. századig ... 64
    3. 9.3. A társadalom hatása a földi környezetre a 20. század kezdetétől napjainkig ... 66
    4. Önellenőrző feladatok ... 76
10. A globális földi rendszer működése napjainkban ... 80
    1. 10.1. Anyagáramlások a Föld belsejében és azok felszíni hatásai ... 80
    2. 10.2. Anyagáramlások a levegő és víz mozgásaival összekapcsolt geoszférákban ... 83
        2.1. 10.2.1. Az antropobiogeokémiai ciklusokkal kapcsolatos alapfogalmak ... 83
    3. Önellenőrző feladatok ... 84
11. A vízciklus ... 87
    1. Önellenőrző feladatok ... 89
12. A vízgyűjtő, mint rendszer, össze- és szétkapcsoltság ... 92
    1. 12.1. A vízgyűjtő, mint rendszer ... 92
    2. 12.2. Kapcsoltság és szétkapcsoltság ... 92
        2.1. 12.2.1. A vízgyűjtő összekapcsoltságának módjai ... 93
        2.2. 12.2.2. A vízgyűjtő szétkapcsoltságát okozó elemek ... 93
        2.3. 12.2.3. A szétkapcsoltság hierarchikus jellege ... 96
    3. 12.3. A tényleges (effektív) vízgyűjtő ... 96
        3.1. 12.3.1. Vízgyűjtő típusok a (szét)kapcsoltság mértéke alapján ... 97
    4. 12.4. A szétkapcsoltság rendszerszemléletű értékelése ... 97
    5. 12.5. Antropogén tevékenység és (szét) kapcsoltság ... 97
    6. 12.6. A (szét)kapcsoltság gyakorlati alkalmazása ... 98
    7. Önellenőrző feladatok ... 98

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

13. A szén- és az oxigénciklus 101
1. 13.1. A szénciklus 101
2. 13.2. Az oxigénciklus 103
3. Önellenőrző feladatok 104
14. A nitrogénciklus és az ózonlyuk 107
1. Önellenőrző feladatok 110
15. Az éghajlati rendszer 113
1. 15.1. A globális éghajlatot meghatározó tényezők 113
2. 15.2. Az éghajlati rendszer természetes működése és az ezt módosító antropogén hatások 115
3. 15.3. Éghajlatunk jövője 118
4. Önellenőrző feladatok 126
16. Az emberi társadalom korlátai a globális földi rendszerben 129
1. 16.1. A Meadows-féle világmodell eredményei a 20. század utolsó harmadának folyamatai alapján 130
2. 16.2. A Meadows-féle világmodell továbbfejlesztése: World3-03 137
3. Önellenőrző feladatok 144
17. IRODALOM 147
1. Multimédia anyagok 149

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Bevezetés

A Környezeti rendszerek c. jegyzetünk az MSc szintű geográfus szakosok számára készült, és a hasonló című tantárgy tananyaga. E tárgy keretében arra kívánjuk ráirányítani a hallgatók figyelmét, hogy a Föld bolygó rendkívül bonyolult, sokszorosan összetett rendszer, amelynek része az élettelen és élő földi környezet éppúgy, mint az emberi társadalom. A geográfusoknak ismerniük kell a globális földi rendszer működését s benne a társadalom szerepét. Át kell tekinteniük azokat a legalapvetőbb kölcsönkapcsolatokat, amelyek a természet és a társadalom között a történelem során kialakultak. Ehhez viszont arra is szükség van, hogy megismerkedjenek a globális földi rendszer kialakulásával, fejlődésével, az ember előtti Föld működésével, változásaival, mert csak így lesz érthető, hogy milyen módon és milyen mértékben módosította a társadalom a természeti környezetet, hogyan zavarta meg a globális földi rendszer működését, s milyen alapvető változásokra van szükség a társadalomban, hogy a jövőben minél kevesebb kárt okozzunk abban a bonyolult rendszerben, amelytől létünk is függ. Mindehhez át kell tekintenünk a legfontosabb rendszerelméleti ismereteket, a rendszermodellek készítésének alapjait is. A jegyzetben a globális földi környezetre vonatkozó ismereteken túl foglalkozunk néhány részrendszer részletesebb elemzésével is, melyek elsősorban a természetföldrajzosok számára fontosak.

A jegyzet írói

Kerényi Attila : 1 – 4., 6 – 11. és 13 – 16. fejezet

Kiss Tímea: 5. és 12. fejezet

Szabó György: Önellenörző feladatok, animációk

A jelen digitális tananyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0025 számú, "Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz" című projekt részeként készült el.

A projekt általános célja a XXI. század igényeinek megfelelő természettudományos felsőoktatás alapjainak a megteremtése. A projekt konkrét célja a természettudományi mesterképzés kompetenciaalapú és módszertani megújítása, mely folyamatosan képes kezelni a társadalmi-gazdasági változásokat, a legújabb tudományos eredményeket, és az info-kommunikációs technológia (IKT) eszköztárát használja.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

1. fejezet - A környezettudomány, mint a környezeti rendszerek tudománya

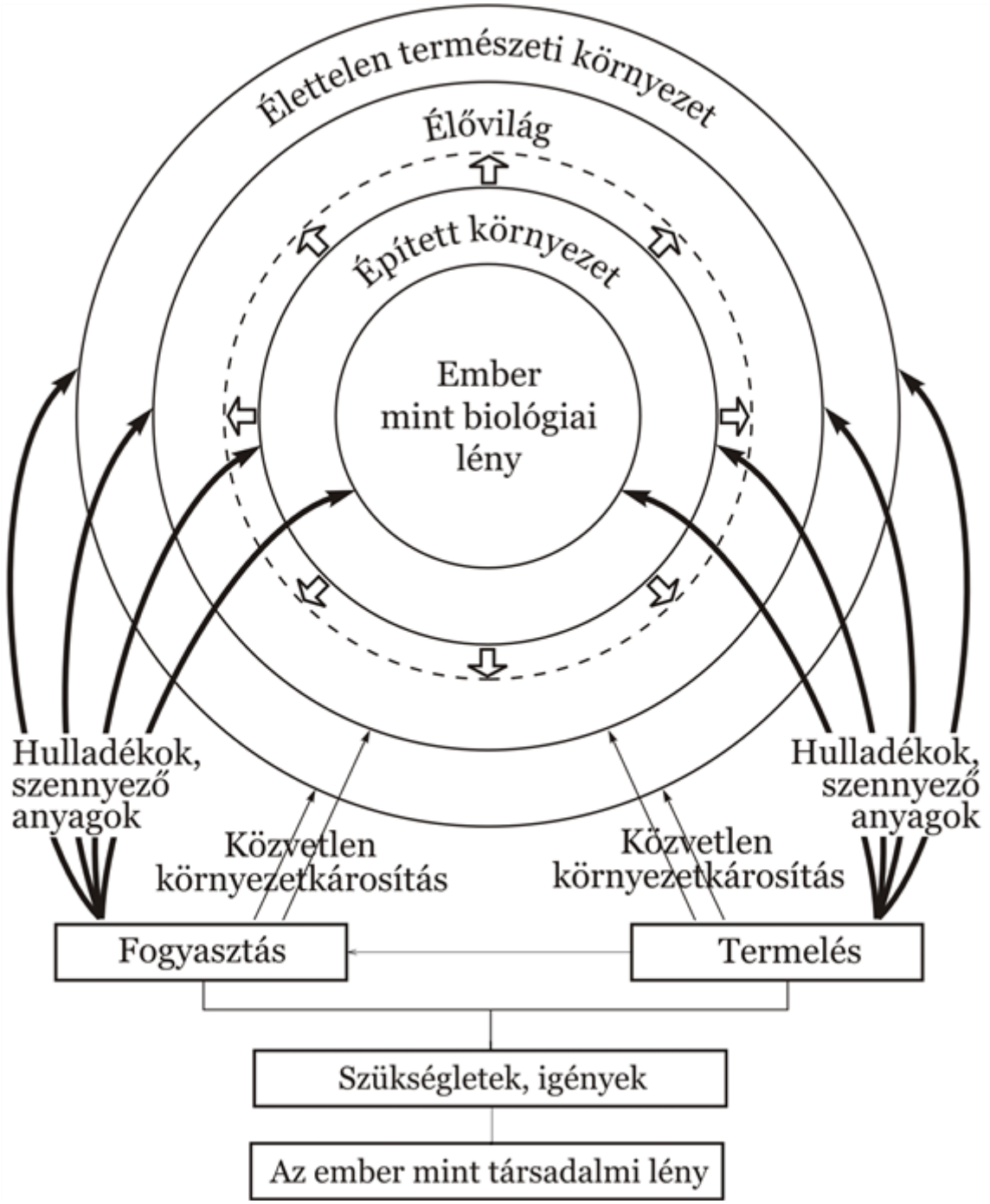
Mint arra a Bevezetésben is utaltunk, a Föld rendkívül bonyolult többszörösen összetett rendszer, amely az emberi társadalom létfeltételeit biztosítja, miközben a globális társadalmi rendszer is része bolygónknak. A Föld számos részrendszerből áll, amelyek az ember számára környezeti rendszerekként értelmezhetők. Ezeket a későbbiekben részletesen megismerjük. Ahhoz azonban, hogy a környezettudomány feladatait meg tudjuk fogalmazni, szükség van az ember és a földi környezet közötti legalapvetőbb kölcsönkapcsolatok bemutatására.

Az ember egyszerre biológiai és társadalmi lény is. Mint biológiai lény életműködése ugyanúgy függ a környezeti hatásoktól, mint a főemlősöké. Annak érdekében, hogy önmagát megvédje a nemkívánatos környezeti hatásoktól (túlzott hideg vagy meleg, nagy csapadék, erős szél stb.) épített környezetet hozott létre. Ennek ellenére az emberiség léte alapvetően függ a természeti környezettől: az élővilágból szerezzük be táplálékainkat (a mezőgazdasági termelés során is élőlényeket hasznosítunk), nyersanyagaink egy részét (pl. faanyag, gyanta, gyógyszer-alapanyagok stb.), – és még számos egyéb területen hasznosítjuk az élővilágot és annak termékeit. Biológiai létünk közvetlenül is függ egyes élőlényektől. (Pl. velünk szimbiózisban élő mikroorganizmusok.) Az *1. ábrán* az ember köré rajzolt koncentrikus körgyűrűkkel jelöltük ezeket a függőségi viszonyokat. A legkülső körgyűrű az élettelen természeti környezetet jelképezi, hisz a földi élet csak azért tud létezni, mert bolygónk élettelen környezete alkalmas az élet fennmaradására (megfelelő hőmérsékleti viszonyok, víz jelenléte, a kozmikus hatásokat kivédő légkör és mágneses tér stb.).

Az emberi faj gyors ütemben szaporodik (az utóbbi száz évben négyszeresére növekedett Földünk lakóinak száma), s ez magával hozza az épített környezet terjeszkedését, amely azonban a természetes élővilág élőhelyét egyre kisebb területre szorítja vissza, s ezzel hozzájárul a fajok pusztulásához. Az épületek létesítésével az élettelen természeti környezetben is károkat okozunk: pl. nedves élőhelyek lecsapolása, talajok és kőzetek elpusztítása, a domborzati viszonyok megváltoztatása stb.

Az ember másik „arca” a társadalom működésének sajátosságaival függ össze. Ahhoz, hogy el tudjuk látni a társadalomba szerveződött embereket az alapvető élelmiszerekkel, ruházattal és egyéb, a létfenntartásukhoz, valamint társadalmi életükhöz szükséges anyagi javakkal, nagyon sokféle termelő tevékenységgel kell előállítani azokat. A termelés mértékét fokozza az az általánosnak mondható emberi tulajdonság, hogy az alapvetően szükséges termékeken túl az *igények* az egyre több és jobb termékek iránt is nőnek, sőt a reklámok révén *gerjesztett igények* kielégítésére a már-már értelmetlen termékek előállítására is sor kerül. (Más kérdés, hogy a világ szegényebb részein a szükségleteket sem tudják kielégíteni). A termelés során mindig valamennyi nyersanyagot és energiahordozót veszünk el a természetből (bányászat, fakitermelés stb.) és eközben károkat okozunk az élővilágban és az élettelen természeti környezetben. A gyárakban, üzemekben átalakítjuk a természetből elvett nyersanyagokat, s néha nagyon sok lépcsőben késztermékeket állítunk elő belőlük. Eközben szükségszerűen keletkeznek hulladékok és szennyező anyagok, amelyek károsítják az emberi szervezetet (pl. levegő- és vízszennyezések), sőt az épített és az élettelen természeti környezetet, valamint az élővilágot is. Erre utalnak az *1. ábrán* a termelés felől kiinduló nyilak.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



1. ábra. Az ember fontosabb társadalmi tevékenységeinek hatásai az élettelen, az élő, az épített környezetre és az emberre, mint biológiai lényre. Magyarázat a szövegben (1. animáció)

A megtermelt anyagi javak szállítása, majd elfogyasztása során ugyancsak hatalmas mennyiségű hulladék és szennyező anyag keletkezik (gondoljunk a települések kommunális hulladékaira és szennyvizeire, valamint a háztartási fűtésből származó szennyezőanyag-kibocsátásokra), s ezek ugyanolyan hatásokat fejtenek ki az emberre, az élővilágra, az épített és a természeti környezetre, mint a termelés során keletkezett szennyeződések (*1. ábra*).

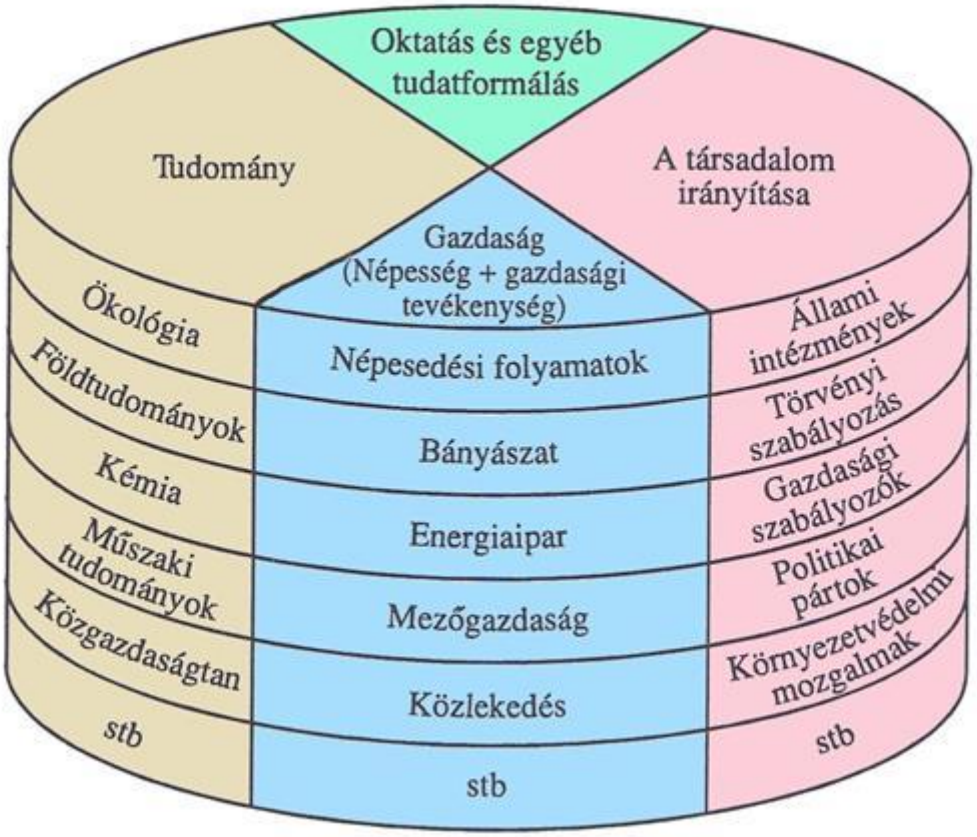
A társadalom működése tehát szükségszerűen vezet az élő és élettelen környezet károsításához – beleértve magát az embert is, mint biológiai lényt. A földi rendszerek és az emberi szervezet is képes bizonyos mennyiségű károsító hatást elviselni, ezért tehát nem mindegy, *milyen mértékű* károsító hatásokat produkálunk a termelés és fogyasztás során. A környezeti alapprobléma a legáltalánosabban így fogalmazható meg: képes lesz-e az emberiség lélekszámának növekedését, termelő és fogyasztó tevékenységét úgy szabályozni, társadalmát úgy megszervezni, hogy a milliárd évek során kialakult egységes földi rendszerrel összhangban működjön?

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Ahhoz, hogy ez sikerüljön, a társadalmi tevékenységek szinte mindegyikében változásra van szükség. A továbbiakban azt vizsgáljuk meg, hogy a környezettudománynak hol van a helye a környezeti alapprobléma megoldására irányuló cselekvések rendszerében.

Az előzőkből következik, hogy a környezeti alapprobléma megoldásában szinte a társadalom valamennyi tevékenységének szerepe van. (Bővebben ld. *Kerényi,* 1995, 2003.)

A gondok gyökere a termelés és a fogyasztás erősen környezetkárosító volta, így tehát a cselekvések legfontosabb színtere a tágabban értelmezett gazdaság (építés, termelés, kereskedelem, fogyasztás), amelyet környezetkímélő irányba kell fejlesztenünk. Ebben nagy szerepe van a tudományoknak (pl. környezetkímélő technológiák kifejlesztése), de az oktatásnak és nevelésnek is, hisz a belső indítékok által motivált cselekvés (környezeti tudat és felelősségtudat) hatékonyabb a külső kényszer hatására végrehajtott cselekedeteknél. Emellett persze szükség van törvényekre és más jogszabályokra is a társadalmi tevékenységek szabályozása érdekében (*2. ábra*).



2. ábra. A környezetvédelem fő tevékenységi területei a társadalmi munkamegosztás szerint (Eredeti)

A legnagyobb a felelősségük a társadalom mindenkori irányítóinak, de a demokratikus berendezkedésű államokban nagyon fontos a civil szervezetek (esetünkben az ún. zöld szervezetek) kontrollja is (*3. ábra*). Mi ebben a tevékenységi rendszerben a környezettudomány szerepével kívánunk foglalkozni.

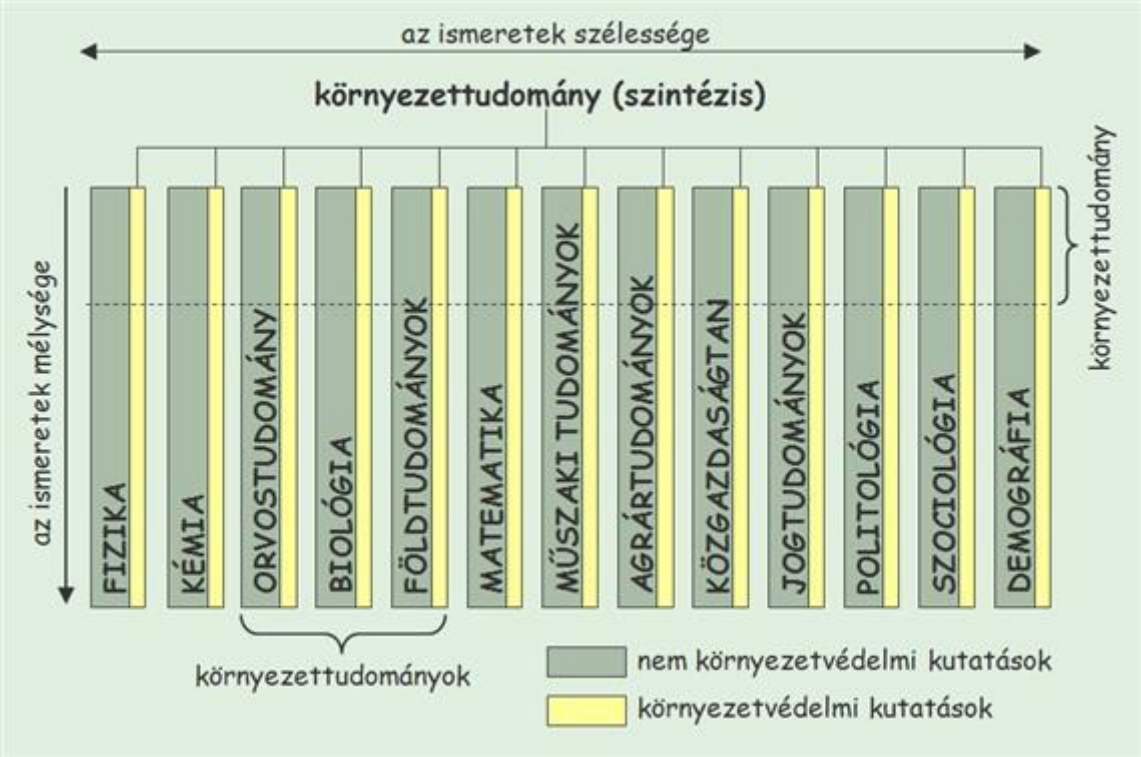
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

KÖRNYEZETVÉDELEM	
Szellemi szféra	**Gyakorlati szféra**
Tudomány	Gazdasági tevékenységek
Oktatás	Fogyasztási tevékenységek
Egyéb tudatformálás	Népesség
Irányítás-szervezés Környezetvédő mozgalmak	

3. ábra. A környezetvédelmi tevékenységek csoportosítása

A környezettudomány a környezeti alapprobléma tudományos megoldására létrejött multidiszciplináris, szintetizáló tudomány, amely a környezet- és természetvédelmi tevékenységeket tudományosan megalapozza. Vizsgálja a környezeti rendszerekben lejátszódó folyamatokat, melyeket a társadalmi tevékenységek módosítanak, s amelyek veszélyeztetik az élővilágot – beleértve az embert is. Feltárja a károsító folyamatok gazdasági-társadalmi okait, és javaslatokat tesz ezek megelőzésére, mérséklésére és/vagy a bekövetkezett károk felszámolására. Ebben a felfogásban a környezettudomány integrál magában műszaki, agrár, természettudományi és társadalomtudományi ismereteket és módszereket is (*4. ábra*). (Meg kell jegyeznünk, hogy a környezettudomány – szűkebb értelmezés szerint – az ember és környezete kapcsolatának *természettudományos* vizsgálatát tekinti alapvető feladatának – *Mészáros*, 2001a.) Korábbi tudományos munkákban azzal a megközelítéssel is találkozhatunk, miszerint a *környezettudományok* alatt a biológiát, a földtudományokat és a környezetegészségtant együtt kell érteni.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



4. ábra. A környezetvédelmi problémák megoldásához szükséges fontosabb tudományterületek, valamint az ismeretek mélysége és szélessége közötti kapcsolat (Eredeti)

Bár a környezettudomány lényeges eleme a multidiszciplinaritás és a szintézis, ez a viszonylag új tudomány a gyakorlatban inkább „elemeire bontva” működik: ökológia, környezetkémia, környezetfizika, környezetjog, környezet-gazdaságtan stb. Vannak azonban példák egy-egy nagyobb horderejű környezeti kérdésben a környezettudósok együttműködésére; az elemző, de végeredményét tekintve mégis szintézist produkáló tudományos programok megvalósítására. Hazai viszonyok között ilyen volt a 2007-ben záródott VAHAVA program (*Láng–Csete*, 2007), amely a klímaváltozás hazai hatásait és az ehhez való alkalmazkodás módozatait vizsgálta tudományos módszerekkel, és alapozta meg a nemzeti éghajlati stratégiát. Nemzetközi szinten ugyancsak az éghajlatváltozáshoz kapcsolódik az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) tevékenysége, amely nemcsak éghajlatkutatókat, hanem biológusokat, közgazdászokat, demográfusokat, műszaki és agrárszakembereket és még sok más tudományág képviselőit tömöríti magába.

A környezeti károk sokrétűsége miatt az is gyakran előfordul, hogy egy-egy probléma tudományos hátterének feltárása érdekében specialisták vesznek részt a kutatásban. Sugárfertőzött területek mentesítésében például sugárvédelemmel foglalkozó környezetfizikusok és a sugárártalmakban járatos biológusok, orvosok közreműködése látszik ésszerűnek. Egy természetes vizes élőhely (wetland) felelőtlen lecsapolása után szükséges revitalizáció során a vízi ökológusok szakértelme feltétlenül indokolt.

Az eddigiek alapján tehát a környezettudományt „kétarcú” tudománynak minősíthetjük: egyrészt összetett, nagyon bonyolult, netán globális problémák tudományos vizsgálatánál számos „hagyományos” tudományág képviselőinek együttműködésére, ismereteik szintézisére van szükség, tehát *szintetizáló*, *integrálttudományág*, másrészt valamennyi természettudomány, továbbá a műszaki és agrártudományok valamint a társadalomtudományok jelentős része külön-külön is foglalkozik a környezeti problémák egy-egy speciális szeletével. Ami azonban közös kell, hogy legyen a résztudományok vizsgálati módszerében és szemléletében, az a *rendszerszemlélet*. Még akkor is, ha csak egy kis részproblémával foglalkozunk, meg kell vizsgálnunk, hogy az hogyan illeszkedik a globális környezeti rendszerbe, és a kis beavatkozásoknak milyen áttételes hatásai lehetnek a nagy rendszerre.

1. Önellenőrző feladatok

Ábraelemzés. Párosítsa az alábbi meghatározásokat az ábrán szereplő betűkkel!

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

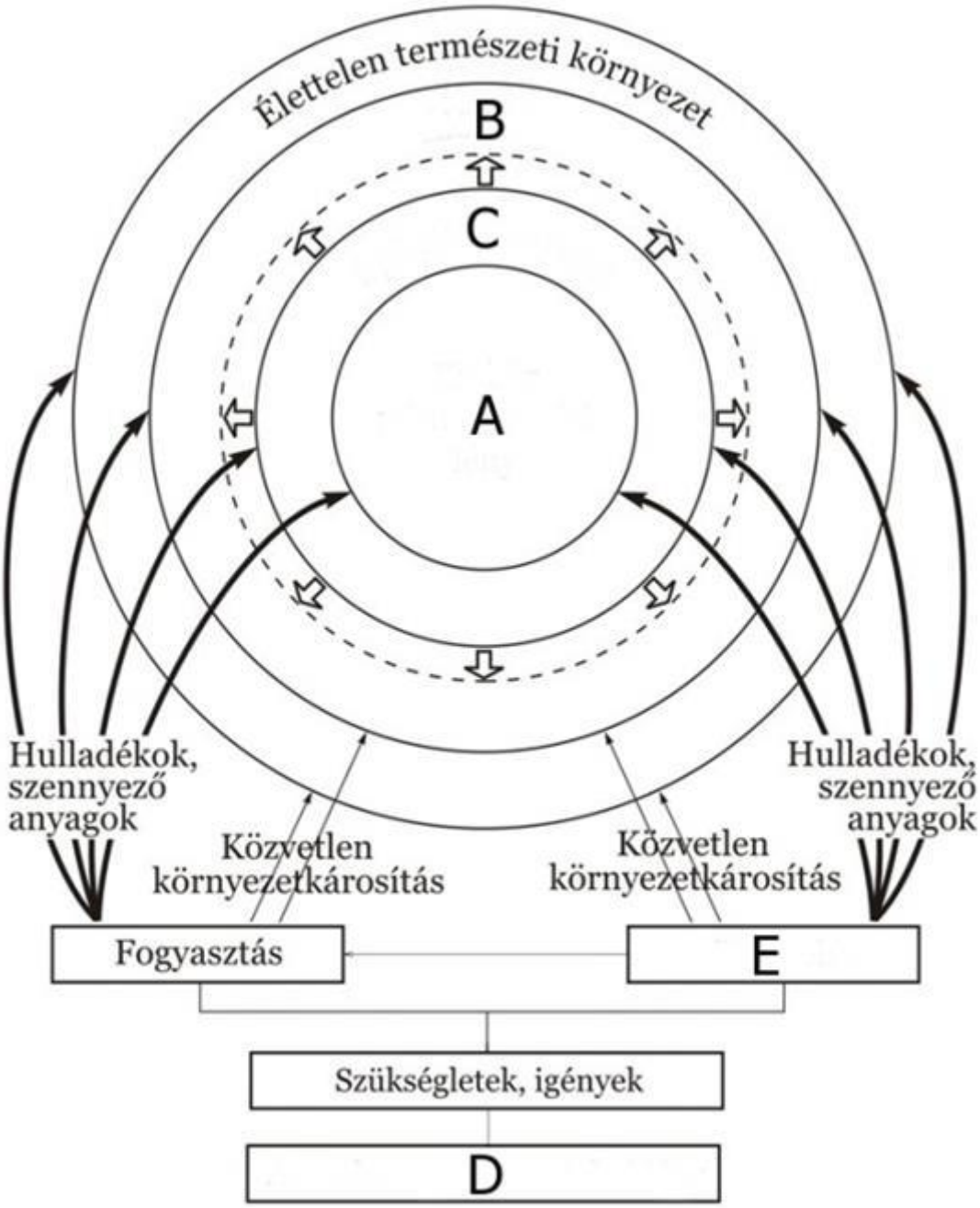
1. Az ember mint társadalmi lény

2. Az ember mint biológiai lény

3. Élővilág

4. Épített környezet

5. Termelés



Relációanalízis. Az alábbi feladatban összetett mondatokat talál, melyek első tagmondata az állítás, második tagmondata pedig az indoklás. Válassza ki az alábbi variációk közül azt, amely Ön szerint igaz az egyes mondatok esetében!

A) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, és közöttük ok-okozati kapcsolat* ***van***

B) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, de* ***nincs*** *közöttük ok-okozati kapcsolat*

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

C) *az állítás* ***igaz****, az indoklás azonban* ***hamis***

D) *az állítás* ***hamis****, az indoklás azonban önmagában* ***igaz***

E) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***hamis***

6. A VAHAVA program megvalósítása tipikus példája a multidiszciplináris kutatómunkának, mert abban az éghajlatkutatók mellett, biológusok, közgazdászok, demográfusok, műszaki és agrárszakemberek és még sok más tudományág képviselői is részt vettek.

7. A beépített területek növekedése károsan hat a természetes élővilágra, mert az élőlények egyre kisebb területre szorulnak vissza, ami akár egyes fajok kihalását is eredményezheti.

8. A közgazdaságtan nem tartozik a környezettudományok közé, mert elsősorban gazdasági kérdésekkel foglalkozik.

9. A környezettudomány lényeges eleme a multidiszciplinaritás és a szintézis, mert a környezeti problémákat nem lehet külön tudományáganként vizsgálni.

10. Az emberiség lélekszáma az utóbbi 100 évben mintegy húszszorosára növekedett, mert a Földön egyre nagyobb területet foglal el az épített környezet.

Megoldások:

1. D

2. A

3. B

4. C

5. E

6. A

7. A

8. D

9. C

10. D

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2. fejezet - A rendszerek tulajdonságai, rendszertípusok

1. 2.1. A rendszer fogalma és alapvető tulajdonságai

A rendszerről sokféle definíció olvasható különböző szakirodalmi forrásokban (*Bennett – Chorley*, [1978], *Forrester* [1968], *Haggett* [2006], *Klug-Lang* [1983], *Mészáros* [2001a], *László* [2001]). Ezekből a legáltalánosabb azonosságokat megkeresve az alábbi meghatározást adhatjuk.

A **rendszer***egymással szerkezeti kapcsolatban álló és szoros kölcsönhatásban lévő rendszerelemek önszerveződő vagy mesterségesen létrehozott együttese, amely meghatározott feltételek esetén egységes egészként létezik.*

Az objektív valóság tárgyai, jelenségei általában valamilyen kölcsönhatásban vannak egymással. Ez leggyakrabban anyag- és energiaáramlásban nyilvánul meg. Az egyes objektumok (elemek) közötti kölcsönhatás erősebb vagy gyengébb, közvetlenebb vagy áttételesebb lehet, így a tér egy meghatározott részén az egymással szorosabb kapcsolatban (kölcsönhatásban) lévő elemek természetes egységeket, rendszereket alkothatnak. Tudományos vizsgálat céljából azért különítjük el a rendszer elemeit a környező világ más elemeitől, hogy sajátságaikat jobban tanulmányozhassuk.

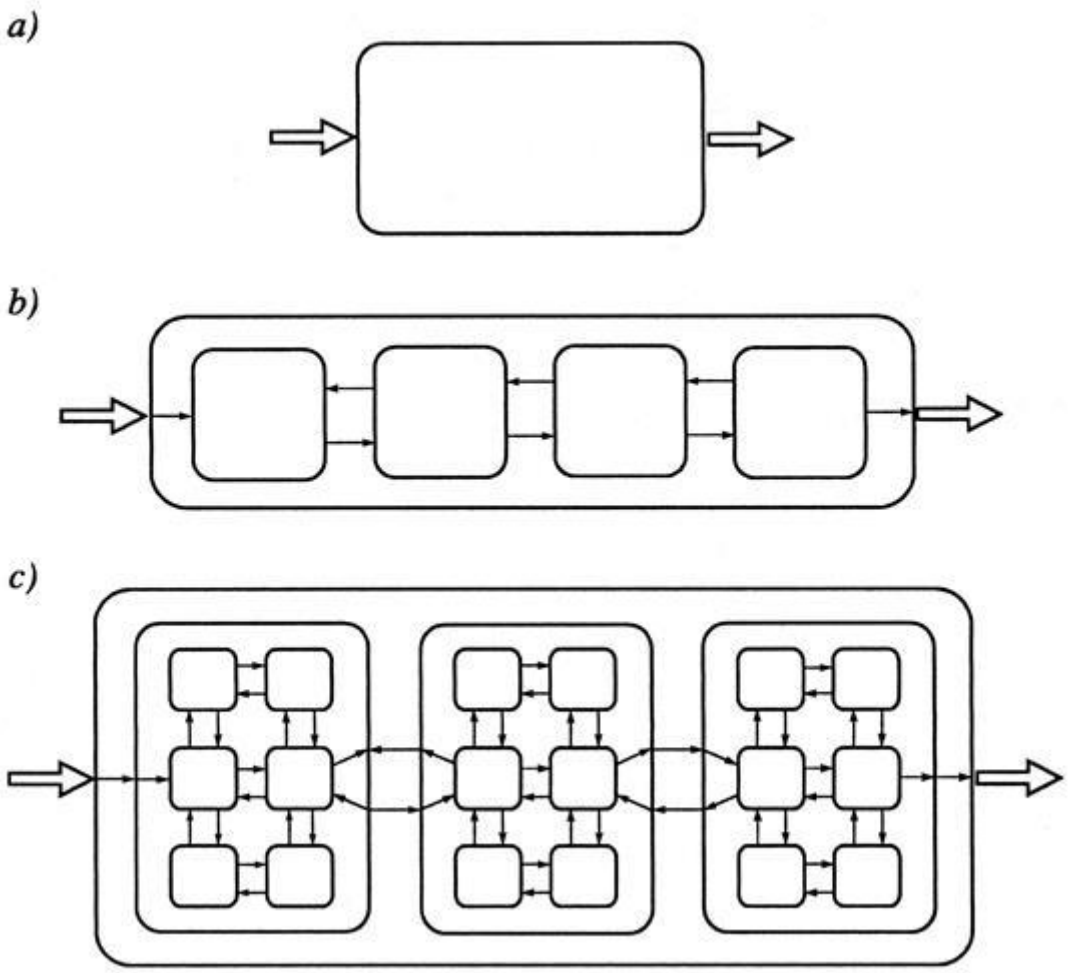
Mivel vizsgálatainkat nem tudjuk egyszerre minden tárgyra, anyagra, folyamatra kiterjeszteni, ezért tudományos vagy gyakorlati vizsgálat céljából a valóság egy részét – legtöbbször csak gondolatban – elhatároljuk környezetétől. Az így elhatárolt rendszeren belül működési, szerkezeti kapcsolat létezik a rendszer elemei között, tehát a rendszernek van egy természetes határa, amit a gondolati lehatárolásnak követni kell. A mesterséges rendszerek határait az azokat létrehozó emberek határozzák meg.

A rendszerben egységek, elemek sokasága kapcsolódik össze. Ezek lehetnek anyagok, tárgyak, szerkezetek, folyamatok (akár gondolati folyamatok is), tevékenységek, gondolatok (pl. tudományos elméletek gondolati rendszere. A szellemi rendszerről később külön lesz szó.). A rendszer elemei nem véletlenszerűen kapcsolódnak egymáshoz, valamilyen egymásra épültség, kölcsönkapcsolat, funkcionális kapcsolat létezik közöttük. A funkcionális kapcsolat léte egyben arra is utal, hogy a rendszerek nem statikusak, működnek, változásokon mennek keresztül. Ezek a mozgások anyag- és energiaáramlással járnak. Az ökológiai és társadalmi rendszerekben az *információ áramlása* is alapvető folyamat, bár az a kétféle rendszerben különböző információhordozókon történik. A működés fenntartása valamilyen külső hajtóerőt vagy belső energiaforrást igényel. A Föld globális rendszerének működéséhez pl. meghatározó külső energiaforrás a Nap sugárzó energiája. Bolygónk belső melegének energiája is szerepet játszik a globális rendszer működésében, de jelentősége kisebb (Ld. később). A rendszer egyes elemei, egységei bizonyos szerkezeti rend szerint helyezkednek el, és egy nagyobb egységet alkotnak.

Maguk a rendszerek is kapcsolódhatnak egymással, és több rendszer egy újabb, nagyobb egységet alkothat. Ezt *összetett rendszer*nek, míg az őt alkotó rendszereket, amelyek már nem bonthatók egyszerűbbekre, *egyszerű rendszerek*nek nevezzük. Bizonyos mértékig szemlélet kérdése, hogy mit tekintünk egyszerű rendszernek. Egy emlős állat szervezete például meglehetősen bonyolult felépítésű, és igencsak komplikált működésű összetett rendszer, ugyanakkor az egyed feletti (szupraindividuális) szerveződési szinten még egyszerű rendszernek sem tekintjük, legfeljebb egy egyszerű ökológiai rendszer egyetlen alkotóelemének tartjuk.

Az összetett rendszerek is elemei lehetnek egy még bonyolultabb rendszernek, így *többszörösen összetett rendszerek*rőlis beszélhetünk (*5. ábra*). Az összetett és *többszörösenösszetettrendszerek* alkotó rendszereit az adott vizsgálati szempontból *alrendszereknek* (ritkábban részrendszereknek) nevezzük. Ugyanazt a rendszert tehát – a vizsgálat céljától függően – kezelhetjük összetett vagy éppen alrendszerként. Az egyszerűtől a többszörösen összetett felé haladva nemcsak az elemek száma nő, hanem a közöttük fennálló kapcsolatoké is (*5. ábra*). Mind a természetben, mind a társadalomban megfigyelhető a rendszerek hierarchikus felépítése. A tájkutatásban pl. a tájsejtet (ökotopot) tekintjük a legegyszerűbb rendszernek, amely még az adott táj jellemzőit magán viseli, és már tovább nem osztható.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



5. ábra. Egyszerű és összetett rendszerek: a) egyszerű, b) összetett, c) többszörösen összetett rendszer. A nyilak az anyag- és energiaáramlás irányait jelölik. Bal oldali nagy nyíl: bemenet (input), jobb oldali nagy nyíl: kimenet (output)

Az egymással nem teljesen azonos tulajdonságú, de sok közös vonással rendelkező tájsejtek nagyobb egységet képeznek a tájban. Ezt a szintet a német szakirodalom alapján **nanochornak** nevezzük. Magyar megfelelője a **tájsejt-együttes** (*1. táblázat*).

A nanochorok feletti hierarchiaszint a **mikrochor** = **tájsejt-csoport**.

Ez az a szint, amely már az adott táj főbb tulajdonságait a tájképben is magán viseli. Ilyen pl. a Tokaj-Zempléni-hegyvidéken elhelyezkedő Bodrogkeresztúri-félmedence.

A **mezochor** = **kistáj** a hasonló tájsejt-csoportokat magában foglaló egység. Előző példánkat tovább folytatva: a *Hegyalja* több olyan tájsejt-csoportból épül fel, mint a Bodrogkeresztúri-félmedence.

1. táblázat. A természeti táj hierarchiaszintjei

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Nemzetközi megnevezés	Magyar megnevezés	Magyarország nemzeti atlasza	Példa
Ökotop	Tájsejt	–	Homogén adottságú élőhely Pl. D-i kitettségű 10°-os lejtőszakasz homogén talajviszonyokkal
Nanochor	Tájsejt-együttes	–	D-i kitettségű lejtő változó lejtés- és talajviszonyokkal
Mikrochor	Tájsejt-csoport	–	Bodrogkeresztúri-félmedence
Mezochor	Kistáj	Mikrorégió	Hegyalja
Makrochor	Kistáj-csoport	Szubrégió	Tokaj-Hegyalja
Szubrégió	Középtáj	Mezorégió	Tokaj-Zempléni-hegyvidék
Régió	Nagytáj	Makrorégió	Észak-magyarországi-középhegység
Nagy régió	Nagytáj-csoport	–	Kárpát-medence

A kistájak (Hegyalja, Szerencsi-dombság, Tokaji-hegy) **kistájcsoportba** = **makrochorba** rendeződnek és *Tokaj-Hegyalját* alkotják.

A következő hierarchia-szint a **szubrégió** = **középtáj**. Példánkban ez a *Tokaj-Zempléni-hegyvidéket* jelenti, amely Tokaj-Hegyalján kívül a Hegyközt és a Zempléni-hegység kistájcsoportot foglalja magában.

Hazánk **nagytájai** = **régiói** Magyarországon a táji hierarchia-szintek csúcsán állnak. A Tokaj-Zempléni-hegyvidék az Észak-magyarországi-középhegység nagytájunkhoz tartozik.

Országhatárainkon túl tekintve a **nagytáj-csoport** = **nagy régió** is megemlítendő, mint már egy kontinentális jelentőségű hierarchia-szint, s erre példa a *Kárpát-medence*.

2. 2.2. A rendszerek csoportosítása, rendszertípusok

A rendszereket különböző szempontok szerint lehet vizsgálni, s ezen szempontok alapján különböző típusokba sorolhatjuk őket.

A rendszereket alkotó elemek jellege szerint megkülönböztetünk anyagi és szellemi rendszereket.

Az anyagi rendszereket fizikailag, kémiailag vagy biológiailag jól definiálható rendszerelemek építik fel, s működésükhöz energiára van szükség. Minél magasabb szerveződési szinten van az adott rendszert alkotó anyag, annál nagyobb jelentőségű a működése szempontjából az anyag- és energiaáramlás mellett megjelenő információáramlás. Az élő szervezetekben, de az egyed feletti szerveződési szinten is (az ökológiai rendszerekben) a DNS jelenti a legfontosabb információhordozót. A társadalmi rendszerekben pedig a biológiai rendszereken kívül tudatosan rögzített információk (írásjelekkel, ábrákkal, számokkal kifejezett gondolatok).

A fentiek értelmében az anyagi rendszereket *az anyag szerveződési szintjének megfelelően az alábbiak szerint csoportosíthatjuk*:

· fizikai rendszerek,

· kémiai rendszerek,

· biológiai rendszerek:

- egyed alatti szerveződési szint (élőlények szervezete)

- egyed feletti szerveződési szint (élőlények társulásai),

· társadalmi rendszerek (átmenet az anyagi és szellemi rendszerek között)

A Föld bolygón a természeti környezetben általában nincsenek „tiszta” rendszerek. Első megközelítésben úgy tűnhet, hogy bolygónk belső szféráinak mozgásai, változásai fizikai rendszerként írhatók le (ld. az ezek következtében kialakult lemeztektonikai rendszert). Közelebbről megvizsgálva a belső szférák rendszerében lejátszódó folyamatokat, a kémiai reakcióktól, változásoktól sem tekinthetünk el.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Még bonyolultabb a helyzet a litoszféra, hidroszféra, atmoszféra és az élővilág egymásra hatásaként működő bioszférában, ahol fizikai, kémiai és biológiai rendszerek bonyolult kölcsönhatásai átszövik egymást. Mindezek figyelembevételével a tiszta fizikai, kémiai stb. rendszereket általában csak tudatos tervezés alapján (pl. kísérleti céllal) az ember hozza létre, és vizsgálja ezek tulajdonságait. Szinte filozofikus szintre jutunk el, ha a társadalmi rendszerek helyét vizsgáljuk a globális földi rendszerben. Ezt a későbbiekben meg is tesszük, de ahhoz további ismeretekre lesz szükségünk: meg kell vizsgálnunk a szellemi rendszerek tulajdonságait, a rendszerek működésének sajátosságait s nem utolsósorban a Föld globális rendszerének történeti fejlődését. Most csak azt emeljük ki, hogy a társadalmi rendszerek a legbonyolultabb anyagi rendszerek, amelyek minden más típusú anyagi rendszert is magukban foglalnak, de működésükben a szellemi rendszerek játszanak meghatározó szerepet.

A rendszerek ismérveivel kapcsolatban már szó esett arról, hogy a rendszer elemei lehetnek fogalmak, gondolatok is, a folyamatok pedig gondolati folyamatok. Ha a rendszer kizárólag ilyen elemekből épül fel, *szellemi (gondolati) rendszer*ről beszélünk.

A **szellemi rendszerekben** az információáramlás a meghatározó. Az ebbe a típusba tartozó rendszerek végső soron az emberi agy termékei, még akkor is, ha az információk áramlása, sőt feldolgozása is technikai eszközök segítségével történik.

Közismert gondolati rendszerek pl. a tudományos elméletek, amelyekben az egyes gondolati elemek szigorú rend szerint kapcsolódnak egymáshoz, és egy egységes egészt alkotnak. Ugyancsak a szellemi rendszerekhez sorolhatók a vallási eszmerendszerek, vagy egy adott társadalom jogi szabályozási rendszere.

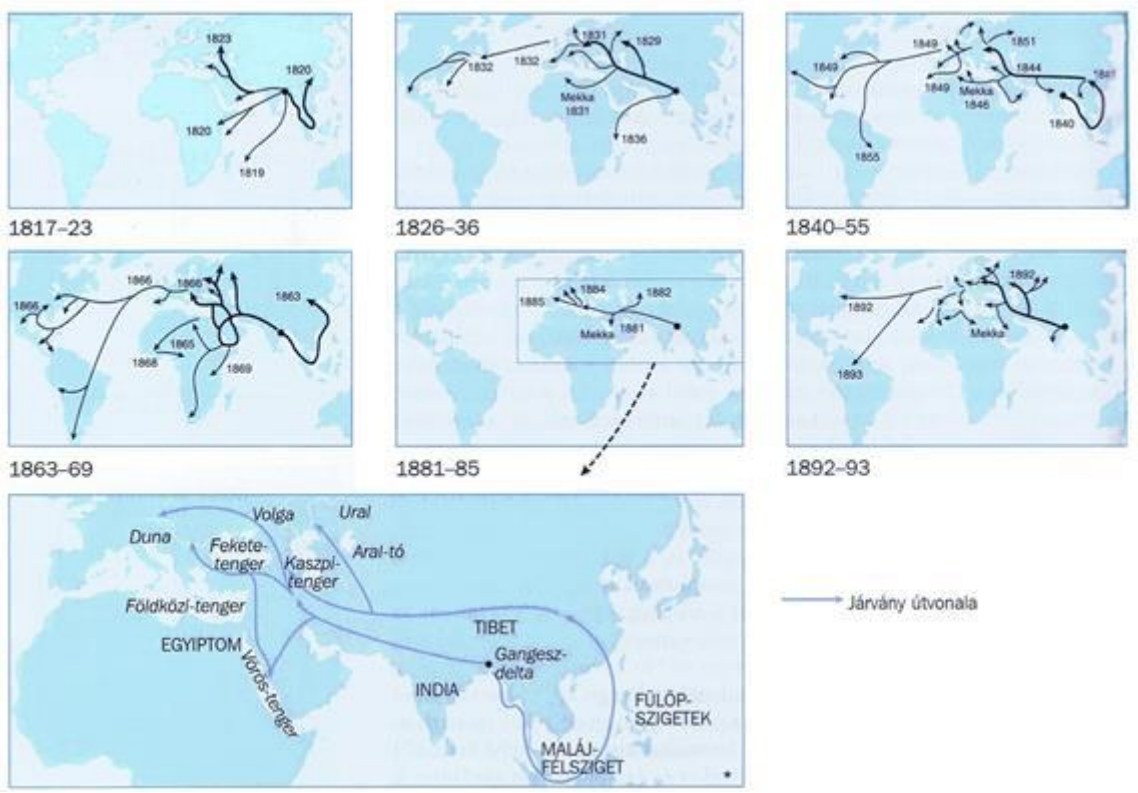
A szellemi rendszerek oly módon csatlakoznak az anyagi rendszerekhez, hogy az emberek nagy része azok szerint cselekszik, így változásokat okoz az anyagi rendszerekben.

Egy tudományos elmélet igazának eldöntése pl. legtöbbször a tudósok gyakorlati tevékenységével jár együtt (kísérletek), majd az igaz elmélet alapján a társadalom felé közvetítik annak hasznosítható elemeit, s a társadalom ezek szerint szervezi tevékenységeit.

A vallási eszmerendszerek gyakorlati vetülete talán még ismertebb. Az eszmerendszer alapján született vallási rítusok szerint százmilliók cselekszenek, s ezek a cselekedetek hatással vannak az anyagi rendszerekre: pl. templomok, bálványok építése (kő és faanyag nyerése a természeti környezetből), milliók megmártózása a Gangesz folyó szent vizében (baktériumok milliárdjainak vízbe juttatása) stb.

A *6. ábrán* Haggett (1998) nyomán azt figyelhetjük meg, hogy a 19. századi kolerajárványok útja szinte kivétel nélkül a Gangesz-deltából indult ki, s a betegség a zarándokutak mentén terjedt el.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

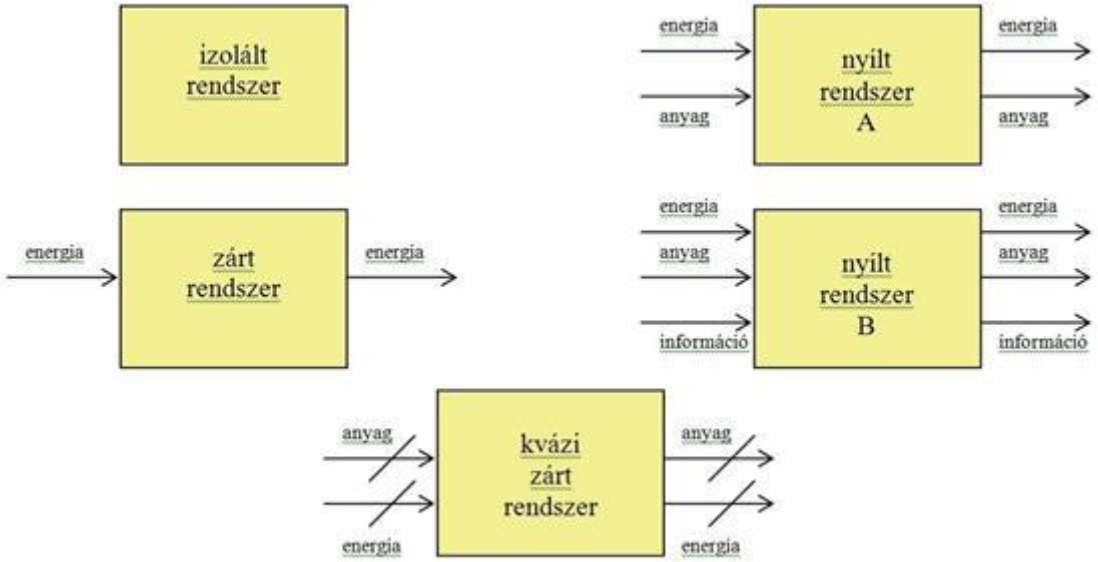


6. ábra. A vallási rendszerek hatása a 19. századi kolerajárványok terjedésére (Haggett, 2006)

Egy jogi szabályozási rendszer kidolgozása szellemi rendszernek tekinthető mindaddig, amíg az törvényerőre nem emelkedik. Ezután azonban az adott társadalom hatalmi apparátusa nagyon is gyakorlati tettekre kényszeríti az állampolgárokat. Egy ország környezetvédelmi törvényének megalkotása, törvényerőre emelése, majd végrehajtása ezt a kapcsolatot illusztrálja. Ebben az esetben a környezeti rendszerek természetes működését akadályozó vagy zavaró emberi cselekedetek, tevékenységek megváltozása várható a szellemi rendszer közvetett, az államapparátuson keresztül érvényesülő hatásától.

A rendszerek **környezetükhöz való viszonyuk szerint** is csoportosíthatók. Ebből a szempontból elsősorban azt kell vizsgálnunk, hogy az adott rendszer és környezete között van-e anyag- és energiacsere. Az olyan anyagi rendszert, amely semmiféle anyagot, ill. energiát nem ad át környezetének, s onnan nem is vesz fel ilyet, *izolált rendszernek* nevezzük. Ilyen rendszer tulajdonképpen csak laboratóriumban állítható elő, ott is nehezen. A rendszerek másik típusa energiát vesz fel és ad le, de anyagot nem cserél a környezetével. (Az energia cseréje azonban lehetséges.) Ezeket a rendszereket *zárt rendszereknek* nevezzük, amelyek ritkán fordulnak elő a Földön (*7. ábra*).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



7. ábra. Izolált, zárt és nyílt (nyitott) anyagi rendszer. (Az utóbbi B változata az ökológiai és a társadalmi rendszerekre jellemző.)

Az eddigiekből értelemszerűen következik, hogy a **nyitottrendszerek** környezetükkel anyag- és energiacserét folytatnak, sőt az ökológiai valamint a társadalmi rendszerek esetében a rendszerek között információáramlás is lejátszódik (*7. ábra*). *A környezeti rendszerek tehát nyitott (nyílt) rendszerek*.

A nyitott és zárt rendszerek közötti különbség a fenti definíciók szerint világosnak és egyszerűnek látszik, a valóságban mégsem mindig ennyire egyszerű a különbségtétel.

Mindenekelőtt vissza kell térnünk az anyag- és energiaáramlás kérdéséhez. Fizikai szempontból teljesen korrekt az az állítás, hogy az energia nem más, mint az anyag egyik meghatározó tulajdonsága. De képzeljünk el egy várost, amely meglehetősen bonyolult anyagi rendszer: természetes és mesterséges elemekből (talaj, növények, állatok, emberek, utak, épületek, ipari üzemek stb.) áll. A város napsugárzásból hatalmas mennyiségű energiát kap, (amit részben visszasugároz a világűrbe), és naponta meglehetősen sok árut szállítanak oda, az ott előállított árukat pedig más városokba. Az anyag be- és kiáramlása tehát tényszerűen megállapítható, sőt az áruknak is van energiatartalmuk. Ez a város azonban nem sokáig fog fennmaradni (az ott élő emberekkel együtt!), ha nincs állandó energiabevétele olyan energiaformákból, amely közvetlenül felhasználható a város működtetéséhez, mint pl. elektromos áram, földgáz, benzin, olaj stb.

De akkor sem fog hosszú ideig fennmaradni a város, mint rendszer, ha a fenti energiaformák ugyan megérkeznek, de mindenféle áruszállítás megszűnik, s a város lakói nem kapnak élelmiszert, sőt esetleg vizet sem. Vagyis a *rendszer működése szempontjából* meghatározó anyagokra nézve *zárt* lesz a rendszer.

Úgy gondoljuk tehát, hogy *kvázi zárt rendszerről* kell beszélnünk akkor, ha a rendszer működése szempontjából nélkülözhetetlen energiaformák vagy anyagok nem jutnak be a rendszerbe (*7. ábra, áthúzott nyilak*), így működésük csak ideig-óráig biztosított.

Más értelemben használják a *társadalmi rendszerekre* a zárt kifejezést. Észak-Korea pl. *zártrendszerű* ország. Ez fizikai értelemben nem jelenti az anyag és energia (sőt az információ) áramlásának teljes megszűnését, de jelenti ezek erős korlátozását.

Megint más megítélés alá esik a *Föld bolygóglobális rendszerének minősítése* nyitottság szempontjából. Ha szigorúan csupán *fizikai rendszerként* kezeljük, egyértelmű, hogy *nyitottrendszer*ről van szó, hiszen hatalmas mennyiségű anyag és energia érkezik a Földre (napsugárzás, kozmikus sugárzás, kozmikus por, meteoritok) és távozik is onnan (visszasugárzott energia, a légkörből gázrészecskék stb.). A Föld azonban élő rendszer is – legalábbis a külső szférák (litoszféra, hidroszféra, pedoszféra, atmoszféra) és az élővilág által alkotott bioszféra működését alapul véve. Természetes körülmények között (tehát az emberi tevékenységek nélkül) ebből a rendszerből élőlény nem távozhat a világűrbe, mert a középső vagy legkésőbb a felső légkörben az ott uralkodó

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

mostoha viszonyok között minden élőlény elpusztulna, s ez csak azért nem következik be, mert el sem jutna oda. Ilyen értelemben a *Föld zárt rendszer*.

Az emberi társadalom fejlődésével azonban eljutottunk arra a tudományos és technikai fejlettségi szintre, amely képessé teszi az embert s vele együtt bármely élőlényt vagy élőlénycsoportot bolygónk elhagyására. Mi emberek is a globális földi rendszer részei vagyunk, sőt minden mesterséges alkotásunk is azokból az anyagokból származik, amelyeket itt a Földön nyersanyagként felhasználtunk. Ebből a szempontból megközelítve tehát ismét *nyitott rendszerként* kell kezelnünk bolygónkat.

Ha azonban azt a kérdést is feltesszük, hogy Földünket elhagyó élőlények képesek-e tartósan önálló életet élni valahol a Naprendszerben, egyelőre „nem”-mel kell válaszolnunk. Vagyis az élővilág szempontjából (beleértve az embert is) csak látszólag nyitott a rendszer, hisz akár a nemzetközi űrállomáson hosszabb ideig tartózkodó legénység tagjainak is időnként vissza kell térniük a Földre, ha életben akarnak maradni. Ehhez még azt is hozzátehetjük, hogy az űrállomás tulajdonképpen a felső légkörben kering, s ilyen értelemben el sem hagyta a Földet.

Mindezeket figyelembe véve környezeti szempontból fontosnak tartjuk megállapítani, hogy bolygónk mint élő rendszer jelenleg kvázi *zárt rendszernek* tekinthető. Ez a státusza akkor változhat meg, ha az ember valamikor képes lesz valamelyik bolygót (legnagyobb eséllyel a Marsot) lakhatóvá tenni. Ez az időpont azonban még nagyon messze van.

Összefoglalva megállapítható, hogy az anyagi rendszereket környezetükhöz való viszonyuk szerint *izolált, zárt, kvázi zárt* vagy *nyitott rendszerek* csoportjába sorolhatjuk, de *a vizsgálat különböző szempontjai szerint ugyanaz a rendszer kerülhet más-más csoportba is*.

3. Önellenőrző feladatok

Egyszerű hibakutatás (*Az alábbi megállapítások közül válassza ki a hamis állítást!*)

1. A) A társadalmi rendszerekben az információ áramlása alapvető folyamat.

B) Az ökológiai rendszerekben nincs információáramlás.

C) Maguk a rendszerek is kapcsolódhatnak egymással, összetett rendszereket alkotva.

D) A rendszer egymással szerkezeti kapcsolatban álló és szoros kölcsönhatásban lévő rendszerelemek önszerveződő vagy mesterségesen létrehozott együttese.

E) A mesterséges rendszerek határait az azokat létrehozó emberek határozzák meg.

A) A Tokaj-Zempléni-hegyvidék a középtáj hierarchia szintbe tartozik.

B) Az egymással nem teljesen azonos tulajdonságú, de sok közös vonással rendelkező tájsejteket mikrochornak nevezzük.

C) A nanochorok feletti hierarchiaszint a mikrochor.

D) mezochor a hasonló tájsejt-csoportokat magában foglaló egység.

E) A mezochor magyar megfelelője a kistáj.

2. A) Ugyanazt a rendszert – a vizsgálat céljától függően – kezelhetjük összetett rendszerként vagy éppen alrendszerként.

B) A tájkutatásban a tájsejtet tekintjük a legegyszerűbb rendszernek.

C) A nagytájak Magyarországon a táji hierarchia szintek csúcsát jelentik.

D) A Tokaj-Zempléni-hegyvidék táji hierarchia szintek közül a középtájakhoz tartozik.

E) A középtájak hierarchia szintjét a német szakirodalom alapján makrochor-nak nevezzük.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

3. A) Az anyagi rendszereket fizikailag, kémiailag vagy biológiailag jól definiálható rendszerelemek építik fel.

B) A társadalmi rendszerek átmenetet képeznek az anyagi és szellemi rendszerek között.

C) Az egyed alatti szerveződési szinteket is a biológiai rendszerek közé soroljuk.

D) A szellemi rendszerek változásokat okozhatnak az anyagi rendszerekben.

E) Az ökológiai rendszerekben az ATP jelenti a legfontosabb információhordozót.

4. A) A nyitott rendszerek környezetükkel anyag- és energiacserét is folytatnak.

B) A zárt rendszer semmiféle anyagot, ill. energiát nem ad át környezetének, s onnan nem is vesz fel ilyet.

C) Környezeti szempontból a Föld, mint élő rendszer jelenleg kvázi zárt rendszernek tekinthető.

D) A környezeti rendszerek nyitott (nyílt) rendszerek.

E) Az anyagi rendszereket környezetükhöz való viszonyuk szerint izolált, zárt, kvázi zárt vagy nyitott rendszerek csoportjába sorolhatjuk, de a vizsgálat különböző szempontjai szerint ugyanaz a rendszer kerülhet más-más csoportba is.

Ábraelemzés. Párosítsa az alábbi meghatározásokat az ábrán szereplő betűkkel!

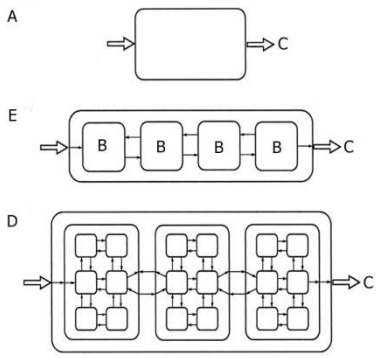
5. output

6. többszörösen összetett rendszer

7. egyszerű rendszer

8. összetett rendszer

9. alrendszer



Megoldások:

1. B

2. B

3. E

4. E

5. B

6. C

7. D

8. A

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

9. E

10. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

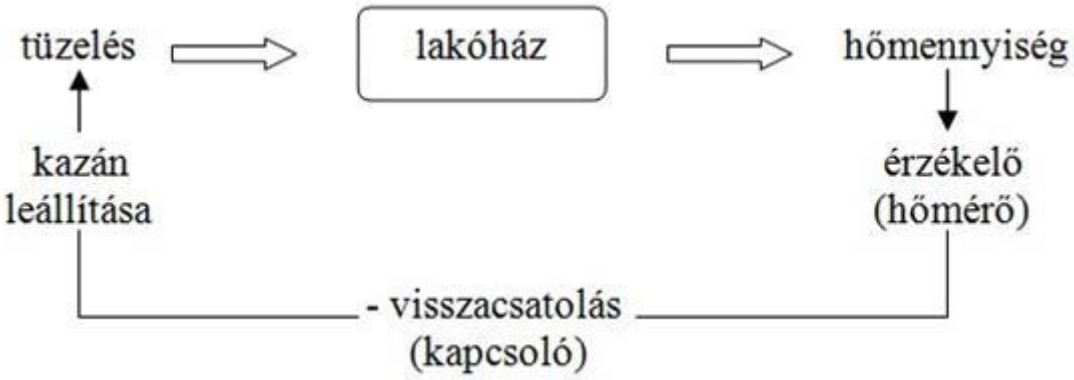
3. fejezet - Az anyagi rendszerek működése

1. 3.1. A visszacsatolások

Természetes és mesterséges anyagi rendszerekre egyaránt jellemző, hogy képesek bizonyos mértékű önszabályozásra. Az önszabályozás alapja a visszacsatolás, amely egyszerű rendszerekben is működik. A visszacsatolás a rendszernek az a működése, melynek során egy folyamat outputja (kimenete) kapcsolódik az inputhoz (bemenethez), azaz visszahat a rendszerre (*8. ábra*). A *normális* vagy *negatívvisszacsatolás* olyan módosító hatást fejt ki a rendszerre, amelynek következtében korrigálja annak működését, fékezi vagy meggátolja a kiinduló állapotot módosító hatásokat.

Egy ház fűtési rendszerébe beiktatott hőszabályozó (*9. ábra,* 2. animáció) például úgy működik, hogy egy hőmérő érzékeli a rendszer emelkedő hőmérsékletét, s a hozzá csatlakozó kapcsoló egy bizonyos hőmérséklet elérésekor kikapcsolja a kazánt. (Gátolja az inputot, vagyis negatív visszacsatolást valósít meg, mert az egyre emelkedő hőmérséklet további emelkedését akadályozza meg.) Mivel a ház is nyílt rendszer, anyagokat (a fűtőanyag égéstermékei) és hőt ad le a környezetének, lassan hűlni kezd. A hőszabályozó hőmérője ekkor a hőleadás miatt csökkenő hőmérsékletet érzékel, majd egy bizonyos hőmérsékleten a kapcsoló bekapcsolja a kazánt. Ez a működés is negatív visszacsatolás, mert ez egyre csökkenő hőmérséklet további csökkenését akadályozza meg, vagyis a hűlési folyamatot gátolja. E mindkét irányban fellépő negatív visszacsatolás eredményezi, hogy a rendszer hőmérséklete egy adott intervallumon belül változik csupán, nem melegszik túl és nem hűl le, azaz hőgazdálkodása dinamikus egyensúlyi állapotban van.

8. ábra. A negatív (stabilizáló) és a pozitív (labilizáló) visszacsatolás általános vázlata

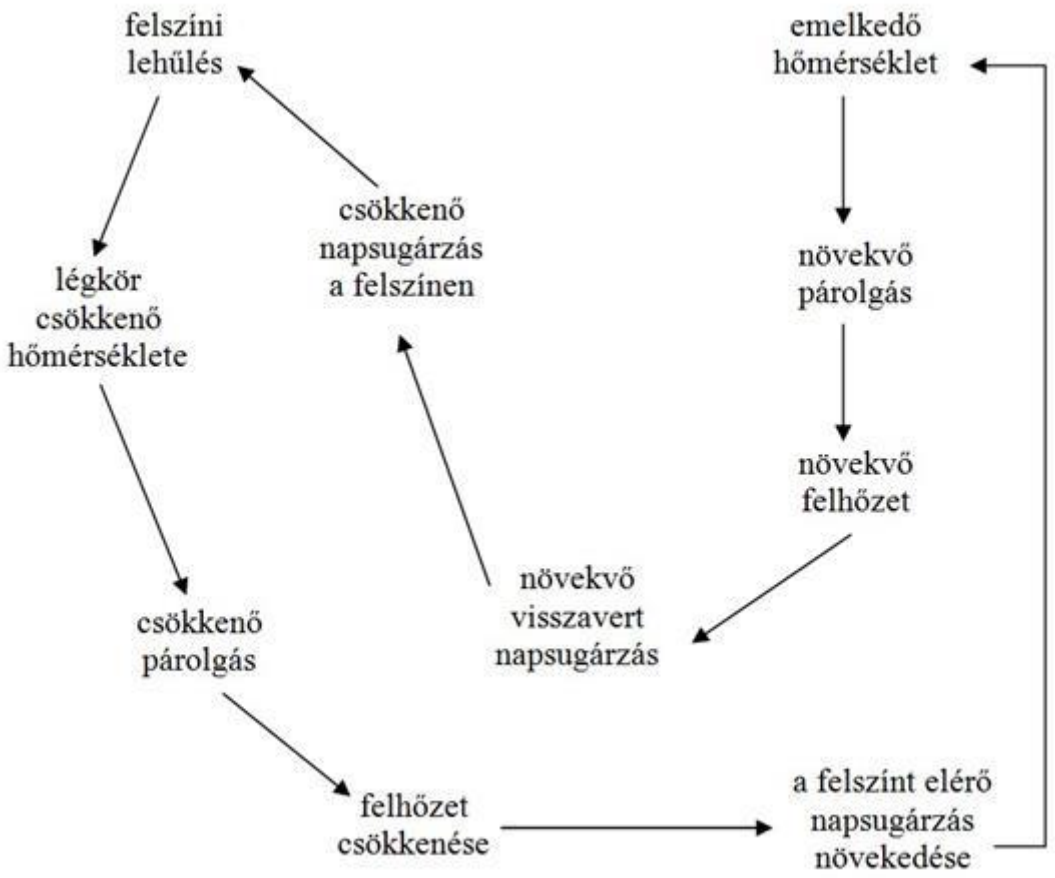


9. ábra. Egy lakóház fűtésszabályozójának elvi működése

A természetben is lejátszódik sokféle hasonló folyamat (*10. ábra,* 3. animáció). Például a légkör felmelegedése fokozza a párolgást, ez a felhőképződést. A növekvő felhőzetről nagyobb arányban verődik vissza a napsugárzás a világűr felé, mint korábban, vagyis a földfelszínt sugárzási veszteség éri, megindul a légkör lehűlése. Az egyre alacsonyabb hőmérséklet miatt csökken a párolgás, s ez a felhőzet csökkenését eredményezi, ami a felszínre jutó

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

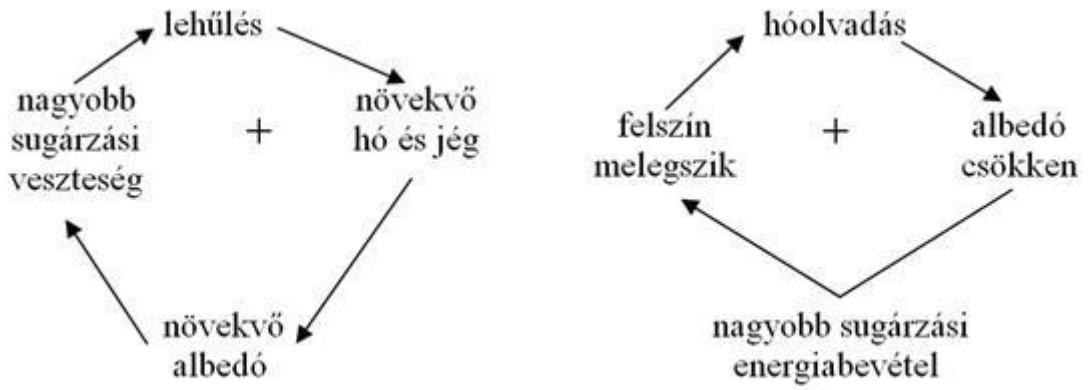
napsugárzás növekedésével jár, így idővel megáll a hőmérséklet csökkenése, sőt újra hőmérséklet-emelkedés kezdődik. E két negatív visszacsatolás eredményeként a légkör hőmérséklete egy bizonyos intervallumban állandósul. Mivel a *negatív visszacsatolás* a rendszert stabilizálja, ezért *stabilizáló visszacsatolásnak* is nevezik. Az ökológiai rendszerek egyik alapvető tulajdonsága, hogy a negatív visszacsatolások révén szabályozni tudják anyag- és energiaforgalmukat, így hosszú távon önfenntartók. Az ilyen rendszereket szokták *kibernetikai rendszereknek* is nevezni.



10. ábra. A negatív visszacsatolás egyik éghajlati példája

Ezzel ellentétes a *pozitív visszacsatolás*. Az éghajlattani példánál maradva: a légkör hűlése növeli a hó- és jégfelszínt (*11. ábra*). A fehér felszín hő- és fényvisszaverő képessége (albedója) nagyobb, mint a talajfelszíné, így nagy a felszín sugárzási vesztesége, ami viszont további lehűléssel jár. Ez a mechanizmus tehát erősíti a már beindult lehűlési folyamatot, *instabillá* teszi a rendszert. Melegedési folyamat esetén a hóolvadás miatt a hó alól kibukkanó sötétebb talajfoltok albedója kisebb lesz, ami nagyobb energiabevétellel jár, s ez további melegedést, ennek következtében hóolvadást eredményez (4. animáció). Ugyanilyen pozitív visszacsatolás működik a Jeges-tenger jegének olvadása során, amelynek hatása globális léptékű. Környezeti szempontból rendkívül veszélyes, ha a pozitív visszacsatolási folyamatok jutnak túlsúlyba, mivel azok a rendszer minőségi változásához, végső soron teljes pusztulásához vezetnek.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



11. ábra. A pozitív visszacsatolás két éghajlati példája

2. 3.2. A rendszerek viselkedése külső vagy belső hatásokra

Mindenekelőtt arról kell szólnunk, hogy a rendszerek esetében mit nevezünk *külső*, ill. *belső hatásnak*. Korábban tárgyaltuk, hogy a rendszereknek van természetes határuk. Ez a természetes határ egyes esetekben könnyebben, más esetekben nehezebben határozható meg. Viszonylag pontosan meghúzható egy tó vízi ökológiai rendszerének határa, de még ebben az esetben is inkább egy parti sávról beszélhetünk, mint egyetlen éles vonalról. Még nagyobb a bizonytalanság a természetes tájhatárok megállapításánál, s ezzel kapcsolatban máig is folyik a tudományos vita. A tájhatárok esetében is inkább egy sávot jelölhetünk ki egzakt vizsgálatok alapján, amely sáv a szomszédos tájakat elválasztja egymástól. Ilyen és ehhez hasonló esetekben – ha egyetlen vonalat akarunk kijelölni, mint rendszerhatárt – a határsáv középvonalát tekintjük rendszerhatárnak.

Amennyiben tehát ismerjük a rendszer határát, az ezen kívülről származó, a rendszert ért hatást *külső hatásnak* nevezzük. A külső hatás értelmezésénél mindig azt kell figyelembe vennünk, hogy a hatást kiváltó ok a rendszeren kívül létezik (képződik, jön létre), és a rendszer nem, vagy csak csekély mértékben hat vissza a változást kiváltó okra. Az éghajlati rendszer szempontjából ilyen külső hatás például a napsugárzás.

Ezzel szemben a *belső hatás* mindig az adott rendszeren belül keletkezik, és hatást gyakorol az egész rendszer működésére. Az éghajlati rendszer példájánál maradva belső hatásnak kell tekintenünk a nagy óceáni szállítószalagot, amely igen nagy szerepet játszik a globális éghajlati rendszer működésében, ugyanakkor a rendszer egyik elemének tekintjük.

A tudományos kutatás céljából néha olyan alrendszereket jelölhetünk ki egy rendszeren belül, amelyek határa nem húzható meg geometriai alakzattal. Egy természetes erdő ökológiai rendszere például növényekből, gombákból, állatokból és mikroorganizmusokból áll, amelyek kapcsolatban vannak egymással és a tápanyagbázist jelentő talajjal, sőt a talajképző kőzettel is. Egy ilyen rendszer túl bonyolult ahhoz, hogy egyszerre a rendszer működésének minden részletét a maga teljességében vizsgálni tudjuk. Ilyen esetben azt tehetjük, hogy az egyik alrendszert, például az erdő állatvilágát (vagy esetleg csak az erdő ízeltlábú állatait) vizsgáljuk, értelemszerűen az állatok között fennálló kapcsolatrendszert, táplálékhálózatot stb. Az erdő állatvilága térben átszövi a növényvilág által meghatározott teret (az erdőt magát), tehát nem lehet geometriai határral elkülöníteni a növényzet alrendszertől. Az állatvilág alrendszer szempontjából *külső hatás* lesz a növényzet, mint búvóhely, táplálékforrás stb., és *belső hatásnak* minősítjük az állati populációk egyedszámát, a ragadozók és növényevők arányát stb.

A külső vagy belső hatás kérdésének eldöntéséhez tehát a vizsgálat tárgyául szolgáló konkrét rendszer elemzése szükséges.

Nézzük meg ezek után, hogyan viselkedhetnek a rendszerek külső vagy belső hatásokra.

Determinisztikusnak nevezzük a rendszer viselkedését akkor, ha a hatás és a rendszer válasza között közvetlen oksági kapcsolat áll fenn.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Első megközelítésben tudományos szempontból (a megismerhetőség oldaláról) ez a viselkedés egyszerűnek tűnik, hisz az adott hatásra bekövetkező válasz kiszámítható.

A válaszreakció lehet *lineáris* vagy *exponenciális*, de mindenképpen az ok és okozat között matematikai módszerrel pontosan számítható kapcsolat van. A determinisztikus rendszer mozgása periodikus, mint pl. a naprendszer tagjainak gravitációs mozgásai.

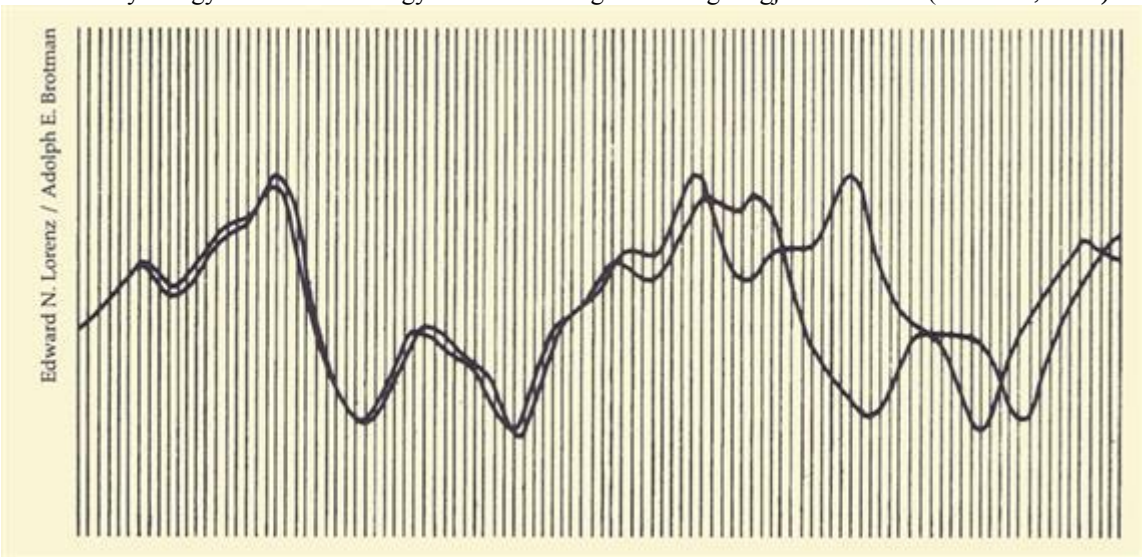
Matematikai értelemben a lineáris kapcsolat elsőfokú egyenlettel leírható, míg a determinisztikus, de nem-lineáris kapcsolat olyan egyenlettel jellemezhető, amelyben az ismeretlen (a változó) a kitevőben (is) szerepel (exponenciális egyenlet).

Ha egy fűtési rendszerben meghatározott mennyiségű ismert fűtőértékű energiahordozót égetünk el egy nap alatt, kiszámítható, hogy milyen hőmérséklet lesz az adott épületben, ha ismerjük annak paramétereit is. Ebben az esetben a feladat megoldásához exponenciális egyenletre lesz szükség.

A **sztochasztikusan** vagyis *véletlenszerűen* viselkedő rendszerek a külső vagy belső hatásokra olyan válaszreakciókat adnak, amelyek csak statisztikus módszerekkel írhatók le. Ezekben a válaszreakciókban is van szabályosság, de ezt a szabályosságot a nagy számok törvénye alapján statisztikai összefüggések írják le. A véletlenszerű események, ill. a véletlenszerűen viselkedő rendszerek reakcióinak leírására önálló tudományág, a matematikai statisztika született, melynek alkalmazása egyre szélesebb körű. Ilyen szotchasztikus rendszernek tekinthetjük pl. egy folyó vízrendszerét, ahol a vízhozam-ingadozások többé-kevésbé szabályos változásait, a nagyvizek és a kisvizek visszatérési gyakoriságát sztochasztikus modellek alapján számíthatjuk.

A rendszerek harmadik típusába a **kaotikusan** viselkedő rendszerek tartoznak. A kaotikus rendszerek mindig nem-lineárisak és nem periodikusak, továbbá se nem determinisztikusak, se nem sztochasztikusak. Első megközelítésben – hétköznapi kifejezéssel – akár „kiszámíthatatlan” rendszereknek is nevezhetjük őket, bár e „kiszámíthatatlanság” sem nélkülözi a matematikát: ezek viselkedésének leírására született a **káoszelmélet**, amelynek lényegét röviden ismertetjük.

Az elmélet atyjaként *Edward Lorenz* matematikus-meteorológust szokták megnevezni (*Gleick*, 1988). Lorenz az időjárást akarta számítógépes modellezés segítségével hosszabb időtartamra is megjósolni. A determinisztikus egyenletrendszeren alapuló modelljének működésekor azt vette észre, hogy ha ugyanazokat az időjárási adatokat táplálja be a számítógépbe kiinduló feltételekként, de az egyik esetben 6 tizedes pontossággal, a másik esetben pedig 3 tizedes pontossággal, összehasonlíthatatlanul más eredményre jut a számítógép. Az adatok betáplálásakor joggal gondolhatta, hogy pl. a levegő hőmérséklete esetében már nincs jelentősége, hogy az ezred vagy tízezred °C vagy még nagyobb pontossággal kerül be a kiinduló feltételek sorába. A számítógép által kinyomtatott két görbe – mint az időjárási rendszer viselkedését jellemző grafikon – eleinte együtt futott, majd egyre nagyobb mértékben eltért egymástól (*12. ábra*). Lorenz ezzel kapcsolatban az egyik következtetését az alábbiakban fogalmazta meg: „Nos, arra jutottam, hogy ha egy fizikai rendszer nem periodikus viselkedésű, akkor – bármilyen legyen is e rendszer egyébként – a mozgása mindig megjósolhatatlan” (in *Gleick*, 1999).

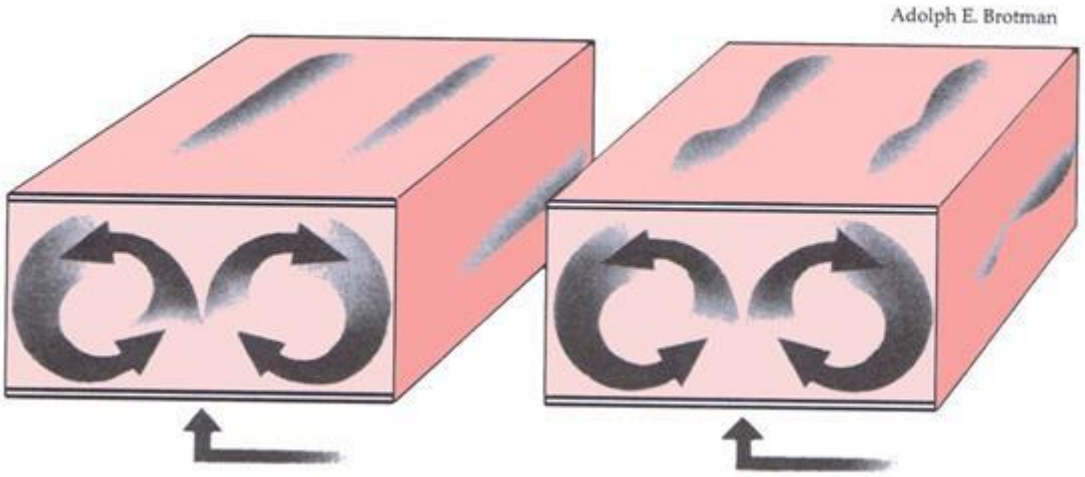


12. ábra. Edward Lorenz számítógépes időjárásai (Gleick, 1999) (Magyarázat a szövegben.)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Az időjárás minél pontosabb előrejelzése Neumann Jánost is foglalkoztatta, és látta annak nehézségeit. Többek között azt is felismerte, hogy olyan bonyolult dinamikai rendszerben, mint pl. az időjárási rendszer, lehetnek ún. *instabilitási pontok*, amelyek a rendszer egészének működése szempontjából különlegesen érzékenyek, vagyis ezeken a helyeken egy csekély fizikai hatás is jelentősen módosíthatja a rendszer működését. Azt azonban Neumann nem ismerte fel, hogy *kaotikus rendszerek minden pontjában felléphet instabilitás*. Edward Lorenz 1979-es előadása nyomán a kaotikus rendszereknek ezt a kiszámíthatatlan viselkedését eleinte *pillangó-hatásnak* nevezték el. Az elnevezés onnan származik, hogy Lorenz azt fejtegette: olyan rendszerekben, mint pl. az időjárás, elméletileg az is lehetséges, hogy egy pillangó szárnycsapása Brazíliában elindít egy folyamatot, amely végül Texasban tornádót okoz. A pillangó-hatás helyett a tudományban az *érzékenység a kezdőfeltételekre* kifejezést használják.

Lorenz felismerte, hogy a kaotikus rendszerek mindig *aperiodikusan viselkednek*. Első pillanatban megkérdőjelezhetnénk az időjárási rendszer aperiodikus viselkedését, hisz minden évben téli, tavaszi, nyári majd őszi időjárás következik egymás után, és ilyen értelemben megfigyelhető a periodikusság. Lorenz azonban matematikai pontosságú periodicitásra, azaz az időjárási események pontos ismétlődésére gondolt, s ezt az időjárás változékonysága nem elégíti ki. Vagyis az év minden napján, a nap minden órájában az előző év azonos napjának időjárása kellene, hogy ismétlődjön azonos mennyiségű csapadékkal, azonos hőmérséklettel stb. Tapasztalatból tudjuk, hogy ez nem így van. Az aperiodikus viselkedés egyben azt is jelenti, hogy a rendszer hosszú távú változásai nem jósolhatók meg, legfeljebb durván (általában nagy hibával) megbecsülhetők (*13. ábra*).



13. ábra. Folyadék mozgásai egy zárt edényben növekvő melegítés hatására (Gleick, 1999)

Néha egyszerű rendszerek viselkedése is kaotikussá válhat, de ez függ a rendszert mozgató hajtóerőtől. Ha egy zárt edényben (folyadékcellában) a folyadékot (az edény falát) alul középen melegítjük, az áramlás két henger palástja mentén indul meg. A felfelé mozgó meleg folyadékrészecskék hidegebb folyadékkal kerülnek érintkezésbe, és lassan lehűlnek, miközben újabb folyadékrészecskék indulnak középről felfelé. A hőt vezető részecskék a henger másik oldalán lefelé süllyednek (*13. ábra*). Ez a konvekció folyamata. Ha azonban tovább növeljük a hőmérsékletet, instabilitás lép fel a körmozgásban és a hengerek palástja hullámzó mozgást kezd végezni, majd teljesen kiszámíthatatlanná, turbulenssé válik (*13. ábra jobb oldala*).

Geofizikai ismereteink azt mutatják, hogy a földi mágneses teret előidéző ún. geodinamó (a Föld külső magjának folyadékszerű olvadt vas anyagának áramlásai) működésének eredményeként a mágneses tér irányultsága időnként megfordul. Az átfordulások közötti időszakok teljesen véletlenszerűnek tűnnek, s a változás okai is tisztázatlanok. Robbins (1976) azt feltételezi, hogy a geodinamó is kaotikus működésű, így természetes sajátossága a nem periodikus viselkedés. (A geodinamó működésének kaotikus jellegéről még folyik a tudományos vita.)

Egyszerű analógia alapján a konvekció kaotikussá válásához hasonlíthatók a meanderező folyók vizében végbement áramlások. A kanyargó folyó fő sodorvonalára merőlegesen másodlagos vízáramok alakulnak ki, hozzájárulva a meder formálásához (*14. ábra*). Bár a part alámosása és feltöltése bizonyos szabályszerűséggel megy végbe, a partszakadás pontos helye és ideje előre nem számítható. Ilyen jelenséget figyelhetünk meg az 1. videón. A Debreceni Egyetem folyóvizes laboratóriumában készített felvételen figyelemmel kísérhetjük a partomlások véletlenszerű megjelenését, helyenként az örvénylő vízmozgás hatására kialakult üstképződést. Az

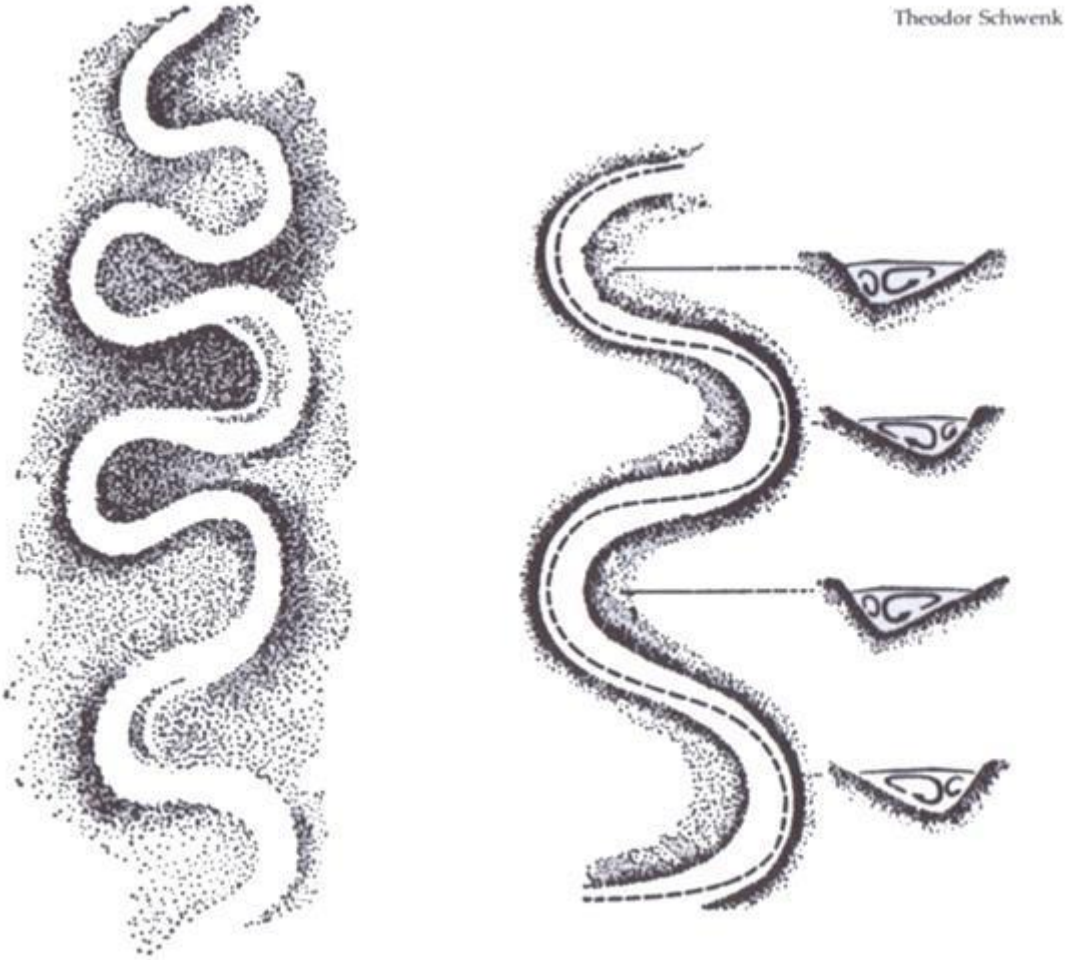
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

első pillanatban determinisztikusnak tűnő szurdok- és hordalékkúp-képződés a folyóvíz által szállított részecskék véletlenszerű mozgásának eredményeként játszódik le. E folyamatban is felismerhetők a káosz sajátosságai.

A 2. videón ugyancsak kísérleti körülmények között látjuk a szél által előidézett homokmozgást. Az egyedi szemcsék véletlenszerű ütközései révén a szél energiája transzformálódik a szemcsék dinamikus mozgásává, végeredményét tekintve azonban jellemző homokformák képződéséhez vezet. E folyamat elvi alapjait tekintve hasonlít a folyók hordalékszállításához.

A 3. videón egy izlandi gejzír működését követhetjük nyomon. Figyeljük meg az egymásután következő kitörések szabálytalanságát! A folyamatban az az érdekes, hogy fizikailag jól magyarázható determinisztikus hatások ellenére a gejzír kaotikus viselkedést mutat. Ez a felszín alatt a geológiai struktúrából fakadó véletlenszerű hatások eredménye. Megjegyezzük, hogy a tipikusan működő gejzírek között vannak olyanok, amelyek a determinisztikus rendszerekre jellemző tulajdonságokat mutatnak, ilyen pl. a Yellowstone Nemzeti Parkban található Old Faithful, amely teljesen szabályos időközönként tör ki.

A 4. videón a tenger hullámzását figyelhetjük meg. Az elméletileg ugyancsak determinisztikus hullámrendszer a valóságban kaotikussá válik. Ez egyrészt abból fakad, hogy a szél sebessége és iránya rendkívül gyakran változik, és a képződő hullámok néha egymásra tolódnak, néha nagyobb távolságban követik egymást, s a hullámmagasság is hol nagyobb, hol kisebb, az egymást erősítő, vagy gyengítő hatások miatt.

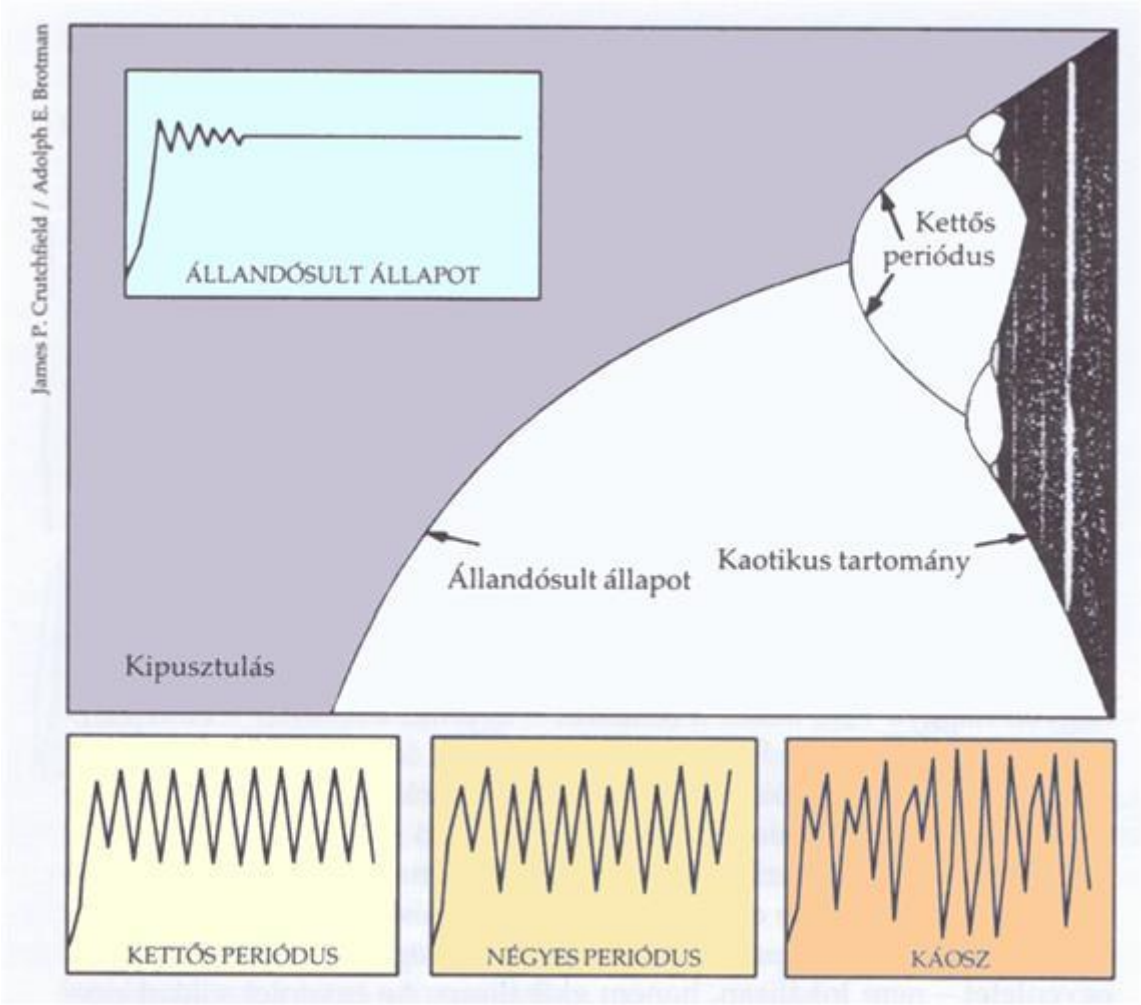


14. ábra. Meanderező és spirálban mozgó áramlások (Gleick, 1999)

Az eddigiekben élettelen kaotikus rendszerek viselkedését tanulmányoztuk. James Yorke matematikus volt az első, aki felismerte, hogy a természet lényegét tekintve nemlineáris, miközben a fizikusok, matematikusok a szabályosságokat keresik a természetben. Robert May a populációk időbeli változásait kezdte vizsgálni matematikai módszerekkel. Arra jutott, hogy ha a népesség növekedési rátája meghalad egy kritikus pontot, a rendszer viselkedése megváltozik. Ha a növekedési ráta kicsi volt, May modellje állandósult állapotba került

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

(*15. ábra, balra fent*). Ez a valóságban pl. egy állati populáció esetében is bekövetkezhet. Ha viszont a népesség növekedési rátája elérte a 3-at, az állandósult állapotot tükröző vonal „ketté tört” és May elképzelt populációja nem egy értéket vett fel, hanem két pont között „ugrált” (*15. ábra, jobbra*), azaz a grafikus ábrázolás villa alakú elágazást, bifurkációt mutatott. Ez azt jelentette, hogy az eredetileg stabil populáció kétévente két különböző szint között változott. A kétéves ciklusban váltakozó populáció négyes periódusra kapcsolt át, majd bekövetkezik egy pont, amely után „a periodicitás utat nyit a káosznak” (*15. ábra, lent*).



15. ábra. Periódus-kettőződések és káosz. A bifurkáció (Magyarázat a szövegben.) (Gleick, 1999)

Ennek az elméleti populációnak a viselkedése akkor vált még érdekesebbé, amikor kiderült, hogy a kaotikus viselkedést néha stabil, szabályos ciklusok váltják fel, majd újra fellép a káosz. A matematikusok valamennyi természettudomány számára fontos következtetésre jutottak: „a bonyolult rendszereket, amelyeket addig nehezen kezelhető folytonos differenciálegyenletekkel modelleztek, kényelmesebb diszkrét leképezések révén meg lehet érteni” (Gleick, 1999).

László Ervin a társadalom időbeli változásainak értelmezése során ugyancsak foglalkozik a bifurkáció jelenségével (László, 2008). Ő a társadalom esetében a bifurkáció jelenségének négy szakaszát különbözteti meg (*16. ábra*).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

16. ábra. A bifurkáció általános grafikonja (László, 2008)

Értelmezése szerint a káoszponthoz érkező társadalom sorsa két irányban változhat: 1. helytelen döntések sorozataként összeomlik, vagy 2. helyes döntések (egymást követő áttörési kísérletek) után fejlettebb szinten tovább működik.

Meg kell jegyeznünk, hogy a káosz-elmélet a társadalomra vonatkozóan még nem eléggé kidolgozott, bár maga a tény, hogy a társadalom is kaotikus rendszerként működik, többnyire elfogadott.

A természetben nagyon gyakoriak az aperiodikusan működő rendszerek: az időjáráson kívül a vele „rokon” éghajlati rendszer, az ökológiai rendszerek, de azok alrendszerei is (pl. különböző állati populációk) ilyeneknek számítanak.

A Föld rendkívül bonyolult, többszörösen összetett rendszer, ahol egymás mellett, vagy még inkább **egymást átszőve működnek** determinisztikus, sztochasztikus és kaotikus rendszerek. A már többször említett időjárási-éghajlati rendszernek például vannak olyan összetevői, amelyek *determinisztikus* viselkedésűek. Az üvegházhatású gázok melegítő hatását meglehetősen pontosan tudjuk számítani. Ugyancsak determinisztikus válaszokat ad az éghajlati rendszer a vulkanikus eredetű porfelhők légköri elterjedésére. Determinisztikusnak látszik a Föld tengelyferdeségének és Nap körüli keringésének hatása az éghajlati rendszerre, mégis inkább *sztochasztikusnak* kell értékelnünk, mivel az évszakok változása ugyan törvényszerűen bekövetkezik ennek hatására, de az egyes évek során rendkívül nagy eltérések lehetnek az évnek ugyanabban az időszakában, és csak hosszabb távon, az egyes telek, nyarak stb. statisztikai átlagai mutatják az adott évszak jellemző vonásait. Az éghajlati rendszer legfontosabb tényezőjének, a légkörnek a mozgásai, az általa szállított és transzformált energia térbeli változásai *kaotikusak*. Mindezek után *maga az egész időjárási/éghajlati rendszerkaotikusnak* számít, mivel számos véletlenszerű hatás is befolyásolja működését.

A rendszerek viselkedésének ezt a bonyolult és rendkívül összetett jellegét **kombinált működésnek** nevezhetjük.

Végül azt is meg kell említenünk, hogy abszolút „tisztán” működő nem kaotikus rendszer alig fordul elő, az is inkább csak a mesterséges rendszerek esetében, amelyeknél az ember különös gondossággal figyel a zavaró

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

tényezőkre, és lehetőség szerint kizárja azokat. Másképp fogalmazva: a káosz nyomai (véletlenszerű zavaró hatások) még a determinisztikus rendszerekben is felfedezhetők.

3. Önellenőrző feladatok

Egyszerű választás. A lehető leghelyesebb, egyetlen választ kell megkeresnie.

A) pozitív visszacsatolás

B) negatív visszacsatolás

C) mindkettő

D) egyik sem

1. Egy ház fűtési rendszerének működése jó példa erre.

2. Ez a mechanizmus csak zárt rendszerek esetében működhet.

3. Instabillá teszi a rendszert.

4. A rendszert dinamikus egyensúlyi állapotban tartja.

5. Az output visszahat az inputra.

6. Szerepet játszik a Föld éghajlatának alakulásában.

Többszörös hibakutatás. Döntse el, hogy az alábbi variációk közül melyik az igaz!

A) az 1., a 2. és a 3. hibás

B) az 1. és a 3. hibás

C) a 2. és a 4. hibás

D) a 4. hibás

E) mindegyik hibás

7. 1) Külső hatás esetében a rendszer nem, vagy csak csekély mértékben hat vissza a változást kiváltó okra.

2) A természetes tájhatárok megállapítása nem okoz problémát a tájkutatóknak.

3) Egy rendszer működését külső és belső hatások is befolyásolhatják.

4) Az éghajlati rendszer szempontjából a napsugárzás belső hatásként értelmezhető.

8. 1) Determinisztikusnak nevezzük a rendszer viselkedését akkor, ha a hatás és a rendszer válasza között közvetlen oksági kapcsolat áll fenn.

2) A sztochasztikusan vagyis *véletlenszerűen* viselkedő rendszerek a külső vagy belső hatásokra olyan válaszreakciókat adnak, amelyek csak statisztikus módszerekkel írhatók le.

3) A kaotikus rendszerek nem-lineárisak, nem periodikusak, nem determinisztikusak, és nem sztochasztikusak.

4) A káoszelmélet atyjaként Konrád Lorenz-t szokták megnevezni.

9. 1) A determinisztikus rendszerekben a válaszreakció csak statisztikai módszerekkel írhatók le.

2) A sztochasztikus rendszerekben a válaszreakciók lehetnek lineárisak és exponenciálisak, azonban az ok és az okozat között matematikai módszerrel pontosan számítható kapcsolat van.

3) Az időjárási rendszerek viselkedése determinisztikus.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

4) A kaotikus rendszerek mindig aperiodikusan viselkednek.

10. 1) A kutatók általában egyetértenek abban, hogy a társadalmi rendszerek determinisztikusak.

2) A Földön egymás mellett működnek determinisztikus, sztochasztikus és kaotikus rendszerek.

3) A természetben nagyon gyakoriak az abszolút tisztán működő, nem kaotikus rendszerek.

4) Egy zárt edényben lévő folyadék áramlása melegítés hatására kaotikussá válhat.

Megoldások:

1. B

2. D

3. A

4. B

5. C

6. C

7. C

8. D

9. A

10. B

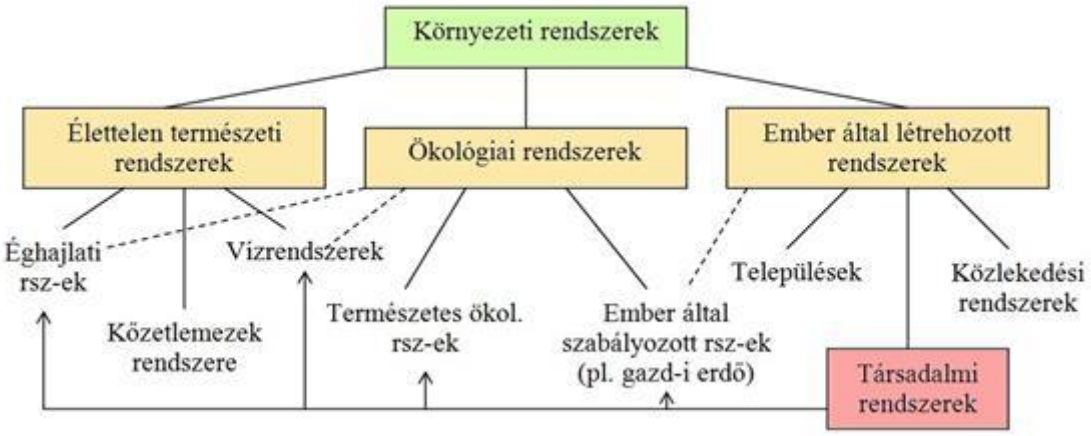
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

4. fejezet - A környezeti rendszerek tulajdonságai

A Föld globális rendszere számos részrendszerből épül fel, s ezek bizonyos hierarchiát mutatnak. Több kutatótól eltérően mi a társadalmat és az emberi alkotásokat is a globális rendszer részeként kezeljük, még akkor is, ha az emberi gondolkodás és a társadalom működése a társadalmi rendszereket különlegessé teszi.

A **környezeti rendszerek** élettelen és élő természeti elemekből valamint a társadalom által létrehozott és működtetett elemekből állnak. A környezeti rendszer tágabb fogalom, mint az ökológiai rendszer: az ökoszisztémák a környezeti rendszerek egyik típusát képviselik.

A környezeti rendszerek átfogó számbavételével és csoportosításával a szakirodalomban nem találkoztunk. Mi az alábbiakban a különböző típusú környezeti rendszereket a meghatározó rendszerelemek eredete (természetes vagy mesterséges) és azok anyagi minősége, fejlettsége (élettelen, élő, társadalmi) alapján csoportosítjuk (17. *ábra*).



17. ábra. A környezeti rendszerek főbb csoportjai és az egyes csoportokba tartozó néhány jellemző rendszertípus (Eredeti) A szaggatott vonalak a kapcsolatokra, a nyilak a társadalom degradáló hatásaira utalnak (Magyarázat a szövegben)

Ezek alapján tehát a környezeti rendszerek három fő csoportba sorolhatók: 1. az *élettelen természeti rendszerekben* a Föld élettelen anyagainak (levegő, víz, litoszféra) mozgásai és tulajdonságai dominálnak; 2. ökológiai rendszerek = *ökoszisztémák*, melyek működésében az élőlények élettevékenységei és kapcsolatrendszerük a meghatározó; 3. az *ember által létrehozott rendszerek* a legváltozatosabb összetételűek, de mindegyiküknél az emberi tudat és a munka határozza meg a működésüket.

Ezek a rendszerek egymással is szoros kapcsolatban vannak. Amikor az éghajlati rendszereket vizsgáljuk, elsősorban a légkör tulajdonságait helyezzük előtérbe (léghőmérséklet, vízszintes légmozgás = szél, turbulencia, légnedvesség stb.), de nem hagyhatjuk figyelmen kívül a földfelszín tulajdonságait (szín, fajhő, domborzati adottságok stb.), és igen nagy jelentőséget tulajdonítunk a tengerek, óceánok hőkapacitásának és hőszállításának, édesvizek esetében a tavak, víztározók mezoklimatikus hatásainak.

A vízrendszerek tanulmányozásakor az adott vízgyűjtő folyóinak, tavainak és felszín alatti vizeinek fizikai és kémiai sajátosságait (mozgásait, a beérkező és a rendszerből távozó víz mennyiségét, savas vagy lúgos jellegét, az oldott anyagainak összetételét stb.) mérjük, számítjuk. Ugyanakkor tudjuk, hogy a vízrendszert alkotó elemek (folyók, tavak) vízi ökológiai rendszerek élőhelyei, s mint ilyenek már az ökológiai rendszerek csoportjába tartoznak. Ez esetben vizsgálataink szemlélete és módszerei is változnak: az élőlények egymás közötti kapcsolatrendszere kerül a középpontba, és ehhez választjuk a speciális kutatási módszereket.

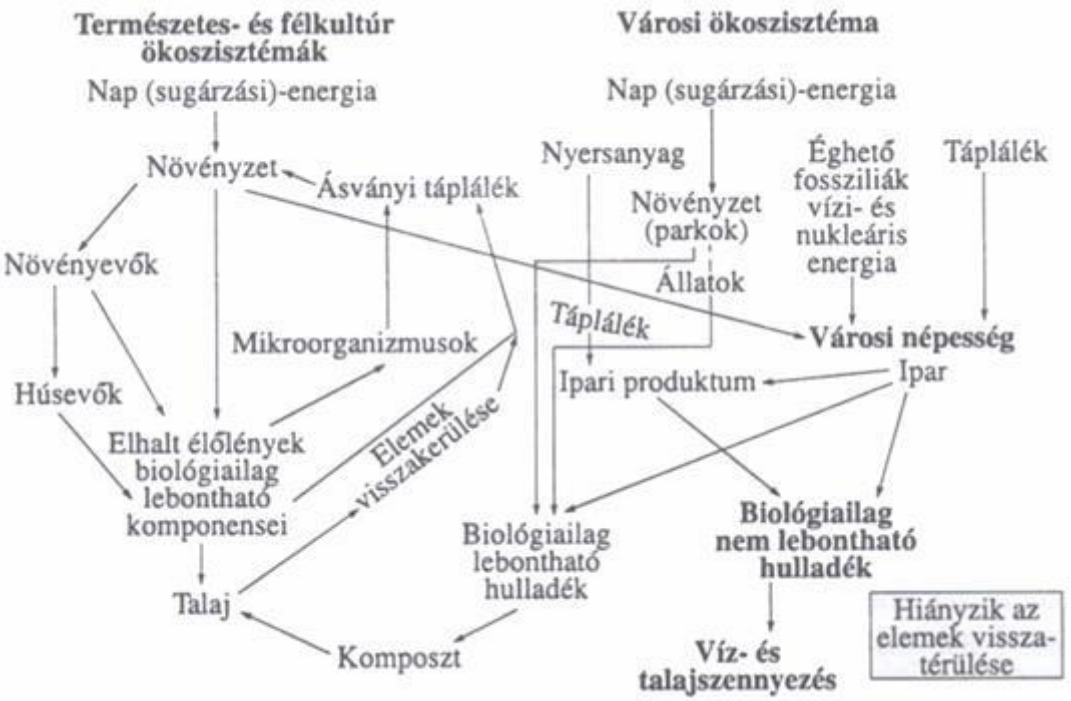
Az ökológiai és az ember által létrehozott rendszerek közötti átmenetnek is minősíthetjük az *ember által szabályozott ökológiai rendszerek*et. Ezekben az emberi beavatkozás nagyon különböző mértékű lehet. Egy gazdasági célra hasznosított erdőt a szakképzett erdészek oly módon kezelhetnek (szabályozhatnak), hogy az

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

természetközeli állapotban maradhat. Szélsőséges esetben azonban az ültetvény típusú erdők telepítése és gazdasági hasznosítása valósul meg, s ezekben a monokultúrás erdőkben (egyesek szerint ezeket nem is nevezhetjük erdőknek, mert az erdők legfontosabb tulajdonságai – fajgazdagság, gazdag aljnövényzet, különböző korú fák – nem jellemző rájuk) az emberi tevékenységek a meghatározók, s ilyen formában nem maradnak meg, önszabályozásra képtelenek. Ezért ezeket a monokultúrákat (ide sorolhatjuk a monokultúrás nagyüzemi mezőgazdasági rendszereket is) már inkább az ember által létrehozott (és fenntartott!) rendszerekhez kell sorolnunk (*17. ábra*).

A települések tipikusan *ember által létrehozott rendszerek*. Ha azonban alaposan elemezzük szerkezetüket és működésüket, ezeknél is találunk az ökológiai rendszerek felé mutató átmeneteket – legalábbis alrendszer szinten. Minden településen vannak zöldfelületek, amelyek egy részét az ember telepítette, más részüket azonban az eredeti növényzet (legtöbbször erdők) meghagyásával „integrálta” a települési struktúrába. Ha ezek elég nagy foltok az adott településen, akkor az ember által szabályozott rendszernek minősülnek.

A *18. ábrán* a várost, mint sajátos ökológiai rendszert értelmezzük, bemutatva a természetes ökoszisztémákkal fennálló kapcsolatait is.



18. ábra. A város, mint ökológiai rendszer (Kovács . 1986 nyomán, módosítva)

A város sajátos élővilága a mesterséges környezethez alkalmazkodott. Az élőlények a biológiailag hasznos (lebontható, átalakítható – ezáltal az élőlények életműködéseihez energiaforrásként felhasználható) szerves hulladékokból táplálkoznak, és a természetes ökológiai rendszerekhez hasonlóan táplálékláncot alkotnak.

Lényeges különbség azonban, hogy kevés a zöld növény (producens), és az általuk előállított szerves anyagot is kis mértékben hasznosítják az egyéb élőlények, valamint maga az ember. További különbség azonban, hogy a napenergián kívül a városba bevitt egyéb energiák a rendszer működésének fontos feltételei, és talán a leglényegesebb eltérés: a város, mint ökológiai rendszer működését az ember szabályozza. Az ember tevékenységének eredményeként a mesterséges ökoszisztémában nem játszódik le az elemek visszatérülése. A *18. ábrán* azt is megfigyelhetjük, hogy az urbán ökoszisztéma összekapcsolódik a környező természetes és félkultúr ökoszisztémákkal: az ember táplálékát „külső” rendszerekből szerzi be. Környezetvédelmi szempontból nagyon fontosnak tartjuk azt a tényt, hogy a városi ökológiai rendszer rengeteg olyan hulladékot termel, amely biológiailag nem bontható le, így az fokozatosan felhalmozódik. Megsemmisítése, ártalmatlanítása az ember feladata. A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy sokszor igen nehezen tud megbirkózni ezzel a feladattal.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A *17. ábrán* feltüntetett közlekedési rendszerek teljes egészében mesterséges rendszerek (a ló- és ökovontatta szekereket és hasonló, izomerőre épülő közlekedési formákat nem soroljuk a közlekedési rendszerekhez).

A legkülönlegesebb ember által létrehozott rendszerek maguk a társadalmi rendszerek. Különlegességük számos szempontból értékelhető, mi csak néhányat emelünk ki. A társadalom gondolkodó, tervezni, írni, olvasni tudó emberek együttélésén alapul. Működésében az ember által tudatosan megalkotott szabályok (az államok túlnyomó részében ma már írásban rögzített jogszabályok) a meghatározók. A társadalmi törvények sok esetben jelentősen eltérnek a természeti törvényektől. A társadalmi rendszer sajátossága, hogy anyag-, energia- és információ-áramlás egyaránt végbemegy benne: az anyagi és szellemi alrendszerek ötvözete.

Mindezek mellett a társadalom működésében olyan, csak az emberre jellemző tudati-érzelmi motívumok is szerepet játszanak, mint a hit, a hazaszeretet, egyének és embercsoportok egymás iránt érzett szeretete vagy gyűlölete stb. Más típusú mozgatóerők: a gazdasági érdekek, a hatalomvágy és hatalomgyakorlás, politikai pártokhoz tartozás stb.

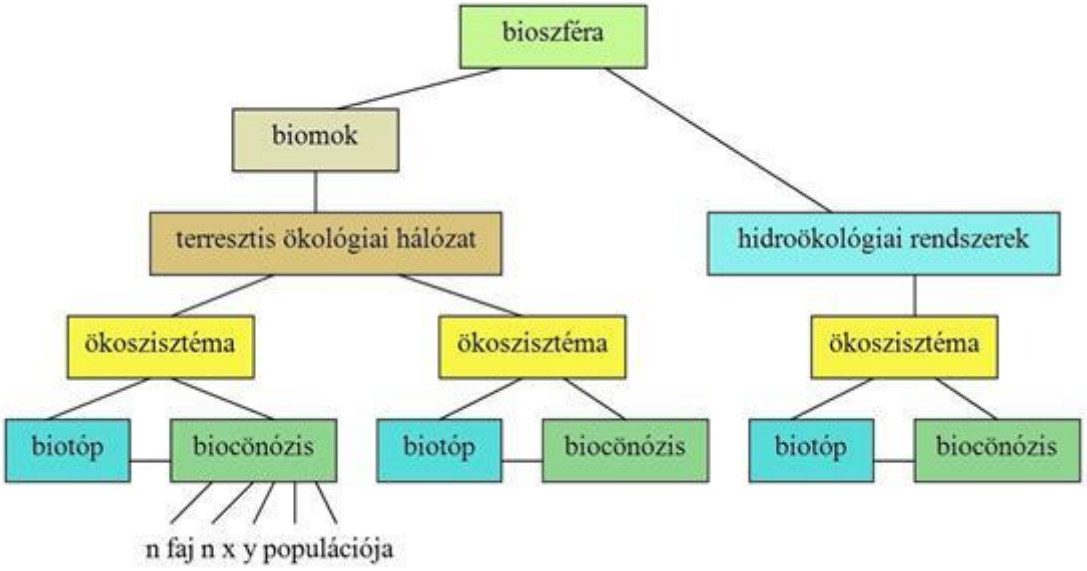
Felvethető az a kérdés, hogy a társadalom mennyiben tartozik a környezeti rendszerekhez. Az egyéni lét szempontjából a *társadalmi környezet* ugyanolyan fontos, mint a természeti környezet, bár jellegében a kétféle környezet különbözik egymástól. A természeti környezet a biológiai létfeltételeket biztosítja az ember számára (levegő, víz stb.), a társadalmi környezet pedig a társadalmi lét feltételeit: munka, kommunikáció, kultúra, társas kapcsolatok stb. Itt sem éles azonban a határ. Ma már a biológiai létfeltételek túlnyomó részéhez is csak a társadalomban juthat az ember: élelmiszer (mezőgazdasági termelés), víz (kiépített vízművek), megfelelő környezeti hőmérséklet (épített lakókörnyezet) stb.

A környezeti rendszerek következő nagy csoportját az *ökológiai rendszerek* alkotják, amelyek hierarchikus felépítését a *19. ábrán* mutatjuk be. Az ökológiában ugyanahhoz a fajhoz tartozó, egy adott területen együtt élő, potenciális vagy tényleges szaporodási közösséget alkotó egyedek csoportját populációnak nevezzük. (Meg kell jegyeznünk, hogy a kifejezést sokféle értelemben használják: pl. egy-egy népcsoportot, esetleg lakóhely szerint szociológiai vizsgálat alá vont embercsoportot is jelenthet a populáció.) Az ökológusok élénken tiltakoznak ezek ellen az elnevezések ellen.

Egy jellegzetes élőhelyen, pl. egy tóban nagyon sok faj populációi élnek: növények, növényevő halak, ragadozó halak sokasága.

A tó élőlényei nemcsak egymással, hanem a tó vizével, sőt a fenékiszappal, a tóban lerakódott üledékkel is anyag- és energiakicserélődési kapcsolatban vannak.

Azt az élőhelyet, amely egy adott életközösség (élőlényközösség) számára életfeltételeket nyújt, és amely hatások és visszahatások révén kölcsönkapcsolatban áll azokkal, *biotópnak* nevezzük (*19. ábra*).



19. ábra. A bioszféra hierarchikus felépítése (Eredeti)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A biotóp a sokféle faj egymással kapcsolatban lévő populációinak, vagyis az *életközösség*nek (*biocönózis*nak) az élőhelye, élettere. A biocönózisok rendkívül bonyolult kapcsolatrendszere gyakran szükségessé teszi, hogy külön vizsgáljuk a növények közötti társulási kapcsolatokat, s külön az állatok populációinak kapcsolatrendszerét, vagyis a *növénytársulást* (*fitocönózist*), ill. az *állattársulást* (*zoocönózist*).

Egy életközösség a rendelkezésére álló élőhellyel egységes rendszerben, az ökoszisztémában kapcsolódik össze, vagyis *a biotóp és az életközösségek az élő és élettelen hatótényezőkkel***ökológiai rendszert** (*ökoszisztémát*) alkotnak. Meg kell jegyeznünk, hogy az MTA illetékes szakbizottsága az ökoszisztémát absztrahált fogalomként definiálja, lényegében egy *rendszermodellnek* tartja, amely a valóság jelenségeit a rendszerelemzés eszközeivel leírhatóvá teszi. (A modellalkotásról külön fejezetben lesz szó.)

Az ökoszisztémák egymással is kapcsolatba kerülnek: a közöttük lezajló anyag- és energiaáramlásban, valamint a fajok cseréjében nagy szerepük van az ökológiai folyosóknak. Ilyenek pl. a folyók menti ligeterdők, amelyek önmaguk is természetes ökoszisztémát alkotnak, de lineáris megjelenési formájuk alkalmassá teszi őket térben távolabb elhelyezkedő ökológiai rendszerek összekapcsolódására. Az ökológiai hálózattá összekapcsolódott, egyre összetettebb ökológiai rendszereknek nagy szerepük van a bioszféra faji változatosságának fenntartásában.

Magát a *bioszférát* mint globális ökológiai rendszert, valamennyi földi ökológiai rendszer (ökoszisztéma) egységeként értelmezzük.

A földi élővilág 10–20 millió fajának (egyes becslések ennél egy nagyságrenddel nagyobb számot is reálisnak tartanak) ismeretlen számú populációja nem véletlenszerűen rendeződik el a Földön. Az éghajlatnak meghatározó szerepe van az ökoszisztémák megjelenésében, szabályszerű előfordulásukban. Tudjuk, hogy más megjelenésűek a trópusi esőerdők, a szavannák, a sivatagok, a mérsékelt övezeti lombhullató erdők stb., és közismert, hogy ezek a földrajzi szélességi körökkel többé-kevésbé párhuzamos elrendeződésűek.

A szárazföldi életközösségeknek ezt az övezetes megjelenését s az egyes övezeteket a nagy növényzeti típusok (formációk) szerint nevezték el, ugyanakkor tudnunk kell, hogy ezek többet jelentenek, mint növényzeti övek: magukban foglalják az adott övezet valamennyi ökoszisztémáját azok növény- és állatvilágával, termelő és lebontó szervezeteivel s ezek élőhelyeivel együtt. Egy-egy zónára vonatkozó nevük az ökológiában: *biom*.

A vízi ökológiai rendszereket még nem szoktuk biomokba sorolni. Valószínű, hogy a világóceán élővilágának további megismerése a későbbiekben elvezet oda, hogy a tengerek életföldrajzi nagy egységeit, a tengeri biomokat is körül lehet határolni, de jelenleg még nincs elég ismeretünk ehhez.

1. Önellenőrző feladatok

Ábraelemzés. Párosítsa az alábbi meghatározásokat az ábrán szereplő betűkkel!

1. Társadalmi rendszerek

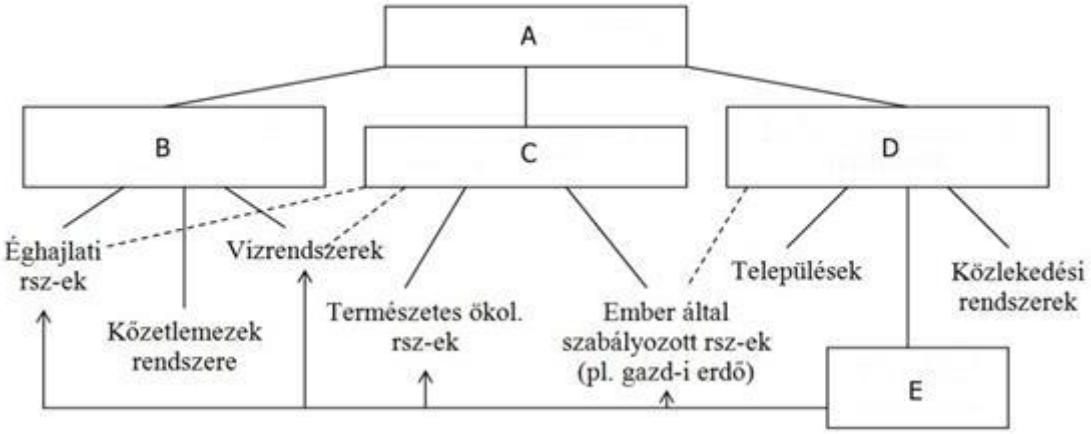
2. Ökológiai rendszerek

3. Környezeti rendszerek

4. Ember által létrehozott rendszerek

5. Élettelen természeti rendszerek

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



Egyszerű választás. Keresse meg a fogalmakhoz leginkább kapcsolódó meghatározásokat!

A) bioszféra

B) biom

C) populáció D) biotóp

E) biocönózis

6. Élőhely, mely egy adott életközösség számára életfeltételeket nyújt.

7. Ugyanahhoz a fajhoz tartozó, egy adott területen együtt élő, potenciális vagy tényleges szaporodási közösséget alkotó egyedek csoportja.

8. Globális ökológiai rendszer, valamennyi földi ökológiai rendszer egysége.

9. Életközösség.

10. A szárazföldi életközösségek övezetes megjelenése.

Megoldások:

1. E

2. C

3. A

4. D

5. B

6. D

7. C

8. A

9. E

10. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5. fejezet - A természetföldrajzi rendszerek egyensúlya és érzékenysége

Napjaink változó környezeti feltételei mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a tájak és részrendszereik egyensúlyának és érzékenységének a vizsgálata, ugyanis így a különböző felszíni elemek (táji elemek, formák) átalakulása magyarázható, illetve stabilitásuk megadásával a jövőbeli változásuk mértéke is becsülhető. Ez a társadalom számára is fontos, hiszen a jövőben várható környezeti változásokra csak ilyen adatok birtokában lehet felkészülni, s a helyes beavatkozási módokat megtalálni, hogy ne a rendszer (új) stabilitása ellen küzdjön a gyakorlati szakember.

1. 5.1. Egyensúly és érzékenység

Míg az **egyensúly** értelmezése igen jól definiált a fizikában és a kémia tudományában, addig a földrajzban (geomorfológiában) nagyon nehezen értelmezhető (Thorn és Welford 1994).

A fizikában az egyensúly **dinamikai értelmezése** a newtoni mozgástörvényeken alapul. Legfőbb jellegzetessége, hogy egy pontszerű test mozgását értékeli. Egyensúly akkor következik be, ha a mozgó test sebessége állandó vagy a test nyugalomban van, azaz a rá ható erők eredője zéró (gyorsulás nincs). A mozgás jellege felől megközelítve háromfajta egyensúly különböztethető meg. A *statikus egyensúly* során a test nyugalomban van, azaz a rá ható erők eredője zéró. A *dinamikus egyensúly* esetén a test egyenes vonalú egyenletes mozgást végez (5. animáció). Ezen kategóriák viszonylagosak lehetnek, tehát az, hogy mi van dinamikus és mi statikus egyensúlyban, az függ a viszonyítási helytől és ráadásul ezek az egyensúlyi állapotok egymásba alakulhatnak. A forgó mozgással jellemezhető testekre a *forgási egyensúly jellemző*, amikor a testre ható forgatónyomaték eredője nulla (6. animáció). Ha az egyensúlyt a helyzeti energia változása és a testre ható pozitív és negatív visszacsatolások felől értékeljük, akkor négy fajta egyensúly különíthető el. A *neutrális egyensúly*ban a test elmozdulása nem változtatja meg az erők eredőjét, a test helyzeti energiája nem változik, és a rá ható erővel azonos irányú elmozdulást végez (7. animáció). Az *instabil egyensúly* esetén a testet elmozdító (akár kis) erő hatására a test az elmozdítással azonos irányú mozgást végez, majd a pozitív visszacsatolás révén a test elmozdulása további ugyanolyan irányú elmozdulást eredményez, miközben helyzeti energiája csökken (7. animáció). *Stabil egyensúly* esetén a test a rá ható erő hatására elmozdul, majd túllendülések sorozatán keresztül (oszcilláló mozgás után) eredeti helyére helyreáll (8. animáció). Ilyenkor az eredeti elmozdulás irányával ellentétes mozgást is végez (negatív visszacsatolás), miközben a kilendülésekkor helyzeti energiája időlegesen nő, de végül az eredeti állapotban marad. A *metastabil egyensúly* a stabil és instabil egyensúlyok kombinációja: ha a testre kis erő hat, akkor stabil egyensúlyi állapotban marad, azonban nagyobb erő hatására instabil egyensúlyi állapotba kerül (8. animáció). A test mozgását 3D-ben is értelmezhetjük. Ilyenkor, ha a felszínen van a test, akkor beszélünk stabil állapotról, míg az egyensúlyvesztés (non-equilibrium) akkor következik be, ha a felszíntől elválik a mozgás. Az egyensúly ilyen jellegű értelmezése lehetővé teszi, hogy az egyensúly több lényegi tulajdonságát megértsük. Tételezzük fel, hogy a felszínen a test mozog, azaz egyik egyensúlyi állapotból a másikba kerül. Ebből következően (1) több egyensúlyi állapot is létezik, amelyek között (2) lassú vagy ugrásszerű átmenetek is lehetnek. Az egyensúlyi állapotok (3) nem egyformán stabilak, hiszen némelyikük helyi potenciális energia maximum, míg másikuk energia minimumot képvisel. (4) A test többféle úton haladhat az egyre kisebb energiájú egyensúly felé. (5) Az egyik állapotból a másikba kerülés akár irreverzibilis folyamat is lehet.

A termodinamikai egyensúlyi értelmezés során már nem egy testet, hanem egy molekula-tömeget vizsgálnak, például 1 mól $6x10^{23}$ molekulából áll. Ezen értelmezés során már nem erővel fejezik ki az egyensúlyt, hanem tömeggel (ami sokkal jobban használható a természetföldrajzban). Mivel ilyen nagyszámú elem mindegyike nem lehet ugyanolyan állapotban, ezért a termodinamikában „csupán” *kvázi egyensúly* létezik, amikor a rendszer illeszkedik környezetéhez, illetve ha a környezete változik, a rendszer maga is lassan változik. Tehát a kvázi egyensúly során a rendszer folyamatos egyensúlyban van, bár új állapotba jut. Mivel a nyílt rendszerekben mindig van energiaveszteség, a folyamat irreverzibilis. Ezért a zárt rendszerekre jellemző csak az egyensúlyi állapot, a nyílt rendszerek un. *non-eqilibrium* állapotban vannak. Az időben állandóan, lineárisan változó rendszerek *állandó állapotúak (steady state v. stationary state)*. Ha az eltérések a nulláhozközelítenek *egyensúly-közeli* (*near-to-equilibrium*) a rendszer, aminek ellentéte az *egyensúly-távoli* (*far-from-eqiulibrium*) állapot.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A természetföldrajzi egyensúly fogalom nem egyeztethető össze a többi tudománnyal, amelynek egyik oka, hogy az egyensúly értelmezéséhez szükséges energiát nehéz (vagy lehetetlen) mérni a földrajzban. Hasonló problémákkal küzdenek a tájökológiai kutatások során is, hiszen az ökológiai rendszerek mind nyitottak, így rájuk csak *non-equilibrium* a *nem-egyensúlyi vagy labilis* állapot lehet jellemző (Perry, 2002). Ugyanakkor a környezeti rendszerek viselkedésének leírásához elengedhetetlen az egyensúly értelmezése, hiszen ezzel a rendszer és a környezete közötti kapcsolat minősíthető. Azonban a földrajz sajátossága a méretarány-függőség, ezért az egyensúlyt térben és időben más-más méretarányban kell minősítenünk, ami felveti, hogy akkor az egyensúly skálafüggő.

A **geomorfológiá**ban az egyensúlyt rendszerint *dinamikus egyensúly*ként jellemzik, amely fogalmat Gilbert (1877) alkotta meg. Dinamikus egyensúly akkor jellemző, ha „a felszínt dinamikusan formáló erők egyensúlyban vannak". Ez a megfogalmazás méretarány függő és az egyensúly leginkább anyag-mozgás vizsgálatán alapszik, nem energiájén. Felismerve, hogy az időbeli méretarány változásával a változás trendje is más és más lehet, Schumm (1965)bevezette a *ciklikus, fokozatos (graded)* vagy *állandó (steady) egyensúly* fogalmát. Ezek olyan rövidebb-hosszabb időszakok alatt nyilvánulnak, meg, amikor folyamatos állapotváltozás létezik. Véleménye szerint *állandó állapot* csak kis területen és rövid ideig lehet, ugyanakkor a dinamikus egyensúly nagy területen és hosszabb időn át valósul meg.

Renwick (1992) a dinamikus egyensúly olyan változásként definiálja, amikor a változásoknak nincs időben jellegzetes trendje. Ez lehet úgynevezett *egyensúly-közeli állapot (dis-equilibrium)*, amikor földrajzi rendszer valamilyen trenddel halad az egyensúly felé csak még nem volt elég idő az egyensúly eléréséhez. Ugyanakkor a *labilis állapot* (*non-equilibrium)* során hirtelen forma vagy output (kimenet) változások következnek be, de nincs jellegzetes középérték vagy állapot, ami felé haladna a rendszer.

Ugyanakkor azt is be kell látnunk, hogy szemben a fizikai vagy kémiai egyensúlyi folyamatokkal, a felszín nem lassan és nem egyenletesen változik, hanem vannak kitüntetett helyek és időpontok, amikor gyors változások történnek. Tehát adott területen a környezeti rendszer nem minden eleme reagál ugyanúgy, mindig vannak olyan elemek vagy részrendszerek a tájban, amelyek nem reagálnak vagy nem érzékenyek. Ez felveti, hogy nemcsak a változást okozó külső hatás létezik, de valamiféle küszöbérték is, ami meghatározza az adott pont zavaró hatásra adott válaszát.

A rendszer **érzékenysége** tehát a rendszer feltételes instabilitását jelenti, amely a külső tényezők zavaró hatására adott gyors és visszafordíthatatlan válaszadásban nyilvánul meg. Az érzékenységet azonban a különböző szerzők különböző módon definiálják (*2. táblázat*). Végül meg kell jegyeznünk, hogy Brunsden (2001) az érzékenység és a stabilitás között nem lát lényegi különbséget, egymás szinonimájaként kezeli a két fogalmat. Mivel az érzékenység rosszul definiált, ezért Perry (2002) szerint alkalmazása is kerülendő, helyette javasolja a rugalmasság (*resilience*) használatát, ami megmutatja, hogy a rendszer a zavaró hatás után milyen mértékben állt helyre, míg az ellasztikusság (*persistence*) megmutatja, hogy milyen gyorsan állt helyre a rendszer. Összességében tehát az érzékenység azt fejezi ki, hogy a rendszert zavaró tényezők/erők megváltoznak-e annyira, hogy érzékeny, felismerhető válaszadás következzen be, tehát megmutatja, hogy a rendszer mennyire képes abszorbeálni a zavaró hatásokat.

2. táblázat: Az érzékenység néhány lehetséges meghatározása

Szerző	Érzékenység (S)	Tükrözi a
Brunsden, Thornes (1979)	S = zavaró erő/ellenálló erő	a rendszer ellenálló képességét és a változásra való hajlandóságát
McEwen, Werritty (2001)	S = pihenési idő/zavaró hatás visszatérési ideje	a rendszer regenerációs képességét
Usher (2001)	S = a rendszer változása/ rendszer elemeinek változása	a rendszer összetettségét
Brunsden (2001)	S = zavaró hatás mértéke/ellenállás mértéke és hatékonysága	instabilitás mértékét

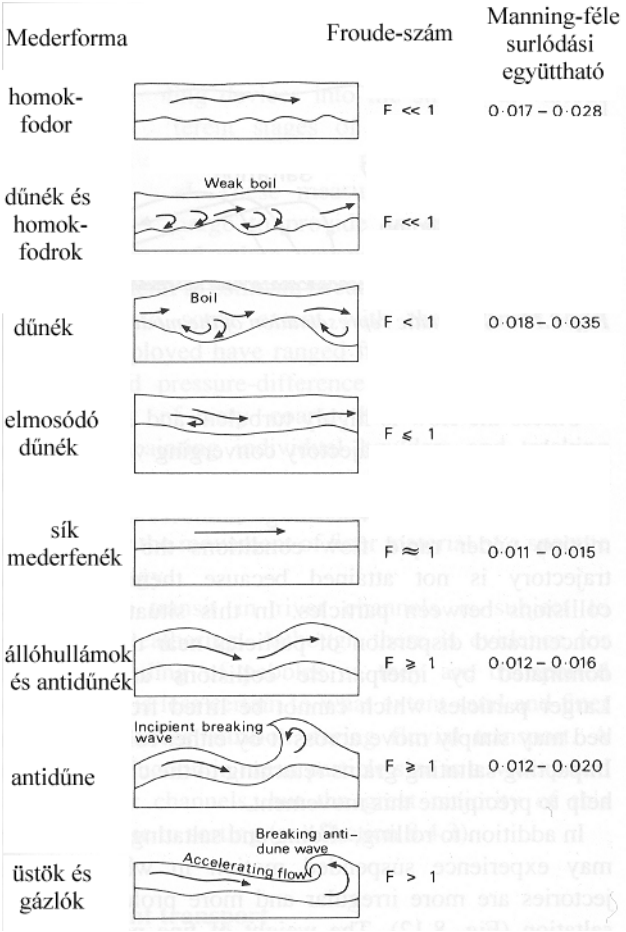
Akörnyezeti rendszereket érő **zavaró hatások** igen sokfélék lehetnek. Ide sorolható a tektonizmus, a klímaváltozás, a vegetáció és a területhasználat változás, a tengerszint illetve az erózióbázis változása, a különféle emberi tevékenységek, és a biotikus tevékenység (Trimble, Mendel, 1995; Beschta, Ripple, 2006). Ezek a zavaró hatások gyakran együtt jelentkeznek (eseménysor), s ilyenkor összeadódhatnak, de akár ki is olthatják egymás hatását.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Eseménysornak nevezik a bármilyen gyakorisággal, nagysággal és hosszal bekövetkező egymás utáni eseményeket, amelyek adott helyen felismerhető hatással vannak a környezetre (Brunsden, 2001). Általában a nagyon hatásos, karakterisztikus válaszokat kiváltó eseménysorok után kevésbé hatásosak következnek. Gyakran az is megesik, hogy egy nagy zavaró hatás jelentős választ vált ki a rendszerből, ami után hosszú nyugalmi szakasz következik, hiába jön még egy hasonló nagyságú esemény. Ezért a földrajzi rendszerekre jellemző a szabálytalan válaszadási mintázat, hiszen eseménysorok és nem egy esemény váltja ki a változásokat. Ráadásul a természetben minden esemény egyedi, ezért a rendszerek soha nem ugyan úgy reagálnak (komplex válaszadási mintázat).

2. 5.2. Küszöbérték

A zavaró hatások nem mindegyike vált ki észrevehető választ a környezeti rendszerekből, csak azok, amelyek a rendszer **külső küszöbértéké**t átlépik. Ugyanakkor a **belső küszöbértéke**t átlépő eseményeket a rendszer illetve elemei rendszerint abszorbeálni képesek. A belső küszöbérték átlépése akkor is bekövetkezhet, ha a rendszert nem éri külső hatás, tehát a rendszer belső változásai indítják el a válaszreakciót. Például, a lassú mállás eredményeképpen a lejtőkön egyre vastagabb málladék-takaró halmozódik fel. Bizonyos vastagság elérése után – anélkül, hogy külső erő befolyásolná – a málladék tömegmozgások révén lecsúszik a lejtőn, majd tovább folytatódik a málladék felhalmozódása. Ilyenkor a málladék vastagsága határozza meg a lejtő stabilitását, ami ha elé egy bizonyos pontot, azaz a belső küszöbértéket, akkor megindul a mozgás. Hasonló, belső küszöbérték átlépésére adott válaszreakció a gleccserek hirtelen lezúdulása (surge), vagy a homokkőhidak leomlása. A külső küszöbértékre példa a Froude-féle szám, ami megmutatja, hogy adott vízsebességnél milyen mederforma kialakulása következik be (*20. ábra*). Itt a külső tényező (vízsebesség) folyamatosan változik, ami ha elér egy külső küszöbértéket, akkor a rendszer hirtelen megváltozik és új mederforma-együttes jön létre. Amíg ezt az értéket nem lépi át, nincs változás.



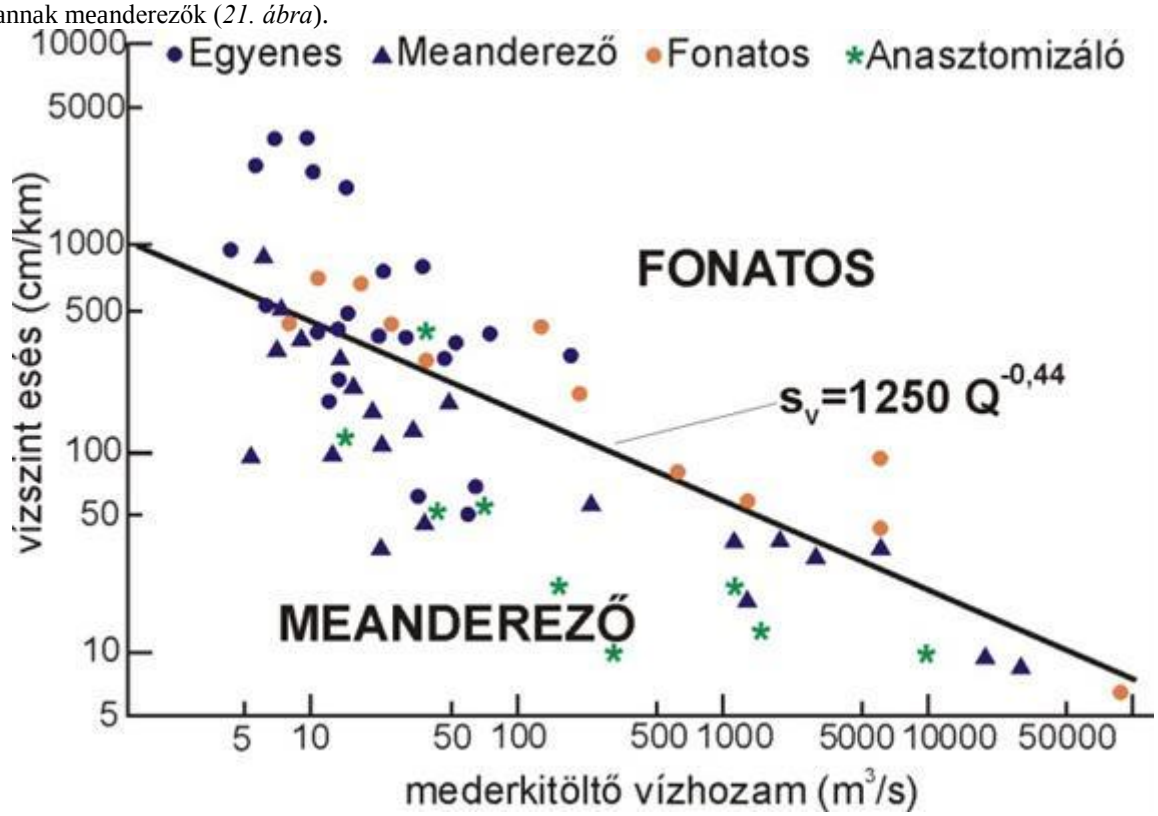
20. ábra. A Froude-féle szám és a különböző mederformák (forrás: Knighton 1998)

A fentiekből következik, hogy a rendszereknek van egy „küszöbérték közeli állapot”-a is, amelytől függ, hogy az adott mértékű zavaró hatás milyen választ vált ki. Bizonyos (táji) elemek közelebb vannak az instabilitáshoz, így ezeket kisebb és gyakoribb események is átalakíthatják. A geomorfológiai rendszerekre például jellemző,

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

hogy a felszínalakítás java részét közepes gyakoriságú események végzik, míg az extrémen ritka és nagy magnitúdójú események ugyanolyan mértékű felszínalakítást végeznek (Thomas, 2001). Mivel a földrajzi rendszerek elemei sem térben sem időben nem azonosak, ezért még ugyanazon helyen is különbözik a válasz ugyanarra a zavaró hatásra/eseményre.

A küszöbértékek a földrajzi rendszerekben nem feltétlen egyértelmű, lineáris trendvonalra illeszkedő érték. Például a vízszint esése és mederkitöltő vízhozam közötti trendvonal „elvileg" a választóvonal a fonatos és a meanderező mintázat között, azonban a vonal alatt is előfordulnak, fonatos mintázatú folyók, ahogy felette is vannak meanderezők (*21. ábra*).

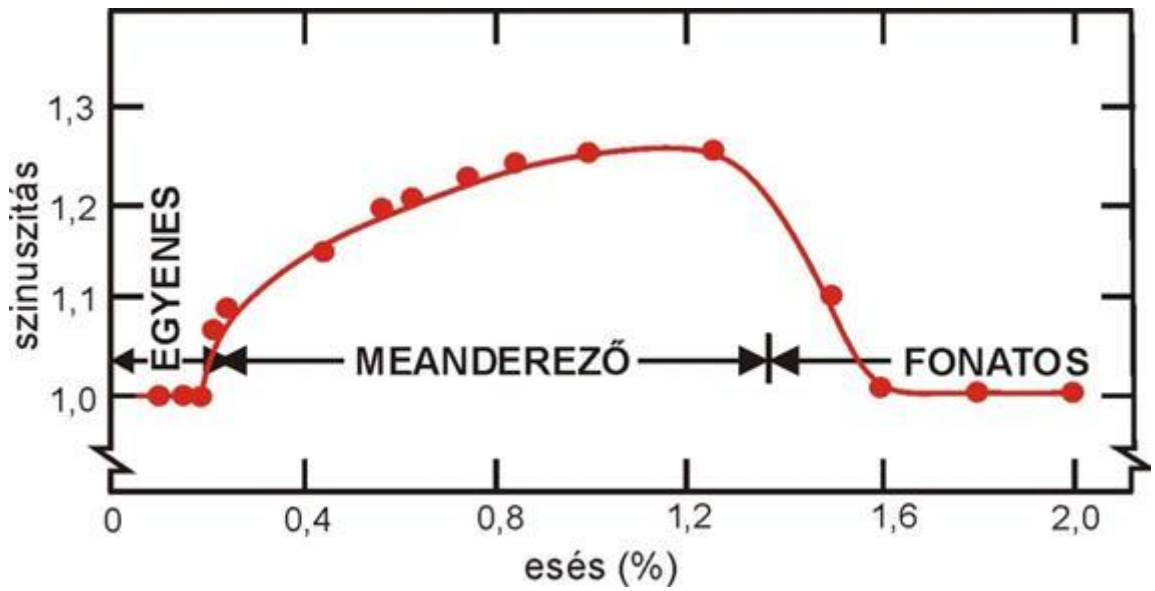


21. ábra. Vízszint esés és mederkitöltő vízhozam közötti kapcsolat a különböző medermintázatú vízfolyások esetében (forrás: Leopold és Wolman 1957)

A küszöbérték másik sajátossága az un. *küszöbérték átfordulás*. Ez akkor következik be, ha a két paraméter közötti kapcsolatot egy harmadik módosítani képes. Például a kritikus indítósebesség a feletti szemcsenagyságú homokszemek esetében egyre nő a szemcsenagyság növekedésével. Azonban a kisebb szemcsék között már fellép a kohézió, ami összetapasztja a szemcséket: így minél kisebb a szemcseméret alatti szemcséknél, annál nagyobb lesz az indítósebesség.

A *kettős küszöbértékről* akkor beszélünk (*22. ábra*), ha ugyanazon érték különböző feltételek mellett különbözőképpen befolyásolja a földrajzi rendszer működését. Erre példa a kanyargósság (szinuszitás) és a völgyesés közötti kapcsolat. Itt az esés folyamatosan nőhet, azonban van egy kanyargósság érték (1,1), ami elválasztja a mintázat típusokat. Ha a kanyargósság 1,1 alatt van és a folyó esése kicsi, akkor egyenes medermintázat alakul ki, azonban ha ez nagy eséssel párosul, akkor fonatos mintázat jellemző.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



22. ábra. Kettős küszöbérték valósul meg az ártéresés és a különböző mintázatú medrek kanyargóssága között (forrás: Schumm és Khan 1972)

3. 5.3. Robosztus és érzékeny rendszerek

A külső küszöbértéket meghaladó zavaró hatásra a rendszer válasza megnyilvánulhat anyagmozgásban, morfológiai változásban vagy szerkezeti átrendeződésben. Ezek a válaszok lehetnek folyamatosak, epizodikusak, de egyes esetekben akár katasztrofálisak is. Mivel a környezeti rendszerekben az egyensúly-változások irreverzibilisek, ezért a rendszer által adott válaszok sem ismétlődnek. A környezeti rendszerek két csoportra bonthatók aszerint, hogy a zavaró hatásra milyen választ adnak (Thomas, 2001; Brunsden, 2001). A **robosztus**rendszerek a zavaró hatásokat elnyelik (abszorbeálják), bennük legfeljebb csak kis változások jelentkeznek. A rendszerek általában akkor adnak robosztus választ, ha a zavaró hatás limitált, és csak a rendszer belső küszöbértékét lépi át. Ilyenkor például a folyót jellemző formarendszer ugyanaz marad, noha a meglévő formák áttevődnek, megszűnnek vagy újak alakulnak ki. Ezzel szemben az **érzékeny***(fragilis)* rendszerekben az erőteljes zavaró hatásra alapvető, állandó változáson esnek át. Például az érzékeny választ adó folyókban minőségileg új formák jönnek létre (metamorfózis). Például egy katasztrofális árvíz során a meanderező vízfolyás fonatossá alakulhat, amelyben új típusú zátonyok jelennek meg. Összességében tehát a környezeti rendszerek érzékenysége függ a zavaró hatás nagyságától, attól, hogy milyen közel van a rendszer a külső küszöbértékekhez, illetve a rendszer ellenálló képességétől. A robosztus rendszerek sem feltétlen stabilak, hiszen egyes elemei vagy részrendszerei változhatnak a zavaró hatásra adott (belső) válaszok miatt. Ez pedig akkor azt jelenti, hogy felbontás kérdése is lehet a stabilitás/instabilitás.

4. 5.4. Az agressziós hullám

A zavaró hatásra un. **agressziós hullámok** indulhatnak el a tájban (Brunsden, 2001). Ez azt jelenti, hogy a zavaró hatásra az instabilitás előrehalad, így térben és időben más pontokon jelentkezik, miközben az intenzitása folyamatosan csökken. Tehát a táj egy eleme külső esemény nélkül is változhat, egyszerűen azért, mert elért hozzá az agressziós hullám (Thomas, 2001). Az **agressziós front**a zavaró hatásra adott válasz aktuális helyzete. A tájban a folyók és völgyek a tengelyei a zavaró hatásoknak, rajtuk keresztül halad felfelé vagy lefelé, illetve oldalirányban az agressziós hullám, amelyekből ugyanazon időpontban több is létezhet. Attól függően, hogy a zavaró hatás útvonalához, azaz az agressziós hullámhoz képest hol helyezkedik el a felszín egy-egy pontja, beszélhetünk **szerkezeti érzékenység**ről (Brunsden, 2001). Elsőrendű szerkezeti érzékenységgel rendelkezik a folyómeder, míg másodrendű szerkezeti érzékenységgel a folyó mentén lévő lejtők, völgyoldalak. Azonban ha ártér épül a lejtő és a folyó közé, akkor szétkapcsolttá válnak, hiszen közöttük közvetlen anyagáramlás nem valósulhat meg (Fryirs et al., 2007). Harmadrendű szerkezeti érzékenységgel a lejtők felső szakaszai rendelkeznek.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5. 5.5. A rendszer zavaró hatásokkal szembeni ellenállása

Az agressziós hullámmal szemben ellenállást fejtenek ki a földrajzi rendszerek, ami révén meggátolják a zavaró hatás rendszerbe jutását. Ellenálló erő úgy definiálható, mint a közepes ellenálló képesség és a közepes zavaró hatás hányadosa (Brunsden, 2001). A rendszer ellenálló ereje révén meggátolja a zavaró hatás rendszerbe jutását, illetve visszacsatolás révén visszaállítja a rendszer egyensúlyát.

A földrajzi rendszerekben az ellenállás eredhet a rendszer anyagából, a morfológiájából, szerkezetéből és összetettségéből, filter képességéből (az alrendszerek határán a zavaró hatás megszűrődhet, elnyelődhet, tárolódhat stb.) és fejlődéstörténetéből (Brunsden, 2001).

Az **anyag ellenállás** a rendszert felépítő kőzetek anyagának ellenállásából ered. Az ellenállás mértékét, hatékonyságát befolyásolja a kőzet szilárdsága és szerkezete, illetve fizikai és kémiai tulajdonságai (pl. gyengeségi síkok, irányultság, stb.). Ezen paraméterek a terület geológiai fejlődéstörténetének következményei, és döntő szerepet játszanak az aktív felszínfejlődésben (*23. ábra*). A kőzetek erodálhatósága, vagy konzisztencia-változásra való hajlama befolyásolja a domborzatot, a lejtők meredekségét, és összességében a rendszer életidejét.

23. ábra. A mészkőjárdák repedései gyorsabban oldódnak kisebb anyagellenállásuk miatt (fotó: Kiss T., 2010)

A **morfológiai/relief ellenállás** a helyzeti energia változó eloszlásából ered a földrajzi rendszeren belül. A lejtőszög és a relief függvényében a helyzeti energia lehet koncentrált (pl. teraszperem) vagy szétszórt (pl. fennsík). A völgyeket úgy tekinthetjük, mint a zavaró hatások tengelyeit, amelyben a külső hatások fel- illetve lefelé haladnak a rendszerben. A relief ellenállás barriereket (akadályokat) is létrehozhat (például teraszperem, vízesés), amin a zavaró hatások nem vagy alig juthatnak tovább a barrier létezéséig. Azonban az, hogy mi tekinthető barriernek skála- és idő függő.

A **szerkezeti ellenállás** a rendszer felépítéséből ered, azaz az elemek számából, a közöttük lévő kapcsolatokból és a visszacsatolási mechanizmusokból. Minél egyszerűbb egy rendszer, annál kisebb a zavaró hatásokkal szembeni ellenállása, míg az összetett rendszerek a zavaró hatásokat képesek elnyelni, pufferelni. Ugyanez igaz a merev és a flexibilis rendszerekre. A szerkezeti ellenálláson belül beszélhetünk a *helyzeti érzékenység*ről, ami a kérdéses érzékeny elem helyzetét határozza meg a zavaró hatáshoz képest. Például a lejtő egy pontja minél közelebb van a folyóvölgyhöz (vagy erózióbázishoz), annál érzékenyebben reagálhat a bevágódásra, annál gyorsabb a lejtőhátrálás mértéke. Vagy például a holtág-feltöltődés sebessége attól is függ, hogy a holtág milyen messzire van az élő vízfolyástól, milyen szögben csatlakoznak szárai a mederhez (*24. ábra*).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

24. ábra. A Mártélyi- és a Körtvélyesi-holtágakat azonos időben vágták le, mégis eltérő szerkezeti érzékenységük miatt a nyakukat lezáró malágy különböző hosszúságú (forrás: GoogleEarth)

Az **átviteli ellenállás**meghatározza, hogy mennyire képes a rendszer a változást tovább adni (nagyon fejlett zavaró hatás útvonalat jelentenek a folyók, ahol ez könnyebb). Végeredményben a rendszer kapcsoltsági viszonyait írja le: ha a rendszer elemei összekapcsoltak, akkor közöttük szabad anyag és energia továbbítás létezik (pl. folyó és ártere); míg a szétkapcsolt elemek között időszakosan inaktív kapcsolat áll fent, amit barrierek tartanak fenn (pl. ártérrel elválik a folyó a völgyfaltól, így a völgyoldal anyaga időlegesen nem juthat el a folyóba). Az is lehet, hogy a rendszer két eleme/folyamata között nincs kapcsolat igen hosszú földtörténeti időn keresztül (pl. árterek és magasabban lévő régi teraszok).

A **filter-ellenállás** az a mód, ahogy a rendszer kontrollálja energiát és az energia leadását. Ez az energia a földrajzi rendszerekben leginkább a mozgási vagy helyzeti energia lehet. Az energia *szűrődhet* az alrendszerek határát átlépve, hiszen minden alrendszer különböző energia tárolási kapacitású (pl. vízesés mögött), hőátadású, reakció képességű, pihenő idejű, rugalmasságú és toleranciájú. Az alrendszerek közötti határokon néhány hatás könnyen átjut, míg mások gátlódnak, de a rendszerek határán a hatások módosulhatnak, szétszóródhatnak vagy tárolódhatnak is. A rendszer elemei képesek *energia(sokk)-elnyelőként* is működni, miközben maga a rendszer nem változik. Ilyen energia elnyelő például a kavicsos tengerparti beach, ahol a hullámzás energiája az érdesség legyőzésére fordítódik. A földrajzi rendszerek képesek az *energia tárolás*ára is. Például a vízesések mögötti területek helyzeti energiája változatlan marad, de ugyanilyen az extrém dagályok által létrehozott beach-taréj is (*25. ábra*). Az energiatárolás másik módja a mozgó elemek helyzetének megváltoztatása (pl. zátonyok, homokdűnék átrendezése. A rendszerek képesek az *energia szétterítésére* is a felszínen, amit mindig forma átalakítás jelez. Végeredményben a rendszer elemeinek *speciális elhelyezkedése* is növelheti a rendszer ellenállását: a kavicssivatagok vagy a mederpáncélzat kavicsos felső rétege megakadályozza az alatta lévő, kisebb indítósebességű anyagok elszállítását.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

25. ábra. A beach-taréj elnyeli a hullámok energiáját (fotó: Sümeghy B. 2010)

Végül meg kell említeni a rendszer fejlődési állapotából, **történetéből eredő ellenállást** is. A rendszer egésze sem térben, sem időben nem egyformán stabil, egyszerűen az egyes pontok némileg eltérő fejlődéstörténete miatt. Ugyanakkor, ha összehasonlítunk hasonló rendszereket, akkor kiderül, hogy nincsen két egyforma rendszer, hiszen nincs két olyan rendszer, amelyet ugyanaz a hatás ugyanolyan mértékben, ugyanannyiszor ért. Ezért a rendszerek válaszai térben változnak (pl. ezért jöhetnek létre a különböző felszínformák), és ugyanazon tájban is az egyik hely érzékenyebb, mint a másik, csupán a története miatt. Általában egy hirtelen esemény elvégez minden munkát (pl. nagy árvíz), majd utána a rendszer sokáig változatlan marad, tehát a rendszer epizódikus változásokat mutat. A zavaró hatások hierarchikusan épülnek fel. Gyakoriságuk és nagyságuk alapján beszélhetünk nagy, extrém és katasztrófális hatásokról, de ahhoz, hogy ezt pontosan értékelni tudjuk, ismerni kell, hogy milyen volt a rendszer zavaró hatás előtt, s mely részei milyen mértékben alakultak át. Megvizsgálhatjuk, hogy a zavarás után milyen mértékben állt helyre (*rugalmasság*), illetve hogy milyen gyorsan állt helyre (*elasztikusság*).

6. Önellenőrző feladatok

Válaszoljon az alábbi kérdésekre!

1. Az alábbi dinamikai egyensúlyok közül melyiknél áll vissza a mozgó test az eredeti helyzetébe az őt helyzetéből kimozdító zavaró hatás fellépése után?

A: neutrális egyensúly

B: instabil egyensúly

C: stabil egyensúly

D: metastabil egyensúly

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2. A 19. századi folyószabályozások során a Tiszán és a Maroson is sok kanyarulatot vágtak le, egyenesebbé téve a medret. Azonban a Tiszán fennmaradt a meanderező mintázat, míg a Maros fonatossá vált. Kettőjük közül milyen választ adott a Maros?

A: érzékeny

B: robosztus

C: stabil

D: instabil

3. Milyenegyensúly jellemzi a geomorfológiai rendszereket?

A: dinamikus

B: neutrális

C: stabil

D: instabil

4. A lejtők stabilitását kifejező állásbiztonsági tényező ($\mu = T/T'$ azaz nyírószilárdság/nyíró erő) felfogható a lejtő érzékenységét kifejező paraméterként is. Ez esetben mit tükröz ez a hányados?

A: a rendszer ellenálló képességét és a változásra való hajlandóságát

B: a rendszer regenerációs képességét

C: a rendszer összetettségét

D: instabilitás mértékét

5. A gleccserek hirtelen lezúdulása (glacial surge) esetén a gleccserek mozgása akár százszorosára is nőhet az alattuk felhalmozódó olvadékvíz vagy a gleccser kritikus tömegének elérésekor. Ilyenkor milyen küszöbértéket lép át a gleccser, mint földrajzi rendszer?

A: belső

B: külső

C: belső és külső együttesen

D: sem a belső, sem a külső küszöbértéket nem lépi át

6. A folyók vándorlásakor a külső ívet alámossák, amely folyton leszakad. A szakadó part íve hogyan értelmezhető?

A: agressziós hullámként

B: küszöbértékként

C: agressziós frontként

D: érzékeny rendszerként

7. A Tisza értelmezhető a zavaró hatások tengelyeként is. Az általa végigvezetett agressziós hullám hol NEM jelenhet meg?

A: aktív ártéren

B: hullámtéren

C: partok mentén

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

D: magasártéren

8. A medret elzáró üledékdugó rövid távon a rendszer milyen jellegű ellenállását növeli meg?

A: anyag ellenállás

B: morfológiai ellenállás

C: szerkezeti ellenállás

D: filter ellenállás

9. A homokbuckákon megtelepedő növényzet megakadályozza a homok deflációját. Milyen ellenállási mód révén valósulhat ez meg?

A: anyag ellenállás

B: morfológiai ellenállás

C: szerkezeti ellenállás

D: filter ellenállás

10. Melyik példa alkalmazható történeti ellenállásra?

A: A Hernád 2010-es rekordárvize óta a kisebb árvizek sem tudták a partokat erodálni.

B: A Tisza árvízvédelmi töltéseinek megépítésével az egykori hullámterek ármentessé váltak.

C: A Dráván az erőművek tározótereiben csapdázódik a hordalék, ezért az alsó szakaszon tisztavíz erózió lép fel.

D: A Duna-Tisza köze szétkapcsolt a Tiszától a magasabb helyzete miatt.

Megoldások:

1. C

2. A

3. A

4. A

5. A

6. C

7. D

8. B

9. D

10. A

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

6. fejezet - A rendszermodellek és a modellalkotás

A rendszerek számos tulajdonsága alkalmas arra, hogy tudományos módszerekkel vizsgáljuk őket. A vizsgálati módszerek közös jellemzője, hogy a rendszer felépítését és/vagy működését idealizáljuk, egyszerűsítjük oly módon, hogy az így létrejött modell a vizsgált rendszer tulajdonságait minél pontosabban tükrözze. A vizsgálat céljától függően az egyszerűsítés lehet nagyon nagy mértékű, más esetben pedig a rendszer tulajdonságait a legaprólékosabban tükröző, nagyon részletes modellt alkotunk.

A rendszermodellek alapvetően három csoportba sorolhatók (1. interaktív animáció):

1. a rendszer szerkezetét ábrázoló, (pl. molekulák térszerkezetét ábrázoló modellek)

2. a rendszer működését, belső folyamatait bemutató, (dinamikus rendszermodell)

3. a rendszer viselkedését, időbeli változásait bemutató modellek. (pl. Lorenz időjárás modellje)

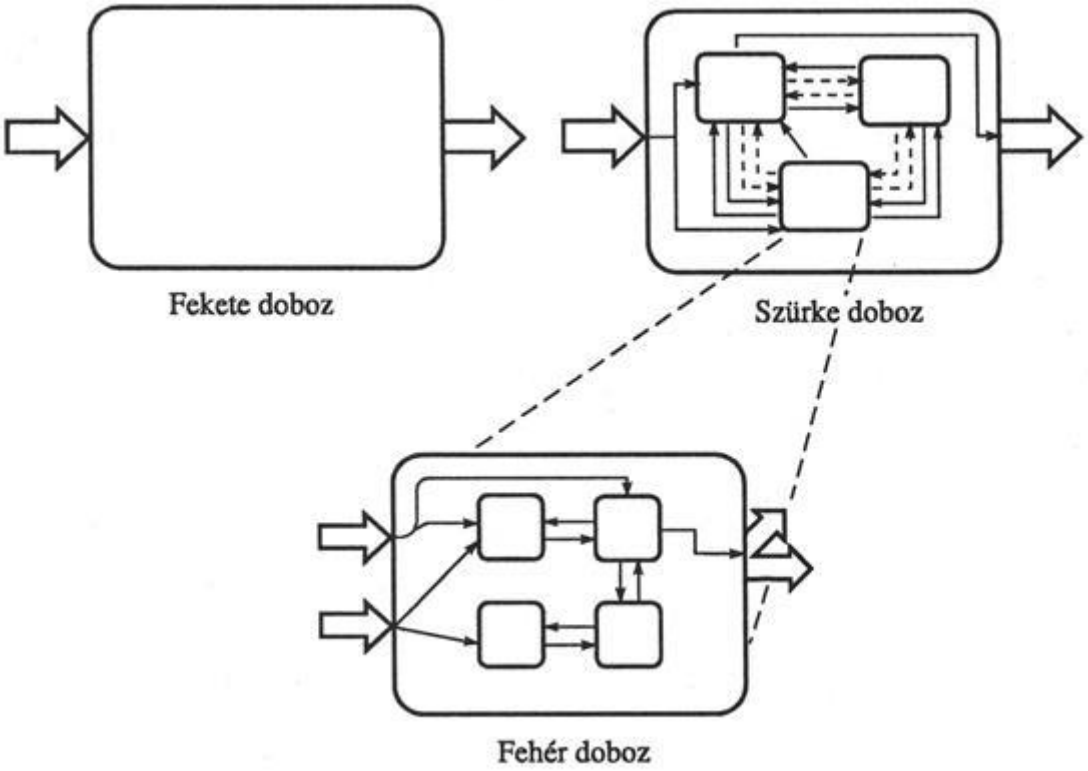
A rendszerben lejátszódó változások kvantifikálhatók, azaz mennyiségileg leírhatók. A természettudományokban mennyiségi megközelítés alapkövetelmény, s ma már a társadalomtudományokban is terjed ez a szemlélet.

A háromféle rendszermodell-típus a tudományos kutatás célja szerint kombinálható, összekapcsolható.

A rendszermodelleket **a vizsgálat részletessége alapján** is csoportosíthatjuk (1. interaktív animáció). A modellalkotás során a szükségszerű egyszerűsítések különböző mértékűek lehetnek. Egy tankönyvbe általában úgynevezett *homomorf modellek* kerülnek, amelyek a rendszernek csak a leglényegesebb elemeit, kapcsolatait, folyamatait ábrázolják, így a valóságról tökéletlen képet alkotnak. Tudományos vizsgálatokban a kutatók arra törekednek, hogy a megalkotandó modellben a rendszer minden eleme, azok kapcsolatai és a rendszerben lejátszódó folyamatok egyaránt reálisan szerepeljenek, sőt a mérhető adatok mennyiségi viszonyai is tükröződjenek. Ezeket a tudományos pontosságú modelleket *izomorf modelleknek* nevezzük.

A modellek megalkotásánál fontos a lépték, a felbontóképesség kérdése. Ha pl. az egész Föld összes vízrendszerét (hidroszféra) kívánjuk egy modellben leképezni, nyilván nem mehetünk olyan részletekbe, mintha egy sejt működésének modelljét készítjük el. Az is belátható, hogy a nagy földi rendszerek számos kisebb méretű rendszert foglalnak egységbe, így a globális méretű modellek egyes elemei lehetnek önmagukban is összetett rendszerek. Ebben az esetben nem fontos számunkra az egyes elemek mint rendszerek belső szerkezete, folyamatai. Megelégszünk a bemenet (input) és a kimenet (output) ismeretével, és a rendszert mint a magába foglaló összetettebb rendszer egy elemét *fekete dobozként (black box)* kezeljük (*26. ábra*). A modellalkotás céljától függően – ha a vizsgálódás szempontjából csak a bemenet és kimenet fontos – akár a legbonyolultabb rendszer is kezelhető fekete dobozként.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



26. ábra. Rendszermodellek a felbontóképesség különböző szintjeinél. Szürke doboz = homomorf, Fehér doboz = izomorf

Fekete doboz modellt alkalmazhatunk pl. a környezetvédelemben olyan esetben, amikor egy gyár szennyezőanyag-kibocsátását (output) vizsgáljuk. Ez esetben az a legfontosabb számunkra, hogy milyen szennyező anyagok kerülnek ki a gyárból a gyárkéményen, a szennyvízcsatornán és a hulladékszállító járműveken. A rendszer bemenetét (inputját) is tanulmányozhatjuk: milyen és mennyi energiahordozót és nyersanyagot szállítanak be a gyárba? Az inputból és outputból következtetni lehet arra, hogy a gyárban környezetkímélő módon termelnek-e – anélkül, hogy a gyártás belső szerkezetét megvizsgálnánk. (Más kérdés, hogy egy szennyező gyár esetében a „kerítésen belüli" folyamatok módosításával lehet környezetkímélőbbé tenni a termelést, s ehhez már a rendszer belső szerkezetének és működésének megismerésére és módosítására is szükség van.)

Közepes felbontóképesség esetén az összetett rendszert alkotó elemek viszonyrendszere, az elemek között lejátszódó anyag- és energiaáramlás is fontos lehet, de még nem tárjuk fel a rendszer minden részletét. Az ilyen modelleket *szürke doboz (grey box)* modelleknek nevezzük (*26. ábra*).

A rendszer minden részletének feltárására törekvő modelleket (valódi izomorf modellek) *fehér doboz (white box)* modelleknek nevezzük (*26. ábra*). Ha a rendszerbeli folyamatok számszerűen is jellemezhetők, matematikai modellek formájában is megjelenhet a fehér doboz modell, s az adatok számítógépes feldolgozása nagyban meggyorsítja és pontossá teszi a rendszer működésével kapcsolatos számításokat.

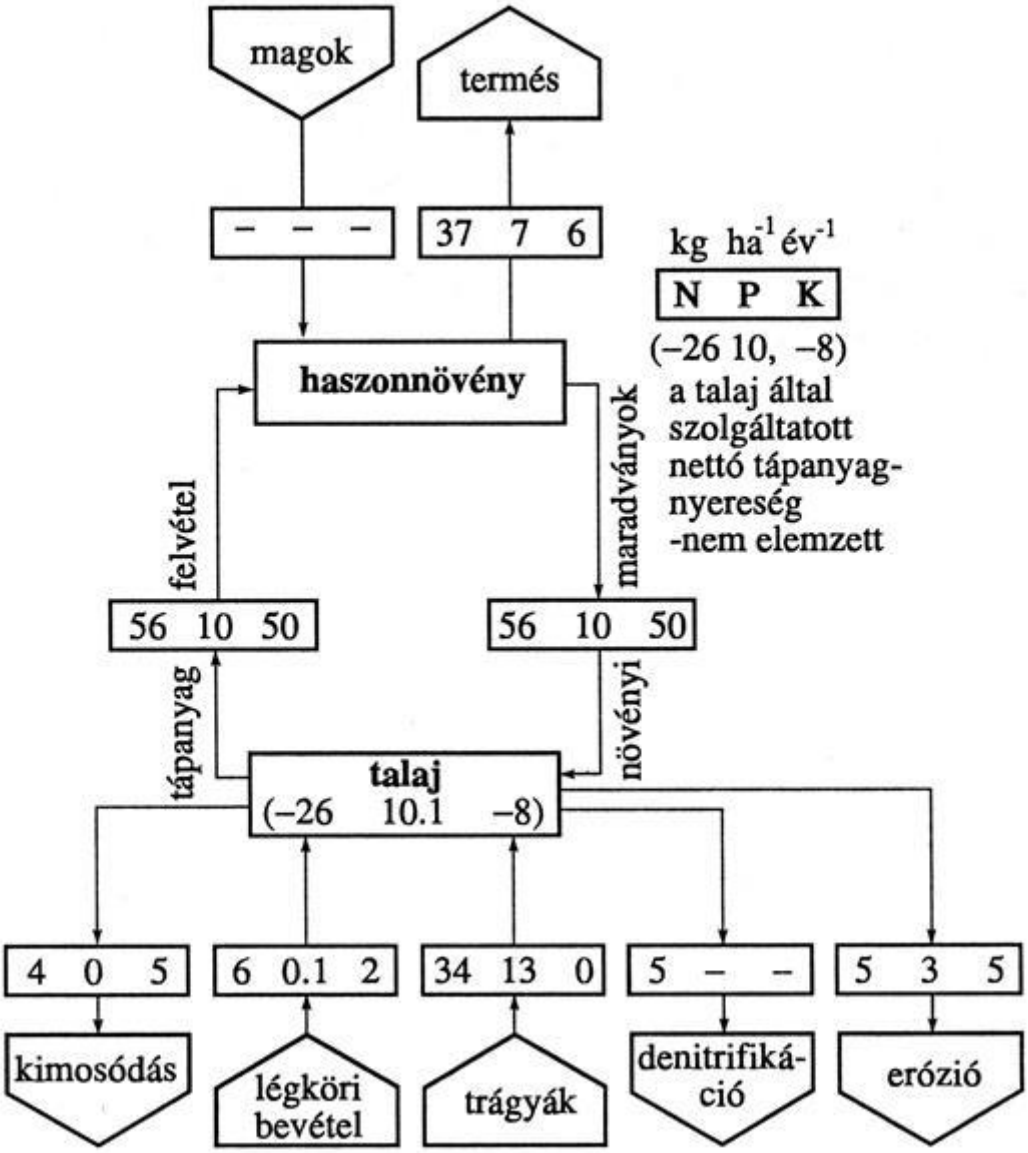
1. 6.1. Grafikus modellek

A rendszerek leképezésére leggyakrabban használt grafikus modellek kétdimenziósak, vagyis a papírlap-adta lehetőségeket használják ki.

A **kétdimenziós rendszermodelleken** a rendszer elemeit síkidomokkal (leggyakrabban téglalapokkal és négyzetekkel), a köztük fennálló kapcsolatokat (anyag-, energia- és információáramlást, ökoszisztémák esetében a populációk és fajok áramlását) nyilakkal jelöljük (1. interaktív animáció). A rendszer határát a rendszerelemeket körülölelő vonallal húzzuk meg, de egyes esetekben ennek jelölése el is maradhat. Ilyen esetet látunk a *27. ábrán*, amelyen az ötszögek egy csoportjának egyik csúcsa befele (a rendszerelemek irányába),

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

másik csoportjának egyik csúcsa kifele mutat, s az ötszögekben feltüntetett szöveg egyértelművé teszi, hogy a rendszerbe irányuló inputról, vagy a rendszert elhagyó outputról van szó. A nyilak mellé írt számokkal kifejezhetjük az anyag-, energia-, információ- vagy fajáramlás mennyiségét. Leggyakrabban az *időegység alatt áramló mennyiséget*, **afluxust** tüntetjük fel, ezzel képet alkothatunk a rendszerben lejátszódó folyamatok intenzitásáról.



27. ábra. A tápanyagciklus egy félszáraz környezetben működő extenzív búzafarmon

A kétdimenziós rendszermodellek geográfiában alkalmazott sajátos formái a **térképek**, **kartogramok**. (Megjegyezzük, hogy a szintvonalas topográfiai térképek már átmenetet jelentenek a háromdimenziós modellek felé, amelyekről később lesz szó.)

Haggett P. (2006) a térképi modellek sokaságát mutatja be. Az elméleti „felszíneket” három csoportba sorolja: 1. felszínek a városon belül, 2. felszínek a városon kívül: agrártáj, 3. felszínek a városon kívül: az ipari táj. Ez a csoportosítás egyben azt is jelzi, hogy a szerző társadalomföldrajzi beállítottságú. Természetesen pusztán természetföldrajzi (még tágabban: természeti) eredetű felszíneket ábrázoló térképi modelleket is alkalmaznak a földrajz- és más földtudományok képviselői. Az időjárási térképek pl. a különböző tulajdonságú légtömegek (légköri frontok) felületét (ill. azok földfelszínt metsző vonalát) ábrázolják, s jelzik a mozgás irányát, sőt a front térbeliségére is utalnak (pl. felcsúszó = okklúziós front).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A geológiai térképek ábrázolhatják a lemezszegélyek felszíni érintkezési vonalát, a lemezek elmozdulásának irányát, esetleg sebességét is.

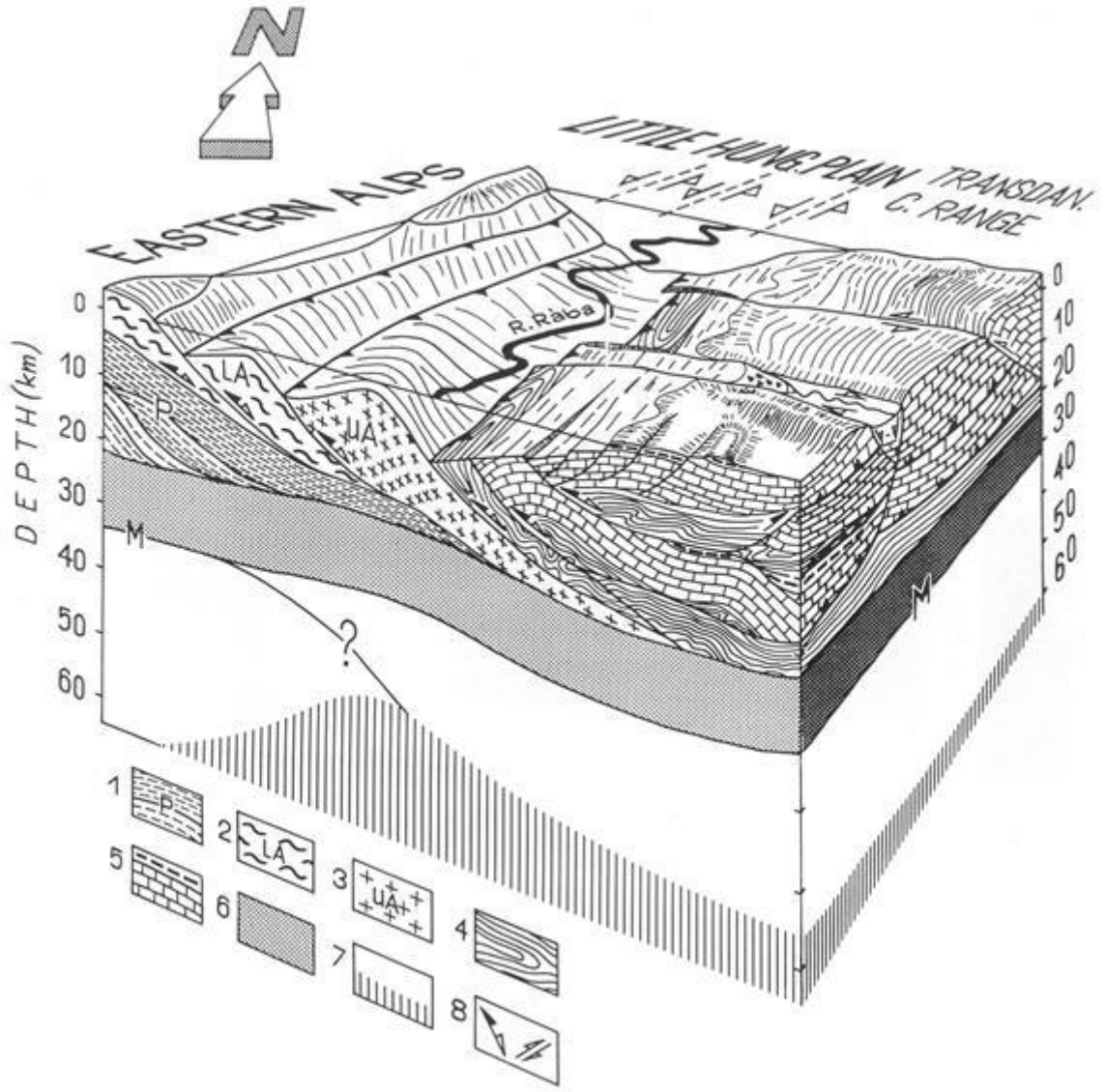
A domborzati térképek valós szilárd földfelszíni felületeket ábrázolnak. A szintvonalas domborzati térképek síkban képesek a térbeli három dimenzió ábrázolására, mégsem helyettesíthetik a valódi háromdimenziós modelleket.

A **háromdimenziós modelleket** különböző tudományágak alkalmazzák. A kémiában például az óriásmolekulák térszerkezetét ábrázolják háromdimenziós modellekkel (1. interaktív animáció). Az orvostudományban az emberi szervezetet vagy annak egy részét képezik le térmodellel, a műszaki tudományokban a hatalmas építmények, szerkezetek arányosan kicsinyített térmodelljein végeznek laboratóriumi kísérleteket, és tovább lehetne folytatni a sort.

A földrajzi (és tágabban: a földtudományi) kutatásokban régóta használatosak a *tömbszelvények*, tömbmodellek, amelyek a földfelszínt és a kéreg belső szerkezetét egyaránt bemutatják (*28. ábra*). Ma már a számítógépes szoftverek olyan fejlettek, hogy a háromdimenziós modellek alkalmazása rutinfeladatnak számít. A hagyományos, grafikusan megjelenített, kézzel és vonalzóval szerkesztett tömbszelvényekhez képest számos előnye van a térinformatika eszköztárával megvalósított 3D modelleknek. Mindenekelőtt pontosabbak, másrészt virtuálisan körbeforgathatók, így a valóságos térszerkezetet bármelyik irányból tanulmányozhatjuk, s rajta méréseket végezhetünk.

A **négydimenziós modellek** a térbeli folyamatok időbeli változásait is bemutatják (9. animáció,1. interaktív animáció, *készítette Püspöki Z.*). Létrehozásukhoz magas színvonalú térinformatikai és matematikai ismeretek szükségesek.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



28. ábra. A Kisalföld aljzatának és a Dunántúli-középhegységnek a szerkezetét mutató tömbmodell (Horváth F. 1993). A felsőkréta orogenezis hatására takarós szerkezet alakult ki. A középsőmiocén extenzió során a takaróhatárok lisztrikus normálvetőként reaktiválódtak.

Jelmagyarázat: 1 = penninikum; 2= alsó-ausztroalpi takarók; 3 = felső-ausztroalpi takarók; 4 = óidő végi palák; 5 = középidei kőzetek; 6 = duktilis alsókéreg; 7 = köpenylitoszféra és asztenoszféra; 8 = normálvetőként aktiválódott feltolódási sík, illetve oldalelmozdulás.

2. Önellenőrző feladatok

Egyszerű választás. Keresse meg a fogalmakhoz leginkább kapcsolódó meghatározásokat!

A) izomorf rendszermodell

B) fekete doboz

C) homomorf rendszermodell D) szürke doboz

E) négydimenziós rendszermodell

1. A térbeli folyamatok időbeli változásait is bemutatja. (E)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2. Csak az inputot és az outputot ismerjük. (B)

3. A rendszernek csak a leglényegesebb elemeit, kapcsolatait, folyamatait ábrázolja. (C)

4. A rendszer minden részletének feltárására törekvő modell. (A)

5. Közepes felbontóképességű modell, mely ábrázolja az összetett rendszert alkotó elemeket és a köztük lejátszódó anyag- és energiaforgalmat, de nem tárja fel a rendszer minden részletét. (D)

Relációanalízis. Az alábbi feladatban összetett mondatokat talál, melyek első tagmondata az állítás, második tagmondata pedig az indoklás. Válassza ki az alábbi variációk közül azt, amely Ön szerint igaz az egyes mondatok esetében!

A) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, és közöttük ok-okozati kapcsolat* ***van***

B) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, de* ***nincs*** *közöttük ok-okozati kapcsolat*

C) *az állítás* ***igaz****, az indoklás azonban* ***hamis***

D) *az állítás* ***hamis****, az indoklás azonban önmagában* ***igaz***

E) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***hamis***

6. Akár a legbonyolultabb rendszer is ábrázolható fekete dobozként, mert a fekete doboz esetében a rendszer legapróbb részleteit is feltüntetik. (C)

7. A grafikus modellek a kétdimenziós modellek közé tartoznak, mert a papír síkjában ábrázolják a rendszert. (A)

8. A háromdimenziós modelleket kizárólag speciális szemüveg segítségével lehet tanulmányozni, mert szemüveg nélkül nem vagyunk képesek a térlátásra. (E)

9. Négydimenziós modelleket nem lehet készíteni, mert a térben csak három dimenziót különböztethetünk meg. (D)

10. A rendszer modellezésénél a rendszer felépítését és/vagy működését idealizáljuk, egyszerűsítjük, mert ezáltal a rendszerben lejátszódó folyamatokat átláthatóbbá, érthetőbbé tehetjük. (A)

Megoldások:

1. E

2. B

3. C

4. A

5. D

6. C

7. A

8. E

9. D

10. A

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

7. fejezet - Az élettelen Föld

A következő három fejezetben a Föld történetét tekintjük át abból a szempontból, hogy a globális földi rendszer hogyan fejlődött az évmilliárdok során, s hogyan alakult az ember számára is lakható bolygóvá. Bemutatjuk, mennyivel bonyolultabb ma a földi rendszer, mint bolygónk kialakulásának első időszakában. Végül vizsgáljuk, hogy az emberi társadalom alapvető működési mechanizmusai hogyan illeszkednek a több, mint négy és fél milliárd éve fejlődő-változó bolygónk természetes rendszerébe. Elsősorban a minőségi változásokra helyezzük a hangsúlyt, de foglalkozunk az ezekhez vezető mennyiségi változásokkal is.

Mielőtt az élettelen Föld rendszer-jellegét taglalnák, szót kell ejtenünk a **fejlődés** fogalmáról. Egyik legegyszerűbb, de a lényeget kifejező definíciónak tartjuk *Anbar* (2002) meghatározását, mely szerint „*a fejlődés az a folyamat, mely az anyagot és az energiát spontán módon az összetettség magasabb szintjeire emeli*.” A fejlődés során tehát egyre bonyolultabbá, összetettebbé válik az anyag, ill. bonyolultabb, összetettebb lesz az egész anyagi rendszer szerkezete és működése, valamint az energianyerés módja is. Egy adott rendszer (esetünkben a Föld) fejlődése egyben a benne tárolt információmennyiség növekedésével is jár.

A radiometrikus kormeghatározásokra és a csillagászati folyamatok sebességére támaszkodva (elméleti fizikai számítások a Nap és a Naprendszer kialakulásának idejére vonatkozóan) a Föld korát ma mintegy 4,6 milliárd évesre becsüljük.

Bolygónk anyaga nagy rendszámú elemekből keletkezett, s ezek csak egy szupernóva szétrobbanásakor kerülhettek a Nap vonzáskörzetébe. A leginkább elfogadott felfogás szerint, kozmikus porból, törmelékből gravitációs úton, gyakori ütközésekkel keletkezett az ősi Föld, amelynek anyaga részben az ütközések hőtermelése, részben a radioaktív elemek bomlása miatt erősen felmelegedett, majd megolvadt. Ez az olvadt anyag lehetővé tette, hogy a gravitációs erő hatására a Földet alkotó anyagok sűrűség szerint rendeződjenek: kialakult a főleg vasból és nikkelből álló *földmag*, és a magot körülölelő, szénben és vízben gazdag szilikáttartalmú anyagokból (kondritekből) álló *köpeny*. A legkülső réteget a szilicium- és alumínium-oxidokat valamint szilikátokat tartalmazó *kéreg* alkothatta. A magas hőmérséklet miatt az első néhány százmillió évben nem lehetett élet a Földön. Valószínű, hogy ebben az időszakban még nem alakultak ki a maihoz hasonló litoszféra-lemezek, csupán a kéreg megvastagodott részei, a *kratonok* lehettek a későbbi földrészek magterületei.

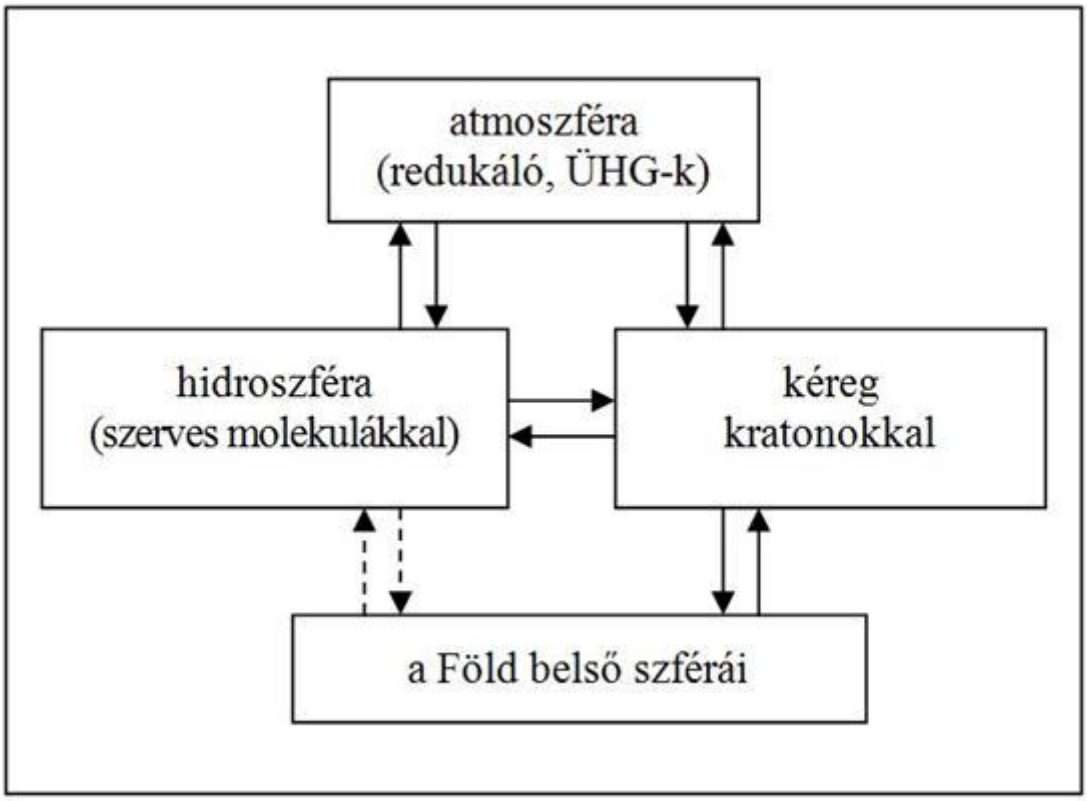
Modern számítógépes modellek segítségével a csillagászok azt feltételezik, hogy kb. 4,5 Mrd évvel ezelőtt az ősi Föld egy Mars méretű bolygóval, a Theiaval ütközött, s az ennek következtében kiszakadt anyagból keletkezett a Hold. Az ütközés után a gravitáció hatására kialakult bolygónk gömbhéjszerű szerkezete. A Föld-Hold égitest-páros mozgásai komoly szerepet játszottak a földi élet kialakulásában. A Föld tengelye ekkor csak 10°-kal tért el az ekliptika síkjára merőlegestől, és tengely körüli forgási ideje mindössze 6 óra volt, majd a földtörténet során ez egyre hosszabb lett: 2,5 Mrd. évvel ezelőtt már 12 órára volt szükség egy tengely körüli fordulathoz. Ezek a tulajdonságok elősegítették a földfelszínre érkező napsugarak mainál egyenletesebb hőszállítását. A Holdnak a földtengely stabilizálásában a földtörténet során mind a mai napig fontos szerepe volt, illetve van, hisz ennek köszönhetjük pl. az évszakok rendszeres változásait és az éghajlati zonalitást. Bolygónkon továbbra is fizikai és kémiai folyamatok, átalakulások működtek.

A köpeny víztartalmú kondritjaiból származhatott a világóceán anyaga. A víz eleinte – a magas felszíni hőmérséklet miatt – túlnyomórészt vízpára formájában volt jelen az ősi légkörben, amelynek anyaga ugyancsak a Föld szilárd anyagából származhatott. (Megjegyezzük, hogy a víz eredetével kapcsolatban más hipotézis is létezik, de azt kevésbé meggyőzőnek tartjuk, mint a földi eredetűt.)

Bolygónk elég nagy tömegű volt ahhoz, hogy a légkört alkotó gázokat a gravitáció ne engedje a világűrbe szökni. A *légkör* gyakorlatilag szabad oxigéntől mentes volt, azaz redukáló hatású gázok, molekuláris hidrogén (H_2), kénhidrogén (H_2S), szén-monoxid (CO), valamint a kémiailag közömbös nitrogén (N_2) alkották. A légköri vízpára valamint a kénhidrogén a Nap uv-sugárzásának hatására fotokémiailag elbomlott, így további hidrogén keletkezett, míg a vízből lehasadó oxigén a szén-monoxidot szén-dioxiddá (CO_2) oxidálta, így a légkörben ez utóbbi gáz erősen gyarapodott. Szabad oxigén azonban alig maradt. Az üvegházhatás igen jelentős volt, ami az élet keletkezése szempontjából lényeges, hiszen a fokozatosan lehűlő földfelszín közelében a hőmérsékletet egyre nagyobb mértékben a napsugárzás határozta meg. Mivel a Nap csillagfejlődésének ebben a szakaszában a sugárzási energiája jóval kisebb volt a mainál (kb. 30%-kal kevesebb hő érkezett a földfelszínre, mint napjainkban), az őslégkör erős üvegházhatása tartotta megfelelő hőmérsékleti tartományban a felszínt és az időközben a légkörből lehulló csapadékból kialakuló *hidroszférát*.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A *29. ábrán* az élettelen Föld homomorf rendszermodelljét mutatjuk be az egyes rendszerelemek egy-egy fontos tulajdonságának feltűntetésével. A következő földfejlődési szakasz előkészítésében fontos szerepük volt azoknak a fotokémiai reakcióknak, amelyek során a szén-dioxid és a hidrogén, ill. a szén-monoxid és a víz kémiai reakciói során szerves anyag, *formaldehid* (CH_2O) keletkezett, amely a csapadékkal egyre nagyobb mennyiségben jutott az ősi tengerekbe. A szerves anyagok megjelenése a hidroszférában fontos esemény volt az élet kialakulása szempontjából.



29. ábra. Az élettelen Föld homomorf rendszermodellje, ÜHG = üvegházgáz. Időtartam: 4,6–3,8 milliárd év

Ahhoz, hogy a Földön lejátszódó legfontosabb változásokat időben követni tudjuk, szükségünk lesz a földtörténeti korbeosztásra, amelyet a *3. táblázatban* találunk.

3. táblázat. A földtörténeti korbeosztás

1. Önellenőrző feladatok

Döntse el az alábbi megállapításokról, hogy azok igazak (A), vagy hamisak (B)!

1. A fejlődés az a folyamat, mely az anyagot és az energiát spontán módon az összetettség magasabb szintjeire emeli.

2. Egy rendszer fejlődése általában a benne tárolt információmennyiség csökkenésével jár.

3. A Föld korát a szakemberek mintegy 4,6 millió évesre becsülik.

4. A Föld belső magját főleg hélium alkotja.

5. A Föld-Hold égitest-páros mozgásai komoly szerepet játszottak a földi élet kialakulásában.

6. Az őslégkör az élet megjelenése előtt csaknem teljesen oxigénmentes volt.

7. Az őslégkör nem tartalmazott szén-dioxidot.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

8. A világóceán anyaga a köpeny víztartalmú kondritjaiból származhatott.

9. Szerves anyagok nem alakulhattak ki az élet megjelenése előtt.

10. A leginkább elfogadott felfogás szerint, kozmikus porból, törmelékből gravitációs úton, gyakori ütközésekkel keletkezett az ősi Föld.

Megoldások:

1. A

2. B

3. B

4. B

5. A

6. A

7. B

8. A

9. B

10. A

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

8. fejezet - Az élő Föld

1. 8.1. Az élet megjelenése, mint a legfontosabb minőségi változás a Földön

Bár számos hipotézis látott napvilágot az élet keletkezésével kapcsolatban, ma sem tudjuk biztosan, hogyan jött létre az a minőségi ugrás, ami az élettelen anyagok és az élőlények között fennáll, és milyenek voltak az első élőlények.

Néhány előfeltételnek azonban biztosan meg kellett lenni a Földön. A vízben bonyolult szerves vegyületeknek kellett képződniük, ami még az élettelen bolygónkon *kémiaievolúció* formájában ment végbe. Ez a kémiai evolúció megfelelő fizikai és kémiai feltételek között játszódhatott le (szén, hidrogén, oxigén, nitrogén jelenléte különböző vegyületek formájában, megfelelő hőmérséklet, uv-sugárzás. Ez utóbbi azonban a már kialakult élőlényekre nézve veszélyesnek bizonyult.)

Számunkra most az a fontos, hogy az élőlények milyen szerepet játszottak a globális földi rendszerben, hogyan módosították annak meglévő részrendszereit, és hogyan befolyásolták működését.

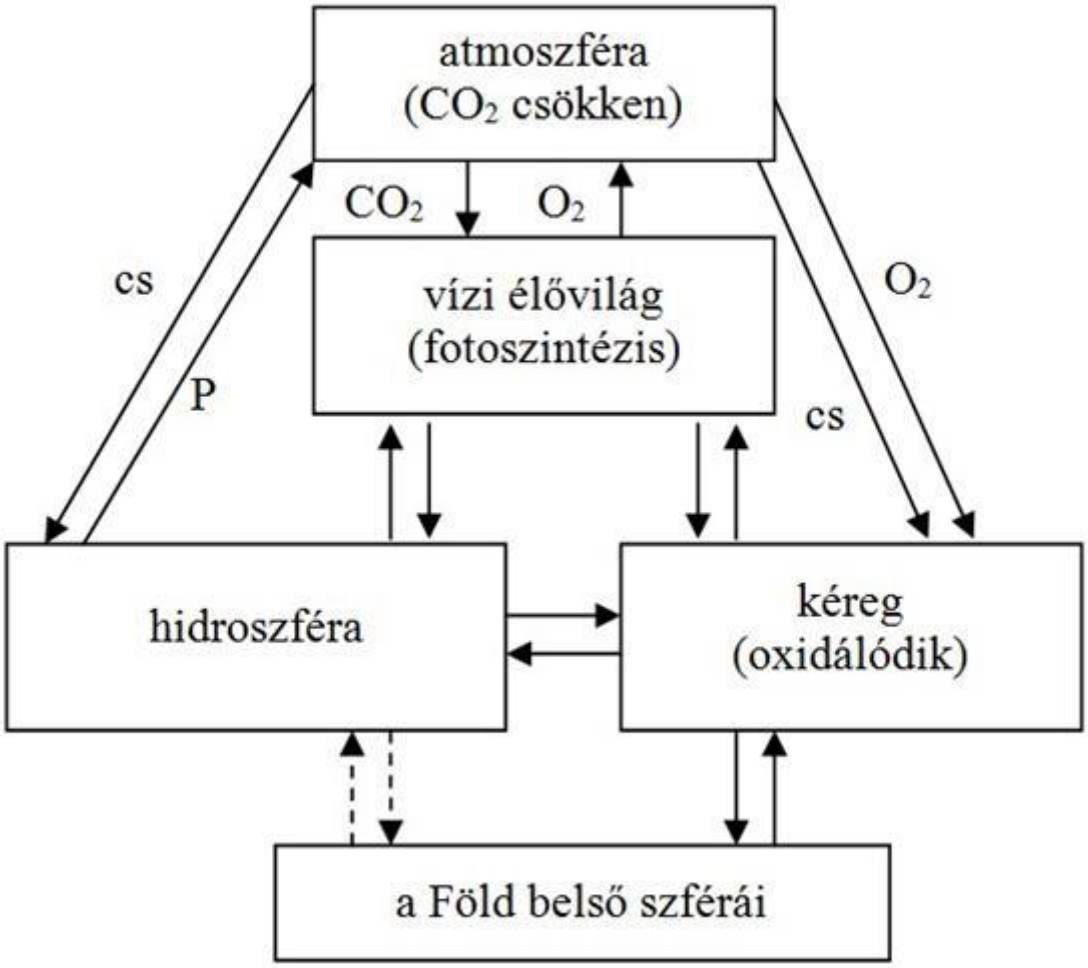
Minden élőlény maga is egy bonyolult rendszer. Mai ismereteink szerint az első vízi élőlények féligáteresztő hártyával különültek el környezetüktől, s ezen keresztül *anyagokat vettek fel*, ezekből meghatározott vegyületeket (az élőlény testének anyagait) szintetizáltak, majd a féligáteresztő hártyán keresztül a számukra szükségtelen anyagokat *kiválasztották*. Egyszóval anyagcserét folytattak. Továbbá képesek voltak saját magukhoz hasonló utódszervezetek létrehozására.

Az első egysejtűeknek nem volt sejtmagjuk (*prokarióták*), szervetlen vegyületekkel táplálkoztak, és anyagcseréjük során kemoszintézissel nyertek energiát, s a kémiai energiával szénhidrátokat szintetizáltak. Mivel a Nap sugárzási energiája is rendelkezésre állt, egyes egysejtűek éltek ezzel a lehetőséggel, és kialakult a fotoszintézis. A kékmoszatok (cianobaktériumok) ebbe a csoportba tartoztak. Korai létüket az ún. *sztromatolitok* bizonyítják. Ezeket a sajátos, párnaszerű mészkőszerkezeteket 3,5 milliárd évvel ezelőtt kékmoszatok hozták létre, mégpedig meglehetősen nagy mennyiségben. A fotoszintézissel megindult az a folyamat, amelynek során az élővilág szabad oxigént juttatott a környezetébe.

A fotoszintézissel keletkező oxigén a *tengervíz közvetítésével az* atmoszférába jutott, és a kéreg anyagaival érintkezve, azok jelentős részét oxidálta (*30. ábra*). Ilyen ok miatt a légköri szabad oxigén koncentrációja sokáig igen alacsony volt. A szakirodalomban fellelhető adatok ezzel kapcsolatban rendkívül ellentmondásosak: Graedel és Crutzen (1993) szerint kb. 1,5-2,0 Mrd. évvel ezelőtt a légköri oxigénszint elérte a jelenlegi érték (present atmospheric level = PAL) 1 százalékát, az ún. Pasteur-pontot, ami a légzés elterjedéséhez minimálisan szükséges. Ez az érték egybeesett az eukarióták (a valódi sejtmaggal rendelkező élőlények) elterjedésével. Holland (2006) szerint azonban már 1,8 Mrd. évvel ezelőtt a PAL 10 százaléka lehetett a légkör oxigénszintje, különben nem jelenhettek volna meg ilyen korán az eukarióták, vagyis ő a valódi sejtmaggal rendelkező élőlények megjelenését egy nagyságrenddel magasabb oxigénszinthez köti. A fotoszintézisnek azonban volt egy másik hatása is a légkörre: a fotoszintetizáló baktériumok egyre több CO_2-t használtak fel a légkörből, így annak koncentrációja lényegesen lecsökkent, vagyis az üvegházhatás is csökkent. Ezzel párhuzamosan a metanogén (metánt termelő) baktériumok is elszaporodtak. Mivel a metán a szén-dioxidhoz képest erősebb üvegházhatást okoz, kisebb mennyiség is elegendő volt a CO_2-csökkenés kompenzálásához. A két ellentétes irányú folyamat eredőjeként a Föld felszíni középhőmérséklete 3,8–3,5 milliárd évvel ezelőtt csökkent, majd a két folyamat kiegyenlítődött, és a felszíni középhőmérséklet viszonylag hosszú ideig stabil volt. Feltételezések szerint az előidő (proterozoikum, kb. 2,5 Mrd. évvel ezelőttől) során a Föld középhőmérséklete tendenciaszerűen csökkent. Kirschvink (1992) modellszámításai szerint a proterozoikum vége felé előállt bolygónk „hógolyó – állapota”, azaz az egész Föld eljegesedett. A hipotézis (gyakran elméletként aposztrofálják) szépséghibája, hogy nincsenek egyértelmű bizonyítékok egy ilyen globális eljegesedésre vonatkozóan. A tudományos modellek értékét az határozza meg, hogy azok mennyire vannak összhangban a tényekkel. Az eljegesedéseknek számos ismert bizonyítéka létezik (morfológiai, üledékképződési, kőzettani stb.). Mindezeket az egész földfelszínen ki kellene mutatni ahhoz, hogy a „hógolyó-hipotézist” elméletnek fogadjuk el. Azt is hozzá kell tennünk, hogy a kétkedésünk nem jelenti azt, hogy a hipotézis nem lehet igaz.

Még az óidő kezdete előtt fontos esemény volt az élet fejlődése szempontjából a *többsejtűek* és az ivaros szaporodás megjelenése.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



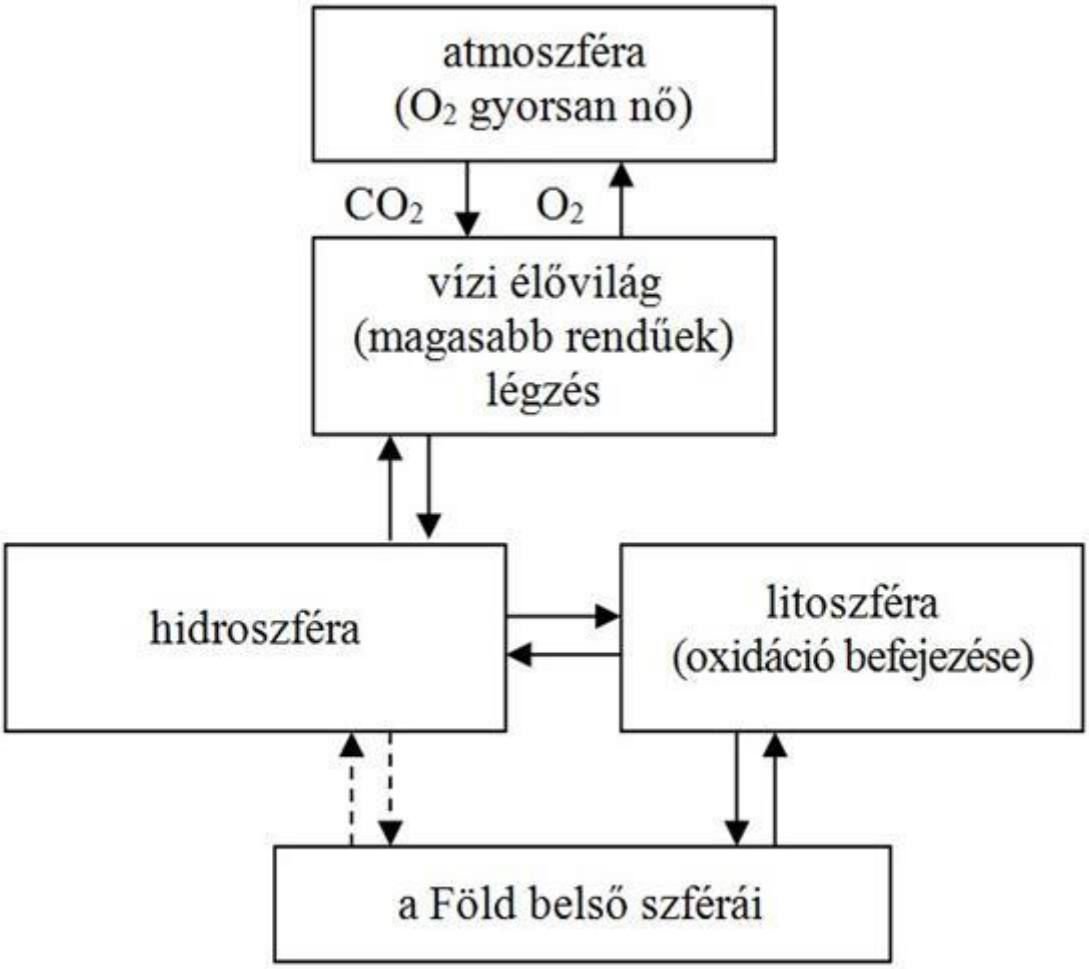
30. ábra. Az élő Föld homomorf rendszermodellje a legfontosabb folyamatok feltüntetésével, cs = csapadék, p = párolgás. Időtartam: 3,8–0,6 milliárd év

2. 8.2. A légköri oxigén koncentrációjának gyorsuló növekedése

Az előzőkben láttuk, hogy a kutatók véleménye erősen eltér a légköri oxigéntartalom időbeli alakulásával kapcsolatban. Azt azonban nem vitatják, hogy kb. 600 millió évvel ezelőtt a légköri oxigénkoncentráció geológiai értelemben gyors növekedésnek indult, és ez lehetővé tette a légzés széleskörű elterjedését az élővilágban Ez azért nagy jelentőségű változás, mert megnyitja az utat a magasabb rendű élőlények kialakulásához (*31. ábra*)

A kambriumban felgyorsultak a földtörténeti események. Az élővilág gyorsuló ütemben fejlődött, a légköri oxigén gyorsuló ütemű gyarapodásával párhuzamosan a hidroszférában még a felső proterozoikumban megjelentek a szilárd váz nélküli, majd a kambriumban a szilárd vázas többsejtűek, s ez utóbbiak óriási ütemben elszaporodtak. A szakirodalom ezt *kambriumi robbanásnak* nevezi (*Pálfy*, 2000). A légkörben gyarapodott az ózon, majd az ózonréteg egyre magasabbra emelkedett. Minden feltétel adva volt egy újabb minőségi ugráshoz: a szárazföldi élővilág kialakulásához.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



31. ábra. Az élő Föld homomorf rendszermodellje a főbb folyamatok feltüntetésével a 600–440 millió évvel ezelőtti időszakra vonatkozóan

A globális földi rendszer működése és változásai szempontjából fontos volt a *litoszféra-lemezek kialakulása*. A lemezmozgások a földtörténet során többször és lényegesen megváltoztatták az élővilág létfeltételeit. Szerepük volt az éghajlatváltozásokban, a tengerelöntésekben és visszahúzódásokban. A növények első képviselői az ordovícium legvégén, mintegy 440 millió évvel ezelőtt jelentek meg a szárazföldeken.

3. 8.3. A bioszféra teljessé válása

Az élővilág védelme szempontjából az egyik legfontosabb környezeti elem a *sztratoszférikusózonréteg* kialakulása volt, amely már az ordovícium végén létrejött, a szilurban és a devonban pedig tovább gyarapodott, vastagodott, s a mai napig védi az élővilágot a Nap ultraibolya (uv)sugárzásának legkárosabb hullámhosszúságú sávjától. Ez a 180–300 nm hullámhosszat jelenti, ami a DNS-t és az élet szempontjából fontos, más nagyméretű szerves molekulák szerkezetét módosíthatja, s ez az élő szervezet pusztulásával jár. A sztratoszféra ózonpajzsa tette tehát lehetővé a szárazföldi élővilág kialakulását és fejlődését.

Az ordovícium végén az első szárazföldön megjelenő növények a *mohák* csoportjába tartoztak, a szilúrban azonban már a *harasztok* uralkodtak. Az ősharasztoktól származtatjuk valamennyi fejlett edényes növényünket. A devonban és a karbonban a harasztok törzsébe tartozó *páfrányok* voltak a legelterjedtebbek, s olyan dúsan borították a szárazföldek nagy részét, hogy elhalt szerves anyagaikból később a legnagyobb széntelepek képződtek. A növényekhez nagyon hamar társultak az első állatok. A rovarok voltak a legsikeresebbek, amelyek valószínűleg tengeri ízeltlábúakból alakultak ki.

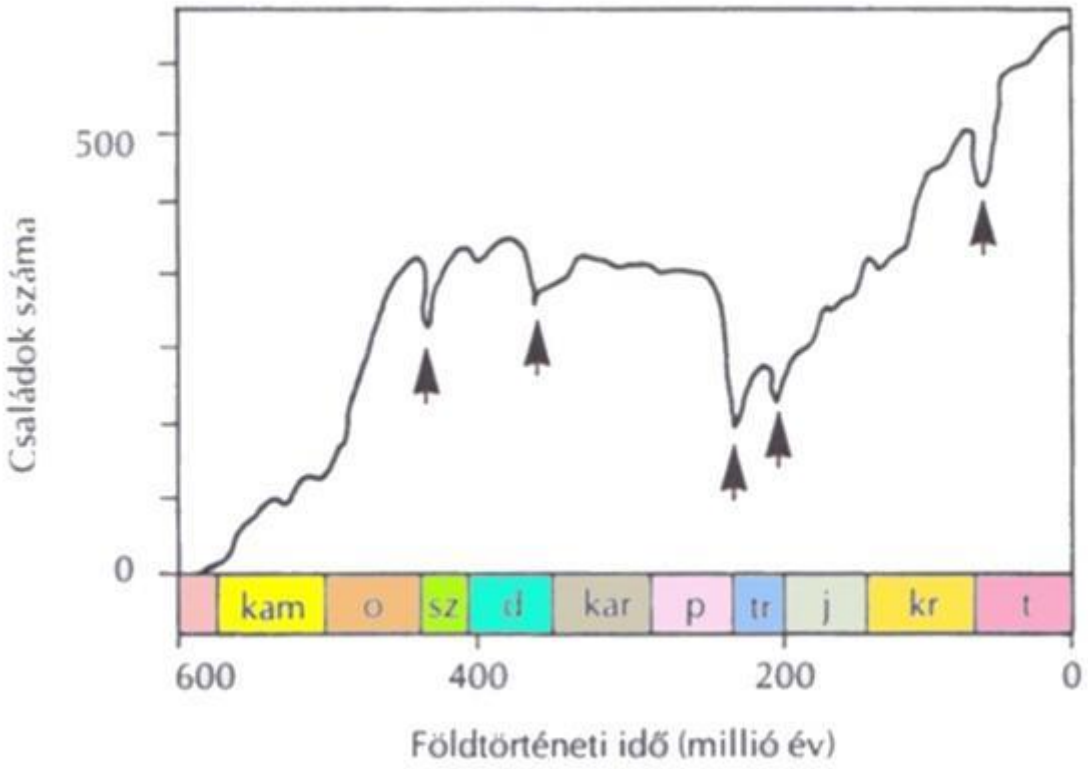
Az élővilág átalakította a litoszféra legfelső rétegét: elhalt szerves anyagokkal gazdagította az ásványi anyagokat, majd talajlakó, lebontó szervezetek telepedtek meg ebben a rétegben, amely a növények számára

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

egyre gazdagabb tápanyagforrásként szolgált. Létrejött egy új geoszféra: *a talaj*, ami a termékenységével különbözött a nyers kőzetektől.

Ezzel tulajdonképpen kialakult az egész Földre kiterjedő *bioszféra*, vagyis az élővilág és az élőhelyek összetett rendszere, amely átszövi a hidroszférát, az atmoszféra alsó rétegét, a talajt, sőt behatol a litoszféra felső, néhány km-es rétegébe is. *A bioszféra funkcionálisan az élővilág legmagasabb, fajok feletti (szupraindividuális) szerveződési szintje, amely magában foglalja az összes élőlényközösséget (biocönózist) az élőhelyeikkel folytatott kölcsönhatásaikkal (anyag- és energiacseréikkel) együtt.*

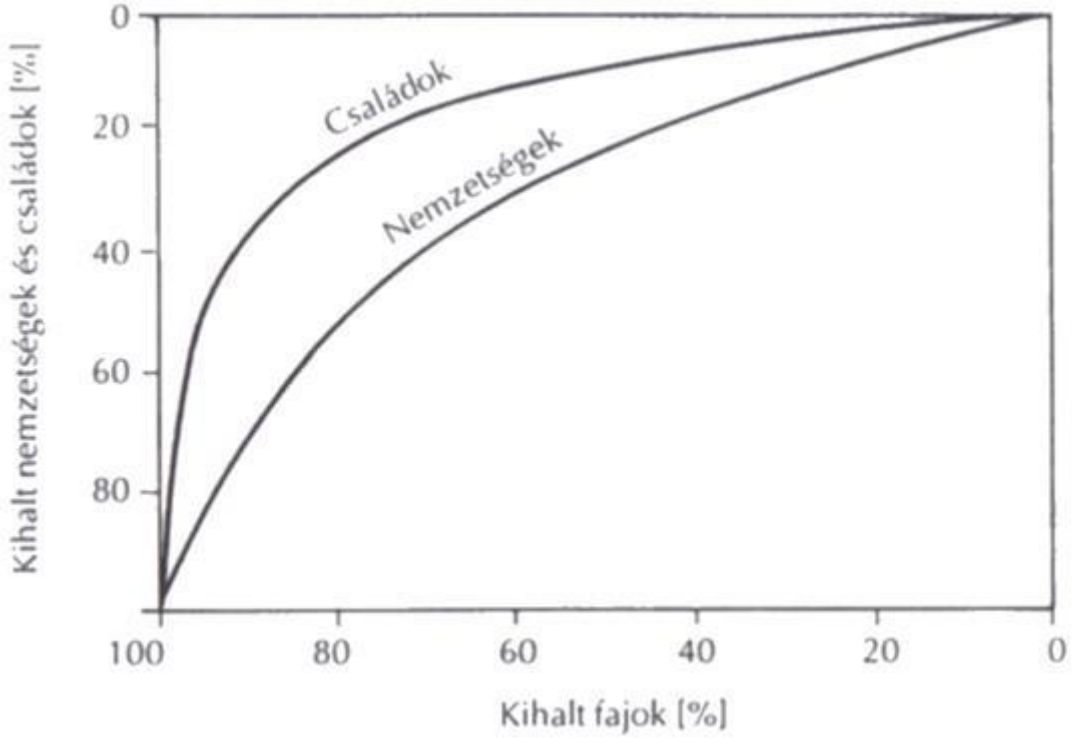
A bioszféra szervezettsége a földtörténet során hol gyorsabb, hol lassúbb ütemben fejlődött, de az élővilág diverzitásának növekedése nem volt egyenletes, az ordovícium végi kihalás után még négy alkalommal fordult elő tömeges kihalás: a devonban, a permben, a triászban és a kréta végén (*32. ábra*).



32. ábra. A tengeri családok számának változása az elmúlt 600 millió év során. A nyíllal jelzett „öt nagy” kihalás a diverzitás hirtelen zuhanásaként mutatkozik (Pálfy J., 2000)

Nem kívánunk részletesen foglalkozni a nagy kihalások okaival, de felhívjuk a figyelmet Pálfy József: Kihaltak és túlélők c könyvére (Pálfy, 2000), mely kitűnő áttekintést nyújt a témáról. Itt csupán azt jegyezzük meg, hogy Raup és Sepkoski matematikai módszert dolgoztak ki a tömeges kihalások fajdiverzitás-csökkenésének becslésére (*33. ábra*).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



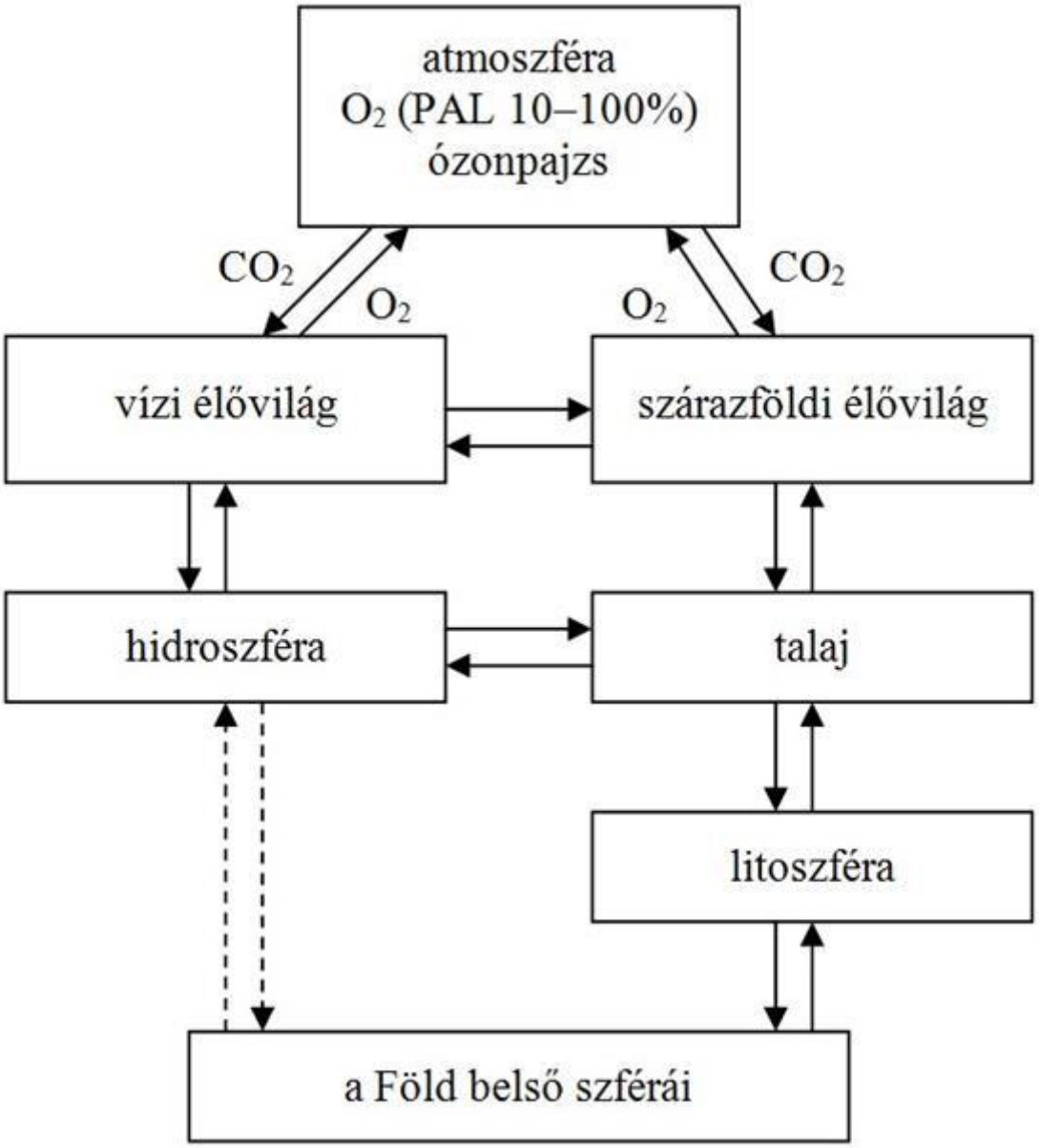
33. ábra. A kihalt fajok arányának becslése a kihalt családok, illetve nemzetségek ismert arányából (in Pálfy, 2000)

Ennek alapján tudjuk, hogy a perm végi kihalás volt a legnagyobb, amelynek során a tengeri családok mintegy fele kihalt, s ez a fajok 95%-ának (!) pusztulását jelentette.

A globális földi rendszer mégis nagyon stabilnak bizonyult: akár külső okok (meteorit- vagy üstökösbecsapódás), akár vulkanizmus és lemeztektonikai mozgások okoztak katasztrófát a Földön, a környezeti viszonyok csak átmenetileg változtak meg, és sohasem olyan mértékben, hogy az élet kipusztult volna a bolygónkról.A rendszer stabilitásában jelentős szerepe volt (és van jelenleg is) az élővilágnak.

A szárazföldi élőlények megjelenésétől a karbon időszakig mintegy 100 millió év telt el (ez az élet korábbi, 3 milliárd éve tartó fejlődéséhez képest csekély időtartam), s ez alatt az idő alatt a légköri oxigéntartalom 100% PAL értékre emelkedett (*34. ábra*). Vita folyik a tudományban arról, hogy a földtörténet során lehetett-e a légkörben a mainál magasabb oxigén-szint vagy sem. A fotoszintézis intenzitása valószínűleg a karbon időszakban érte el a csúcsát, s ez azt is jelentette, hogy fotoszintetizáló élőlények a legtöbb oxigént juttatták a légkörbe, miközben a CO_2-t egyre nagyobb arányban hasznosították. A fossziliák alapján azt is tudjuk, hogy olyan hatalmas, ősi szitakötők is éltek ebben az időszakban, amelyek szárnytávolsága 70 cm-re rúgott.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



34. ábra. Az élő Föld a szárazföldi élővilág megjelenése után. Időtartam: 440–0,01 millió év

A kutatók többsége ebből arra következtet, hogy a légköri oxigéntartalom 21%-nál is nagyobb lehetett, mert ezek a rovarok csak oxigéndúsabb légkörből vehettek fel annyi oxigént, amely röpképességüket biztosította. Mindenesetre, ha nagyobb is volt valamivel a légkör oxigénkoncentrációja a mai szintnél, az nem lehetett lényegesen több, mert a vizsgálatok azt mutatták, hogy 21 százaléknál magasabb oxigéntartalom már az oxigént hasznosító szervezetek növekedésére gátlóan hat (Mészáros, 2001), s annál néhány százalékkal magasabb koncentráció a természetben keletkező tüzek gyakoriságát is jelentősen megnövelné.

Végül is meg kell állapítanunk, hogy *a légkör fő gázainak mai arányait az élővilág hozta létre, s egyben önmaga fejlődését és fenntartását is biztosította*.

A lemeztektonikai mozgások továbbra is lényegesen befolyásolták az élővilág fejlődését. A kontinensek vándorlása szerepet játszott az éghajlatváltozásokban, a tengerszint ingadozásaiban, ezzel állandó alkalmazkodásra kényszerítve az élőlényeket. Az élőlények egymáshoz fűződő kapcsolatrendszere is egyre bonyolultabbá vált: a táplálékláncok és táplálékhálózatok rendkívül összetett rendszereket eredményeztek, s az élő és élettelen környezeti elemek *egységes, globális földi rendszerré álltak össze*, amelynek működése a *kibernetikai rendszerek sajátosságait mutatja: önszabályozó, önfenntartó rendszerről van szó*.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

4. Önellenőrző feladatok

Többszörös választás. Állapítsa meg, hogy az alábbi lehetőségek közül melyik a helyes!

A) *az 1., a 2. és a 3. állítás igaz*

B) *az 1. és a 3. állítás igaz*

C) *a 2. és a 4. állítás igaz*

D) *a 4. állítás igaz*

E) *mindegyik állítás igaz*

1. 1) Az élet körülbelül 400 millió évvel ezelőtt jelent meg a Földön.

2) A légkör szabad oxigén koncentrációja a kambrium elején a jelenlegi szint 1%-a volt.

3) Az ősharasztok létét a sztromatolitok bizonyítják.

4) A Pasteur-pont elérése után az élőlények egy része a fermentációról áttérhetett a légzésre.

2. 1) Az első egysejtűeknek még nem volt sejtmagjuk.

2) 3,5 milliárd éve már voltak fotoszintetizáló élőlények a Földön.

3) Az élet kialakulása előtt már képződtek szerves vegyületek a Földön.

4) A fotoszintézis során nő az atmoszféra szén-dioxid tartalma.

3. 1) A fotoszintetizáló kékalgák megjelenése után csökkenni kezdett az atomszférában a szén-dioxid koncentráció.

2) A szilárd vázzal rendelkező többsejtű élőlények már az archaikumban megjelentek.

3) A prekambriumban a szén-dioxid koncentráció csökkenésével párhuzamosan a metán koncentráció nőtt.

4) Az első szárazföldi élőlények a permben, mintegy 280 millió évvel ezelőtt jelentek meg.

4. 1) A litoszféra lemezek mozgásai többször is megváltoztatták az élővilág életfeltételeit.

2) Az ordovícium végén, az első szárazföldi növények a mohák csoportjába tartoztak.

3) A szilúrban már a harasztok voltak az uralkodó növények.

4) Az ősharasztoktól származtatjuk valamennyi fejlett edényes növényünket.

5. 1) A Föld legnagyobb széntelepei a devon és a karbon hatalmas tölgyerdőiből keletkeztek.

2) A szárazföldön megtelepedő élőlények közreműködésével alakult ki a termékeny talajtakaró.

3) Az élővilág diverzitása egyenletesen növekedett a kambriumtól a kréta végéig.

4) A karbon időszakban a légköri oxigéntartalom elérte a jelenlegi szintet (100% PAL).

Relációanalízis. Az alábbi feladatban összetett mondatokat talál, melyek első tagmondata az állítás, második tagmondata pedig az indoklás. Válassza ki az alábbi variációk közül azt, amely Ön szerint igaz az egyes mondatok esetében!

A) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, és közöttük ok-okozati kapcsolat* ***van***

B) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, de* ***nincs*** *közöttük ok-okozati kapcsolat*

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

C) *az állítás* ***igaz****, az indoklás azonban* ***hamis***

D) *az állítás* ***hamis****, az indoklás azonban önmagában* ***igaz***

E) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***hamis***

6. A légkör oxigénkoncentrációja a mainál nem lehetett sokkal magasabb, mert néhány százalékos növekedés esetén az oxidációs folyamatok (pl. a természetben keletkező tüzek) nagyon felgyorsultak volna.

7. A légkör mai oxigénkoncentrációját elsősorban a növények alakították ki, mert az állatok nem tudnak fotoszintetizálni.

8. Az élővilág diverzitásának növekedése nem volt egyenletes, mert az ordovíciumi kihalás után még négy alkalommal is előfordult tömeges kihalás.

9. A karbont megelőző 100 millió évben a légköri oxigéntartalom rohamosan csökkent, mert ebben az időszakban egyre gyorsabb ütemben terjedtek el a szárazföldi fotoszintetizáló növények.

10. A globális földi rendszer rendkívül instabilnak mondható, mert a földtörténet során az élet több alkalommal is teljesen eltűnt a Földről.

A többszörös választás megoldása:

1. C

2. A

3. B

4. E

5. C

6. A

7. B

8. A

9. D

10. E

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

9. fejezet - A társadalmasított Föld

1. 9.1. Az emberi társadalom, mint a földi rendszer új eleme: környezeti hatások a történelmi középkorig

A harmad- és negyedidőszak a rovarok és az emlősök széleskörű elterjedéséhez vezetett . Az emlősök törzsfejlődése során megjelentek az emberelődök, s végül kb. 200000 évvel ezelőtt a homo sapiens. (Vannak bizonytalan korú leletek, ezért csak hozzávetőlegesnek tekinthetjük az adatot.)

4. táblázat. Néhány nagy testű növényevő faj jelenléte vagy hiánya Közép-Európában az utolsó három eljegesedés és intergalciális idején (forrás: Bünzel-Drücke et al., 1994 és 1995)

Faj	Eljegesedések és intergalciálisok						Holocén
	Cromer Inter-glaciális	Mindel	Holstein Inter-glaciális	Riss	Eem Inter-glaciális	Würm	
Vadló	+	+	+	+	+	+++	(+)
Vadszamár	–	–	+	+	+	+++	–
Orrszarvú	+	+	–	–	–	–	–
Erdei orrszarvú	+	–	+	–	+	–	–
Sztyeppei orrszarvú	–	–	+	–	+	–	–
Gyapjas orrszarvú	–	–	–	+	–	+	–
Déli elefánt	+	–	–	–	–	–	–
Erdei elefánt	+	–	+	–	+	–	–
Sztyeppei mamut	+	+	–	+	–	–	–
Gyapjas mamut	–	–	–	+	–	+	–

A gyűjtögető, halászó-vadászó őseink alig voltak hatással a természeti környezetre. Legjelentősebb változást a pleisztocénban élő nagytestű állatok (mamutok, orrszarvúak, óriásszarvasok) egyre gyakoribb és sikeresebb vadászatával okozták. A szakemberek mind a mai napig vitáznak azon, hogy milyen szerepe volt az embernek a jégkori nagytestűek kipusztulásában. Egyesek szerint a klíma melegedése okozta kihalásukat, s a vadászat alárendelt szerepet játszott ebben, mások viszont a vadászatot jelölik meg fő okként. A *4. táblázatban* láthatjuk, hogy az eljegesedési időszakokban gyakoribb a mamutok jelenléte Európában, mint a felmelegedések idején. Vannak azonban olyan fajok is (erdei orrszarvú, erdei elefánt), amelyek kifejezetten a meleg interglaciálisok idején jellemzők a közép-európai faunára. A holocénban – amikorra az ember eszközkészítéseiben egyre fejlettebbé vált, és létszáma is valamivel gyorsabban növekedett – valamennyi nagytestű állat végleg eltűnt Közép-Európából. Valószínű tehát, hogy a vadászat hozzájárult e fajok kihalásához. *A természetben élő fajok pusztítása* a történelem során – tendenciáját tekintve – egyre nagyobb méreteket ölt, s az emberi tevékenységek egyik meghatározó következménye. A történelem előtti időkben a vadászat a közvetlen élelemszerzés eszköze volt, bár az elejtett állatok bőrét, bundáját, csontjait is felhasználták.

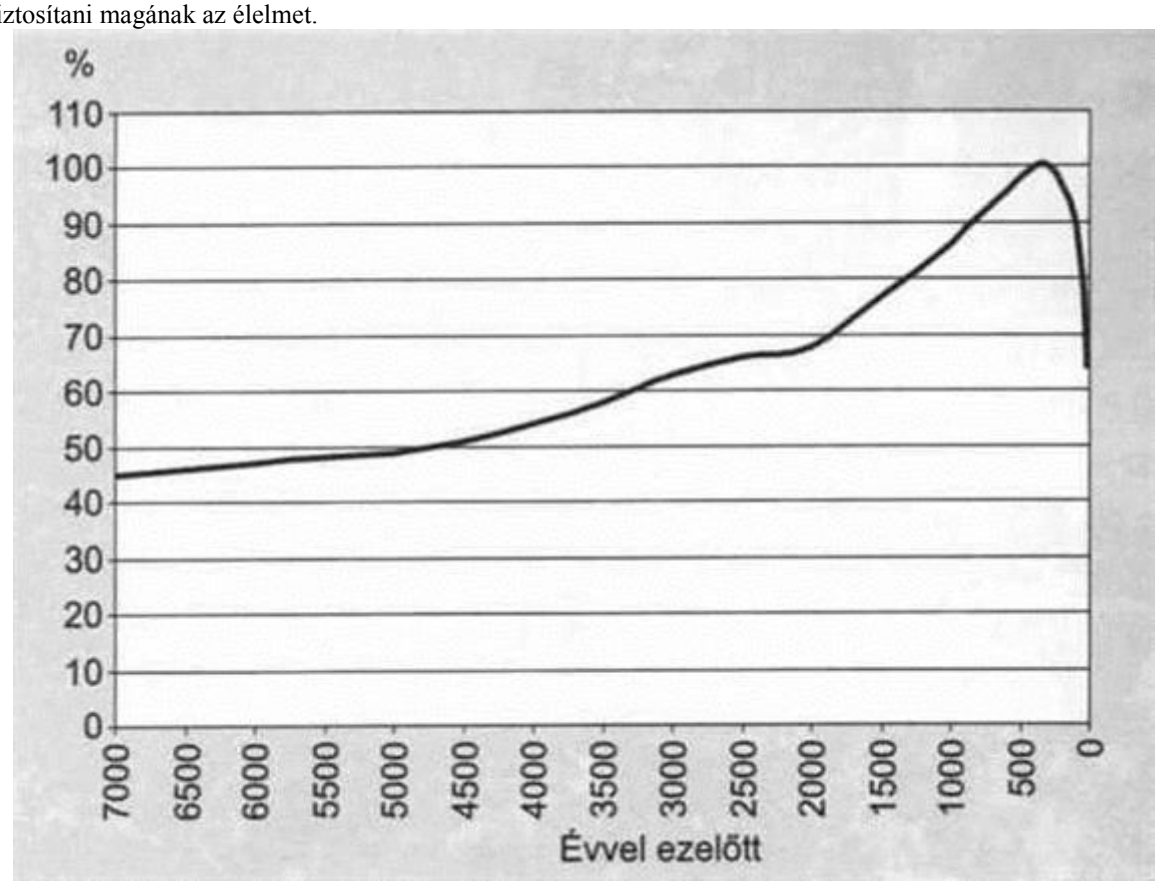
Elődeink csak a holocénban értek el arra a szintre, hogy társadalomba szerveződjenek, s tartósan letelepedve a társadalmi munkamegosztás előnyeit kihasználva különböző anyagi javakat (tárgyakat, munkaeszközöket, élelmiszereket) állítsanak elő, vagyis termelő tevékenységeket folytassanak. A növénytermesztés meghatározó szerepet játszott a társadalmi fejlődésben, hisz ez tette szükségessé a *tartós települések* felépítését, s így biztonságosabb táplálékellátást, az utóbbiak pedig a korábbiaknál védettebb lakóhelyet biztosítottak az emberek számára.

A földműveléshez valamint az építkezéshez a korábbiakhoz képest új eszközöket kellett előállítani, s ez a kézműipar fejlődéséhez járult hozzá. A társadalmi munkamegosztás fokozatosan bővült: kialakult a földművesek, szerszámkészítők és más mesteremberek (ácsok, ruhakészítők stb.) rétege. Az írás felfedezésével új típusú foglalkozás jelent meg a társadalomban: a szellemi foglalkozás, írnokok (írás + számolás, mérés). A hatalom birtokosai és az általuk irányított katonák tették teljessé a társadalmi struktúrát.

A társadalom környezetre gyakorolt hatásai szempontjából is minőségi változást hozott *az első mezőgazdasági forradalom*, azaz a növénytermesztés elterjedése – annak ellenére, hogy az ember eleinte csak nagyon kezdetleges kőeszközökkel művelte meg a földet. Ezzel tudatosan pusztította azokat a növényeket, amelyek

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

számára haszontalanok voltak, és védte azt a néhányat, amely számára hasznos (fogyasztható, felhasználható) volt. A növénytermesztés mint termelő tevékenység „mellékhatásaként” számos természetben élő növény és állat élőhelyének visszaszorítása kezdődött el, hisz a kiirtott növények számos rovar, rágcsáló stb. táplálékát vagy élőhelyét jelentették, sőt a földművelők a talajlakó állatok élőhelyét is felbolygatták. Ezzel az emberi tevékenységgel elkezdődött egy folyamat, amely ma is tart: *az élővilág változatosságának csökkentése a termelő tevékenységek révén*. Ahhoz ugyanis, hogy egyetlen növényfajt termesszen egy kis területen, néhány százat kellett elpusztítania ugyanott. A szárazföldek felszínéhez képest ez eleinte nem jelentett nagy veszélyt az élővilágra, mert a fajok megszámlálhatatlanul sok képviselője élt másutt. Csakhogy az ember terjeszkedett, s mindig a legtermékenyebb talajokat kereste, így bizonyos növénycsoportok s a hozzájuk társuló állatok egyre nagyobb veszélybe kerültek. Ugyanakkor a mezőgazdasági területek egyes fajok elterjedésének (pl. gyomok, kártevő rovarok) tág teret engedtek, sőt új típusú élőhelyek (pl. irtásterületek) létrehozásával, s így helyenként és időnként a fajszám nőhetett is (*35. ábra*). Persze az ember erről mit sem tudott. Az ő egyetlen célja volt: biztosítani magának az élelmet.



35. ábra. A közép-európai flóra diverzitásának változása (Hüppe 1990-es adatai alapján, szerk. Kerényi A., 2003)

Azzal, hogy betakarította a termést, beavatkozott egy természetes folyamatba, megzavarva azt. Természetes körülmények között ugyanis a mérsékelt övezet gyepes, füves területein, de a trópusok félszáraz övében is évente elhal a növények túlnyomó része, s a növénymaradványok a talajba, ill. a talajra kerülnek. Ebből lesz a humusz, amely a talaj termékenységének legfőbb hordozója. Mivel az ember eltávolította a nemkívánatos növényeket, a termesztett növényt pedig ritkábban ültette, hogy jobban nőjön, továbbá szerves anyagának és a benne rejlő egyéb anyagoknak nagy részét élelemként elfogyasztotta vagy más célra használta (pl. a szalmát tetőfedésre vagy alomnak), a talajba sokkal kevesebb szerves anyag került vissza, mint természetes körülmények között, továbbá a termés által kivett növényi tápelemeket sem pótolta, így a termőképessége fokozatosan csökkent. A gyakori művelés a talaj szerkezetét is rombolta. A talajlakó élőlények egy része a kevesebb szerves anyag miatt, másik része a rendszeres bolygatástól pusztult el. Márpedig a talaj élővilágára ugyancsak szükség van a természetes termékenység fenntartásához!

Mindezek hosszú távú következmények, amelyekből az ember eleinte semmit sem vett észre, de a természeti környezetre gyakorolt hatások ettől kezdve megállíthatatlanul gyarapodtak.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Minden szempontból újat hozott a termelésben és az ember környezethez való viszonyában a *fémek megmunkálása*. Az Örmény-magasföldön és környékén, az Iráni-medencében, valamint Thaiföldön már 7–8 ezer évvel ezelőtt feltalálták a réz előállításának módját, majd viszonylag hamar rájöttek ötvözetének, a bronznak az előállítására. Az igazi nagy találmány – néhány ezer évvel később – a vasolvasztás és -megmunkálás volt. Mindez azonban meglehetősen hosszú időt vett igénybe, s a fémeket különböző kultúrákban különböző célokra használták. Eleinte inkább díszeket, szobrocskákat, edényeket, később szerszámokat készítettek belőlük. A fa megmunkálására alkalmas eszközöket már 5000 évvel ezelőtt alkalmazták a Közel-Keleten. Az acélt valószínűleg a kínaiak fedezték fel kb. 4000 éve. Indiában és Mezopotámiában ekkor még meteorvasból kovácsoltak szerszámokat és fegyvereket. Mindenesetre a katonai célok előmozdították a fémmegmunkálás fejlődését. Később sikerült Egyiptomban, Indiában és az araboknál az acél előállítása . A „vaskor" beköszöntése azért volt fontos, mert ebből a fémből lehetett igazán hatékony fegyvereket és szerszámokat előállítani. A vasszerszámok új lendületet adtak a termelésnek.

A fémmegmunkálás számos durva környezeti beavatkozást tett szükségessé. Mindenekelőtt hozzá kellett jutni az érchez. Ezt akkor még csak külszíni bányák feltárásával lehetett megoldani, ami annyit jelentett, hogy a bánya területén és közvetlen környezetében el kellett pusztítani növényt, talajt egyaránt. Később a mélyművelés, amely már a Római Birodalom idején elkezdődött, ugyanilyen következményekkel járt.

Az érc olvasztásához sok energiára volt szükség. Ekkor még (és később is, nagyon hosszú ideig) a fa volt az egyetlen jelentős energiahordozó. Eleinte szárított formában, majd elszenesítve (faszén) használták az ércek kiolvasztásához. Az ősi kohók környékén fokozatosan egyre nagyobb sugarú körben termelték ki a fát, s ezzel az erdők természetes ökológiai rendszerét zavarták meg. Kétségtelen azonban, hogy törekedtek arra is, hogy a kitermelt erdők megújulására időt hagyjanak.

Az ércek olvasztása és a fémek megmunkálása az első olyan emberi tevékenységek, amelyek komoly *környezetszennyezést* okoznak. A mezőgazdasági eredetű hulladékok túlnyomó része lebomlik, átalakul, az állati trágyát a talaj termékenységének fokozására használják stb., vagyis természetbarát hulladékokról van szó. A fémmegmunkáláskor azonban mérgező gázok szabadulnak fel, és a mikroszkopikus fémrészecskék ugyancsak környezetszennyezők, sőt az ember egészségét közvetlenül is veszélyeztetik.

Az *öntözés* ugyancsak minőségi változást hozott az ember környezethez való viszonyában. Tudjuk, hogy már ötezer évvel ezelőtt csatornákat ástak a földeken, és emelőkkel biztosították az öntözővíz utánpótlását a folyó(k)ból. A száraz és félszáraz – ugyanakkor meleg – környezetben ez óriási felfedezés volt, hisz a növények rendszeres vízellátásával nemcsak több termést lehetett betakarítani, hanem évente többször is arathattak, a termés nem függött a szeszélyes és igen gyér csapadéktól.

Csakhogy az emberi tudás ahhoz még nem volt elég, hogy az öntözés minden következményével számolni tudjon. Ma már tudjuk, hogy nem lehet akármilyen vízzel, akárhol öntözni. A víz minőségétől és az adott földrajzi-geológiai viszonyoktól függ, hogy kizárólag az öntözés kedvező hatásai fognak érvényesülni, vagy olyan következményei is lesznek, amelyek bumerángként visszaütnek az adott közösségre. Azokon a helyeken, ahol az öntözővíz vagy a felszín közelében elhelyezkedő talajvíz, esetleg maga a talajképző kőzet viszonylag sok oldott sót tartalmazott, a rendszeres öntözés és az állandóan erős párolgás miatt a talajban egyre több só halmozódott fel. (A talajvíz a leszivárgó öntözővíz hatására megemelkedett, s a növények gyökérzónájába emelhette a sókat. Az oldott sókat tartalmazó víz betöményedett, majd a sók kiváltak a talajszemcséken.) Ez a folyamat emberi léptékkel mérve lassú volt. Csak több generáció rendszeres öntözésének hatására következett be egyes helyeken a talajok „elsósodása", amit ma *másodlagos* (emberi hatásra kialakult) *szikesedésnek* nevezünk. A sós talajok – a sók mennyiségétől és minőségétől függően – csökkent termékenységűek vagy akár teljesen terméketlenné válhatnak. A folyamat egyes földrajzi régiókban (pl. Mezopotámiában) olyan erőteljessé vált, hogy civilizációk pusztulásához vezetett (*Diamond*, 2007).

Az öntözés mellett a másik nagy mezőgazdasági találmánynak *az eke* bizonyult. Ekkor (kb. 5000 évvel ezelőtt) faekékkel művelték a földet, de az igavonó állatokat az ekék vontatására is használták, így nagy területet viszonylag rövid idő alatt tudtak megművelni. Újabb és újabb földdarabokat vontak művelés alá, így egyre nagyobb területen változtatták meg a természeti környezetet, vagyis az eke a földművelés hatékonyságának növelésével a természeti környezet bolygatásának területi kiterjedését növelte meg.

Lokálisan jelentős környezeti hatást okoztak az *építkezések*. Az első kőépületek 9–10 ezer évvel ezelőtt épültek, s a biztonságot nyújtó építmények később egyre nagyobb települések (városok) kialakulásához vezettek. Az épített környezet lényegesen megváltoztatja a lefolyást, a párolgást, az albedót, végső soron a mikroklímát. Ettől kezdve fokozatosan bővül az ember által előidézett újabb környezetmódosítási cselekvéssorozat, amely az építkezések következménye, és a történelem során egyre nagyobb mértékűvé válik. A civilizációk fejlődésével

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

már nemcsak a lakhely biztosítása a cél, hanem az egyre fejlettebb infrastruktúra kiépítése is. Az építkezések környezeti hatásait három nagy, egymással összefüggő csoportba sorolhatjuk: 1. természetes élőhelyek pusztítása, mikro- és mezoklímára gyakorolt hatás, valamint helyi vízrendszerekre, később pedig a globális hidrológiai ciklusra kifejtett hatás. (Ezekre a továbbiakban még visszatérünk.)

Az emberiség lélekszáma folyamatosan emelkedett: a mezőgazdaság forradalmának idején kb. 8-10 millióan lehettek elődeink, időszámításunk kezdetére (tehát 8000 év alatt) 200–250 millióra nőtt a lélekszám. Bár e növekedés üteme – mai szemmel nézve – meglehetősen lassú volt, mégis ez az alapvető oka a természeti környezetre gyakorolt fokozódó nyomásnak. Egyre több embert kellett ellátni élelemmel, ruházattal, egyre több családnak volt szüksége lakhelyre, s a társadalom elitjének növekvő igényei már nemcsak ezekre az alapvető életfeltételekre terjedtek ki: maguk számára – az adott kor szintjén – luxus feltételeket biztosítottak. Nem utolsósorban: a hatalmuk fenntartásához szükséges hadsereg fegyverekkel való felszerelését is csak jelentős kézműipari termeléssel érhették el.

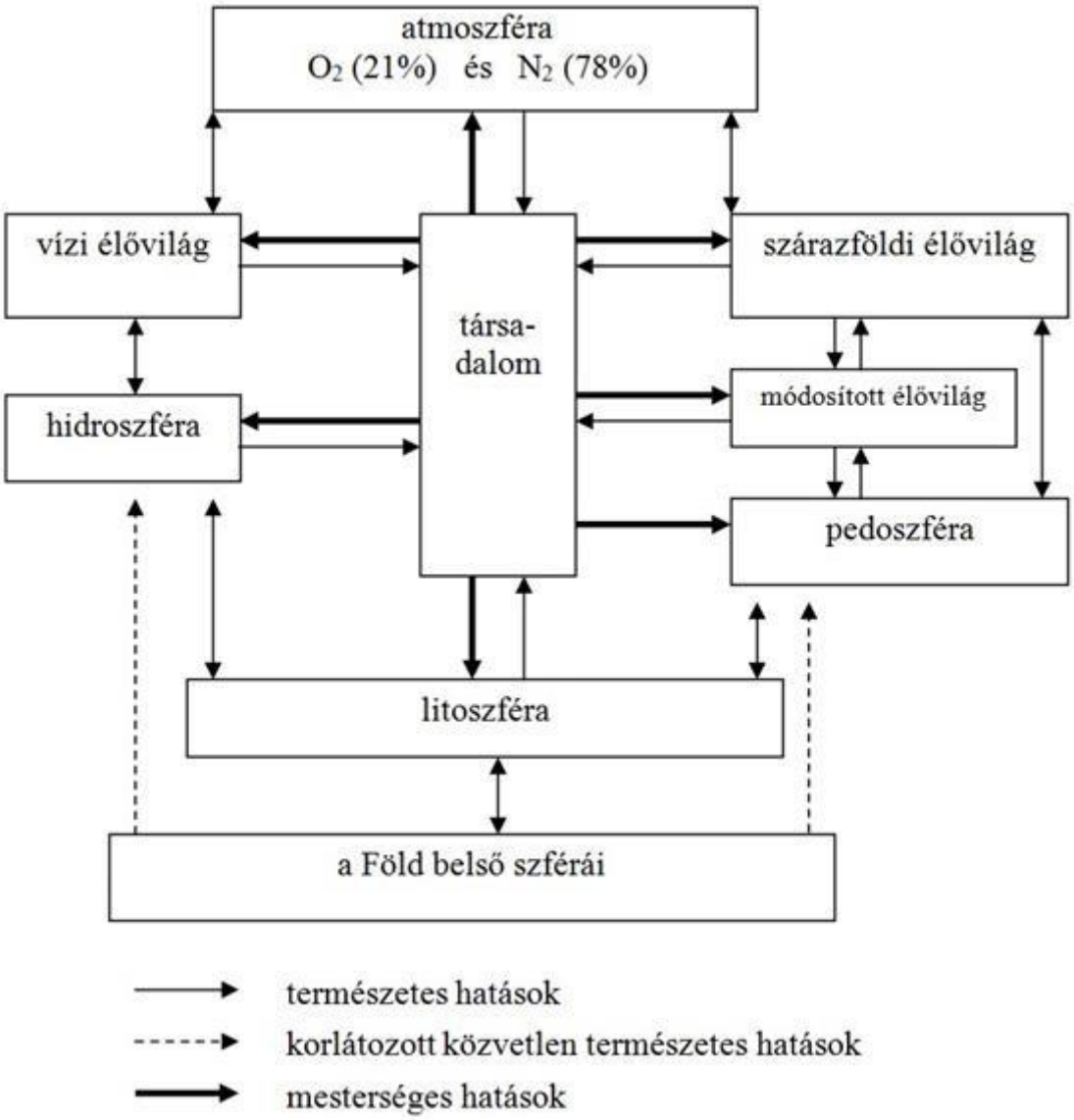
Népességnövekedés, termelés, fogyasztás, természetpusztítás – kulcsszavak az ember és környezete kapcsolatában.

A történelmi ókorban a társadalmi fejlődés eljutott arra a szintre, hogy a fenntartásához szükséges termelés a Föld belső szféráinak kivételével a globális földi rendszer minden lényeges alkotóelemére hatással volt, s a növekvő emberi fogyasztás melléktermékei ugyancsak terhelték a természeti környezetet.

A *36. ábrán* a Föld homomorf rendszermodelljén a társadalom külön rendszerelemként jelenik meg. A korábbi modellekhez képest fontos változás, hogy a természetes kölcsönhatások mellett megjelennek az ember tudatos, tervezett cselekedeteinek környezeti hatásai. Ezeket mesterséges (technikai) hatásokként jelöltük az ábrán, s külön kiemeltük (a rendszer önálló elemeként tüntettük fel) a *módosított élővilágot*. Ez az értelmezésünk szerint azt jelenti, hogy az ember a természetes fajok háziasításával, azok tudatos kiválogatásával tulajdonképpen genetikai kísérletsorozatot kezdett el, s a termesztett növények és a tenyésztett állatok a számára előnyös tulajdonságok (nagyobb szemtermés, növekvő tejhozam stb.) örökletessé válásával már különböztek az azonos fajhoz tartozó, de szabadon élő populációk egyedeitől. A mezőgazdasági termeléssel kapcsolatban már szóltunk a talajra gyakorolt hatásokról, s azok nemkívánatos következményeiről. A talaj visszahatása a társadalomra közvetett módon, a termesztett és természetes növények hozamain keresztül érvényesül.

A szárazföldi élővilágra gyakorolt nyomás növekedését jelentette a természetes élőhelyek átalakítása (települések terjeszkedése, erdőirtások, sőt a római korban már a vizes élőhelyek lecsapolása is), és a táplálékellátás szempontjából fontos maradt a vadászat és a halászat is.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



36. ábra. A társadalmasított Föld homomorf rendszermodellje (A mesterséges hatások a történelem során egyre sokrétűbbek és egyre nagyobb mértékűek)

Az atmoszféra két alapgáza a nitrogén (78%) és az oxigén (21%) legalább 300 millió éve meghatározó a troposzférában – az élővilágnak (ezen belül elsősorban a növényzetnek) köszönhetően. A társadalom az ókorban főleg az erdők irtásával, a növénytermesztéssel, az ezzel kapcsolatos talajműveléssel, a biomassza égetésével hat a légkörre, de ennek óriási tömege miatt sokáig elhanyagolható mértékben. A légszennyező anyagok (por, korom, fémrészecskék) általában lokális hatásúak.

Ugyancsak csekély a társadalom hidroszférára gyakorolt hatása: a római korban már képesek a bányákból kiszivattyúzni a talajvizet, s mint említettük, lecsapolni a lápos, mocsaras területeket, de ezek a hatások viszonylag kis területre terjednek ki.

A tengerekre és azok élővilágára gyakorolt antropogén hatás az ókorban még elhanyagolható: főként a halászattal és a partok közelében némi vízszennyezéssel okoznak elődeink csekély változást a vízminőségben és a vízi ökoszisztémákban. A bányászat a litoszférát is érinti, bár a természeti rendszerek működésének zavarása szempontjából drasztikusabb hatás a bányaterületeken az élővilág és a talaj teljes pusztulása.

A felvázolt hatások a történelem során egyre nagyobb intenzitással érvényesültek, s mint látni fogjuk, minőségileg újak is megjelentek, egyre nagyobb mértékben módosítva a földi rendszer működését.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2. 9.2. A társadalom környezeti hatásainak módosulása a földi rendszerben a középkortól a 20. századig

A történelmi középkorban háborúk és járványok, nem ritkán éhínségek többször okoztak kontinentális méretű népességcsökkenést. (Európában legsúlyosabb volt a 14. század közepén kezdődő és a század végéig többször ismétlődő pestisjárvány, amely becslések szerint a kontinens lakóinak mintegy 40%-át pusztította el.) A csökkenő lélekszám a természeti környezetre gyakorolt nyomást is mérsékelte, s a ritkuló népességű régiókban a természetes ökológiai rendszerek gyors ütemben regenerálódtak. Ez alól csak azok a területek voltak kivételek, ahol a pusztulás túl drasztikus volt, és a természeti adottságok csak nagyon lassú regenerációt tettek lehetővé. Ilyenek voltak az ókori erdőirtások következtében lepusztult mészkő- és dolomitlejtők a mediterrán környezetben. Itt az erdőirtásokat a vékony talajtakaró csaknem teljes pusztulása követte, s a nehezen talajosodó kőzeteken, maradék talajfoltokon csak csenevész másodlagos vegetáció telepedhetett meg. Sok területen azonban az elnéptelenedő településeket és a hozzájuk tartozó korábbi mezőgazdasági területeket visszahódította a természetes növényzet (Európában túlnyomórészt erdő).

Az energiahasználatban a háziállatok vonóerején és az emberi izomerőn kívül a középkorban továbbra is dominált a tűzifa, bár elterjedt két környezetkímélő energianyerési forma: a szél- és a vízenergia használata, szél- és vízimalmok formájában. Mivel ez utóbbiak kis folyókon, patakokon épültek, nem okoztak olyan ökológiai problémákat, mint a későbbi hatalmas vízerőművek. A hőenergia-nyerésben a *kőszén* használata jelentett kedvezőtlen minőségi változást környezeti hatás szempontjából. Angliában már a 9. században használták épületek fűtésére, Németországban pedig a 12. században dolgozták ki a mélyművelésű szénbányászat módszerét. Igazi karrierjét azonban csak a *klasszikus (vagy első) ipari forradalom* indította el.

A *kőszén* a régmúlt földtörténeti korok légkörének széntartalmát őrizte meg a biomassza elszenesedése révén, s elégetésével a mai légkörbe többlet-szén-dioxidot juttattunk. Ugyanez a helyzet a kőolajjal és a földgázzal is, amelyek később, a 20. században váltak alapvetően fontos energiahordozókká. Ez a magyarázata, hogy a légköri szén-dioxid-tartalom növekedését az első ipari forradalom előtti szinthez szokták viszonyítani, bár az ember a korábbi erdőirtásaival, szántóföldi gazdálkodásával és rizstermesztésével is növelte a CO_2-koncentrációt. A rizstermesztés során ugyan metán keletkezik, de az a légkörben idővel oxidálódik, így a végtermék CO_2 lesz. (Megjegyezzük, hogy a CO_2 mellett még más üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése is összefügg az ipari fejlődéssel. Erre a későbbiekben még visszatérünk.)

A kőszén elégetése tehát a globális földi rendszer működésére is hatott, ha eleinte nagyon csekély mértékben is.

A kőszénhasználat lokális és regionális szintű környezeti hatásokat is kiváltott. Az égése során kén-dioxid is keletkezik, amely a légköri nedvességgel vagy – száraz ülepedés esetén – a talajnedvességgel, ill. az élővizekkel kontaktusba kerül, és kénessav képződik. A kén-dioxid a levegőben kén-trioxiddá is oxidálódhat, s ez utóbbi a vízzel kénsavat alkothat. A végeredmény minden esetben a környezet elsavanyodása,amely kiterjed a tavakra és tengerekre is. A kén-dioxid nagy légköri koncentráció esetén (pl. széntüzelésű erőművek, nagy (nehéz) ipari létesítmények) az élőlények légzésével azok szervezetébe jutva közvetlen szövetkárosodásokat is okozhat.

A kőszén elégetésével jelentős mennyiségű por és korom is a környezetbe kerül. A klasszikus ipari forradalom „bölcsőjeként” ismert Közép-Anglia vasipari körzetét nem véletlenül nevezték black country-nek. Míg a légkörbe kerülő gázok nagy távolságra (több ezer km-re is) eljutnak, a por és korom hamarabb leülepedik, így inkább lokális vagy regionális szennyezést okoz.

Az első ipari forradalom legmeghatározóbb vívmánya a gépesített, tömegtermelésre képes *gyári nagyipar* létrejötte volt. Ez környezeti hatása szempontjából máig meghatározó: óriási mértékben növelte meg, és növeli napjainkban is a *termékek mennyiségét* (amelyek természetesen szükségesek a növekvő népesség ellátásához), s ehhez egyre nagyobb mennyiségű ásványkincset, nyersanyagot és energiahordozót használ fel, s ezáltal közvetlenül és közvetve egyre nagyobb mértékben pusztítja a természetes élővilágot, s változtatja meg a szárazföldek arculatát. A gyáriparban a későbbiekben (különösen a 20. században) még lényeges technológiai változások mennek végbe (a futószalag bevezetése és elterjedése, a számítógép-vezérlésű gépsorok alkalmazása), de a tömegtermelés alapjait a klasszikus ipari forradalom teremtette meg.

Forradalmi változást hozott a *közlekedésben* is: a gőzgép által termelt mozgási energiát hasznosították a gőzhajó és a gőzmozdony működéséhez, s bár eleinte fával fűtötték őket, a kőszén fokozatosan kiszorította a fát, mint energiahordozót, s fokozta a környezetszennyezést. Az erdőket ennek ellenére nem „mentette meg” a kőszén,

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

mert a fára szükség volt a mélyművelésű kőszénbányászathoz, a vasútépítéshez (talpfa, jelzőpóznák, sorompók stb.), sőt a gyáriparban is (pl. textilipar).

Már az ókorban is említésre méltó volt az egymástól távol élő népek közötti kereskedelem, amit Kolombusz útjai világméretűvé tettek. A távoli utazások, kereskedelmi célú áruszállítások többféle tudatos és véletlen környezeti hatással jártak. A termesztett növények, tenyésztett állatok cseréje, meghonosítása tudatos változásokat okozott az agrárökoszisztémákban, miközben az akaratlanul behurcolt gyommagvak, élősködők, kórokozók és rovarkártevők véletlenszerűen idéztek elő ökológiai és gazdálkodási problémákat. A természeti környezetbe kerülő *behurcolt élőlények gyakran zavarták meg a természetes ökológiai rendszerek működését*: egy-egy faj természetes ellenség nélkül olyan mértékben elszaporodott, hogy az érzékenyebb őshonos fajok egy részét kiszorította eredeti élőhelyéről. (Egyik legismertebb: a nyulak elszaporodása Ausztráliában.) Növények esetében az agresszív terjeszkedés ugyancsak az őshonos fajok visszaszorulását eredményezte. A hajózás már évezredekkel ezelőtt is hozzájárult *a tengeri élővilág akaratlan fajcseréjéhez*, hisz a hajófenékhez tapadt kagylók, rákok és más élőlények nagy távolságokra eljutottak, és sok esetben zavarokat okoztak a már kialakult, jól működő vízi ökológiai rendszerekben. Valamennyi ilyen típusú hatás közös vonása: a betelepített új fajok esetében nem működött a *negatív visszacsatolás*. Ez a folyamat az Újvilág felfedezésével felgyorsult és napjainkban is tart.

A *természetes ökológiai rendszerekre* jellemző az önfenntartó képesség, a stabilizáló (negatív) visszacsatolások túlsúlya, a lassú fejlődést és változást lehetővé tevő dinamikus egyensúlyi állapot tartós fennmaradása.

A *mesterséges ökológiai rendszerek* ezzel szemben kiegyensúlyozatlanok, ezért rendszeres anyag- és energiabevitel szükséges fenntartásukhoz. Ilyenek tehát az agroökoszisztémák és a városi ökoszisztémák is, amelyek terjeszkedése a 19. században felgyorsult, ami összefügg a *gyorsuló népességnövekedéssel*. Ez utóbbi elsősorban azért következhetett be, mert az első ipari forradalom fejlesztései közvetve kedvezően hatottak a környezet eltartóképességére: mocsarak lecsapolása, vízrendezése dréncsöves módszerrel; az árvízvédelem mérnöki feladatainak fejlesztése, árterek mezőgazdasági művelésbe vonása; a vetésváltó földművelés bevezetése jól tervezett vetésforgókkal; a gőzgép felhasználása egyes mezőgazdasági ill. élelmiszeripari munkák gépesítésére (gőzgéppel hajtott malmok, gőzeke). Mindezek a mezőgazdasági technikák a környezetre gyakorolt hatás mértékét növelték meg, és felgyorsították azokat a folyamatokat, amelyeket a földművelés kezdetével kapcsolatban már ismertettünk (az eredeti élővilág pusztítása, a talajszerkezet és más talajtulajdonságok leromlása stb.)

A 19. század második felében, s különösen a század végén számos olyan felfedezés és technikai újítás jelent meg, amely alapvetően meghatározta a 20. századi fejlődést, továbbá az ember és környezete kapcsolatában a későbbiekben döntő jelentőségűnek bizonyult. Éppen ezért ezt a néhány évtizedet **második ipari forradalomként** is szokták emlegetni. Különösen a villamosság elterjedését, a gépgyártás, az autógyártás és a vegyipar megteremtését tartják forradalmi hatásúnak. Európa élen járt a fejlesztésekben. Környezeti szempontból a következőket tartjuk a legfontosabbaknak. (Ezek az általános technikai-gazdasági fejlődés szempontjából is meghatározóknak bizonyultak.)

· Elektromos áramot előállító hő- és vízerőművek építése. (Franciaországban 1897-ben árapályerőművet is építettek.) A hőerőművek meghatározónak bizonyultak a 20. század légköri szennyeződéseiben.

· A robbanómotor (Otto-motor, 1876) majd a dízelmotor (Diesel, 1897) az új energiahordozó: a kőolaj származékainak világméretű jelentőségét alapozta meg. 1877-től szigetelt tartályhajókkal szállították a kőolajat. Az olaj és származékainak környezetszennyezése végigkíséri a 20. századot.

· Az elektromágneses hullámok (Hertz, 1887), a röntgensugár (Röntgen, 1895), majd a radioaktivitás felfedezése (Bequerel, 1896; Marie Curie, 1898) mindezek 20. századi sokoldalú alkalmazását alapozta meg.

· A német Otto Walkhoff 1900-ban megállapította, hogy a rádium sugárzása biológiai szöveteket roncsol. Máig vita folyik a radioaktív sugárzás és különösen az elektromágneses hullámok egészségügyi hatásairól.

· A kémia tudományának fejlődése (Mengyelejev orosz és Meyer német kémikus egymástól függetlenül felfedezték az elemek periódusos rendszerét /1869/, s ezt további számos kémiai felfedezés követte.)

· A kémiai felfedezések megalapozták a 20. századi vegyipar fejlődését, s ennek számos áttételes hatása is lett mind a társadalmi fejlődésre, mind a környezetre ez utóbbi erős elszennyezését okozva.

· A vízzáró beton (1892) és a vasbeton (1899) felfedezése. (A 20. század meghatározó építőanyagai lettek, meghatározó szerepük lett az épített környezet gyors ütemű, s nem éppen környezetbarát terjeszkedésében.)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

3. 9.3. A társadalom hatása a földi környezetre a 20. század kezdetétől napjainkig

A 20. század mind mennyiségi, mind minőségi hatások szempontjából a legnagyobb változást hozta a földi környezetre nézve. A folyamatok mozgatórugói:

· a népességnövekedés,

· az emberi igények növekedése,

· a tudományos és technikai fejlődés.

A népességnövekedés az emberi faj létezése óta sohasem volt olyan gyors ütemű, mint a 20. században: a század kezdetén 1,5 Mrd, az ezredfordulón 6,0 Mrd ember élt a Földön, s a 21. század első évtizedében további 800 millióval szaporodtunk. A szaporodás üteme az1970-es években érte el a csúcspontját, s bár azóta mérséklődött a növekedés üteme, a 21. század közepére 8,5–9,0 Mrd között lehet majd az emberiség lélekszáma.

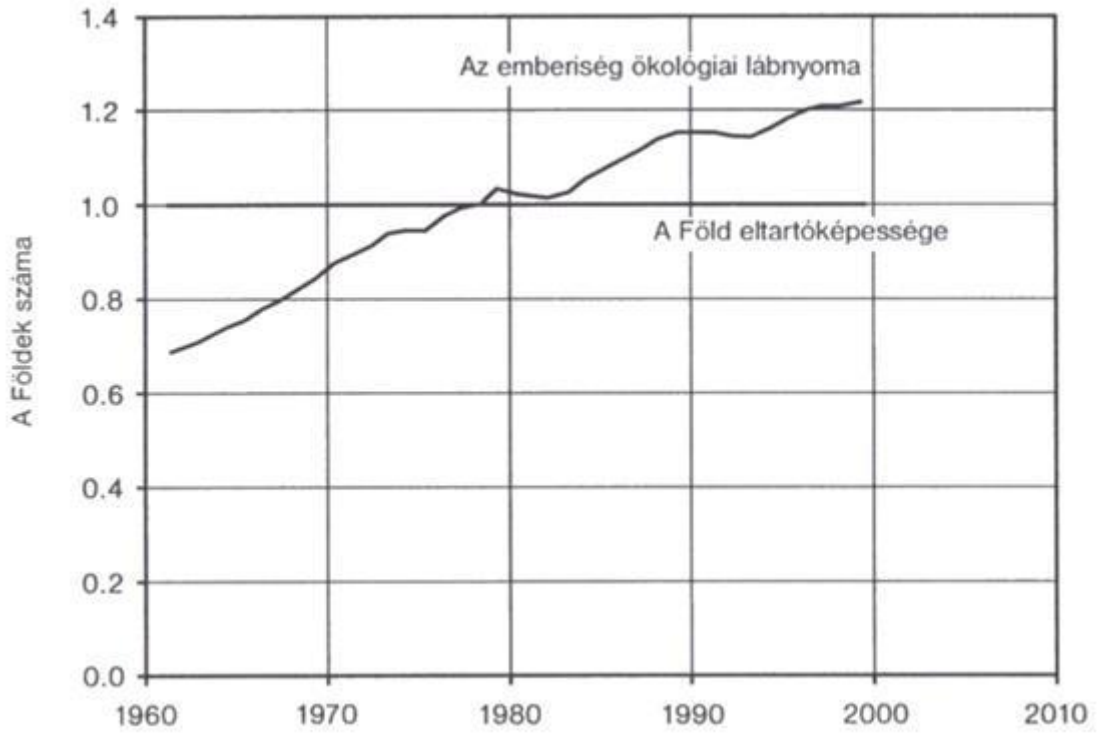
Ez a gyarapodási ütem azt jelenti, hogy ha a népesség ugyanazon az életszínvonalon élne, mint az 1900-as évek kezdetén, akkor is több, mint négyszeresére kellett volna nőni az anyagi javaknak, a megtermelt élelmiszereknek és a gyártott ipari termékeknek. Azt azonban már a környezetvédelmi alapprobléma ismertetésénél említettük, hogy az ember egyik alapvető tulajdonsága igényeinek folytonos növekedése, s mint az előző fejezet végén láttuk, a tudomány és technika is mindig hoz valami újat a termelésben, s mindezek eredményeként a *felhasznált energia és nyersanyag mennyisége gyorsabban nő, mint a népesség*. Ugyancsak gyorsabb ütemben terjeszkedik az épített környezet: óriásvárosok jönnek létre, gyorsforgalmi utak, autópályák, országutak egyre sűrűbb hálózata épül, s ezeken kívül megszámlálhatatlan egyéb infrastrukturális elem gyarapítja az épített környezetet. A szakemberek különböző számításokat végeztek a 20. századi termelésnövekedés mértékének kifejezésére. Az eredmények igen tág határok között mozogtak: a 8-szoros növekedéstől az 52-szeresig. Ha a becslések kisebb értékeit nagyobb súllyal vesszük figyelembe, akkor azt az eredményt kapjuk, hogy a világtermelés mértéke 1900 és 2000 között mintegy 16-szorosára nőtt. A környezetre gyakorolt nyomás ehhez hasonló mértékben, de területileg és szektorálisan is differenciáltan növekedett.

A 20. században merült fel komoly formában a globális földi rendszer eltartóképességének kérdése. A különböző feltételezésekkel készített becslések rendkívül tág határok között adják meg azt a lélekszámot, amelyet bolygónk képes eltartani. Azok a becslések, amelyek a fejlett országok állampolgárainak életszínvonalát veszik alapul, azt mutatják, hogy a Föld már ma is lényegesen túlnépesedett: az USA állampolgárainak életszínvonalán kb. 1,5 milliárd embert lenne képes eltartani, a minimális emberi szükségletek kielégítésével pedig (a termelés növekvő mértékét figyelembe véve) akár 50 milliárd főt is.

Az ezredfordulón Wackernagel – Rees (2001) szerzőpáros dolgozta ki az ökológiai lábnyomszámítás módszerét, s ennek segítségével az eddigi legelfogadhatóbb pontossággal lehet megbecsülni a Föld eltartóképességét. A számítás azt is magában foglalja, hogy a Föld természeti erőforrásai túlterhelhetők. Azt azonban tudományos módszerekkel nem sikerült megbecsülni, hogy a túlterhelés mikor éri el azt a mértéket, amely már visszafordíthatatlan változásokat okoz a globális földi rendszerben, s az csökkenti a társadalom működéséhez szükséges erőforrásokat.

Wackernagel és Rees az ember által okozott környezeti terheléseket hektárban (ha) számították, ugyanis szerintük minden emberi tevékenység hatása területre is számítható. Így például a mezőgazdasági termékek esetében ez egyszerű (a termést is hozam/hektárban adják meg), a szennyező anyagok kibocsátásánál azonban az a természeti terület (zöldfelület) a lábnyom nagysága, amely az adott szennyezés közömbösítéséhez szükséges. Az építési és bányászati tevékenységeknél ugyancsak az igénybe vett területet veszik számításba. A szerzők számítása szerint a Föld eltartóképessége 1,8 ha/fő, ugyanakkor az ezredfordulón a tényleges terhelés 2,3 ha/fő, vagyis bolygónk már jelenleg is túlterhelt. Az 1960-as évekig visszamenőleg végzett számítások azt mutatták, hogy az emberiség ökológiai lábnyoma 1980 körül érte el a Föld eltartóképességét (*37. ábra*), s azóta egyre fokozódó mértékben túlterheljük a globális természeti környezetünket.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



37. ábra. Az ökológiai lábnyom és a Föld eltartóképessége (Meadows et al. 2005)

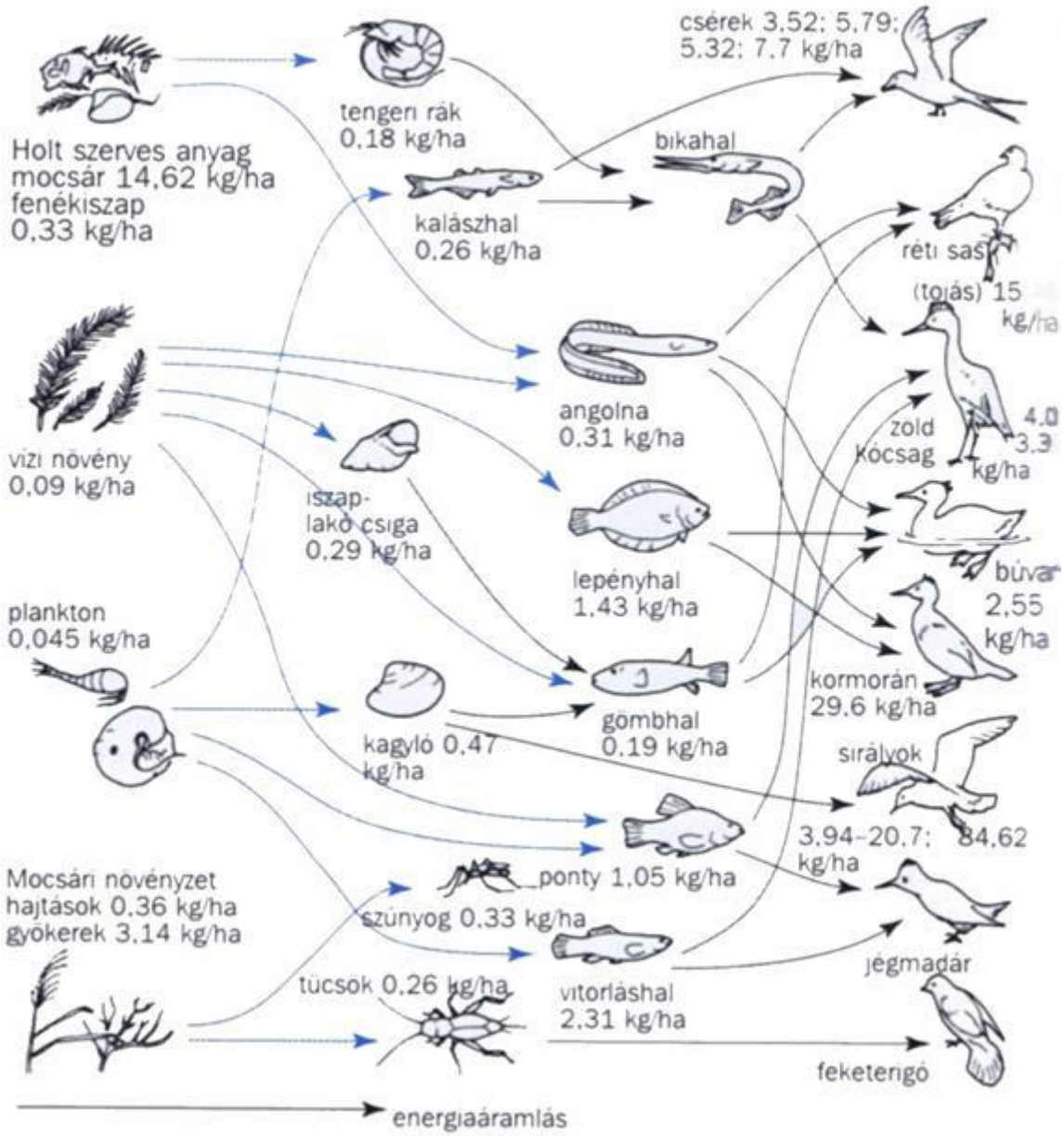
Nézzük meg, hogy néhány meghatározó gazdasági ágazatban milyen változások következtek be a globális környezeti hatások szempontjából.

A *mezőgazdaság* fejlesztése a szó szoros értelmében létkérdés volt az emberiség számára, hisz a század végén már négyszer annyi embert kellett ellátni élelemmel, mint a század kezdetén. Ezt csakis az intenzív fejlesztéssel lehetett elérni, amelyben meghatározó volt a gépesítés és a vegyipar fejlődése. Az Otto-motor, majd a dízelmotor 20. századi térhódításának egyik iránya a mezőgazdasági gépek erőforrásaiként történő elterjedés. A kőolaj és származékainak egyre fokozódó használata mind a mai napig növekvő mértékben szennyezi a légkört szén-dioxiddal, nitrogén-oxidokkal és szénhidrogénekkel.

A *vegyipar* fejlődésének eredményeként a nyugat-európai országokban már a 20. század első évtizedeiben alkalmazták a műtrágyákat – eleinte még csak kiegészítő trágyaként, az istállótrágya mellett. Később azonban – különösen a század második felében – *az iparszerű mezőgazdaság* elterjedésével a műtrágyák meghatározó növényi tápanyagforrássá váltak: nagy adagok alkalmazásával igen nagy terméshozamokat értek el.

A műtrágyák közül a nitrogén- és foszfortartalmúak egyre nagyobb környezeti hatást fejtettek ki, növekvő szerepet játszottak és játszanak a természetes nitrogén- és foszforciklus befolyásolásában (ld. később), s mind a légkör összetételére, mind az élővizek eutrofizációjára hatást gyakoroltak. Az egyre gyarapodó növényvédő szerek használata eleinte lokális következményekkel járt, de elterjedtségük fokozódásával a globális ökoszisztéma működését is zavarták: a nehezen lebomló vegyszerek (közülük legismertebb a DDT) a táplálékláncokon végighaladva számos ökológiai rendszerben okoztak zavarokat mind a mérsékelt övezetben (*38. ábra*), mind a trópusokon, sőt az emberi élelmiszerekbe kerülve egészségi ártalmakat is előidéztek.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



38. ábra. DDT a táplálékhálózatban (Haggett, 2006)

A 20. században tehát a vegyszerekre alapozott és gépesített *mezőgazdaság szennyezővé vált*, ugyanakkor az intenzív gazdálkodás egységnyi területről sokkal nagyobb termés betakarítását tette lehetővé (*5. táblázat*), ezért joggal nevezhetjük ezt a változást *második mezőgazdasági forradalomnak*.

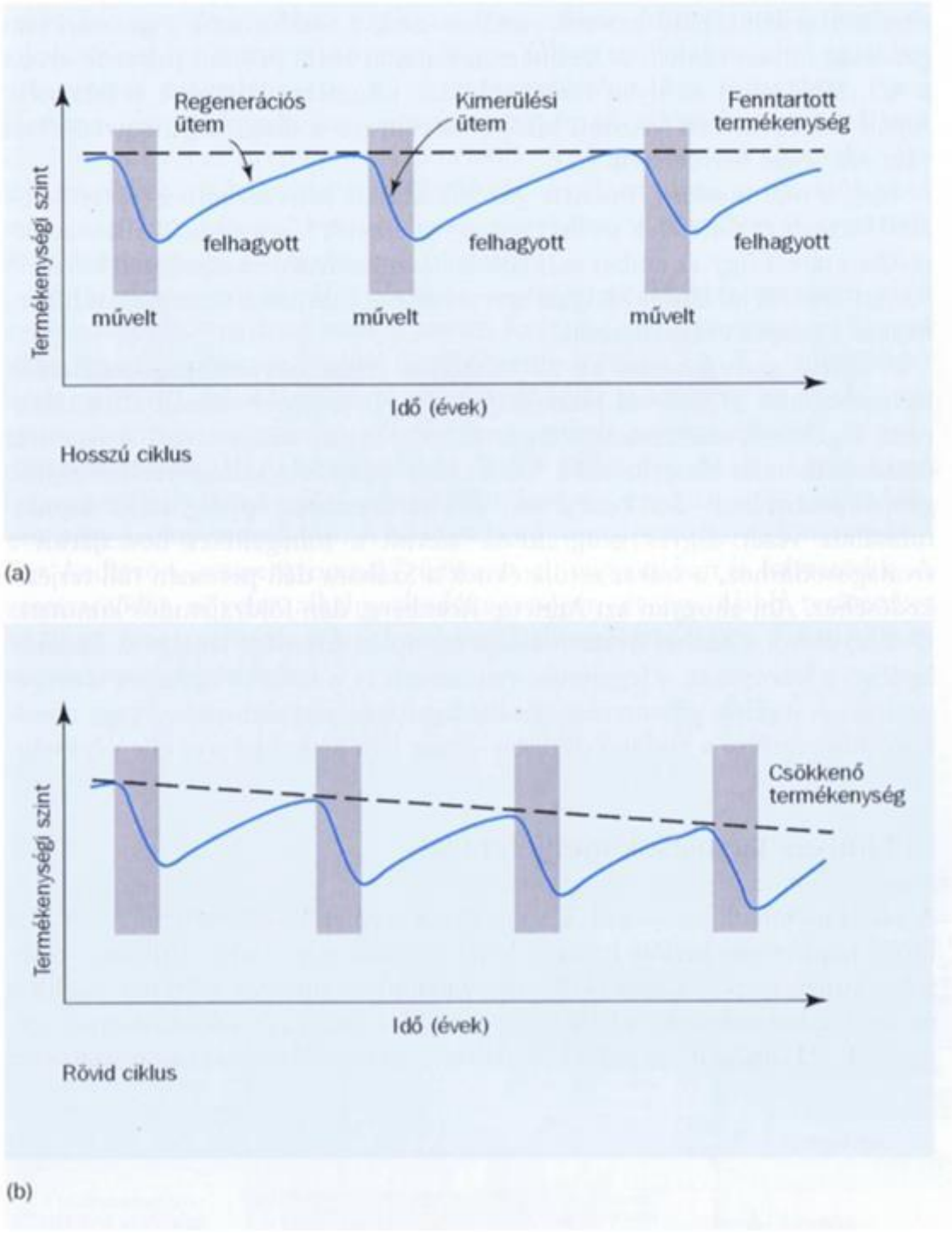
5. táblázat. A mezőgazdasági energiainput és a maximálisan eltartható népsűrűség különböző időszakokban SMIL (1991) szerint

Időszak	Energiainput (GJ/ha)	Betakarított élelem (GJ/ha)	Népsűrűség (fő/km²)
Vadászó-gyűjtögető	0,001	0,003-0,006	0,01-0,9
Pásztorkodás	0,01	0,03-0,05	0,8-2,7
Váltógazdálkodás	0,04-1,5	10-25	10-60
Hagyományos farmgazdálkodás	0,5-2,0	10-35	100-950
Modern mezőgazdaság	5,0-60	29-100	800-2000

A környezeti hatások szempontjából azt is figyelembe kell vennünk, hogy a világ országainak jelentős részében (különösen a trópusokon) még alacsonyabb szinten folyik a mezőgazdasági termelés. A *39. ábrán* azt

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

figyelhetjük meg, hogy az irtásos-égetéses földművelés alkalmazása esetén a megművelt földterületek hamar kimerülnek, és csak hosszú regenerációs idő után hoznak újra megfelelő mennyiségű termést. A népességnövekedés miatt a lakosság nem tudja kivárni a megfelelő regenerációs időt, mert több termésre van szüksége, így az újra igénybevett földek egyre kisebb termékenységűek, s csak a terület növelésével lehet megfelelő mennyiségű termést betakarítani.



39. ábra. Váltógazdaság és népsűrűség (Haggett, 2006)

A fejlődő világban (különösen a trópusokon) a mezőgazdaság fejletlensége okán a termésnövelés fő eszköze az újabb és újabb területek művelésbe vonása volt, s ezt gyakran a természetes erdők felégetésével érték el, másutt pedig az erdők kivágásával, s az értékes trópusi fák exportjával kereskedelmi haszonra tettek szert. A folyamat a 20. század második felére olyan mértékűvé vált, hogy *az évente kiirtott eredeti esőerdők területét 150 ezer km²-re becsülték*, s a 21. század elején még mindig 100 ezer km²/év ez az érték. Ez olyan mértékű változás, hogy a

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

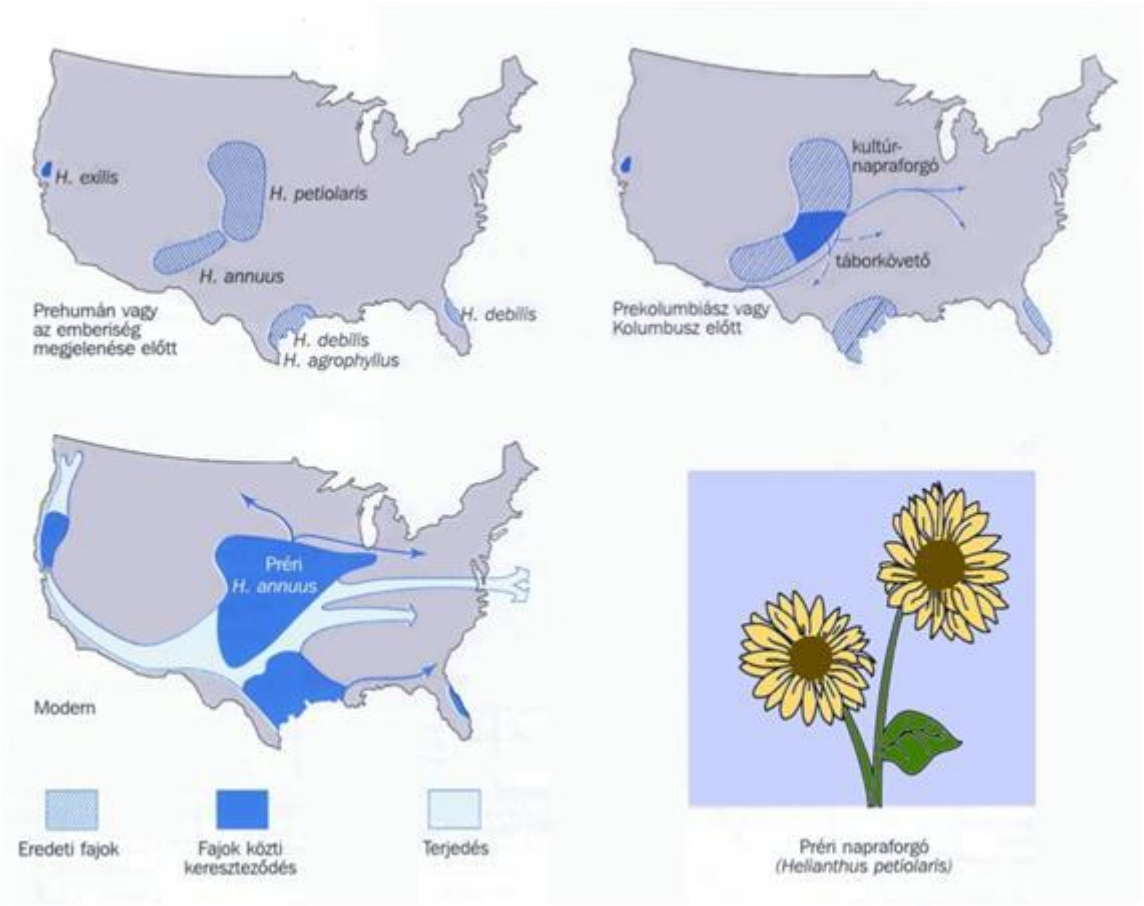
globális szénciklusra is kihatással van: az erdők szén-dioxid-nyelő funkcióját csökkenti, így több CO_2 marad a légkörben. Még nagyobb hatású a *közvetlen fajpusztítás*. A trópusi esőerdők a bioszféra legfajgazdagabb rendszerei. Különböző becslések láttak napvilágot azzal kapcsolatban, hogy évente hány faj halhat ki az erdőirtások következtében. A legszerényebb becslések szerint is 3000–4000/év körül lehet ez az érték, s a biológusok egy része a földtörténet 6. nagy kihalási eseményéről beszél, amely azonban a korábbi öttel szemben az emberi tevékenységek miatt következett be. A becslések bizonytalansága abban rejlik, hogy azt sem tudjuk, hány faj él jelenleg a Földön, ill. hány faj élhetett 100 évvel korábban. A tudományosan leírt fajok száma kb. 1,8 millió, s a fajok összes száma minimum 5 millióra tehető, de egyes szakirodalmi források a 100 milliót sem tartják elrugaszkodott becslésnek (*Varga*, 1998). A hatalmas különbségek oka egyrészt az alacsonyabb rendűek tudományos megismerésének máig hézagos volta, másrészt a tudományosan leírt fajok elfogadottságának időigényessége. (Ma már a fajok egyértelmű elkülönítéséhez genetikai vizsgálatokra is szükség van.) Az esőerdők hihetetlen fajgazdagságát olyan vizsgálatok is bizonyítják, melyek során egy-egy trópusi óriásfán 100–200 új rovarfajt írtak le a kutatók.

Az eddig említetteken kívül a Föld erdeit a települések növekedése, a legeltetés, a szándékos gyújtogatás, az intenzív erdőgazdálkodás egyes tevékenységei (vegyszerhasználat, monokultúrás telepítés), invázív növények terjedése, bányászat, turizmus is veszélyezteti.

A bioszféra fajgazdagságának antropogén csökkentését nemcsak a szárazföldeken kell keresnünk, hanem a tengereken is. A 20. század folyamán a motorizáció elérte a tengeri halászatot és a bálnavadászatot is: hatalmas halászflották és „úszó konzervgyárak” épültek, amelyek ipari méretekben fogták ki és dolgozták fel a tengeri halakat és emlősöket, a fenékhálós módszerrel pedig sok helyen tönkretették a tengerfenék természetes élőhelyeit. A *túlhalászás* egyik következménye a halászott fajok állományainak rohamos csökkenése, másik pedig az *akaratlan halfogások* jelenségének egyre súlyosabb hatása a tengeri élővilágra. Ez utóbbi esetben ugyanis nemcsak sokféle hal pusztul el a kiemeléskor a hatalmas nyomás következtében, hanem szinte minden élőlény, ami a hálóba kerül. Számos egyéb hatás is fokozza a tenger élővilágának csökkenését (illegális robbantásos halászat, a partközeli talajpusztulás a tengerbe jutó hordalék növekedése révén, a tengervíz szennyezésének fokozódása, akaratlan fajtranszport stb.)

Az emberi tevékenységek új fajok és társulások kialakulásához is vezethetnek (nemesített, keresztezett növények, állatok, agrárökoszisztémák, városi ökoszisztémák). A *40. ábrán* az eredeti napraforgótípusok térbeli elterjedését és kereszteződését látjuk, ami a préri napraforgó (Helianthus petiolaris) kialakulásához és új társulás létrehozásához vezetett.

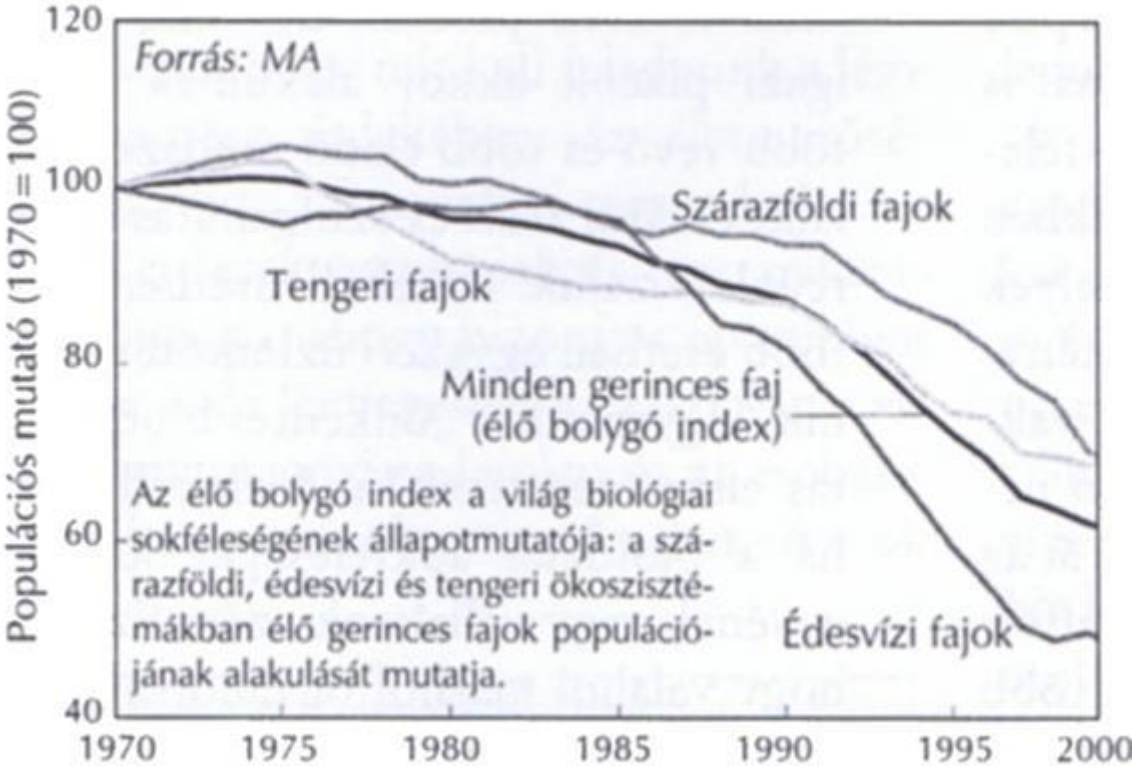
Created by XMLmind XSL-FO Converter.



40. ábra. Az ember szerepe új biotikus társulások létrehozásában (Haggett, 2006)

A vázlatosan bemutatott folyamatok eredőjeként bolygónk fajdiverzitása fokozódó mértékben csökken. A *41. ábrán* az 1970-es évek fajdiverzitását 100-nak véve jól követhető a gyorsuló csökkenés. Az ábra tanulsága szerint a leggyorsabban az édesvízi fajok száma csökken.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



41. ábra. A biodiverzitás egyre fokozódó csökkenése (A világ helyzete 2008)

A globális földi rendszerre gyakorolt hatások szempontjából kiemelkedő szerepű az *energiaipar* és *a közlekedés*. Mindkettő alapvetően fosszilis tüzelőanyagokat használ, bár világméretekben 7% körüli részesedéssel egy új energiaforrás, az atomenergia is színre lépett. (Az atomerőművek csak az 1980-as évektől játszanak komolyabb szerepet a villanyáram-termelésben.) A kőszén és a kőolaj elégetésével a *szén-dioxidon* és a *kén-dioxidon* kívül *nitrogén-oxidok*, por és korom is szennyezi a környezetet, míg a földgáz használata során szén-dioxid, nitrogén-oxidok és metán kerül nagyobb mennyiségben a környezetbe. Az *5. videón* azt figyelhetjük meg, hogy a fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor keletkező kén-dioxid túlnyomó részét viszonylag egyszerű kémiai reakcióval meg lehet kötni, melynek során hasznos anyag, az építőiparban felhasználható gipsz képződik. A példaként bemutatott Mátrai Erőmű esetében a füstgáz kéntelenítő 95%-os hatékonysággal működik, vagyis a korábbihoz képest mindössze 5% kén-dioxidot bocsát a levegőbe.

A vízi, közúti és a légi közlekedés túlnyomórészt kőolajszármazékokat használ hajtóanyagként, s ennek megfelelően a már említetteken kívül *szénhidrogéneket* bocsát a légtérbe. A CO_2 és a CH_4 az üvegházhatás szempontjából meghatározó mennyiségben kerül a légkörbe, s a 20. század folyamán emissziójuk elponenciálisan növekedett. Fontos szerepük van a globális éghajlati rendszer működésében a földfelszíni középhőmérséklet növelése révén.

Az atomerőművek – a 20. század 2. felének új energiatermelő létesítményei – működésük során közvetlenül nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat, (közvetett hatásokkal azonban igen: pl. szállítás, alkatrészek előállítása stb.) környezeti hatásuk másképp értékelhető: radioaktív sugárterhelésük üzemzavarok esetén jelentős lehet. Normál üzemben a radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezése okoz gondot. Ez önmagában nincs hatással a globális földi rendszer működésére. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség nukleáris eseményskáláján a 7-es erősségű baleset azonban már globális, vagy legalább is hemiszférikus hatást fejt ki. Mint azt az eddigiekben egyetlen ilyen baleset, a csernobili bizonyította, a radioaktív felhő csaknem az egész északi féltekén okozott (különböző mértékű) radioaktív kihullást.

A 20. század során hatalmas fejlődésen ment keresztül a *vegyipar*. Egyrészt az új anyagok (pl. műanyagok) előállítása során, másrészt valamennyi más technológiai folyamat során keletkeznek különböző halmazállapotú melléktermékek, amelyek közül a légneműek és a gyorsan párolgó oldószerek a legillékonyabbak, de a folyékony egyéb vegyszerek szivárgása vagy szándékos környezetbe juttatása is okoz környezetterhelést. Harmadrészt a vegyipar késztermékei felhasználásuk során ugyancsak szennyezhetik a környezetet. Ilyenek

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

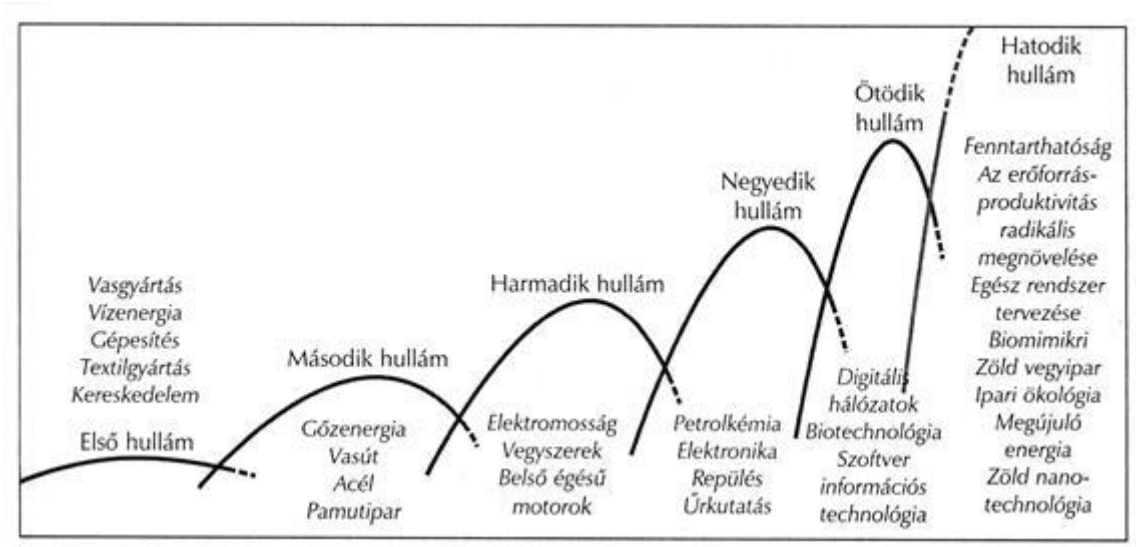
voltak pl. a 20. század második felében elterjedt CFC-k (klór-fluor-karbonok), amelyekről 3 évtized használat után kiderült, hogy a sztratoszférikus ózon bontásában meghatározó szerepük van; vagy a háztartásban használt tisztítószerek, amelyek a csatornahálózaton keresztül az élővizekbe kerültek, és hozzájárultak a hidroszféra elszennyezéséhez. A mezőgazdaság által használt vegyszerekről már szóltunk, de a vegyszerhasználók felsorolása is nehéz lenne, hisz a festékektől az oldószereken át a gyógyszeripari termékekig minden ember sokféle vegyszert használ élete során. Mivel nagyon sok vegyipari termék pontos kémiai összetétele ipari titkot képez, csak becslések vannak arra vonatkozóan, hogy a globális földi környezetbe hányféle vegyszer kerülhetett az elmúlt 100 év során. A legkisebb érték százezer körüli, de olvasható a szakirodalomban milliós nagyságrendű adat is. Még nagyobb a bizonytalanság e hatalmas mennyiségű és sokféle vegyszer környezeti hatását illetően. Ezek egy részéről ugyan tudjuk, hogy milyen veszélyeket rejt magában (eutrofizáció, karcinogén és teratogén hatás, mérgezések), de a tartósan a természeti környezetben jelen lévő vagy migráló vegyületek nagyobb részének hatásait nem ismerjük pontosan.

Vannak továbbá olyan vegyszerek, amelyek *időzített környezeti bombaként* halmozódnak a természeti környezetben: azaz hosszú évtizedekig károsító hatás nélkül vannak jelen, majd mennyiségük egy kritikus értéket túllépve, súlyos környezetkárosítást okoznak. Ilyen fordulhat elő pl. a jó minőségű talajokban, amelyek pufferkapacitása és adszorpciós kapacitása nagy, ezért számos mérgező hatású anyagot (pl. nehézfémeket) képesek „tünetmentesen” adszorbeálni, majd amikor telítődnek, és közben savanyító hatású anyagok (pl. műtrágyák vagy légköri savas szennyezők) a talaj pH-ját is lecsökkentik, hirtelen nagy mennyiségben kiszabadulhatnak az adszorpciós kötésből és környezetszennyezést okozhatnak. Ugyanilyen időzített bombaként működnek a szerves szennyezők bomlási soraiban meglévő toxikus metabolitok is. Ezek toxicitása gyakran meghaladja a kiinduló vegyületét.

A 20. században a *hadiipar* is óriási fejlődésnek indult: legsúlyosabb következményei a tömegpusztító fegyverek megalkotásának és kísérleti, sőt „élesben” történő kipróbálásának lettek. Az *atombomba* bevetésére a II. világháború legvégső szakaszában került sor (Hirosima, majd Nagaszaki), és a hidegháború időszakában a légköri atombomba-kísérletek (1980-ig 500 robbantást hajtottak végre) radioaktív izotópokkal szennyezték be az északi félteke légkörét. Az angolok és a franciák a déli féltekén végeztek kísérleti robbantásokat. Mivel egy-egy légköri atombomba-robbantás során nagy mennyiségű sugárzó izotóp jut fel a sztratoszférába is, az aeroszolokhoz kötődő izotópok kihullása több évig tart, bár legnagyobb részük néhány hónap alatt visszaér a felszínre. Természetesen csak a hosszú felezési idejű izotópok (főleg Cs-137, Sr-90 és C-14) okozhatnak tartósabb többlet-sugárterhelést. Az 1963-ban kötött részleges atomcsend-egyezmény óta az USA, Nagy-Britannia és a Szovjetunió (utódként: Oroszország) nem hajt végre nukleáris robbantást (hidrogénbombával sem) a légkörben, a világűrben és a víz alatt. A globális földi környezet veszélyeztetése azonban így sem múlt el teljesen.

A 20. század második felét egyesek *harmadik tudományos és technikai forradalomként* értékelik, amely olyan kulcsszavakkal jellemezhető, mint az elektronika (integrált áramkörök), az űrkutatás, az informatika, számítástechnika, (egész rendszer tervezése) a biotechnológia, a molekuláris genetika, a nanotechnológia, a biomimikri megalapozása, fejlesztése, elterjedése és alkalmazása a gyakorlatban. A társadalom jobb ellátása, új termékek és szolgáltatások megjelenése szempontjából nagy jelentőségűek ezek a tudományos és technikai fejlesztések, sőt egyes kutatók szerint, ezek az innovációk a fenntartható fejlődés elvét követve (*42. ábra*) hozzá fogják segíteni az emberiséget a legalapvetőbb problémáinak megoldásához: környezetszennyezés és éhezés leküzdése stb. Ugyanakkor egyes innovációk új típusú környezeti problémákat is magukkal hoztak. Az elektronika és a számítástechnika fejlődése pl. nagyban segítette az űrkutatást, s ez utóbbi pedig a Föld pontosabb megismerését, a globális környezeti változások nyomon követését. Ennek segítségével tudjuk naprakészen követni az „ózonlyuk” kialakulását, méretének változásait; a sarki jégtakarók olvadásának ütemét; az erdők területének csökkenését, az erdőtüzek helyszíneit, kiterjedését; a levegő- és vízszennyezéseket stb. Ugyanakkor a veszélyes hulladékok új csoportját termelik a gyorsan elavuló elektronikai eszközök, s az űrkutatás ugyancsak új hulladéktípust produkál, amit „űrszemétként” is emlegetnek.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



42. ábra. Innovációs hullámok Lovins (2008) szerint

A számítástechnika fejlődése tette lehetővé a világháló létrehozását, amelynek előnyei a társadalom számára számosak. Mi környezeti szempontból a legfontosabb előnyöknek a következőket tartjuk.

· A világháló lehetővé teszi egy világméretű, egységes módszertani alapokon nyugvó környezeti információs rendszer kidolgozását és működtetését.

· Környezeti veszélyek, határokon átnyúló hatású ipari katasztrófák esetén (pl. Csernobil méretű baleset) gyorsan megvalósítható a lakosság tájékoztatása, a legszükségesebb teendők ismertetése.

· Nagy jelentősége lehet a környezeti nevelésben, a környezeti tudat fejlesztésében.

· Rendkívüli mértékben meggyorsítja a tudományos ismeretek cseréjét, ezáltal hatékonyabbá teszi a környezetkutatást.

A számítástechnika környezeti alkalmazása ugyancsak figyelemre méltó.

· A nagy teljesítményű számítógépekkel képesek lehetünk a környezeti rendszerek működésének szimulálására.

· A számítógépekkel virtuális kísérleteket végezhetünk, így meggyőződhetünk arról, hogy egy tervezett emberi tevékenység, építkezés stb. milyen környezeti következményekkel járhat.

· Modellezhetjük a szennyezések terjedését, így intézkedéseket tehetünk annak befolyásolására, vagy ha ez nem lehetséges, felkészülhetünk a védekezésre.

· Az iparban és a közlekedésben az erőforrások működésének számítógépes vezérlésével optimális energiafelhasználást érhetünk el, ezzel csökkentve a káros anyagok emisszióját.

· Közlekedési jelzőrendszerek számítógépes vezérlésével optimális haladási sebességet, a legkisebb fogyasztást és kibocsátást érhetjük el.

· Az energiafogyasztás optimalizálása az irodaházak és lakások esetében is számítástechnikai eszközökkel valósítható meg: automatikus szabályozó rendszer szabályozza a fűtést és hűtést, a világítást, az elektromos áram- és vízellátást, a melegvíz-szolgáltatást.

A számítástechnika számos környezeti előnye mellett van néhány – nem elhanyagolható – hátránya is.

Az óriási ütemben fejlődő hardvergyártás és szoftverfejlesztés azt eredményezi, hogy a számítógépek elavulási ideje 3 évre tehető. Mivel számuk világméretekben is hatalmas ütemben gyarapodik, az elektronikai hulladékot mérhetetlenül megnövelik a kiselejtezett számítógépek, notebookok. (Az Európai Unióban az elektromos és elektronikai hulladék mennyisége évente mintegy 4 millió tonnára tehető, s ennek 90%-a égetőművekben vagy lerakókban végzi, holott háromnegyed része újrahasznosítható lenne.)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A számítógépek működéséhez elektromos áramra van szükség, így számuk növekedése az erőművekben előállított elektromos áram mennyiségének növelését teszi szükségessé, ami – az erőmű fűtőanyagától függően – több-kevesebb környezetterheléssel jár.

Maguknak az elektronikus eszközöknek az előállítása is energiát és nyersanyagokat igényel, ami szintén környezetterhelést okoz (bányászat, fémkohászat, szállítás, a gyártás energiaigénye).

A *biotechnológia* és a *genetika* tudományának eredményeire épülő *géntechnológia* bár a 20. századi fejlődés terméke, valószínűleg a 21. század tudományának, ill. technikájának tekinthetjük azt. Jelenleg tudományos viták keresztüzében van, többek között alkalmazása környezeti következményeinek eltérő megítélése miatt. A géntechnológia alapvető célja a gazdaságilag hasznosított élőlények genetikai információjának módosításával új, gazdaságilag értékes, rovar- és egyéb kártevőknek ellenálló fajták, hibridek előállítása, és az ezekhez igazított termelési technikák kifejlesztése. Az élő anyag (örökítő anyag) manipulálásának hívei ebben látják a világélelmezés problémájának megoldását. A környezeti következményekre érzékenyebb szakemberek az ellenállóbb és nagyobb hozamot ígérő transzgénikus növények előállításával és termelésével kapcsolatban a következő problémákat fogalmazzák meg (*Ángyán–Menyhért*, 2004).

· A növényekbe bevitt gén által termelt toxin hatása nem szelektív, azaz nemcsak a kártevők, hanem az agroökoszisztéma hasznos fajai is áldozatul esnek. Ez ugyanolyan hatást jelent, mint a széles spektrumú vegyületek, a növényvédő szerek hatóanyagai. Végső soron a biodiverzitást csökkentik.

· Egyes esetekben még növekedhet is a vegyszerhasználat. Amerikai farmerek pl. több gyomirtószert használnak a herbicid-reziszetns szója termesztésekor, mint a kezeletlen fajta esetében.

· A transzgénikus növények átadhatják az idegen gént más, vadon élő, közeli rokon fajnak. Ezáltal a természetes ökoszisztémában ez a faj szelekciós előnybe kerülhet, és kiszoríthat más fajokat, s végül ez a folyamat is a diverzitás csökkenéséhez vezethet.

· Tovább csökken a haszonélőlények genetikai diverzitása, mivel a termelőknek a génmanipulált fajta termesztése jobban megéri, így a többi fajta kipusztulhat. Ez hosszú távon genérózióhoz vezet.

· A transzgénikus haszonélőlények fogyasztása humánegészségügyi és gazdasági kockázatokat is magában hordoz. A génkezelt élelmiszerek fogyasztásával kapcsolatban nincs elég tapasztalatunk, ezért az elővigyázatosság elvének érvényesítése látszik indokoltnak. (Az Európai Unióban egyelőre tilos a GMO-k forgalmazása.) A gazdasági kockázatot a biotechnológiai óriáscégektől való függőség jelenti.

A 20. század a népességrobbanás és a hatalmas termelésnövekedés mellett az utóbbihoz hasonló mértékű fogyasztásnövekedést hozott magával, s mindkettő (termelés + fogyasztás) együtt a hulladéktermelés növekedését. Az ezredfordulón a fejlett országokban (OECD = Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet; tagjai a fejlett országok) az egy főre jutó települési szilárd hulladék mennyisége 500 kg/év volt. A fejlődő világban ez kevesebb lehetett (pontos adat nem ismert), ezért a világátlagot tekintsük 300 kg/fő-nek. 6 Mrd ember ezek szerint évente 1,8 Mrd tonna szilárd hulladékot termelt a településeken, s ehhez jönnek még a termelési hulladékok, amelyek mennyisége több, mint egy nagyságrenddel meghaladja a települési szilárd hulladék mennyiségét, azaz legalább 20 Mrd tonna/év. Ezen felül keletkeznek még a folyékony és gáznemű hulladékok. Ez utóbbiakat legtöbb szakember a szennyező anyagok közé sorolja, mert a légkörbe kerülve azonnal kifejtik károsító hatásukat. Mindenesetre ezek a mennyiségek már olyan nagyok, hogy a globális anyagáramoknál figyelembe kell vennünk őket. (Ld. Antropo-biogeokémiai anyagciklusok.)

A hulladéklerakókban felhalmozott hulladékok spontán módon kémiai átalakulásokon mennek keresztül, s ezek folyamán üvegházhatású gázok (CO_2, CH_4) keletkeznek, amelyek a természetes anyagáramlásokat befolyásolják, s hozzájárulnak a globális felmelegedéshez. A hulladékmegsemmisítés más formái közül az égetés (pl. a települési vagy a mg-i hulladékok égetése, az utóbbiak elgázosítás utáni égetése, de a bioüzemanyagként való hasznosítása is) ugyancsak globális hatásúak.

A 20. század utolsó harmadában lassú változás kezdődik el a társadalom és a természeti környezet kapcsolatában, melynek kedvező hatásai egyelőre nagyon mérsékelten jelennek meg a nagy földi rendszerben, de a jövőre nézve biztatók lehetnek. A változás legrövidebben úgy fogalmazható meg, hogy a globális társadalomban *létjogosultságot nyert és intézményesült a környezet- és természetvédelem.* Létrejött az ENSZ környezettel foglalkozó szervezete, a UNEP, és megalakultak a nemzetállamok természet- és környezetvédelmi állami intézményei, melyek jogszabályokkal, ösztönző és kényszerítő eszközökkel képesek befolyásolni a termelést és a fogyasztást, ezáltal azok környezeti hatásait is. Nem elhanyagolható változás az sem, hogy a civil

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

szférában is erősödik a környezeti tudatosság, s a zöld szervezetek gyakran szorgalmazzák az általuk szükségesnek vélt (legtöbbször valóban fontos) intézkedések meghozatalát. Globális szinten a nemzetközi környezet- és természetvédelmi egyezmények gyarapodása, s egyre többször azok betartása jelent pozitív változást.

A környezetvédelmi intézményrendszer létrejötte önmagában nem lenne elegendő a környezetre gyakorolt nyomás távlati mérséklésében. Az előzőket kiegészítendő néhány tudományos és technikai innovációról szólunk még, ami a jelenben, még inkább a jövőben segítheti a társadalmat tevékenységei környezetkímélőbb megszervezésében (*V.ö.: 16. ábra, hatodik hullám*.)

· A környezettudomány létrejötte, a Föld műholdas megfigyelésére kialakított globális monitoring-rendszer létrehozása. (Ez utóbbival követhetők nyomon pl. a jégsapkák, gleccserek visszahúzódásai.)

· Számítógépes világmodellek megalkotása, a rendszermodellek fejlődése.

· Néhány környezeti folyamat tudományos megismerése (az ózonpusztulás folyamatának feltárása, ami megalapozza a védekezést; az óceáni szállítószalag szerepének megismerése az éghajlatváltozás folyamatában; az emberi tevékenységek éghajlatváltozásban betöltött szerepének bizonyítása; az elsivatagosodás okainak feltárása; az ökológiai rendszerek működésének, egymásra épülésének pontosabb megismerése stb.)

· A megújuló energiák egyre hatékonyabb technikai eszközökkel történő hasznosítása (szélerőművek, napkollektorok, elektrovoltaikus napenergia-hasznosítás, naperőművek, mezőgazdasági hulladékok energetikai hasznosítása stb.)

· Az energiafogyasztás mérséklése technikai eszközökkel: járművek üzemanyag-fogyasztásának csökkentése; épületek energia-fogyasztásának csökkentése szigeteléssel, napenergia és/vagy földhő-hasznosítással, energiatakarékos elektromos fogyasztók alkalmazásával;

· A biomimikri terjedése a technikában. Olyan technikai módszerek alkalmazásáról van szó, amelyeket a mérnökök a természetből „lesnek el”. Ilyen pl. a repülőgépek szárnyvégeinek kialakítása, amelyek a gép üzemanyagfogyasztását csökkentik, irányíthatóságát javítják. (A sasok „siklórepülésükkor” alkalmazzák.)

· Az energiahatékonyság javítása valamennyi termelő és fogyasztó tevékenység során.

· A CFC-ket helyettesítő új vegyületek létrehozása.

· A „zöld kémia” mint új tudományos irányzat, és az erre épülő környezetkímélő vegyipar fejlődése.

· A precíziós mezőgazdaság és a biogazdálkodás fejlesztése.

· A tüzelőanyag-cellás gépkocsihajtás kidolgozása, tüzelőanyag-cellás erőművek építése.

4. Önellenőrző feladatok

Válaszoljon az alábbi kérdésekre!

1. Mikor jelent meg a Földön a Homo sapiens?

A) 16 millió éve

B) 5 millió éve

C) 10 ezer éve

D) 200 ezer éve

E) 2,5 millió éve

2. Mikor kezdődött el a réz használata?

A) 7-8 ezer évvel ezelőtt.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

B) 25-30 ezer évvel ezelőtt.

C) 15-16 ezer évvel ezelőtt.

D) Időszámításunk kezdetén.

E) A 4-5. század folyamán.

3. Mennyi volt a Föld lakossága időszámításunk kezdetén?

A) 500 ezer fő.

B) 1 millió fő.

C) 8-10 millió fő.

D) 100-120 millió fő.

E) 200-250 millió fő.

4. Mi vezetett a másodlagos szikesedés kialakulásához?

A) Az eke helytelen használata.

B) Az ércek olvasztásakor fellépő légszennyezés.

C) A helytelen öntözési gyakorlat.

D) A talajvíz szintjének lesüllyedése.

E) A sótűrő növények elszaporodása.

5. Mekkora pusztítást okozott Európában a 14. század közepén kezdődött pestisjárvány?

A) A kontinens lakosságának mintegy 4%-át pusztította el.

B) A kontinens lakosságának mintegy 10%-át pusztította el.

C) A kontinens lakosságának mintegy 20%-át pusztította el.

D) A kontinens lakosságának mintegy 40%-át pusztította el.

E) A kontinens lakosságának mintegy 75%-át pusztította el.

Többszörös választás. Állapítsa meg, hogy az alábbi lehetőségek közül melyik a helyes!

A) *az 1., a 2. és a 3. állítás igaz*

B) *az 1. és a 3. állítás igaz*

C) *a 2. és a 4. állítás igaz*

D) *a 4. állítás igaz*

E) *mindegyik állítás igaz*

1.

2.

3.

4.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5.

6. 1) Az ókorban még csak lokális szinten jelentkezett a levegőszennyezés.

2) Az első kőépületek kb. időszámításunk előtt ezer évvel jelentek meg.

3) A tengerekre és azok élővilágára gyakorolt antropogén hatás az ókorban még elhanyagolható volt.

4) A kőszén felhasználása az ókor végére meghatározóvá vált.

1.

2.

3.

4.

5.

6.

7. 1) A mészkőhegységekben végzett ókori erdőirtások után az erdők viszonylag hamar regenerálódtak.

2) A történelmi középkorban a járványok sohasem okoztak komolyabb problémát.

3) A vízenergia hasznosítása csak az ipari forradalom után kezdődött el.

4) Németországban már a 12. században kidolgozták mélyművelésű szénbányászat módszerét.

8. 1) Az első ipari forradalom legmeghatározóbb vívmánya a gépesített, tömegtermelésre képes gyári nagyipar létrejötte volt.

2) A klasszikus ipari forradalom bölcsője a Mezopotámiában található „Black Region” volt.

3) A kőszén használatának elterjedése háttérbe szorította a fát, mint energiahordozót.

4) Az agrárökoszisztémák a természetes ökológiai rendszerek csoportjába tartoznak.

9. 1) A második ipari forradalom a 19. század utolsó évtizedeire tehető.

2) A népességnövekedés az emberi faj létezése óta sohasem volt olyan gyors ütemű, mint a 20. században.

3) A becslések szerint a Föld 1,5 Mrd embert képes eltartani egy átlagos USA állampolgár életszínvonalán.

4) 1900-ban 2 Mrd, 2000-ben pedig már 8 Mrd ember élt a Földön.

10. 1) Az ökológiai lábnyom kiszámításával reális képet kaphatunk a Föld eltartóképességéről.

2) Wackernagel és Rees szerint a Föld eltartóképessége 1,8 ha/fő.

3) Az ezredfordulón a Föld tényeges terhelése 2,3 ha/fő volt.

4) Az atomerőművek nem bocsátanak ki számottevő mennyiségben üvegházhatású gázokat.

Megoldások:

1. D

2. A

3. E

4. C

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5. D

6. B

7. D

8. B

9. A

10. E

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

10. fejezet - A globális földi rendszer működése napjainkban

Az eddigiekben összefoglaltuk, hogy a Földön – kialakulása óta – milyen fontosabb változások mentek végbe, s ezek milyen módon tették egyre bonyolultabbá a globális földi rendszer működését. Az emberi társadalom megjelenése, majd a földi környezetre gyakorolt egyre sokrétűbb és egyre nagyobb mértékű hatása azt eredményezte, hogy a 21. század elején már az emberi tevékenységek nem hagyhatók figyelmen kívül, ha a globális rendszer működését tanulmányozzuk. Az antropogén hatások egyes földi folyamatokban (pl. éghajlatváltozás, a biológiai diverzitás csökkenése, a hidroszférára gyakorolt hatás) olyan mértékűvé váltak, hogy a módosult folyamatok visszahatnak a társadalom működésére, s rendszerint korlátozó tényezővé válnak.

A Föld, mint egységes rendszer öt nagy alrendszerre osztható:

· a szilárd Föld (amelyről tudjuk, hogy belső szerkezetében különböző képlékenységű anyagok alkotják.)

· a vízburok = hidroszféra (a Föld felszínét borító vizek és a földkéreg felső 5 km-ben található ún. felszín alatti vizek.)

· a légkör = atmoszféra (a Föld gravitációs vonzása hatására a bolygóval együtt mozgó, gömbhéjszerűen elhelyezkedő gázok összessége. A földfelszíntől mintegy 2000–3000 km magasságig terjed, határa a világűr felé nem éles.)

· az élővilág szférája = bioszféra (az élőlények és élőhelyeik a földkéregben kb. mélységig, a hidroszférában teljes egészében és a légkörben a tengerszinttől számított 7–8 km magasságig terjednek.)

· a társadalom = antroposzféra (a bioszférához képest szűkebb térbeli kiterjedésben, főleg a szárazföldek felszínén, kisebb arányban a vízfelszíneken, társadalomban élő emberi faj és az általa épített környezet. Eszközeivel az ember a mélytengerektől a világűrig mindenhova el tud jutni, és ott rövidebb hosszabb ideig tartózkodni.)

A Föld szilárd felszínközeli rétege (a földkéreg 5- vastag gömbhéja) valamint a többi geoszféra egymással szoros kölcsönhatásban változik. Némileg másképp kell értékelnünk a Föld belső gömbhéjait, amelyekben a külső szféráktól csaknem független folyamatok játszódnak le.

1. 10.1. Anyagáramlások a Föld belsejében és azok felszíni hatásai

A lemeztektonika elmélete az elmúlt évtizedekben a geofizikai kutatások eredményeképpen újabb elemekkel gazdagodott. Az általánosított földmodellt, az ún. földmotor működését *Horváth* és *Dombrádi* (2008) munkája nyomán mutatjuk be, lényegesen egyszerűsített formában.

Bolygónk közel gömb alakú (0,3% eltéréssel), és belső szerkezetét nagyfokú gömbszimmetria jellemzi, így homogén gömbhéjas szerkezetűnek tekinthető.

A lemeztektonika elméletének egyik legfontosabb tézise az 1960-as, 70-es években az volt, hogy az óceáni hátságoknál termelődő óceáni litoszféralemez az akkréciós szegéllyel ellentétes oldalon kontinentális lemezzel ütközik, s annak pereme alá tolódik (alátolódási = szubdukciós zóna). Amennyiben az óceáni, alábukó lemez már kihűlt, lényegesen nagyobb sűrűségű, mint az asztenoszféra, így az asztenoszférába érkezve rá erős húzóerő hat. Ez az ún. *árokhúzóhatás* mai ismereteink szerint a lemezeket mozgató erő kb. 90%-át adja. Ilyen esetben, mint a Csendes-óceán nyugati szegélyénél az alábukó, meghajlott lemez hátragörbül, a szubdukciós zóna óceáni irányban hátrafelé mozog, és létrehozza a szigetívek mögött elhelyezkedő, húzásos eredetű peremi medencéket.

Közép- és Dél-Amerika partjainál fiatalabb az alábukó óceáni lemez, melegebb és könnyebb, mint a szigetív típusú, így az alábukás után a mélyben nem görbül hátra, ezért nem alakul ki szigetív, ugyanakkor ezt a zónát erős kompresszió jellemzi.

A Föld szeizmikus energiájának meghatározó hányada az alábukó lemezekben szabadul fel. Ez az energia nagyságrendekkel nagyobb, mint az emberiség által termelt energia, sőt a nukleáris arzenál teljes potenciális

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

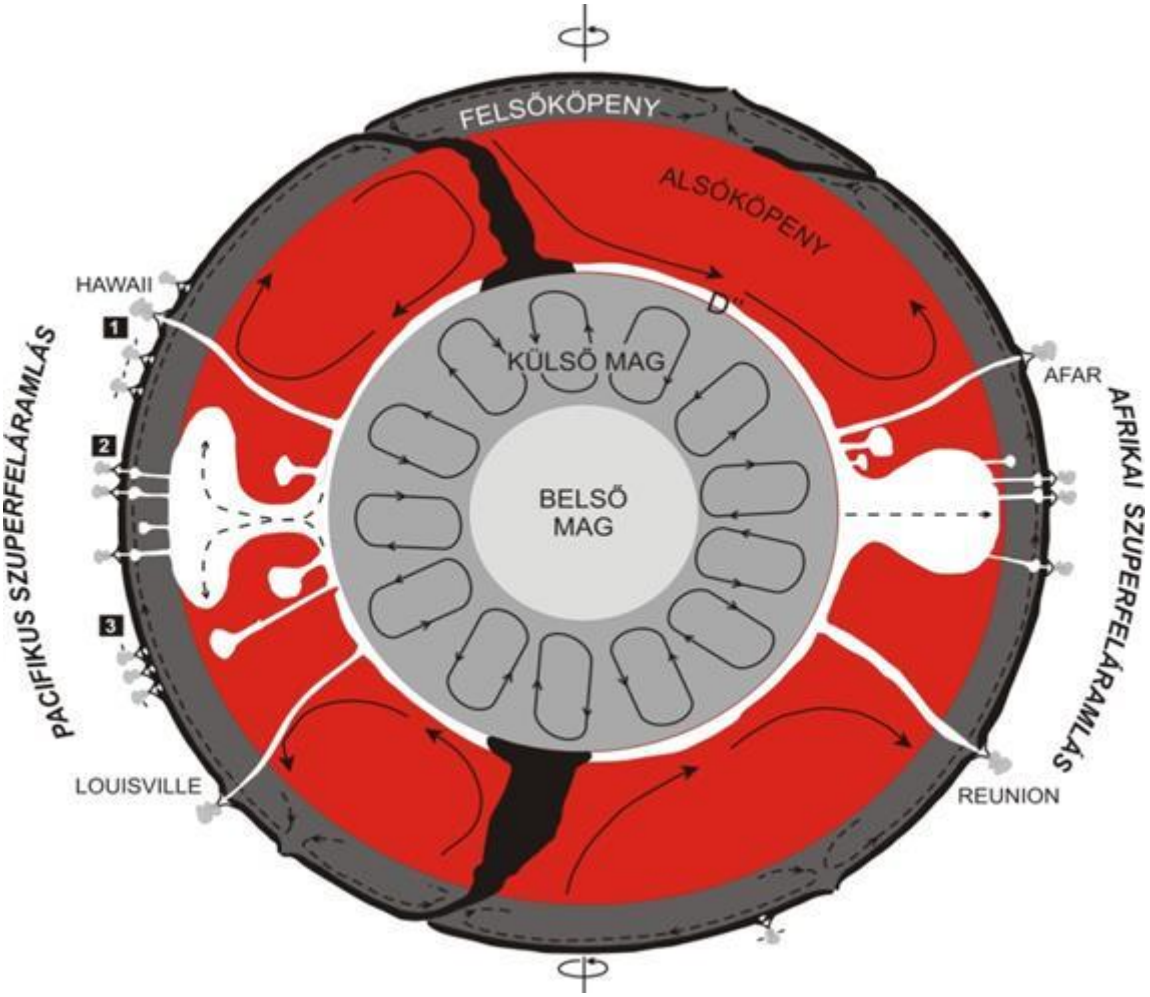
energiája (valamennyi atom- és hidrogénbomba felrobbantásával felszabadítható energiamennyiség) is eltörpül mellette. A társadalomra, ezen belül az emberéletre és a gazdaságra gyakorolt pusztító hatása igen nagy. Növeli a negatív hatást az a tény, hogy a Föld leginkább szeizmikus zónájában, a Csendes-óceán partvidékén túlnyomórészt nagy a népsűrűség, sok a nagyváros és fejlett az infrastruktúra. Az igazán nagy földrengések a kelet-csendes-óceáni szubdukciós zónában gyakoribbak, mint a szigetíveknél. Egyelőre a társadalom egyetlen lehetősége a földrengéses zónák területén: a minél hatékonyabb alkalmazkodás (földrengésbiztos építkezések, önszabályozó, önmagukat szakaszosan lezáró vezetékek stb.)

A legmodernebb, háromdimenziós képalkotásra képes *szeizmikus tomográfia* hozzásegítette a kutatókat ahhoz, hogy a klasszikus lemeztektonikai elméletet továbbfejlesszék, és a korábbinál pontosabb magyarázatot adjanak a Föld belsejében lejátszódó folyamatokra. A részletek mellőzésével az *új globális geodinamikai modell* működését az alábbiak szerint képzeljük el.

A Föld *belső magja* (*43. ábra*) ma már szilárd: a kb. 4 milliárd éve még teljesen olvadt anyagú földmag ezalatt a hosszú idő alatt a fokozatos lehűlés következtében megszilárdult. A *külső mag* anyaga folyadékszerű, olvadt vas, melynek viszkozitása igen alacsony, hőmérséklete nagyon magas (3700–4500 ^{o}C). A külső magban működő áramlások tartják fenn a földi mágneses teret, és fűtik a köpeny alját. „A köpenyáramlásokhoz szükséges energiát tehát alapvetően a vasmagban lévő *ősi* (primordiális) *hő* szolgáltatja a D réteg közvetítésével. A magbeli hőszállítás nagyon hatékony, mert az alacsony viszkozitású olvadt vas áramlási sebessége nagy, vagyis a maghatár magas hőmérséklete stabilan biztosított” (Horváth-Dombrádi, 2008). A Föld belső energiatartalékai még több milliárd évre elegendők, vagyis bolygónk megsemmisüléséig, a Nap vörös óriássá válásáig.

A földköpeny alján a külső mag melegítő hatására egy kis viszkozitású *termikushatárréteg* jön létre, amelyből kétféle feláramlás indul el. Az egyik típus a Föld két ellentétes oldalán jön létre és két óriási felboltozódást eredményez: az afrikai és a pacifikus *szuperfeláramlást* (*43. ábra*). Az ábrán jól látszik, hogy ezek a szuperfeláramlások a 660 km-es fázishatár alatt óriásgomba módjára ellaposodnak, mivel a fázisátmenet gátolja az ilyen hatalmas áramlás továbbhaladását. A szuperfeláramlásból kiemelkedő vékony oszlopok azonban átolvasztják a litoszféralemezt és elérik a felszínt. Ezeket *másodrendű köpenyoszlopoknak* nevezzük. Hasonlóan vékony köpenyoszlopok a szuperfelboltozódások pereme körül, de attól elkülönülve úgy is létrejöhetnek, hogy a D zónától a köpenyen áthatolva a litoszféralemezen át a felszínig érnek. Ezek az *elsődleges köpenyoszlopok*.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



43. ábra. A földmotor működése (*Horváth – Dombrádi*, 2008.)

Az elsődleges és másodrendű köpenyoszlopok felszíni vulkanizmust eredményeznek: létrehozhatnak bazaltplatót, ha a köpenyoszlop a litoszféralemez áttörése előtt, annak alsó határán kiszélesedik (a köpenyoszlop feje); vagy kialakíthatnak vulkáni kúpsort, ha a köpenyoszlop szára a litoszféralemez alatt elhajlik. A Föld jelenlegi aktív vulkánjainak nagyobb része azonban a lemezhatárokon, a szubdukciós zónákban jött létre.

A távolodó litoszféralemezek akkréciós szegélyei mentén a felsőköpeny anyagának felemelkedése passzív, vagyis a lemezeket – mint már említettük – az alábukás húzóereje (árokhúzóhatás) mozgatja. A nehezebb (nagyobb sűrűségű) óceáni litoszféralemezek viszonylag gyorsan (max. 10 cm/év sebességgel süllyednek le az átmeneti zóna aljáig, vagyis mélységig. Az *endoterm fázisátmenet* időlegesen feltartóztatja a további süllyedést, ezért a lemez horizontálisan mozoghat a fázishatáron, majd a nagy viszkozitású alsóköpenyben sokkal kisebb sebességgel süllyed tovább. A lassulás miatt a litoszféralemez anyaga feltorlódik, szélesebb, nagyobb keresztmetszetű lesz. Süllyedésének végső határa a D” réteg (2850–3000 km mélyen), ahol ennek a rétegnek az anyagával keveredve kezdődik elölről a feláramlásokkal a Föld legnagyobb anyagáramlási ciklusa.

Az ismertetett földmodell a múltbeli globális geológiai események újraértelmezéséhez is támpontokat ad. A földtörténeti múltban a Föld hőmennyiségének függvényében változott a lemeztektonikai folyamatok intenzitása: a jelenhez képest minél távolabbi múltba nézünk vissza, annál intenzívebb köpenyáramlások működtek, a forró foltok száma nagyobb volt, és a felszínre is sokkal több láva ömlött, mint a holocénban. A vékonyabb litoszféralemezek nagyobb sebességgel mozogtak, ezért hevesebb szubdukció és intenzívebb hegységképződések játszódtak le. Ugyancsak jelentősebb volt a magmás tevékenység csúcsidőszakaiban a CO_2 és más üvegházhatású gázok kigőzölgése, ami hozzájárult a geológiai múlt éghajlatának időnkénti melegedéséhez; az ugyancsak nagy mennyiségben a légkörbe juttatott vulkáni hamu, por és aeroszolok viszont a lehűlést segítették elő. Ezek a felszíni és légköri hatások ma kisebb intenzitással érvényesülnek, de szerepük nem jelentéktelen. A társadalom és az élővilág számára az jelent komoly gondot, hogy a sokszor természeti

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

katasztrófa méretű hatások időben nagyon rapszodikusan jelentkeznek, és előrejelzésükben a tudósok csak mérsékelt sikereket értek el.

2. 10.2. Anyagáramlások a levegő és víz mozgásaival összekapcsolt geoszférákban

Az előző fejezetben láthattuk, hogy a földkéreg által határolt Föld bolygó belsejében viszonylag zárt anyagáramlás zajlik. Azért nem tökéletesen zárt, mert a vulkanizmus révén gázok és aeroszolok kerülnek a légkörbe, és a víz alatti vulkanizmus a mélytengerek anyagi összetételét, sőt a fény nélküli élővilág kialakulását is befolyásolja.

A földkéreg fölötti geoszférák még szorosabb kapcsolatban vannak egymással, s bennük az anyagáramlásokat meghatározó módon két közeg, a levegő és a víz biztosítja. A bioszféra és a társadalom anyagcseréjével, termelésével és fogyasztásával közvetlenül hasznosítja a légkör, a hidroszféra és a litoszféra anyagait (utóbbinak csak a legfelső vékony, néhány km-es rétegét), és térben is átszövi ezeket a geoszférákat. Mindezért indokolt, hogy a bennük lejátszódó anyagáramlásokat együtt tárgyaljuk.

Azt is tudnunk kell, hogy minden anyagáramlás egyben energiaáramlással is együtt jár. Az egyik legismertebb, legközönségesebb anyag a Földön a víz, amelynek ötször akkora a hőkapacitása, mint a kéreg anyagáé, vagyis a víz mozgásával nagy mennyiségű hőenergia szállítása is történik. A továbbiakban mégis az anyagáramlásokat helyezzük a középpontba, mert azok mennyiségi viszonyai pontosabban ismertek. (Az éghajlati rendszernél azonban visszatérünk a hőenergia szállítására.)

Az anyagáramlások jellemzője, hogy egyfajta ciklikusság, körfolyamat figyelhető meg működésük során. A „körfolyamatot” természetesen nem geometriai értelemben használjuk, hanem „a kiindulóponthoz való visszatérés” értelemben, mint ahogy azt a litoszféra és a földköpeny anyagáramlási ciklusánál is megfigyelhettük. A továbbiakban tárgyalandó anyagciklusokat az egyszerűség kedvéért a Föld *külső anyagciklusainak* nevezzük. Mint látni fogjuk, ezek is kapcsolatba kerülnek a belső (földköpenybeli) anyagáramlási ciklussal, így bizonyítva, hogy bolygónk működési egységet képező, hatalmas méretű, többszörösen összetett rendszer. A külső anyagciklusoknak mégis vannak olyan sajátosságai, amelyek eltérnek a belső anyagciklustól.

Az egyik ilyen eltérés az anyagáramlásokat mozgásban tartó erőhatásokban keresendő. A *külső anyagciklusok mozgásához* szükséges energiát meghatározó módon a *Nap sugárzó energiája* biztosítja, míg a belső anyagciklusokban a földmag héja a meghatározó. A gravitáció mindkét esetben fontos erőhatás, a külső erőhatások jó része azonban a napenergia áttételes érvényesülését jelzi: pl. a szél, a hullámzás, a párolgás; sőt a zöld növényekben akkumulálódott energia is a napsugárzásból származik.

Az élettelen Föld időszakában csak kémiai és fizikai változások zajlottak bolygónkon. Az akkori anyagáramlásokat kevésbé ismerjük, és számos hipotetikus elem teszi bizonytalanná ezek értelmezését.

Az élővilág megjelenésével az anyagáramlásokban nagyon fontos szerepet játszott az élő anyag működése, anyagcseréje. Mint a történeti áttekintéskor láthattuk, a légkör anyagi összetételének megváltoztatásában meghatározó szerepe volt. *Az emberi társadalom megjelenéséig* az anyagciklusokat méltán nevezhetjük *biogeokémiai anyagciklusoknak*, körfolyamatoknak. Legtöbb tankönyv a mai anyagforgalmat is ezzel a megnevezéssel ismerteti, holott kétféle fontos hatásra nem utal ez a terminus technicus. Egyrészt többféle anyagáramlás esetében (pl. vízkörforgás, gázok diffundálása, légköri elkeveredése stb.) fontos szerepe van a fizikai folyamatoknak is. Másrészt a társadalom olyan mértékű anyagcserét folytat a természeti környezettel, hogy az általa előidézett anyagáramlások több esetben 20–30%-kal módosítják a biogeokémiai ciklusok természetes áramlásainak mértékét. (Egyes anyagok estében, mint pl. az ólom, ez az antropogén többlet még ennél is sokkal nagyobb lehet.) Mindez azt is indokolja, hogy a globális anyagciklusok elnevezésében ezt az emberi hatást is érzékeltessük. Tekintettel arra, hogy munkánk a környezeti rendszerekről szól, a továbbiakban mi *antropobiogeokémiai ciklusokról* fogunk beszélni, hogy a társadalomnak a földi rendszer működésében betöltött fontos szerepére a nevezéktanban is utaljunk. (Az egyszerűség kedvéért több esetben csak anyagciklusokat említünk, a kifejezést azonban ekkor is antropobiogeokémiai ciklus értelemben használjuk.)

2.1. 10.2.1. Az antropobiogeokémiai ciklusokkal kapcsolatos alapfogalmak

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Minden anyagciklus leképezhető egy modellel, amely kémiai elem vagy vegyület mozgását írja le oly módon, hogy megadja a mozgás irányait, útvonalait, azokat a környezeti objektumokat, ahol az adott elem vagy vegyület hosszabb ideig tartózkodik (*rezervoárok* = raktárak), s ha rendelkezésre állnak, mindezek mennyiségi adatai.

A rezervoárok száma a rendszermodell részletességétől, vagyis a felbontóképességtől függ. A ciklus fontos jellemzője a *fluxus*, amely azt az anyagmennyiséget jelenti, amely egy meghatározott időtartam (rendszerint egy év) alatt egy adott szállítási útvonal mentén mozog. Ha egy elem/vegyület koncentrációja állandó marad a rezervoárban, ez azt jelenti, hogy egyensúly van a belépő és kilépő elem/vegyület mennyisége között. Ez dinamikus egyensúlyi állapotra utal. Az ember által legkevésbé befolyásolt, s így „kvázitermészetes" ciklusok globális szinten ebben a dinamikus egyensúlyi állapotban vannak.

Ha tudjuk, hogy egy rendszer ilyen állapotban van, a következőképpen határozhatjuk meg az egyes elemek tartózkodási idejét az egyes rezervoárokban (*O'Neil*, 1985):

$$\textbf{Tartózkodási idő} = \frac{\textbf{Az elem mennyisége a rezervoárban}}{\textbf{Az elem beérkező (vagy távozó)rátája (évi mennyiség)}}$$

Ha pl. az óceánban oldott nátrium tömege 15 · ^{18}, és minden évben 1 · ^{11} érkezik hozzá, akkor a tartózkodási idő 150 millió év. Ebből az adatból azt is láthatjuk, hogy az emberi élet léptékével mérve nagyon hosszú időtartamokról van szó. Az óceánban legtöbb elem tartózkodási ideje millió éves nagyságrendű. Mint látni fogjuk, léteznek azonban gyorsabban lezajló anyagciklusok is.

Az emberi tevékenységek sokszor oly módon változtatják meg az anyagáramlásokat, hogy az anyagmennyiségek az egyes rezervoárokban (anyagraktárokban, vagy egyszerűen: raktárokban) az egyensúlytalanság irányába mozdulnak el. Vegyünk egy példát a globális földi rendszerből. Maga az élővilág a szénciklus egyik meghatározóan fontos raktára (a szénciklusban biomasszaként fogjuk tárgyalni): a tudományos becslések (számításokon alapuló, jó közelítéssel becsült értékek) az 1980-as években 56 Mrd tonnára tették a biomassza széntartalmát.

A társadalom azonban gyorsabb ütemben használja fel az élővilágot saját céljaira (fakitermelés, túlhalászás, túllegeltetés stb.) mintsem az a fotoszintézis révén pótolni lenne képes az „elvesztett" széntartalmat. Ilyen esetben tehát a raktár kezd „kiürülni" azaz a széntartalma fokozatosan csökkenni fog. Nem szabad azt sem elfelejtenünk, hogy az itt egyszerűen anyagraktárnak minősített élővilág rendkívül bonyolult, többszörösen összetett rendszert alkot, és a tartós anyagvesztés az egész élő rendszer működését hátrányosan befolyásolja.

3. Önellenőrző feladatok

Többszörös hibakutatás. Döntse el, hogy az alábbi variációk közül melyik az igaz!

A) az 1., a 2. és a 3. hibás

B) az 1. és a 3. hibás

C) a 2. és a 4. hibás

D) a 4. hibás

E) mindegyik hibás

1. 1) A Föld külső magjában működő áramlások tartják fenn a Föld mágneses terét.

2) A Föld külső magja alacsony viszkozitású, folyadékszerű, olvadt vas.

3) A Föld külső magjának hőmérséklete 3700-°.

4) A Föld belső magja folyékony halmazállapotú.

2. 1) Az elsődleges és másodrendű köpenyoszlopok felszíni vulkanizmust eredményeznek.

2) A nagyobb sűrűségű óceáni litoszféralemezek maximális süllyedési sebessége 10 m/év.

3) A litoszféralemezek süllyedésének legalsó határa 2850- mélyen van.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

4) A lemeztektonikai folyamatok intenzitása a múltban jóval kisebb volt, mint napjainkban.

3. 1) A vulkáni tevékenységhez kapcsolódó CO_2-kibocsátás hozzájárult a geológiai múlt éghajlatának időnkénti melegedéséhez.

2) A levegőbe jutó vulkáni por, hamu és aeroszolok szintén a melegedést segítették elő.

3) A víz hőkapacitása ötször akkora, mint a kéreg anyagáé.

4) A Föld külső anyagciklusait mozgásban tartó energia legfontosabb forrása a gravitáció.

4. 1) A légkör jelenlegi anyagi összetételének kialakulásában az élővilág jelentéktelen szerepet játszott.

2) Tartózkodási időt úgy kapjuk meg, ha az elem beérkező (vagy távozó) rátáját (évi mennyiségét) elosztjuk az elem rezervoárban lévő teljes mennyiségével.

3) A fluxus az az időtartam, mely alatt meghatározott mennyiségű anyag elmozdul.

4) Azokat a környezeti objektumokat, ahol az adott elem vagy vegyület hosszabb ideig tartózkodik, rezervátumoknak nevezzük.

5. 1) Az óceánokban a legtöbb elem tartózkodási ideje 10-50 év között alakul.

2) A víz mozgásával nagy mennyiségű hőenergia szállítása is történik.

3) A társadalom a természetes anyagáramok mértékét legfeljebb 1-2%-kal képes módosítani.

4) A Föld külső anyagciklusait mozgásban tartó energia legfontosabb forrása a nap sugárzó energiája.

Relációanalízis. Az alábbi feladatban összetett mondatokat talál, melyek első tagmondata az állítás, második tagmondata pedig az indoklás. Válassza ki az alábbi variációk közül azt, amely Ön szerint igaz az egyes mondatok esetében!

A) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, és közöttük ok-okozati kapcsolat* ***van***

B) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, de* ***nincs*** *közöttük ok-okozati kapcsolat*

C) *az állítás* ***igaz****, az indoklás azonban* ***hamis***

D) *az állítás* ***hamis****, az indoklás azonban önmagában* ***igaz***

E) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***hamis***

6. A víz nagy mennyiségű hőenergia szállítására képes, mert 1 g/cm3 a sűrűsége.

7. Az óceáni lemezek süllyedési sebessége az átmeneti zóna aljánál (660 km-es mélységben) lelassul, mert az endoterm fázisátmenet időlegesen feltartóztatja a további süllyedést.

8. A távoli földtörténeti múltban intenzívebb hegységképződési folyamatok játszódtak le, mert a litoszféralemezek a mainál jóval vastagabbak voltak.

9. A Föld szeizmikus energiájának meghatározó hányada az alábukó lemezekben szabadul fel, mert a Föld leginkább szeizmikus zónájában (Csendes-óceán partvidéke) nagy a népsűrűség.

10. A földköpenyben található két szuperfeláramlás a 660 km-es mélységben található fázishatár alatt óriásgomba módjára ellaposodik, mert a fázisátmenet gátolja az ilyen hatalmas feláramlások továbbhaladását.

1. D

2. C

3. C

4. E

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5. B

6. B

7. A

8. C

9. B

10. A

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

11. fejezet - A vízciklus

A két hidrogén- és egy oxigénatomból álló víz a Föld egyik leggyakoribb vegyülete. Mai ismereteink szerint az élet nélkülözhetetlen feltétele, vagyis olyan bolygón, ahol nincs víz, az élet sem alakulhatott ki. Az élőlények testében eltérő arányú, de mindig jelentős mennyiségű víz található: az emberi testet pl. átlagosan 67% víz alkotja (csecsemőknél nagyobb, öregeknél kisebb ez az arány).

A Föld felszínének közel 71%-át a világóceán borítja, s ezen kívül a szárazföldek felszíni és felszín alatti vizei egészítik ki a hidroszférát, beleértve a fagyott állapotú belföldi jégtakarókat és gleccsereket is. A víz univerzális oldószer, bár a különböző anyagokat nagyon eltérő mértékben oldja. A vízben oldott, szuszpendált vagy görgetett állapotban a természetben előforduló valamennyi anyag a vízáramlással együtt mozoghat. Az élőlények számára életteret is biztosít (tengeri és édesvízi élőlények), és részt vesz valamennyi élőlény anyagcseréjében. A szén-dioxid mellett a fotoszintézis másik alapanyagát alkotja, s a folyamat során a víz oxigénjéből keletkezett O_2 molekula kerül ki a növények testéből a légtérbe. (Ez a folyamat vezetett a földtörténeti múltban a légköri oxigén fokozatos gyarapodásához.)

A víz kiemelkedően nagy hőkapacitása a hidroszférát óriási hőenergia-raktárrá teszi, s így nagy szerepet játszik bolygónk éghajlati rendszerének kialakításában. A párolgási és fagyási hője is nagyobb, mint a legtöbb folyadéké, s ezek a tulajdonságok is befolyásolják a klíma alakulását.

A víz körforgalma a napsugárzás hőhatására bekövetkező párolgással kezdődik. A világóceán és a szárazföldek párolgási intenzitása eltérő, az előbbi javára. Ezt minden szakirodalmi forrás egyformán állapítja meg, de a mennyiségi viszonyok becslésében nagyok az eltérések (*5. táblázat*). Látjuk, hogy az óceánok felszínéről évente elpárolgó víz mennyiségét 350000 – 503000 km^3 között változó értékekkel jellemzik a különböző szerzők. A jégtakarók vízmérlegét mint korrekciós tényezőt is figyelembe véve a párolgás átlagértékét 435 ezer km^3-nek vesszük.

Közel hasonló a bizonytalanság a kutatók körében az óceánok felszínére hulló csapadék mennyisége esetében (*6. táblázat*). Ennek átlagértékét 395000 + 2000 = 397000 km^3-nek vesszük. A 2000 km^3-es érték a jégtakarókra egy év alatt hó formájában hulló csapadékra vonatkozik, amit azért indokolt külön feltüntetni, mert a szilárd víz mozgása lassúbb a folyékony víznél. (Meg kell jegyeznünk, hogy az óceánokra vonatkozó adatok nagy szórását az a tény okozza, hogy ott a meteorológiai mérőhálózat jóval ritkább, mint a szárazföldeken, és az eloszlása is egyenetlenebb.)

6. táblázat. A globális vízmérleg összetevői 10^3 km^3/év egységekben különböző szerzők szerint (Mészáros, 2001a nyomán, módosítva)

P1	P2	ΣP	Cs1	Cs2	ΣCs	L(lefolyás)	Szerzők
350	70	420	320	100	420	30	Manning (1997)
423	73	496	386	110	496	37	Berner és Berner (1987)
454	70	524	416	108	524	38	Szesztay (SMIC, 1971)
503	71	574	458	116	574	45	Henshaw et al. (2000)
433+2*	71	504	395+2	109	504	38	–

*P= párolgás, Cs = csapadék (1 az óceánokra, 2 a szárazföldekre utal). Az utolsó sor a fölötte lévő oszlop átlagértékét adja meg. A *-gal jelölt többlet a jégárakból származó többletvíz miatt megnövekvő párolgás.*

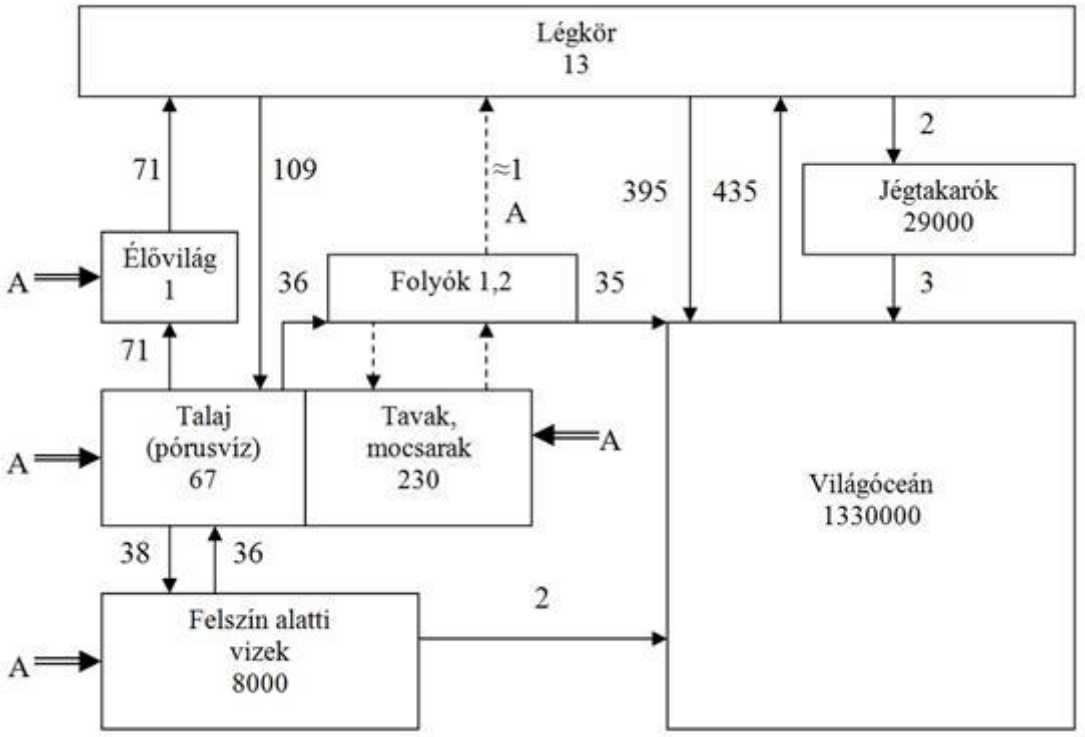
Sokkal megbízhatóbb adatokat kapunk a kontinensek párolgásáról. Ebben az esetben a különböző szerzők adatai között is alig van különbség (*6. táblázat*, P2). A szárazföldek párolgása a talaj- vagy a kőzetfelszín közvetlen párolgásából (*evaporáció*) és a növényzet párologtatásából (*transzspiráció*) adódik (együtt: *evapotranszspiráció*). Ennek éves értéke (71000 km^3) kisebb, mint a szárazföldekre hulló összes csapadék (109000 km^3). A kettő különbözete (38000 km^3) a felszíni lefolyással + a kisebb mértékű tengerparti felszín alatti vízáramlással kerül vissza a világóceánba.

A *44. ábrán* az ismertetett adatokat, mint fluxus-értékeket tüntettük fel, és megadtuk a vízraktárakban tárolt vízmennyiségeket is. Ez utóbbiakhoz a következő megjegyzéseket fűzzük. Az óceánok vízmennyisége az ember számára szinte kimeríthetetlen nyersanyag-forrás (sók, kémiai elemek), de éppen számunkra a legfontosabbnak mondható ivóvízként vagy a mezőgazdaságban öntözővízként történő használata csak sótalanítás után lehetséges. Mivel ennek nagy az energiaigénye, ezért a sótalanított tengervizet nagyon korlátozottan használjuk.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A *legnagyobb édesvízraktár* a jégtakaró (beleértve a hegyvidéki gleccsereket is), amelynek azonban a túlnyomó részét, földrajzi helyzete miatt, nem hasznosítjuk (sarki jégsapkák, Grönland jege). A hasznosítható édesvízkészletek legnagyobb részét a felszín alatti vizek teszik ki: talajvíz, rétegvíz, karsztvíz, hordalékkúpok vize (együtt: 8000 · 10^3 km^3). A *44. ábrán* külön vízraktárként tüntettük fel a feltalaj pórusvizét, ami a szárazföldi bioszféra és a mezőgazdasági növények szempontjából a legfontosabb: a növények gyökerei innen veszik fel a fotoszintézishez és más életműködéseikhez szükséges vizet. Maga a bioszféra „csupán" 1000 km^3 vizet tárol magában. (Emlékeztetőül: 1 km^3 = 1 milliárd m^3.) Az ember által legkönnyebben hozzáférhető felszíni vizek (folyók, tavak, mocsarak) 230 · 10^3 km^3 édesvizet tárolnak, ill. folyamatosan szállítanak a tengerekbe, óceánokba. (A fluxus értéke a folyóvizek esetében 36000 km^3/év, a felszín alatti vizek esetében 2000 km^3/év.)

Kövessük ezután a *44. ábrán (*10. animáció*)* a víz körforgalmát, s abban az emberi tevékenységek szerepét. A mozgatóerők: a napsugárzás hőenergiája, ami a párolgást idézi elő (ebben szerepet játszik a növények aktív vízfelvétele és párologtatása is), valamint a gravitáció, ami a csapadékhulláshoz vezet. A horizontális légköri vízszállítást a szél által mozgatott felhők végzik – s ennek energiafedezetét is a napsugárzás hőenergiája szolgáltatja.



44. ábra. A vízciklus. A vízraktárakban feltüntetett értékeket 10^3 km^3-ben (= billió m^3-ben), a fluxusokat 10^3 km^3/évben adtuk meg. Az „A" a közvetlen antropogén beavatkozás helyeit jelöli. Az adatok forrásait ld. a *6. táblázatban*, valamint O'Neil (1985)

Az óceánok felszínéről 435 · 10^3 km^3 folyékony, 2 · 10^3 km^3 pedig szilárd csapadék formájában hullik vissza a víz-, ill. a jégfelszínre. (A jégtakarók, beleértve a hegységi gleccsereket is) gyorsabb ütemben olvadnak, mint a hóutánpótlás. Ezt érzékelteti a 2 : 3-as arány. Az óceáni vízkörzésben az emberi tevékenységek szerepét nem ismerjük, ill. mennyiségi leírásukat nem tudjuk megadni. A globális méretekhez képest elhanyagolható mértékben csökkentheti a vízfelszín párolgását az elég nagy területre kiterjedő olajszennyezés. Valószínű azonban, hogy az antropogén éghajlatváltozás okozta hőmérsékletemelkedés miatt megnövekedett és tendenciájában tovább növekvő párolgás lényegesen meghaladja a szennyezés okozta mérséklést, így eredőjét tekintve az emberi tevékenységek a párolgás növekedéséhez vezetnek, egyelőre nem ismert mértékben.

A világóceán felszínéről elpárolgott vízből 38 · 10^3 km^3 a szárazföldre hull, csapadék formájában. Ehhez jön még a szárazföldi bioszféra által elpárologtatott, a légkörbe kerülő és onnan a kontinensek területére visszahulló 71 · 10^3 km^3 víz, ami együtt 109 · 10^3 km^3-t tesz ki. A 38 · 10^3 km^3 többletvíz a felszíni és felszín alatti lefolyással jut vissza a világóceánba (35, ill. 2 · 10^3 km^3 + 1 · 10^3 km^3 a jégolvadásból).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A vízciklusnak az utóbbi, szárazföldi körforgalmát az ember egyre nagyobb mértékben, s egyre több tevékenységével képes befolyásolni. Az emberi hatások nagyobb részt a vízmozgások időbeli és térbeli változásait okozzák, a globális éves fluxust mérsékelten befolyásolják. Az emberi társadalom, létezése óta a felszíni vizeket használta legnagyobb arányban, hisz ezek voltak a legkönnyebben hozzáférhetők. Modern tárolási és kiemelési módszerekkel ma is számos folyóból, tóból hasznosítjuk az édesvizeket. Legfontosabb vízhasznosítási formák: ivóvíz és háztartási víz, öntözővíz, ipari víz. Az emberi beavatkozások közül a folyók esetében a vízlépcsők, víztározók építése, ill. az ezekhez kapcsolódó öntözés és egyéb célú vízhasználatok fejtik ki a legnagyobb hatást a vízciklusra. Ennek a megnövelt vízfelületnek a párolgása és a tározókból öntözésre használt víz által ugyancsak megnövelt evapotranszspiráció, továbbá a lápok, mocsarak kiszárítása évente mintegy 1000 km^3 vizet juttat a légkörbe.

Arról is szólnunk kell, hogy a világóceánt el nem érő vízrendszereket (lefolyástalannak vagy belső lefolyásúnak nevezett területek) néhány esetben az emberi tevékenység teljes mértékben átalakította, gazdasági és ökológiai értelemben is tönkretette. Példaként vizsgáljuk meg az Aral-tó vízrendszerében bekövetkezett legfontosabb változásokat.

Az Aral-tó száraz, kontinentális sivatagi környezetben fekszik, két tápláló folyója (Amu-darja, Szír-darja) a Pamírban, ill. a Tiensan-hegységben ered, s túlnyomórészt olvadékvizekből táplálkozik. Az 1960-as évektől a gyapot- és rizstermesztés fokozására egyre nagyobb mértékben használták a két folyó vizét, az összes vízkivétel mintegy 90%-át öntözésre fordították.

A tó méretében bekövetkezett változást jól illusztrálja, hogy 1960-ban még a Föld 4. legnagyobb tavaként volt ismert (66400 km^2), a 2004-es 17160 km^2-es területével már csak a sorban. A jelenlegi ütemű vízfelhasználás változatlanul hagyása mellett a tó 10–15 év múlva végleg eltűnhet a térképekről.

1. Önellenőrző feladatok

Többszörös választás. Állapítsa meg, hogy az alábbi lehetőségek közül melyik a helyes!

A) *az 1., a 2. és a 3. állítás igaz*

B) *az 1. és a 3. állítás igaz*

C) *a 2. és a 4. állítás igaz*

D) *a 4. állítás igaz*

E) *mindegyik állítás igaz*

1. 1) A fotoszintézis során a vízből származó oxigén kerül a légkörbe.

2) A Föld felszínének 61%-át a világóceán borítja.

3) A természetben valamennyi anyag mozoghat a víz áramlásával.

4) Az emberi testet átlagosan 37% víz alkotja.

2. 1) A hidroszféra óriási hőenergia-raktárként is funkcionál.

2) A szárazföldek párolgási intenzitása nagyobb, mint a világóceáné.

3) A szárazföldekről évente kevesebb víz párolog el, mint amennyi a csapadékkal oda érkezik.

4) A talaj-, vagy a kőzetfelszín közvetlen párolgását evapotranszspirációnak nevezzük.

3. 1) A legnagyobb édesvízraktárt a folyók és a tavak képezik.

2) A legnagyobb hasznosítható édesvízraktárt a felszín alatti vizek képezik.

3) A bioszféra mindössze 100 ezer km^3 vizet tárol magában.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

4) A víz körforgásának mozgatóerői a napsugárzás hőenergiája és a gravitáció.

4. 1) A felszín alatti vizekből jóval kevesebb víz kerül a tengerekbe óceánokba, mint a folyóvizekből.

2) A horizontális légköri vízszállítás mozgatómotorja végső soron a napsugárzás hőenergiája.

3) A víz részt vesz valamennyi élőlény anyagcseréjében.

4) Ha a vízfelhasználás jelenlegi üteme nem változik, az Aral-tó 10-15 éven belül teljesen kiszáradhat.

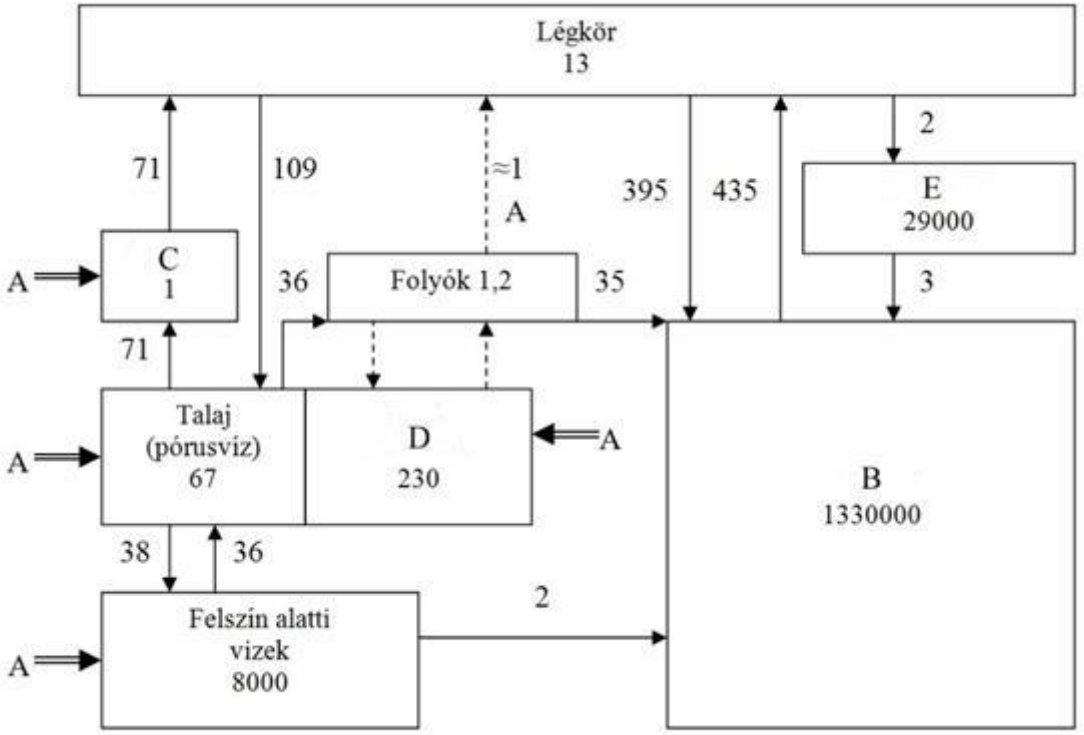
5. 1) Jelenleg a jégtakarók olvadása során több víz távozik belőlük, mint amennyi a csapadékból (hóból) pótlódik.

2) A szárazföldi vízciklust leginkább a vízlépcsők, víztározók építésével és a hozzájuk kapcsolódó tevékenységekkel (öntözés, egyéb célú vízhasználatok) befolyásolja a társadalom.

3) A globális felmelegedés miatt fokozódik az óceánokból történő párolgás.

4) Globális léptékben számottevően csökkenti a vízfelszín párolgását a vízfelszínt borító olajszennyezés.

Ábraelemzés. Párosítsa az alábbi meghatározásokat az ábrán szereplő betűkkel! (A rezervoárokban feltüntetett értékek 10^3 km^3-ben, a fluxusok pedig 10^3 km^3/évben vannak megadva.)



6. Világóceán

7. Élővilág

8. A közvetlen antropogén beavatkozások helyei

9. Jégtakarók

10. Tavak, mocsarak

Megoldások:

1. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2. B

3. C

4. E

5. A

6. B

7. C

8. A

9. E

10. D

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

12. fejezet - A vízgyűjtő, mint rendszer, össze- és szétkapcsoltság

A gyakorlati élet során a leggyakrabban használt természeti földrajzi egység a vízgyűjtő, ezért rendszerszemléletű megközelítése és elemzése elengedhetetlen. Vízgyűjtő alapon történik s vízgazdálkodás (Vízkeret Irányelv) és az árvízi előrejelzés. A tájtervezés, az optimális és fenntartható tájhasználat is csak vízgyűjtő alapon valósulhat meg. A kárelhárítás során is muszáj vízgyűjtőben gondolkodni, hiszen ha a szennyeződések folyékony állapotban terjednek, akkor fontos a szennyezés terjedésének és esetleges megállítási lehetőségeinek ismerete (pl. tiszai ciánszennyezés, kolontári vörösiszap katasztrófa). Egyes modellek hitelesítése is csak vízgyűjtő alapon történhet, hiszen például az adott parcellát érintő lefolyás vagy talajerózió mértékét ha a vízgyűjtő egészére kivetjük, akkor hibák sorozatát követjük el, hiszen a mozgó anyag a szállítás során rövidebb-hosszabb ideig csapdázódhat, így nem jut el az erózióbázis szintjéig.

1. 12.1. A vízgyűjtő, mint rendszer

A vízgyűjtő jól definiált felépítésű és működésű természetföldrajzi rendszer, hiszen a rendszereket jellemző kritériumok mindegyikét teljesíti. A környezeti rendszerek egyik fő jellemzője a határuk: a vízgyűjtők (horizontális) határai a felszíni és felszínalatti vízválasztók. Ugyanakkor egy üledékes vízgyűjtő esetében nehéz meghatározni, hogy vertikálisan meddig terjed ki. A határokon belül és azon keresztül a rendszerekre anyag- és energia-áramlás is jellemző. A vízgyűjtőben az elemek mozgatásához szükséges energiát a napsugárzás illetve a domborzat (helyzeti energia) adja, miközben az anyagáramlás legfőbb elemei a víz és a hordalék. Mint minden rendszer, a vízgyűjtők is jól meghatározható alrendszerekből és elemekből állnak, amelyek között − és amelyekben − jellegzetes folyamatok játszódnak le. A vízgyűjtő alrendszerei és elemei lépcsős (cascade) rendszert alkotnak, azaz az egyik elem outputja a másik inputját képezi (gondoljunk csak a lejtőn erodálódó majd a folyóba jutó hordalék keletkezésére és útjára).

A vízfolyások hordalékszállítása két fő tényező függvénye: a vízfolyás energiájáé és a rendelkezésre álló hordalék mennyiségéé. Ez a két paraméter az alrendszerek egymásra hatásának eredményeként alakul ki. A vízfolyás energiája a vízgyűjtő domborzati viszonyait, vízjárását (ez elsősorban a klímától függ) és a vízgyűjtő szerkezetét tükrözi, tehát ezek végső soron meghatározzák a hordalékszállító képességet. A hordalékszállító képesség azonban függ a medertulajdonságoktól, a vízhozamtól és a vízsebességtől is. A másik oldalon áll a rendelkezésre álló hordalék mennyisége, amit befolyásol a vízgyűjtő kőzettani- és talajtani tulajdonsága, növényzete és fejlődéstörténete. Összességében a folyó hordalékszállító kapacitása (munkavégző képesség) és a rendelkezésre álló hordalék mennyisége (elvégzendő munka) arányából alakul ki a rendszerre jellemző hordalékszállítás. Tehát, ha hordalékhozamot értékelhetjük úgy is, mint ami a vízgyűjtő minden alrendszerét (klíma, domborzat, kőzettan, talajadottságok, növényzet, emberi hatások stb.) tükrözi, illetve a közöttük lévő kapcsolatokra is utal.

2. 12.2. Kapcsoltság és szétkapcsoltság

A rendszerek **(szét)kapcsoltsága** a rendszer elemei közötti kapcsolatot jellemzi, azaz a vízgyűjtőn belüli (illetve az elemek közötti) anyag- és energiaátadás lehetőségét, illetve annak mértékét. Tehát a vízgyűjtőkben, mint rendszerekben akkor beszélhetünk szétkapcsoltságról, ha bennük az anyagszállítás gátolt. Ez leginkább a hordalékmozgásban nyilvánul meg és fontos szerephez jut a rendszert érő zavaró hatások kivédésében, ugyanis a kapcsoltság az agressziós hullám (= zavaró hatások) haladását szabályozza. Hiszen például a főfolyóhoz kapcsolódó részvízgyűjtő ha valamilyen oknál fogva szétkapcsolt, akkor nemcsak a mellékfolyó vize és hordaléka nem juthat el a főfolyóba, de a zavaró hatások is megtorpannak a két rendszer határán. A szétkapcsoltság miatt tehát a részvízgyűjtők nem feltétlen vesznek részt a lefolyásban.

Mivel a hordalékhozam az anyagtovábbítás hatékonyságát mutatja, ezért tükrözi a rendszer össze- illetve szétkapcsoltságát is. Tehát, ha modellezni kívánjuk a vízgyűjtőt, mint rendszert és folyamatait, akkor figyelembe kell venni a következő sajátosságokat:

(1) a *hordalékháztartás* tükrözi a vízgyűjtő az hordalék- és vízhozamát, illetve hordalék- és vízjárását;

(2) vannak *hordalékforrások* és *nyelők* (=üledékcsapda). Ezek térbeli helyzete, gyakorisága, időbeliség e és hatékonysága térben is időben változik;

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

(3) a hordalékmozgás jellegzetes *útvonalak*on történik, amelyek a táji elemek kapcsolatát is tükrözik.

2.1. 12.2.1. A vízgyűjtő összekapcsoltságának módjai

A longitudinális kapcsolat amederrendszert jellemzi, hiszen a felső és alsó szakasz, illetve a fő- és mellékfolyó kapcsolatát jelenti. Összességében tükrözi a meder hordalék-továbbító képességét.

A *laterális (oldalirányú) kapcsolat* a meder és tágabb környezete közötti kapcsolatot jelenti. Ez a hegy- és dombvidéki területeken a meder és a környező völgyoldalak és lejtők közötti összeköttetést jelzi, azaz azt, hogy a lejtőkről származó lemosással és tömegmozgásokkal a mederbe jutó hordalékot milyen hatékonysággal képes elszállítani a folyó (*45. ábra*). Síkvidéki területeken a meder az ártérrel áll összeköttetésben. Itt árvizekkor − amikor a hordalékát szállító folyó kilép az ártérre − csapdázódik a hordalék, tehát az árvizek gyakorisága a hordalék csapdázás lehetőségét határozza meg. Ugyanakkor az árvizek és a kisvizek együttes hatására történik az árterek oldalirányú eróziója (parterózió), ami mobilizálja a már lerakódott üledéket (Fryirs et al. 2006).

45. ábra. A magaspart laterálisan kapcsolt a Dráva medréhez (fotó: Andrási G. 2011)

A vízgyűjtők vertikális kapcsolata a felszín és a felszín alatti részrendszerek kapcsolatát jelenti, amelyet a víz beszivárgása teremt meg. Az, hogy ez a kapcsolat milyen mértékű, elsősorban a lejtők kőzetminőségétől és a mederanyagtól függ. Azonban a hordalékszállítás jellege is befolyásolja, hiszen az iszapos-agyagos meder- és ártéri üledékek a vertikális kapcsolatokat gátolhatják, De a meder alján kialakuló, durvaszemű hordalékból álló mederpáncélzat is hasonló hatású, hiszen az alatta lévő finomabb szemcséjű rétegeket megvédi a mobilizációtól, elszállítástól (Fryirs et al. 2006).

A *kapcsoló elem*ek tehát a rendszer (vízgyűjtő) összekapcsoltságát segítik elő. Ilyen kapcsoló elem lehet például egy szakadék, ami a domboldalakat fölszabdalva növeli a hordalékszállítást, vagy a tömegmozgások, amelyek nagymennyiségű anyagot juttathatnak a mederbe. Ezek a kapcsoló elemek az agressziós hullám terjedését is segítik. Ezeket a kapcsolatokat, az agressziós hullám előrejutását szüntetik meg a *szétkapcsoló elemek* (Brrierly és Fryirs 1999).

2.2. 12.2.2. A vízgyűjtő szétkapcsoltságát okozó elemek

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Míg a kapcsoltság a zavartalan víz- és hordalékszállításban nyilvánul meg, addig a szétkapcsoltság ezeket akadályozza a víz és a hordalék csapdázása révén. Mivel a hordalék csapdázódás a gyakoribb és az összetettebb folyamat, ezért főleg a hordalékcsapdákat jellemezzük, megjegyezve, hogy ezek közül nem egy a szállított víz (időleges) csapdázására is képes.

Az üledékcsapdákra általánosan jellemző, hogy folyásirányban lefelé nő a hordalék „pihenő ideje", azaz míg a hegyvidéki szakaszokon lerakódott szűk ártér hordaléka könnyen mobilizálódhat (újra indulhat) a nagy esés és a kis méret miatt, addig az alsó szakaszon a lecsökkent esés és az árterek nagy szélessége miatt ez jóval nehezebb. A már lerakódott hordalék mobilizálódása függ a csapda érzékenységétől. A hordalékcsapdák érzékenységét befolyásoló tényezők (Fryiers et al. 2006):

· aktív medertől való távolság: minél közelebb van a mederhez, annál valószínűbb, hogy a felhalmozódott hordalék újra erodálódhat és mozgásba kerül.

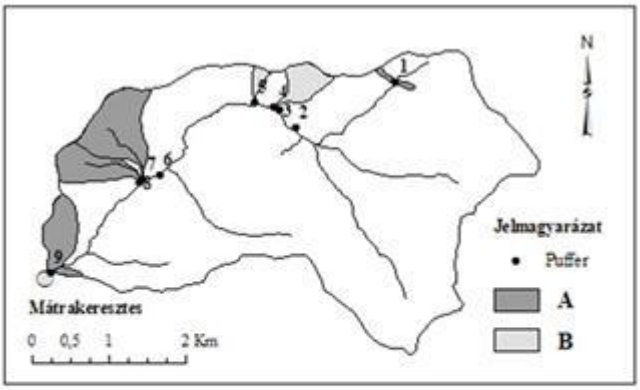
· a csapda típusa: a hordalék változatos fluviális formákban rakódhat le, amelyek a zátonyoktól (néhány m^2) az ártérig (több száz km^2) különböző méretűek lehetnek.

· a csapda térfogata: a csapda területével arányos

· a hordalék szemcseméretе: minél inkább durvább (pl. tömb) vagy finomabb (iszap-agyag) a csapdázott hordalék, annál nagyobb vízsebesség kell az elindításához. Ezért még ha az aktív meder mellett helyezkednek is el ezek az egykori lerakódások, nem biztos, hogy a jelenkori viszonyok között a folyó munkavégző képessége elegendő az eróziójukhoz és elszállításukhoz.

· a csapda növényzete: a növényzet egyrészt lecsökkenti a felszín felett áramló víz sebességét a megnövekedett érdesség miatt, másrészt a sűrű gyökerek a lerakódott hordalék erodálhatóságát csökkentik.

A szétkapcsoló elemeket csoportosíthatjuk aszerint, hogy milyen jellegű kapcsolatokat gátolnak, azaz a vízrendszerben hol akadályozzák az anyagáramlást (Fryirs et al. 2007). A *puffer*ek megakadályozzák az anyag folyórendszerbe jutását a laterális vagy a longitudinális kapcsolatok gátlásával, azaz a lejtőkről, az árterekről és a mellékfolyókból történő anyagszállítást gátolják (*46. ábra*). Ez csak úgy lehet, hogy a pufferek a hordalék-csapdázódást elősegítik az esés csökkentése által. Pufferek közé soroljuk a mellékvölgyekben lévő hordalékdugókat, az ártéri felszíneket, a folyók menti mocsarakat, a helyben maradó völgykitöltést, a kiemelt ártereket és teraszokat. A pufferek igen változatos méretűek lehetnek (néhány m^2-től km^2-es nagyságrendig), így a szétkapcsoltság (effektív) ideje is néhány tíz évtől ezer évekig terjedhet. A pufferek okozta szétkapcsoltság megszüntetői, azaz a hordalék mobilizálói extrém események lehetnek, illetve a fokozatosan történő laterális erózió és az ártér-átdolgozás.



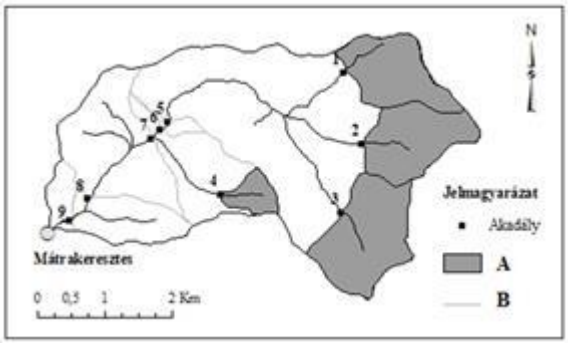
Puffer	Puffer típusa	Aktivitás
1	Mesterséges mederfal	A
2	Egykori malomsánc	B
3	Övzátony	B
4	Mellékág eltömődése a völgyszájban	B
5	Mellékág eltömődése a völgyszájban (2)	B
6	Övzátony	B
7	Sűrű növényzet a mellékág hozzáfolyásánál	A
8	Sűrű növényzet a mellékág hozzáfolyásánál	A
9	Mesterséges mederoldal	A

46. ábra. Egyes pufferek a Csörgő-patak vízgyűjtőjén kis- és középvízkor (A) funkcionálnak, míg mások csak kisvízkor (B) (forrás: Bojtok 2012)

Az *akadály*ok megakadályozzák a folyórendszeren belüli anyagmozgást a longitudinális kapcsolatok gátlásával (*47. ábra*). Ez úgy lehet, hogy az akadályok a mederesést lecsökkentik, így a mederben lecsökken a

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

hordalékszállítási kapacitás, ezért az akadály felvízi szakaszán hordalék-csapdázódás történik. Akadály lehet például egy sziklazúgó (sziklamedence), hiszen belőle a hordalék nem vagy csak nehezen jut ki, de akadályként viselkednek az uszadék dugók, hordalékdugók, mederfeltöltések, a túlszélesedett medrek vagy a völgyzárógátak. Mivel mederben lévő formákról van szó, az akadályok a puffereknél kisebb kiterjedésűek (10-[32]) és a szétkapcsoltság ideje is rövidebb (1-100 év). Az akadályokat a nagyobb árvizek elmoshatják helyükről, de ritkán szűnnek meg teljesen, hiszen a hordalék pulzusonként áttevődhet, és új helyen képződik belőlük akadály.



Akadály	Akadály típusa	Aktivitás
1	Völgyzáró gát	A
2	Áteresz (1)	A
3	Áteresz (2)	A
4	Áteresz (3)	A
5	Csörgő szurdok	B
6	Völgyet keresztező fatörzsek	B
7	Széles völgytalp (1)	B
8	Széles völgytalp (2)	B
9	Völgyszűkület a település fölött	B

47. ábra. A Csörgő-patak vízgyűjtőjén kis- és középvízkor (A) illetve kisvízkor (B) funkcionáló akadályok (forrás: Bojtok 2012)

A *takarók* a vertikális kapcsolatokat gátolják, a felszín és a felszín alatti kapcsolatok megszűntetésével. A takarók megvédenek bizonyos formákat az eróziótól és elszállítástól, azaz az üledékcsapda jelleget erősítik. Mindezt a hordalék elszállításának gátlásával érik el. Ez csak úgy lehetséges, ha a takaró megváltoztatja a felszínen lévő hordalék szemcseméretét, amely a felszín hidrológiai tulajdonságaira hat. A mederben agyagréteg vagy mederpáncél lehet az a forma, ami akadályozza az alatta lévő hordalékok mobilizációját (*48. ábra*), míg ugyanezt a funkciót az ártéren a felszínre rakódott iszap- és agyagtakaró töltheti be. Takarók főleg a síkvidéki vízfolyások mentén alakulnak ki, s igen változatos méretűek (néhány m^2-től km^2-es nagyságrendig) és életidejűek lehetnek (egy évtől ezer évekig). Mivel a mederben és az ártéren is előfordulnak, ezért a takarók megszüntetője, a takaró anyagának mobilizálója egy-egy árvíz, illetve az árterek laterális eróziója is lehet.

48. ábra. Mederpáncélzat a Hernádon Zsujtánál (fotó: Blanka V. 2008)

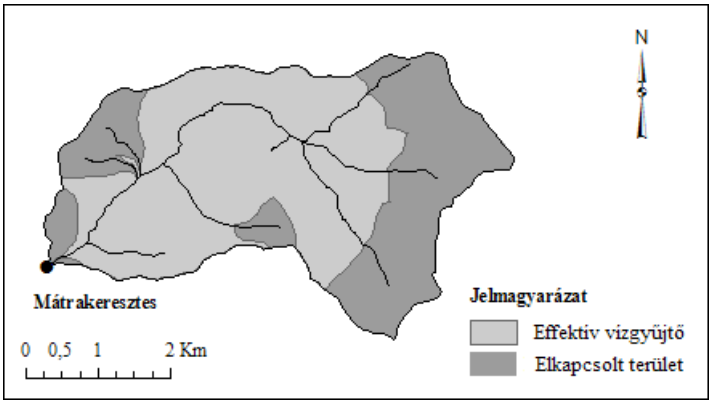
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2.3. 12.2.3. A szétkapcsoltság hierarchikus jellege

A szétkapcsoltság a rendszer különböző *hierarchia szint*jein valósulhat meg. Létezik formán belüli szétkapcsoltság: például a völgyoldalon lévő lejtő közepén vízszintesen futó mezsgye vagy bokros sáv megakadályozza a fentről leerodált anyag lejjebb jutását. Formák közötti szétkapcsoltságra példa, ha a völgyoldal lejtőjét egy keskeny ártér vagy mocsár választja el a medertől. A (rész)rendszerek közötti szétkapcsoltság felléphet úgy, ha a például egy vízfolyást egy völgyzárógát zár el, így az onnan származó hordalék nem juthat el az erózióbázishoz, tehát a részvízgyűjtő nem kapcsolódik a teljes vízrendszerhez. Természetesen a szétkapcsoltságot okozó elemek időben és térben is változnak. Időben változhat a hatásfokuk, míg térben az elhelyezkedésük és a számuk.

3. 12.3. A tényleges (effektív) vízgyűjtő

A *vízgyűjtő* hagyományos definíciója szerint (ahonnan a főfolyó a mellékfolyóival együtt összegyűjti vizeit) a vízgyűjtő minden egyes pontjáról jut anyag a vízgyűjtő kijáratánál lévő helyi erózióbázisig. Azonban a (szét)kapcsoltság miatt a teljes vízgyűjtő jelentősen különbözhet a *tényleges (effektív) vízgyűjtő*től (*49. ábra*). Ez utóbbi tehát úgy definiálható, mint a teljes vízgyűjtő azon része, amelyről adott időszakban víz és anyag juthat az erózióbázisig. A tényleges vízgyűjtő mérete a teljes vízgyűjtőhöz képest vízgyűjtőnként változik, attól függően, mennyi tér- és idő van a PATok (Puffer-Akadály-Takaró) kialakulására. Tehát a PATok hatásfoka az elzárt terület arányából számítható.



49. ábra. A Csörgő-patak effektív vízgyűjtő területe közepes vízállás esetén az akadályok, pufferek és takarók figyelembe vételével (forrás: Bojtok 2012)

Általában minél nagyobb a vízgyűjtő és minél hosszabb a folyó, annál valószínűbb az összekapcsoltság, hiszen a folyórendszernek elég energiája (vízhozama) van a PATok áttörésére. A már szétkapcsolt részvízgyűjtőknek annál valószínűbb az újbóli összekapcsolódása a teljes vízgyűjtőhöz, minél közelebb van a mellékfolyó a fővölgyhöz (pl. 1 és 5. rendű vízfolyás egymásba torkollása). A PAT térbelisége tehát meghatározza a tényleges vízgyűjtő területet, a táji elemek közötti kapcsolatot (ezért azok különböző módon és különböző hatásfokkal működnek) és alapvetően befolyásolja a tájérzékenységet és az agressziós hullám haladását.

Az *effektív idő* annak a zavaró hatásnak a visszatérési ideje, ami elég a PATok eltávolításához, tehát a rendszer megváltoztatásához, így az effektív idő megegyezik a PATok életidejével.

Az, hogy a PATok mikor számolódnak fel, azaz a *szétkapcsolt állapot mikor szűnik meg*, az függ a (1) pufferek, akadályok és takarók nagyságától, tulajdonságaitól, a vízgyűjtőn belül elfoglalt helyzetüktől és egymáshoz való viszonyuktól, hiszen a hordalék átdolgozása átrendezheti a PATok térbeliségét és jellegét, így a hordalék források és csapdák helye áttevődhet.

A szétkapcsoltság megszűnése függ a (2) zavaró hatás gyakoriságától és hatékonyságától is (ezt befolyásolja az esés, ami megnyilvánul például a vízhozamban és a folyó eróziós képességében, de az emberi hatás mértéke is fontos lehet). A PATok felfoghatók egyfajta kapcsolórendszerként is, amelyek máshogy működnek különböző eseményekkor. Kisebb, és általában gyakori események végighaladását a rendszer egészén általában még meggátolják a PATok, így ilyenkor a szétkapcsoltság jelentős és a tényleges vízgyűjtő kicsi. Ugyanakkor ritkán előforduló, nagy magnitúdójú eseményekkor a PATok jelentős része szétesik, a zavaró hatások végigfuthatnak a rendszeren, hiszen nagy a tényleges vízgyűjtő (bár egyes elemek még most sem kapcsoltak). A PATok térbelisége és erőssége határozza meg tehát, hogy az anyag hogyan és mikor jut tovább.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Végül a rendszer szétkapcsoltsága attól is függ, hogy (3) a külső küszöbértékekhez képest a rendszer hol helyezkedik el, milyen egyensúlyi állapot jellemző rá.

3.1. 12.3.1. Vízgyűjtő típusok a (szét)kapcsoltság mértéke alapján

A vízgyűjtők (szét)kapcsoltsága alapvetően az eséstől függ, de jelentősen befolyásolja a lefolyásviszonyokon keresztül a klíma, a növényzet, kőzettani felépítés és az emberi hatások is. Az erősen kapcsolt és szétkapcsolt tájak főbb tulajdonságait az *7. táblázat* tartalmazza.

7. táblázat. Az erősen kapcsolt és szétkapcsolt tájak főbb tulajdonságai

	Erősen kapcsolt rendszer (táj)	*Erősen szétkapcsolt rendszer (táj)*
PAT életidő (pihenőidő)	rövid	hosszú
PAT átalakulás sebessége	gyors	lassú
Szétkapcsoltság ideje	rövid	hosszú
Üledék átdolgozás sebessége	gyors	lassú
Tényleges vízgyűjtő aránya a teljes vízgyűjtőhöz képest	nagy	kicsi
Agressziós hullám haladása	gyors	lassú
Felszínfejlődés	dinamikus	lassú (pl. szemiarid, síkvidék)
Vízfolyássűrűség	nagy	kicsi
Felszabdaltság	nagy	kicsi (innen kevés hordalék)
A hordalék eredete	hátravágódás, tömegmozgás	allúviumba vágódás, parterózió
Hordalékszállítás volumene	intenzív (sok hordalék + nagy esés)	lassú (csak ritka, nagy csapadékkor)
Ártér átdolgozási idő	rövid	hosszú

4. 12.4. A szétkapcsoltság rendszerszemléletű értékelése

A szétkapcsoltság rendszerszemléletű értékelésének legfontosabb megállapításai a következők:

- A (szét)kapcsolt állapot rendszerekben tükrözi a rendszer energia állapotát, érzékenységét a zavaró hatásokra és küszöbérték közeli állapotát.
- A kapcsolódó elemek (PAT) elhelyezkedése befolyásolja a rendszer potenciális válaszait a zavaró hatásokra. A szétkapcsoló elemek befolyásolják az agressziós hullám terjedését, hiszen az megállhat vagy lassulhat a PATokon. Ahol megáll az agressziós hullám, ott van a tényleges vízgyűjtő határa.
- A szétkapcsoltság miatt a rendszerek nem lineáris válaszokat adnak. Ezért lehet az, hogy például egy parcelláról leerodált anyagmennyiség felszorzása a vízgyűjtő egészére „felül”becsléshez vezet, hiszen az anyag megáll a PAToknál.
- A pufferek-akadályok-takarók hatásossága idős- és térfüggő. Azaz minél kisebb a PAT, annál nagyobb (effektívebb) a tényleges vízgyűjtő.
- A vízgyűjtőn a PATok átrendeződése a rendszer válaszadását módosíthatja.
- A PATok elhelyezkedésének ismerete segíti a rendszer ellenállásának becslését is.

5. 12.5. Antropogén tevékenység és (szét) kapcsoltság

A szétkapcsoló elemeket az emberi tevékenység megszűntetheti, de akár új szétkapcsoló elemeket is létrehozhat a tájban. A PATok időbeli érzékenysége (potenciális életideje) határozza meg, hogy milyen mértékben képes az antropogén tevékenység megváltoztatni. A kisebb-nagyobb szétkapcsoló elemek elrombolásával az ember

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

okozhat összekapcsoltságot is, így növelve a tényleges vízgyűjtőt. Ilyen tevékenység a medrek összekötése és kotrása, a nagy mennyiségű szerves- és szervetlen anyagot elnyelő mocsarak lecsapolása.

Ugyanakkor az ember is okozhat szétkapcsoltságot, amikor völgyzárógátakat, mesterséges tavakat, árvízvédelmi töltéseket, kiemelt utakat és vasutakat épít. De az oldalirányú kapcsolatokat gátolja az is, ha például az öntöző- és belvízelvezető csatornák kotrása során a mederkotrás anyagát a vízfolyás mentén halmozza fel, így akadályozva meg például a belvizek bejutását a vízrendszerbe.

Az antropogén tevékenység érintheti az effektív időt is, amin belül a kapcsoltság helyreáll. Például erdőirtás után a heves záporok a vízmosások gyors fejlődését okozhatják, így a korábban a völgytől szétkapcsolt lejtő kapcsolódhat a folyómederhez.

6. 12.6. A (szét)kapcsoltság gyakorlati alkalmazása

Az első, amit meg kell említenünk, hogy bármilyen anyag térbeli mozgását csak úgy lehet **modellezni**, ha a PAT-okat figyelembe vesszük. Enélkül az eredmények nagyobb területre való kivetítése téves eredményt ad, hiszen az extrapolációval a modellek „túl”becsülik az adott anyag térbeli változásait. Sajnos, a pufferek-akadályok-takarók vízgyűjtő specifikus információt jelentenek, hiszen térbeli elterjedésük és nagyságuk vízgyűjtőnként változik, ráadásul időben sem állandóak. Ezért egy jól működő modell felállításához elengedhetetlen a térbeli vizsgálatuk.

A (szét)kapcsoltság egyik legfontosabb felhasználása az újfajta térbeli szemléletet követő***hidrológiai vizsgálatok***során történhet. A (szét)kapcsoltságot fontos beépíteni a *lefolyás-számítás*ba és az *árvízi előrejelzés*be, hiszen a lefolyó víz mennyisége és a hordalékszállítás csak így becsülhető pontosabban a korábbiaknál. A *folyószakaszok helyreállítása* során is hasznos lehet a kapcsoltság ismerete, hiszen itt a cél az lehet, hogy az ártér és a meder kapcsoltsági viszonyai javuljanak, illetve ha mocsarak helyreállítása a cél, akkor a területüket szét kell kapcsolni a lefolyástól. Ha az a cél, hogy a patakok természetesebbé váljanak, akkor a nagyobb fokú kapcsoltság lehetővé teszi a gyors üledékátdolgozást és ezen keresztül a gyors (természetes) regenerációt. A helyreállított árterek és medrek jövőbeli változásai is csak kapcsoltsági alapon jelezhetők előre. A *paleo-hidrológiai vizsgálatok* során is figyelembe kellene venni, hogy a rendszer kapcsoltsági viszonyainak változása is okozhat hidrológiai változást (igazándiból egyesíti a vízgyűjtőt érő hatásokat – *50. ábra*).

50. ábra. A Csörgő-patak modellezett lefolyásgörbéje a teljes és effektív vízgyűjtőre 50 mm-es csapadék esetén (forrás: Bojtok 2012)

A **tájtervezés** egyik alappillére, hogy az emberi tevékenység milyen változásokat indít el a tájban, ezekre a zavaró hatásokra a táj hogyan reagál, mennyire érzékeny. A tájérzékenység csak kapcsoltsági alapon értelmezhető, hiszen az érzékeny táji rendszereket erős kapcsolatok és nagy effektív vízgyűjtő jellemzi, miközben a kevésbé érzékeny tájak erősen szétkapcsoltak, így a zavaró hatás nem vagy nagyon lassan halad a rendszerben. Tehát a kapcsoltág megadja a zavaró hatások hatósugarát és pufferzónáit, ezen kívül szétkapcsoltnak tekinthető a terület. Ha kevés az anyag a táji rendszerben (azaz a rendszer „forrás limitált”), akkor nem érzékeny a zavaró eseményekre, viszont ha sok az anyag a rendszerben akkor a szállítóképesség limitált, és esemény-érzékeny a rendszer.

A gyakorlati életben is több helyen alkalmazható a kapcsoltság, hiszen így vizsgálható a például a folyóvizek tápanyag- és szennyezőanyag mozgása, az öko-folyosók kapcsolatai (pl. halak vándorlása), vagy a tápanyag körforgás.

7. Önellenőrző feladatok

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Válaszoljon az alábbi kérdésekre!

1. A vízgyűjtők milyen jellegű rendszerként foghatók fel a környezetükhöz való viszonyukat tekintve?

A: izolált

B: zárt

C: nyitott

2. Mely mérnöki létesítmény befolyásolhatja leginkább a folyók hordalékszállító képességét, azaz összefüggő rendszerként való működését?

A: völgyzárógát

B: árvízvédelmi töltés

C: sarkantyú

D: partbiztosítás

3. A mennyiben egy mederrészletet kibetonoznak, akkor milyen szétkapcsoló elemet hoznak létre?

A: puffer

B: akadály

C: takaró

D: puffer és akadály együttesen

4. Melyik táj vízgyűjtői lehetnek a leginkább összekapcsoltnak?

A: Mátra

B: Cserehát

C: Kiskunság

D: Sárrét

5. 2000 tavaszán egy zagytároló gátja áttört, és a ciánt is tartalmazó víz a Borsavába, majd a Tiszába jutott. Bár egyre hígult, mégis az egész folyórendszeren levonulva kipusztította az akkor aktív vízi élőlényeket. A vízgyűjtők kapcsoltsági viszonyainak ismeretében hogyan lehetett volna minimalizálni a károkat és hogyan lehetett volna a szennyeződés levonulását meggátolni?

A: Puffer beépítése

B: Akadály beépítése

C: Takaró beépítése

D: Kapcsoltság javítása

6. Milyen éghajlaton fordulhatnak elő a legkisebb tényleges vízgyűjtők a valódi, domborzatilag meghatározott vízgyűjtőhöz képest?

A: óceáni

B: nedves kontinentális

C: tajga

D: mérsékeltövi sivatagi

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

7. Ha a Kárpát-medencében csökkenteni szeretnénk a vízhiányt, akkor hogyan érdemes megváltoztatni a vízfolyásokat?

A: Lefolyást növelni kell összekapcsoló elemekkel

B: Takarók beépítésével csökkenteni kellene a beszivárgást

C: Akadályok beépítésével vissza kellene duzzasztani a patakokat, folyókat

D: Üledékcsapdákkal kellene az ártérfeltöltődést gyorsítani

8. A vízgyűjtőn mi nem lehet a vízrendszert összekapcsoló elem?

A: eróziós barázda

B: löszmélyút

C: vízmosás

D: árvízvédelmi töltés

9. Hol csapdázódhat leghosszabb ideig valamilyen szennyező anyagot (pl. kolontári vörösiszap) tartalmazó hordalék?

A: övzátonyban

B: mederközepi zátonyban

C: ártéren

D: folyóháton

10. A felszín lebetonozása (pl. áruházak parkolójában) milyen jellegű kapcsolatokat gátol meg?

A: longitudinális

B: vertikális

C: horizontális

D: nem gátol semmiféle kapcsolatot

Megoldások:

1. C

2. A

3. C

4. A

5. B

6. D

7. C

8. D

9. C

10. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

13. fejezet - A szén- és az oxigénciklus

1. 13.1. A szénciklus

Bár a szén és az oxigén különböző vegyületekben összekapcsolódik a természetben, első megközelítésben mégis külön tárgyaljuk a körfolyamataikat. A szén a légkörben legnagyobb mennyiségben CO_2 formájában van jelen, de említésre méltó a CH_4 (metán) koncentrációja is. A talajban és az élővilágban a szerves szénvegyületek rendkívül változatos molekulaszerkezeteket alkotnak, míg a litoszférában a $CaCO_3$ (mészkő) és a $CaMg(CO_3)_2$ (dolomit) a leggyakoribb vegyületek.

Megjegyezzük, hogy mi csak az ún. exogén szénciklussal foglalkozunk, a Föld belső szféráinak részben feltáratlan szénciklusával nem.

A különböző természetes szénraktárak széntartalmának meghatározása a szakirodalomban még nagyobb különbségeket mutat, mint a vízraktáraknál láttuk (*8. táblázat*).

8. táblázat. Néhány fontos természetes raktár széntartalma (10^9 t) különböző szerzők szerint

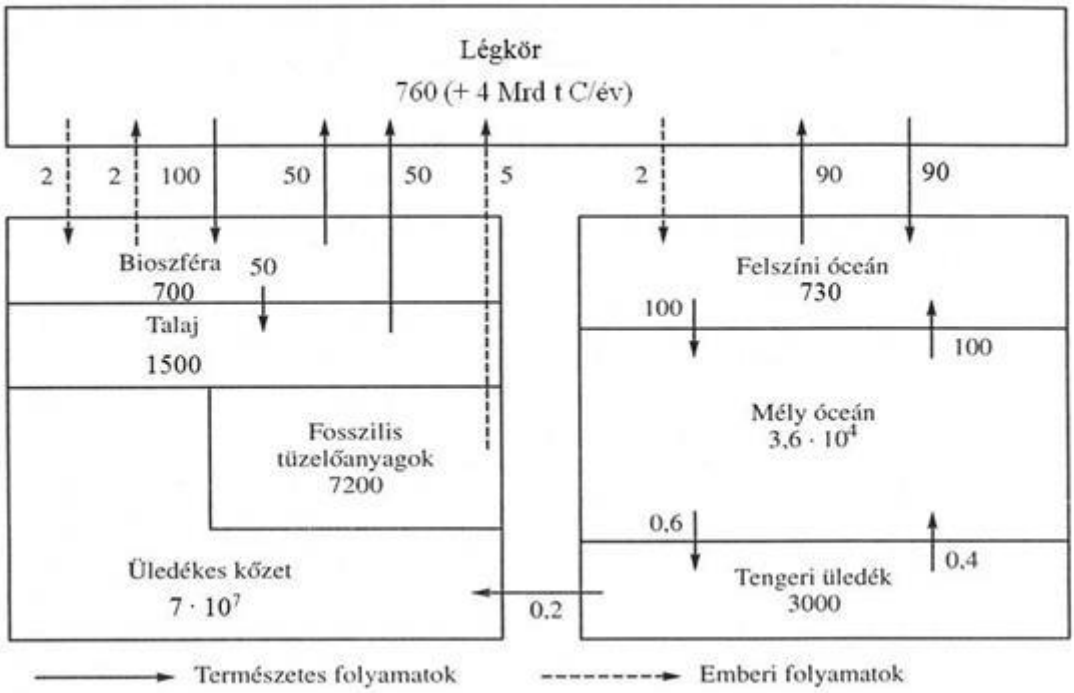
	Atmoszféra	Élővilág	Talaj	Felszíni óceán	Kőzetek
Emanuel et al 1984	615	731	1238	842	
Papp-Kümmel 1988	700	800	1200	–	$6 \cdot 10^7$
O'Neill 1985	735 (+3/év)	560	1200–1400	725	$9 \cdot 10^7$
Mészáros 2001 (Bolin és mások nyomán)	760 (+3/év)	650	2000	620	$5 \cdot 10^7$
Korrigált értékek	760 (+4/év)	700	1500	730	$7 \cdot 10^7$

Az atmoszféra széntartalmát ismerjük a legpontosabban, bár első ránézésre a táblázat különbségei ezt cáfolni látszanak, hisz a legkisebb ($615 \cdot 10^9$t) és a legnagyobb érték ($760 \cdot 10^9$t) közötti eltérés arányaiban nem különbözik lényegesen az élővilág, a talaj és a felszíni óceán adataitól. Van azonban egy fontos különbség ez utóbbiakkal szemben: a légköri széntartalom folyamatosan növekszik, s ha *Emanuel* és szerzőtársai adatait figyelmen kívül hagyjuk, a többi szerző adatai teljesen összhangban vannak. Ehhez azt is hozzá kell tennünk, hogy *Papp* és *Kümmel* 1988-ban publikált adatai évekkel korábbi számítások eredményeit tartalmazzák. Az atmoszféra széntartalmának növekedését átlagosan $3 \cdot 10^9$t/év-ben határozták meg a különböző szerzők, ami az utóbbi tíz évben közel $4 \cdot 10^9$t/évre növekedett. Magát a légköri átlagos CO_2-koncentrációt jól ismerjük (2009-ben 380ppm), mivel azt a Föld számos pontján folyamatosan mérik.

A szén globális körforgása tulajdonképpen két körfolyamatban játszódik le, így külön is beszélhetünk szárazföldi szénciklusról, ill. helyesebben a szénciklus szárazföldi részéről, valamint az óceáni szénciklusról (a szénciklus óceáni részéről). A két körfolyamat három helyen is kapcsolódik egymáshoz (*51. ábra,* 11. animáció). A szárazföldek és az óceánok is „szénanyagcserét" folytatnak a légkörrel, ezenkívül a talajerózió révén az óceánokba említésre méltó mennyiségű szén kerül a szárazföldekről, s végül a tengeri üledékekből lassú ütemben karbonátos kőzetek keletkeznek.

Az *51. ábráról és a* 11. animáció láthatjuk, hogy a szénciklus „motorja" a fotoszintézis. Ez a szárazföldi növények esetében 100 Mrd t/év szénfelvételt jelent a légkörből szén-dioxid formájában, s bár közel ennyit nyel el a világóceán is, azt csak kb. felerészben használják a vízi növények fotoszintézisre, a többi vízben oldódik, ill. a fizikai-kémiai folyamatoknak megfelelően visszajut a légkörbe.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



51. ábra. A szénciklus. Az ábrán a tározók értékeit Mrd t szénben, a fluxusokat Mrd t C/évben adtuk meg. A szaggatott nyilak az emberi tevékenységet reprezentálják, míg a légkör esetén a zárójeles szám az antropogén szén felhalmozódását adja meg (Mészáros, 2001a nyomán, módosítva).

A vízi élővilág légzése ugyancsak azt eredményezi, hogy a légkörbe a víz közvetítésével szén-dioxid kerül. A világóceán esetében e kétirányú folyamatok nincsenek teljesen egyensúlyban egymással: 93 Mrd t/év a szénbevétel és 90 Mrd t/év a kiadás. Egyelőre nem pontosan tisztázott a különbség oka. Azt azonban szénizotópos mérések alapján tudjuk, hogy a felszíni óceán (az ún. kevert réteg) a középső és mélységi óceánnal szénkicserélést folytat, mégpedig a légkör-óceán széncserénél is jelentősebbet (100 Mrd t/év fluxus). Az óceánnak ez utóbbi része sokkal nagyobb szénraktár, mint a felszíni kevert réteg, s széntartalmának kis részét, csekély fluxussal (0,6 Mrd t/év) a tengeri üledékekbe továbbítja, miközben onnan ennél kevesebb (0,4 Mrd t/év) jut vissza a vízbe. A tengeri üledék ugyancsak jelentős szénraktár, s az üledékes kőzetek képződése során 0,2 Mrd t/év a karbonátos kőzetek tömegét növeli. Ez utóbbiak a Föld legnagyobb szénraktárai, s mállásuk során valamennyi szén valószínűleg visszakerül a légkörbe, de ennek mennyiségét egyelőre nem tudjuk megbecsülni.

A szénciklus szárazföldi részében a növények 100 Mrd t/év szenet vesznek fel fotoszintézisükhöz, s ennek felét visszajuttatják a légkörbe légzésük során: pontosabban a táplálékláncon keresztül az állatok, sőt az emberek légzésével együtt kerül vissza közel 50 Mrd t/év szén a légkörbe. Az erdőirtások egyrészt csökkentik a globális biomasszát, másrészt hozzájárulnak a légköri széntartalom növekedéséhez. Az élővilág elhalt egyedei, ill. a lehulló lomb évente 50 Mrd t szenet juttatnak a talajba. Itt a széntartalmú vegyületek átalakulásokon mennek át, s ezek eredményeként közel ugyanennyi szén vissza is jut a légkörbe. A talajban nagy mennyiségű szén-dioxid keletkezik a mikrobiológiai folyamatok során, a gyökérlégzés alkalmával és az avarban lejátszódó bomlás következtében. A talaj hatalmas szénraktár (bár, mint a *6. táblázatból* kiderül: széntartalmának becslése elég tág határok között mozog), de az emberi tevékenységek hatására felgyorsult erózió miatt évente 1 Mrd szenet veszít: az erózióval elszállított talajrészecskék humusztartalmában kötött formában van jelen a szén, amelyet a vízrendszerek végső soron a világóceánba szállítanak.

Az emberi tevékenységek közül a fosszilis energiahordozók elégetése járul hozzá legnagyobb mértékben a szénciklus módosításához: évente legalább 7 Mrd tonna szén kerül a légkörbe ezen az úton, s járul hozzá legnagyobb mértékben az üvegházhatás fokozódásához.

Jogosan merülhet fel a kérdés, hogy a korábban említett metán hol fedezhető fel az előzőkben leírt szénciklusban. A válasz legegyszerűbben úgy fogalmazható meg, hogy két okból sem jelenik meg a metán: 1. nagyságrendekkel kisebb a légköri mennyisége, koncentrációja, mint a szén-dioxidé(1,7 ppm, szemben a szén-

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

dioxid 380 ppm-es koncentrációjával), kémiai átalakulások során a metánból szén-monoxid majd szén-dioxid keletkezik, így annak mennyiségét növeli.

Mindezek ellenére szükséges foglalkoznunk a metán légköri forrásaival, mert a szén-dioxidhoz képest a metánnak sokkal jelentősebb az üvegházhatása.

A metán az oxigén nélküli (anaerob) bomlás terméke, legnagyobb forrásai a természetes mocsaras területek és a rizsföldek (*9. táblázat*), de mellettük több más jelentős forrás is működik.

9. táblázat. A metán globális légköri forrásai (millió t/év C) Mészáros (1993) nyomán

Forrás	Emisszió	Forrás	Emisszió
Mocsarak	100	Termeszek	30
Rizsföldek	90	Biomassza égetése	30
Kérődzők	60		
Földgázipar	50	Szénbányászat	30

Az állattenyésztés (ezen belül különösen a szarvasmarha-tartás) nagyobb kibocsátással jár, mint a földgázipar, holott a földgáz meghatározó alkotórésze a metán, s egyre szélesebb körben terjed a földgáz használata. A termeszek, a biomassza égetése és a szénbányászat együttvéve is csak annyi emissziót produkálnak, mint a rizsföldek.

Bár a mocsarakból felszabaduló metán nem sokkal több, mint a rizsföldekről származó mennyiség, a *permafrost* (állandóan fagyott talaj) egyre nagyobb mértékű felolvadása (ami éppen a globális felmelegedés következménye) lényegesen megnövelheti a mocsarak területét, s ezáltal a metán-kibocsátást. A *9. táblázatban* nem szerepel a – feltételezések szerint – legnagyobb metánraktár: a tengerekben nagy mennyiségben jelen lévő *metán-hidrát*. Ez a labilis molekula a hőmérséklet emelkedésére hirtelen széteséssel reagálhat nagy mennyiségű (bár még közelítően sem meghatározott tömegű) metánt bocsátva a légkörbe. (A metán szerepére a globális éghajlati rendszer működésének tárgyalásakor még visszatérünk.)

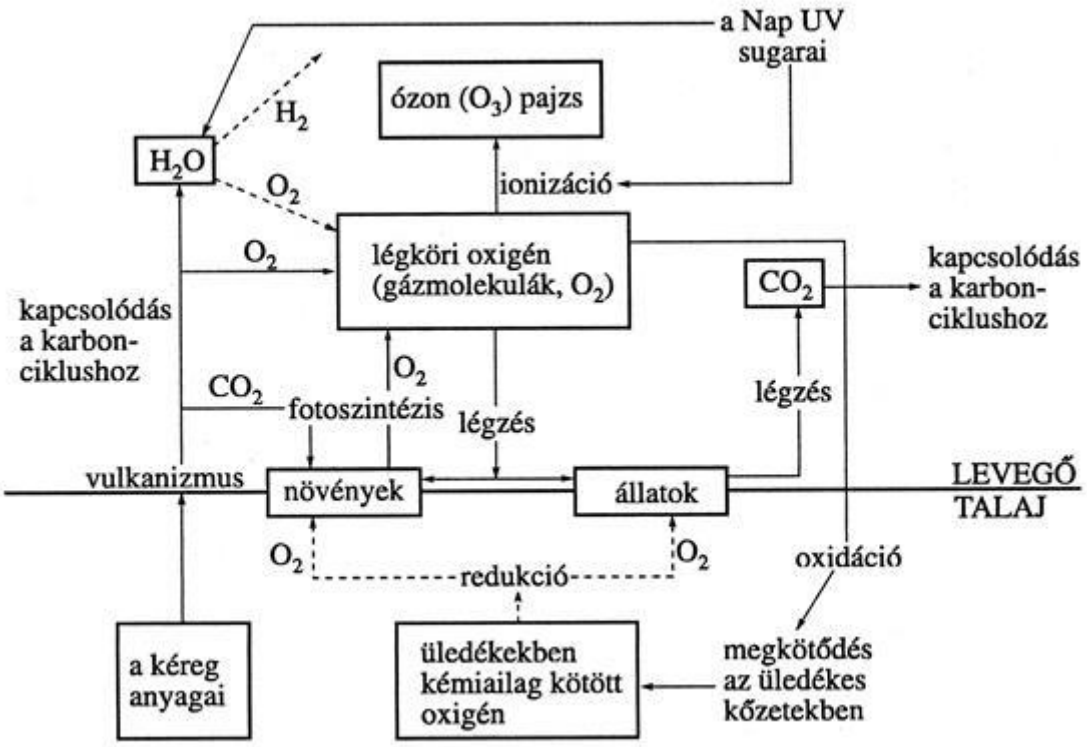
2. 13.2. Az oxigénciklus

A szén mellett az élet másik alapvető eleme az oxigén. A természetben túlnyomórészt kétatomos oxigénmolekulában fordul elő szabadon, míg vegyületeiben, kötött állapotban nagyon széles körben elterjedt a Földön (H_2O, SiO_2 stb.). Az oxigén elég reakcióképes ahhoz, hogy sok más elem geokémiai ciklusában is szerepet játsszon. Ezt láthattuk a karbonciklusnál is, ahol a CO_2 a szén mozgásában a legfontosabb funkciót töltötte be.

Mint az előzőkben láttuk, a légkör mai oxigéntartalma a földtörténet során a fotoszintézis széleskörű elterjedésével alakult ki. A földi légkör közel 21%-os oxigénkészletére a napsugárzás nagyenergiájú ultraibolya (UV) tartománya fizikai, kémiai hatással van, melynek eredményeként a kétatomos oxigénmolekulák egy része széthasad, majd egy-egy oxigénatom a kétatomos molekulákkal reakcióba lépve háromatomos ózonná alakul (O_3). Az ózon nagyon labilis molekula, amely szüntelenül képződik és elbomlik. A légkör 15–50 km magasságú rétegében többé-kevésbé állandó (nagyon kicsi, de a légkör többi rétegéhez képest mégis jóval nagyobb) koncentrációban fordul elő, s az ún. *ózonpajzsot* alkotja, amely az élővilágot védi az UV-sugarak legveszélyesebb hullámhosszú tartományától. (Az ózonpajzs veszélyeztetését a nitrogénciklusnál tárgyaljuk.)

Az élővilág a fotoszintézis útján oxigént juttat a környezetébe, a légzés során pedig felhasználja azt (*52. ábra,* 12. animáció). Ez ma egyensúlyi állapotot idéz elő a légkörben, ugyanakkor a földtörténet során hosszú időn át növekedett a légkör O_2-tartalma. Ebben a földkéreg üledékes kőzeteinek képződése játszott szerepet. Az elhalt növények és állatok testének felhalmozódásával szén került a karbon-ciklus geológiai „raktárába”. Minden ilyen szénatom két oxigénatomot szabadított fel, s ezáltal növekedett a légkör O_2-tartalma. Ezzel ellentétes folyamat is hatott: a légköri oxigén a földkéreg anyagainak oxidálásával kémiailag megkötődött a kőzetekben (*52. ábra,* 12. animáció). Hosszú idő után beállt az egyensúly, s ma a Föld oxigénraktáraiban olyan mennyiségű oxigén található, hogy ha valamilyen okból megszűnne a fotoszintézis, még millió éveken át fennmaradna a jelenlegihez képest alig csökkenő légköri oxigénkoncentráció. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése – miközben a légköri CO_2-tartalom növekedéséhez vezet – gyakorlatilag nincs hatással az oxigéntartalomra, mivel az égéssel megkötött oxigén annyira jelentéktelen a légköri oxigénkészlethez képest.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



52. ábra. Az oxigénciklus kapcsolódásai a szénciklushoz (O'Neill, 1985)

3. Önellenőrző feladatok

Többszörös választás. Állapítsa meg, hogy az alábbi lehetőségek közül melyik a helyes!

A) *az 1., a 2. és a 3. állítás igaz*

B) *az 1. és a 3. állítás igaz*

C) *a 2. és a 4. állítás igaz*

D) *a 4. állítás igaz*

E) *mindegyik állítás igaz*

1. 1) A növények évente 100 Mrd t szenet vesznek fel a fotoszintézisükhöz, s a légzésük során ugyanennyit vissza is juttatnak a légkörbe.

2) Az atmoszféra széntartalmának átlagos növekedési üteme: 14 x 10^9 t/év.

3) A litoszféra elsősorban szerves szénhidrátokat tartalmaz.

4) Az óceán felszíni és mélységi víztömege között jelentősebb mértékű a széntranszport, mint a légkör és az óceán között.

2. 1) A karbonátos kőzetek a Föld legnagyobb szénraktárai.

2) A szárazföldi szénciklus és az óceáni szénciklus mindössze egy ponton, a légkörön keresztül kapcsolódik össze egymással.

3) A szénciklus motorja a fotoszintézis.

4) Az óceánok évente mintegy 450 Mrd tonna szenet vesznek fel a légkörből.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

3. 1) Az erdőirtások hozzájárulnak a légköri szén-dioxid koncentráció csökkenéséhez.

2) A talajban nagy mennyiségű szén-dioxid keletkezik a bomlási folyamatok során.

3) A gyökérlégzés során nem keletkezik szén-dioxid.

4) A talaj hatalmas szénraktár, jóval több szenet tartalmaz, mint a teljes bioszféra.

4. 1) Az emberi tevékenységek közül a fosszilis energiahordozók elégetése járul hozzá legnagyobb mértékben a szénciklus módosításához.

2) A fosszilis energiahordozók elégetésével évente mintegy 7 Mrd tonna szén-dioxid kerül a légkörbe.

3) A metánnak egységnyi térfogatra vonatkoztatva sokkal erősebb az üvegházhatása, mint a szén-dioxidnak.

4) Az állattenyésztés nagyobb metánkibocsátást eredményez, mint a földgázipar.

5. 1) Jelenleg a mocsarakból valamivel több metán szabadul fel, mint a rizsföldekről.

2) A tengerekben nagy mennyiségű metán-hidrát található.

3) A hőmérséklet emelkedése következtében a metán-hidrátból metán szabadulhat fel.

4) A permafrost felolvadása hozzájárulhat a metánkibocsátás csökkenéséhez.

Relációanalízis. Az alábbi feladatban összetett mondatokat talál, melyek első tagmondata az állítás, második tagmondata pedig az indoklás. Válassza ki az alábbi variációk közül azt, amely Ön szerint igaz az egyes mondatok esetében!

A) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, és közöttük ok-okozati kapcsolat* ***van***

B) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***igaz****, de* ***nincs*** *közöttük ok-okozati kapcsolat*

C) *az állítás* ***igaz****, az indoklás azonban* ***hamis***

D) *az állítás* ***hamis****, az indoklás azonban önmagában* ***igaz***

E) *az állítás és az indoklás egyaránt* ***hamis***

6. A talaj széntartalma évente mintegy 1 Mrd tonnával csökken, mert a humuszanyagok a talajerózió következtében a folyókba, végső soron pedig az óceánokba kerülnek.

7. A rizsföldek jelentős metánkibocsátással rendelkeznek, mert a metán az oxigén jelenlétében végbemenő (aerob) bomlás során keletkezik, aminek a rizsföldeken a terület elárasztása miatt adottak a feltételei.

8. Az oxigén sok elem geokémiai ciklusában is szerepet játszik, mert a Földön fennálló körülmények között meglehetősen reakcióképes elemnek számít.

9. A sztratoszférában (15-50 km-es magasságban) található ózon az élővilág szempontjából nagy jelentőségű molekula, mert az ózonpajzs képes megvédeni az élővilágot az UV-sugarak legveszélyesebb hullámhosszú tartományától.

10. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése több százalékkal is csökkentheti a légkör oxigéntartalmát, mert az égés során szén-dioxid keletkezik.

Megoldások:

1. D

2. B

3. C

4. E

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5. A

6. A

7. C

8. A

9. A

10. D

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

14. fejezet - A nitrogénciklus és az ózonlyuk

A nitrogén az élővilág számára ugyanolyan nélkülözhetetlen elem, mint a szén vagy az oxigén. A nitrogén fontos alkotórésze a nukleinsavaknak, az aminosavaknak és a fehérjéknek, így feltétlenül szükséges, hogy az élőlények környezetükből képesek legyenek felvenni ezt az élet szempontjából meghatározó elemet. A talaj termékenységében meghatározó szerepet játszó humuszmolekulák fontos építőeleme, a légkörben pedig a legnagyobb mennyiségben előforduló gáz. Az élőlények többsége a légköri nitrogént nem tudja felvenni, de egyes baktériumfajok (pl. Rhizobium, Azotobacter, Clostridium) meg tudják kötni, ill. be tudják építeni testükbe. A legnagyobb mennyiségű nitrogént a pillangósvirágúak gyökérgümőiben élő Rhizobium fajok kötik meg: egy részét tárolják, más része beépül a gazdanövény szervezetébe. Más magvas növényeknél is előfordulnak szimbiózisban élő nitrogénfixáló mikroszervezetek. Kevesebbet tudunk a vizekben élő szervezetek nitrogénkötő képességéről. Vannak olyan kékalgák, amelyek a fotoszintézis mellett a molekuláris nitrogént is meg tudják kötni.

Az említett mikroszervezetekbe és onnan a növényekbe került nitrogént e szervezetek pusztulása után más mikroszervezetek mineralizálják. Először ammónia vagy ammóniumsók keletkeznek (ammonifikáció), később oxigén jelenlétében az ammónia nitritté, majd nitráttá alakul. Az ammónia, az ammóniumsók, a nitritek és nitrátok a növények számára felvehető és beépíthető formában tartalmazzák a nitrogént, így szervezetükben felépülnek a létfontosságú fehérjék és egyéb vegyületek. Az állatok és az ember a szerves nitrogénvegyületeket csak a növényekből vehetik fel.

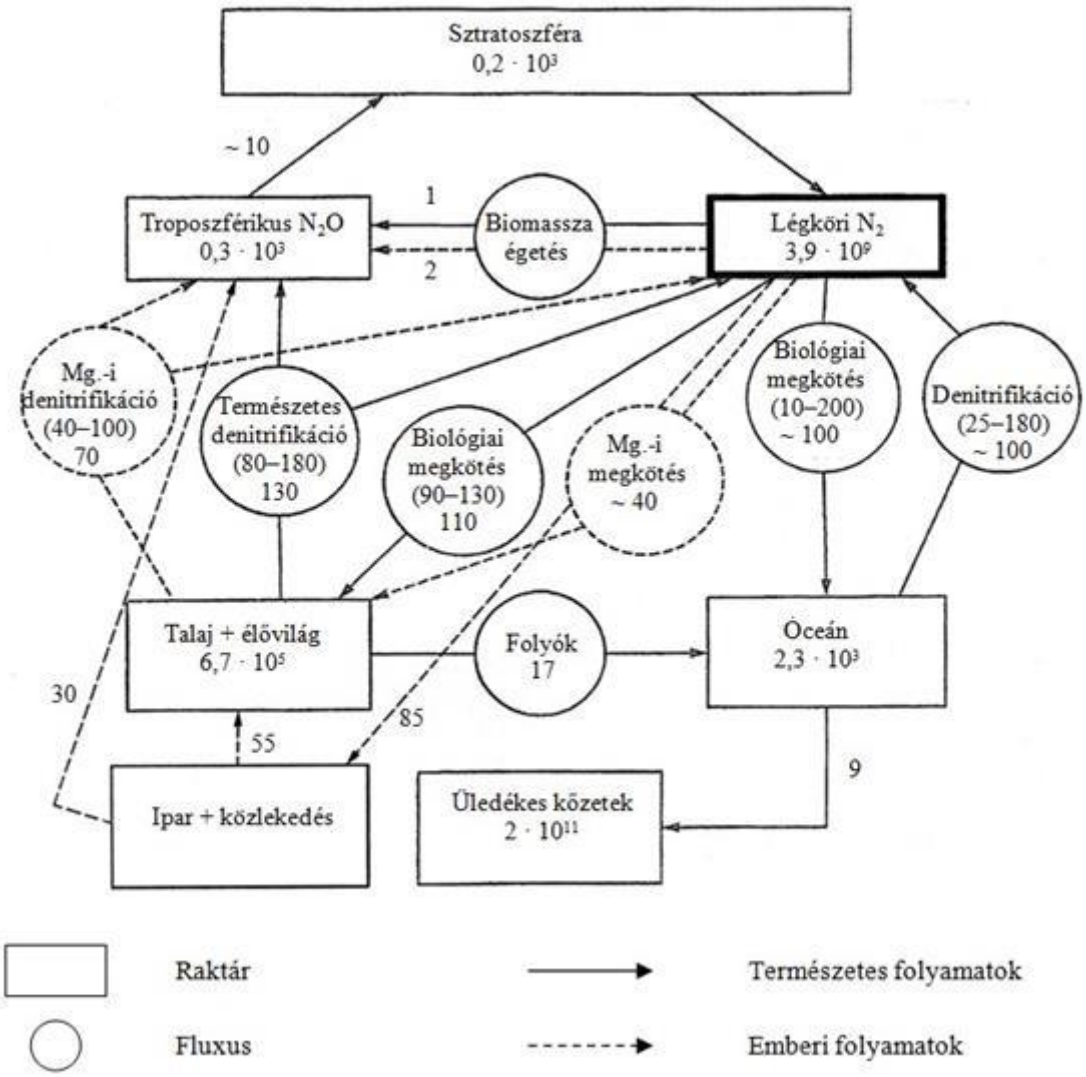
A légkörből a talajba más úton is kerül nitrogén. A légkörben lejátszódó elektromos jelenségek, fotokémiai folyamatok során keletkező nitrogén-oxidok, valamint az ammóniás füstök oldása eredményeként a csapadékkal, a szilárd részecskéken adszorbeálódva pedig száraz ülepedéssel gyarapodhat a talaj nitrogéntartalma.

A növények általában a talajból képesek felvenni a nitrogént, és szervezetükben ammóniává, ill. aminosavakká alakítani. Az ember ezt a folyamatot segíti elő műtrágyázással, amelynek során nitrogénvegyületeket juttat a talajba. A nitrátok formájában a talajba kerülő nitrogén könnyen felvehető a növények számára, ugyanakkor a nitrát-vegyületek vízben jól oldódnak, s a talajvízbe vagy a felszíni vizekbe kerülve komoly környezeti gondokat okoznak.

Az emberi tevékenységek közül a magas hőmérsékletű égésen alapuló energianyerési formák jelentős mennyiségű nitrogén-oxidot juttatnak a légkörbe. Ilyen folyamatok játszódnak le a robbanómotorokban, az energiaiparban, a fémiparban és a lakossági gázfűtés esetében is.

A nitrogénciklus főbb folyamatait az *53. ábra és a* 13. animáció alapján követhetjük nyomon. A nitrogénraktárak közül a litoszféra üledékes kőzetei a legnagyobbak, de itt a nitrogén olyan vegyületek formájában kötött, amelyek nem vesznek részt a körforgásban. Ezért tehát nem téves az a megállapítás, hogy a nitrogénciklus folyamatai szempontjából legfontosabb a légköri nitrogén, ami hatalmas mennyiséget képvisel ($3{,}9 \cdot 10^{6}$ Mrd t). Tovább növeli a fontosságát az a tény, hogy a nitrogén légköri tartózkodási ideje rendkívül hosszú, több mint 1 millió év. A troposzférában különböző folyamatok eredményeként (nem csekély antropogén hatásra) jelentős mennyiségű dinitrogén-oxid is jelen van: ezt 300 Mt-ra becsüljük. A dinitrogén-oxid tartózkodási ideje (150 év) jóval kisebb, mint a nitrogéné. Ez a gáz azért is fontos, mert részt vesz a *sztratoszférikus ózonképződés-bomlás* folyamatában, bár korántsem egyértelműen „bűnös” az ózonlyuk kialakulásában. Meg kell jegyeznünk, hogy a légkörben más nitrogén-oxidok is jelen vannak (NO, NO_2), de ezek mennyiségi viszonyaival itt nem foglalkozunk.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



53. ábra. A nitrogén (Mt-ban) globális körforgalma Jaffe (2000) nyomán, módosítva.

A dinitrogén-oxid (N_2O) a sztratoszférába kerülve fotokémiai átalakulás hatására nitrogén-monoxid (NO) molekulákká alakul. NO keletkezik a sztratoszférában közlekedő sugárhajtású repülőgépek motorjainak emissziója során.

A nitrogén-monoxid molekulák az ózonnal egyesülnek, s az így képződött nitrogén-dioxid atomos oxigént von ki a levegőből, ezáltal az ózonképződést gátolja:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (1)$$

$$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2 \qquad (2)$$

A helyzet azonban az, hogy a klór-tartalmú freonok (CFC-k) sztratoszférikus bomlásából származó klór sokkal nagyobb mértékben járul hozzá az ózon bomlásához, sőt, mint a további kémiai átalakulásokban láthatjuk, a nitrogén-dioxid kedvező (ózonvédő) szerepet is játszik a folyamatban:

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

$$Cl' + O_3 \rightarrow O_2 + ClO' \quad (3)$$
$$ClO' + O_3 \rightarrow 2O_2 + Cl' \quad (4)$$
$$ClO' + NO_2 \rightarrow ClNO_3 \text{ (klórnitrát)} \quad (5)$$

A CFC-k bomlásából felszabaduló klór tehát meghatározó mértékben hozzájárul az ózonmolekulák széteséséhez (3. és 4. reakció), míg a nitrogén-dioxid egy része klórnitrát-képződéssel a klór egy részét kivonja a folyamatból, ugyanis a klórnitrát hosszabb ideig stabil marad, és lassú diffúzióval a troposzférába kerül, így csökkentve az ózonbomlás mértékét. (Hasonló klórtározó vegyület még a sósav, ami pl. a klórmonoxid és az OH-gyökök egyesülésével jöhet létre.) Ha azonban a poláris sztratoszférikus felhők jégkristályai igen alacsony hőmérsékleten elnyelik a tározó vegyületeket (a klór-nitrátot és a sósavat), azok a jégkristályok felületén klórrá és salétromsavvá alakulnak át, ezzel a szabad klór ismét részt vehet az ózon bontásában:

$$ClNO_3 + HCl = Cl_2 \text{ (gáz)} + HNO_3 \text{ (szilárd)} \quad (6)$$

A nitrogén-monoxid ugyan nem klórtározó, de azzal, hogy a klór-monoxid oxigénatomját elvonja (7), majd a keletkezett nitrogén-dioxid látható fényt nyel el (8), aminek hatására oxigénatom keletkezik, hozzájárul az ózon újraképződéséhez (9):

$$NO + ClO' \longrightarrow NO_2 + Cl \quad (7)$$
$$NO_2 \xrightarrow{\text{Látható fény}} NO + O' \quad (8)$$
$$O' + O_2 \longrightarrow O_3 \quad (9)$$

A fenti folyamatok eredőjeként azt kell megállapítanunk, hogy mindaddig, amíg a klór-fluor-karbonok (CFC-k) a sztratoszférában jelen vannak, *a nitrogén-oxidok lassítják az ózonbontás folyamatát*. Ez sajnos elég hosszú időtartamnak tűnik, mivel a freonok légköri tartózkodási ideje meglehetősen hosszú. Gyártásukat és felhasználásukat a fejlett ipari országokban megszüntették, de a fejlődők még több helyütt gyártják őket, és az sem ritka jelenség, hogy az ózonkárosító anyagokat átcímkézve a fejlett országokba is szállítják. Modellszámítások azt mutatják, hogy ha minden országban végleg beszüntetnék a CFC-k előállítását, akkor is kb. 100 évre lenne szükség, hogy a sztratoszféra „freonok előtti állapota” helyreálljon.

Mint láttuk, a sztratoszférában a nitrogén-oxidok ugyan kis mennyiségben vannak jelen (*53. ábra, 13. animáció*), mégis fontos légkörkémiai folyamatokban vesznek részt. A troposzférikus nitrogén-oxidokat egyértelműen a szennyező anyagok között tartjuk számon. Egy nagyságrenddel nagyobb mennyiségben vannak jelen a troposzférában, mint a sztratoszférában, és a savas ülepedés fontos vegyületei, vízzel salétromsavat alkotnak.

A nitrogén-oxidok fő szárazföldi forrásai: a mezőgazdasági és a természetes denitrifikáció, az ipari és a közlekedési emisszió, valamint a biomassza-égetés. A biomassza-égetésnél az emberi tevékenység kétszer annyi nitrogént juttat a környezetbe, mint az a szavanna és bozóttüzek során természetes úton a légkörbe kerül. Az ember nemcsak a területnyerés céljából felégetett erdőkből juttat nitrogént a légkörbe, hanem a fafűtéssel és minden más, a biomasszából történt energianyeréssel (faforgács, pellet, gáztermelés stb.).

A világóceánban lejátszódó denitrifikáció mértékét igen tág határok között becslik a kutatók, s ugyanilyen tág határok között mozognak a biológiai megkötésre vonatkozó adatok is (*53. ábra*). Bár a szárazföldi fluxusok esetében is -tól -ig értékeket adunk meg, ezek pontosabb (de nem pontos!) ismeretekre utalnak, mint az óceánok esetében.

Azt is láthatjuk, hogy a légkör után a talaj + az élővilág képviseli a legnagyobb aktív nitrogén-rezervoárt. A talajerózióval évente jelentős mennyiségű nitrogén (17 Tg/év) kerül az óceánba. Ez komoly tápanyagveszteség a szárazföldi ökoszisztémák számára, beleértve az agroökoszisztémákat is, hisz ez utóbbiak tápanyagveszteségei gazdasági veszteséget is jelentenek.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

A nitrogénciklus mennyiségi adatai számos részfolyamat esetében bizonytalanok, így további kutatásra van szükség azok pontosabbá tétele céljából. Az azonban az eddigi kutatási eredmények alapján is biztosnak látszik, hogy az emberi tevékenységek a természeti folyamatokkal azonos mértékben (azonos nagyságrendben) járulnak hozzá a globális nitrogén-fluxusokhoz.

1. Önellenőrző feladatok

Többszörös hibakutatás. Döntse el, hogy az alábbi variációk közül melyik az igaz!

A) az 1., a 2. és a 3. hibás

B) az 1. és a 3. hibás

C) a 2. és a 4. hibás

D) a 4. hibás

E) mindegyik hibás

1. 1) A légköri nitrogént az élőlények többsége nem tudja felvenni.

2) A légkör 17%-át nitrogén alkotja.

3) Egyes baktériumfajok, pl. a Rhizobium, vagy az Azotobacter képesek közvetlenül a légkörből is felvenni a nitrogént.

4) A magasabb rendű növények nem képesek a nitrátokból a nitrogént hasznosítani.

2. 1) A növényekbe beépült nitrogént e szervezetek pusztulása után egyes mikroszervezetek képesek mineralizálni.

2) Az állatok és az ember a szerves nitrogénvegyületeket csak a növényekből vehetik fel.

3) A légkörben lejátszódó fotokémiai folyamatok során is keletkezhetnek nitrogén-oxidok.

4) Az üledékes kőzetekben található nitrogénformák meghatározó szerepet játszanak a nitrogén körforgalmában.

3. 1) A légköri nitrogén tartózkodási ideje kb. 10 ezer év.

2) A dinitrogén-oxid légköri tartózkodási ideje csak 150 év.

3) A dinitrogén-oxid a sztratoszférába kerülve trinitrogén-oxiddá alakul.

4) A CFC-kből származó klór jelentősen hozzájárul a sztratoszférikus ózon bomlásához.

4. 1) A klórnitrátok képződése felgyorsítja a sztratoszférikus ózon bomlását.

2) Ameddig a CFC-k jelen vannak a sztratoszférában, a nitrogén-oxidok lassítják az ózonbontás folyamatát.

3) Ha globálisan végleg beszüntetnék a CFC- előállítását, akkor is legalább ezer év kellene ahhoz, hogy a sztratoszféra „freonok előtti állapota” helyreálljon.

4) A troposzférában található nitrogén-oxidok a savas ülepedés fontos vegyületei.

5. 1) A biomassza égetése során nitrogén-oxidok kerülnek a légkörbe.

2) A biomassza égetése során az emberiség kétszer annyi nitrogént juttat a légkörbe, mint amennyi a természetes szavanna- és bozóttüzek során a légkörbe kerül.

3) A talajerózió révén évente számottevő mennyiségű (mintegy 17 millió tonna) nitrogén kerül az óceánba.

4) A szakemberek számításai alapján biztosnak látszik, hogy az emberi tevékenységek a természeti folyamatokhoz viszonyítva legalább háromszoros mértékben járulnak hozzá a globális nitrogén-fluxushoz.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Ábraelemzés. Párosítsa az alábbi meghatározásokat az ábrán szereplő betűkkel! (A rezervoárok nitrogéntartalma teragramban (1 Tg = 1 millió tonna), a fluxus pedig Tg/év-ben van megadva.)

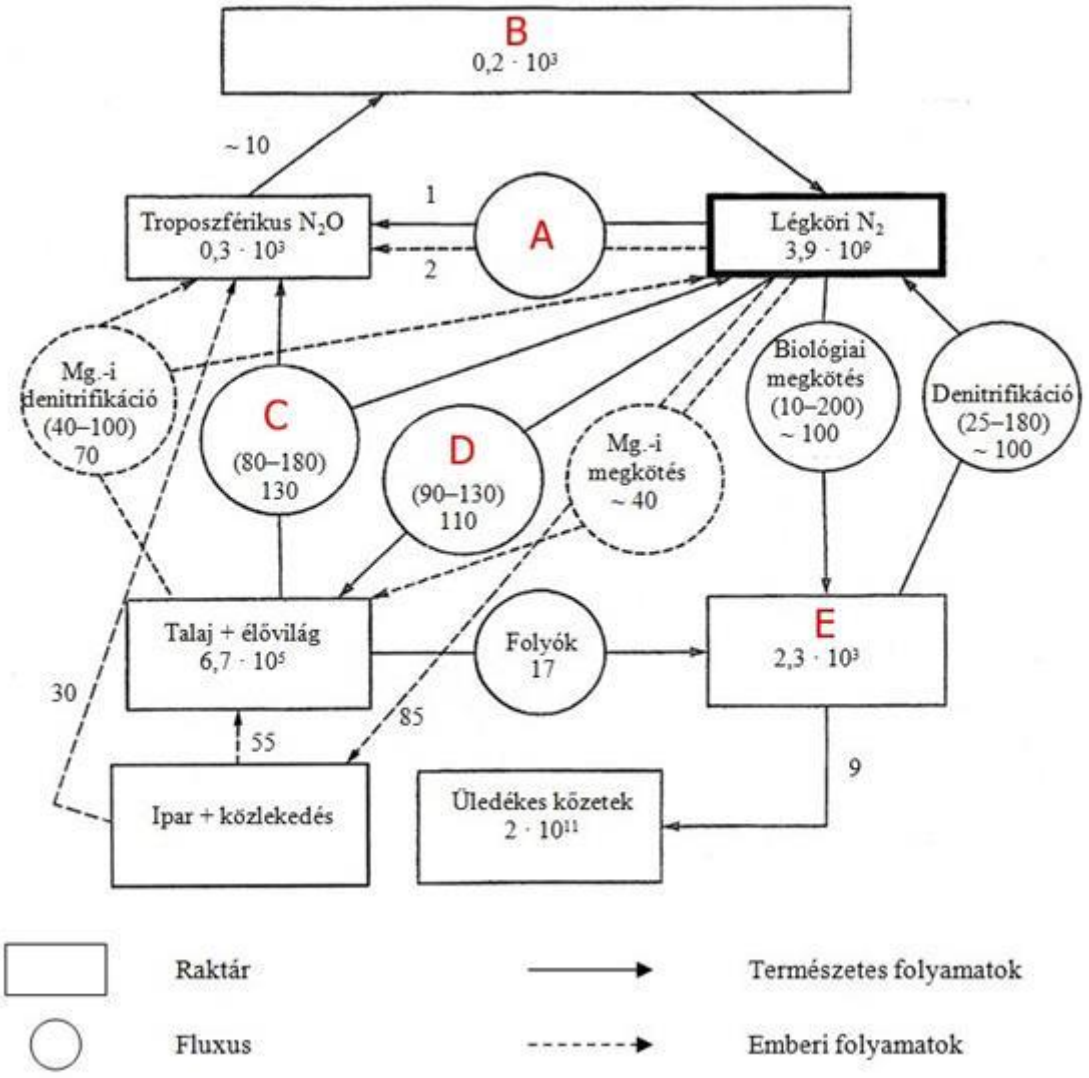
6. Óceán

7. Természetes denitrifikáció

8. Biológiai megkötés

9. Biomassza égetés

10. Sztratoszféra



Megoldások:

1. C

2. D

3. B

4. B

5. D

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

6. E

7. C

8. D

9. A

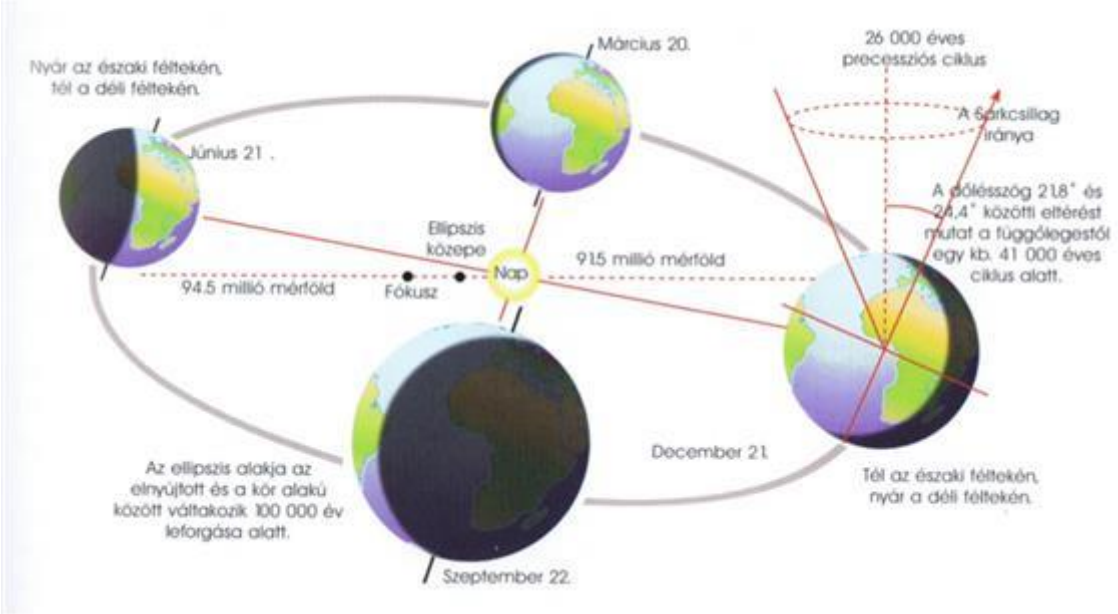
10. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

15. fejezet - Az éghajlati rendszer

1. 15.1. A globális éghajlatot meghatározó tényezők

Milutin Milankovics számításai óta tudjuk, hogy Földünk éghajlatának nagy változásait (mint pl. az eljegesedések létrejöttét) *csillagászati tényezők* idézik elő az alábbiak szerint. A földfelszínre beérkező hőmennyiséget meghatározó tényezőket az *54. ábrán* figyelhetjük meg.



54. ábra. A Föld Nap körüli pályájában bekövetkező ciklikus változások (Fry, 2008)

· A Föld Nap körüli keringési pályájának ellipszis alakja (excentricitása) 100000 éves ciklusban változik. (Így a Nap-Föld távolság változik.)

· A precessziós mozgása (a Föld tengelyének kettős kúpos mozgása) 26000 éves ciklust ír le.

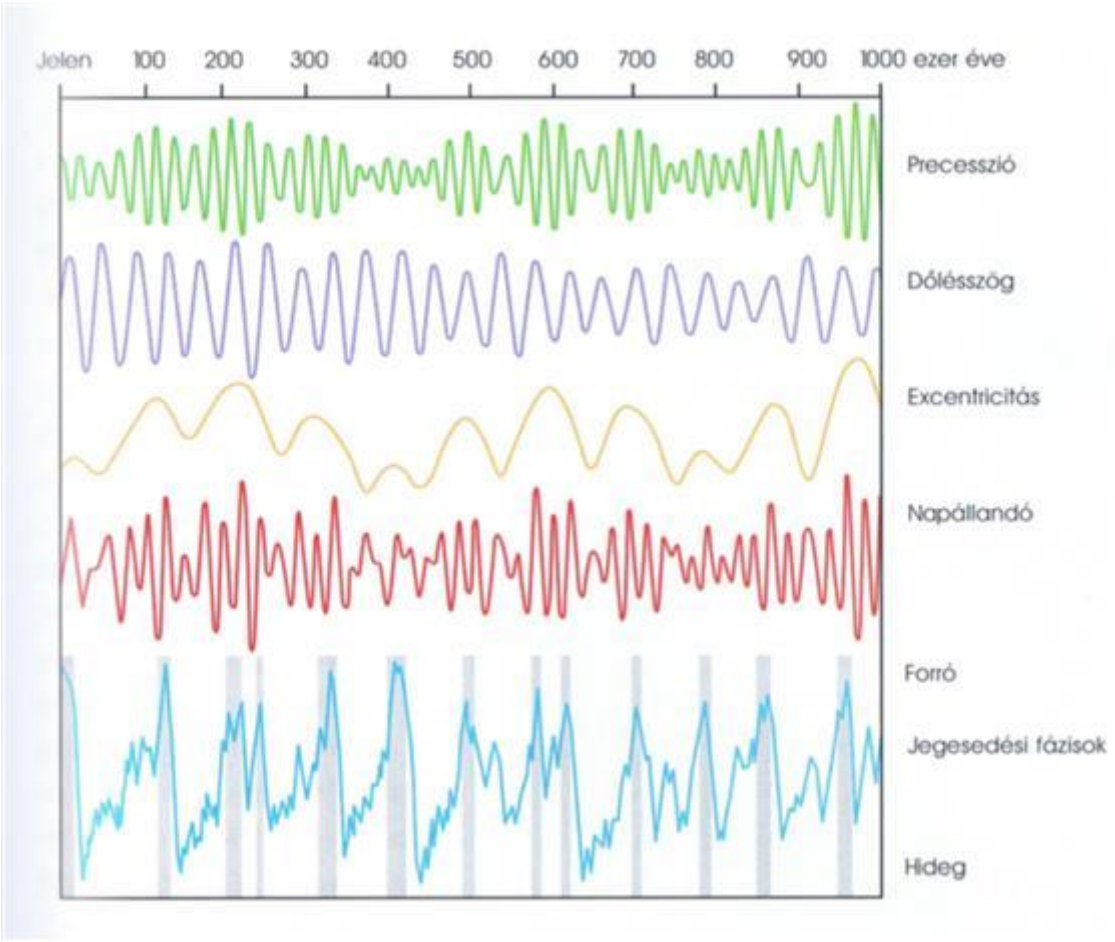
· Bolygónk tengelyferdesége a függőlegestől 21,8° és 24,4° közötti mértékben tér el, s a két szélső értéket kb. 41000 év alatt éri el.

· A napállandó változása ± 0,15% (szélső értékek különbsége: 0,3 °C). A Nap csillagfejlődése során lassan nő. Átlagértéke a légkör külső határán: 1370 W/m^2.

· Egyéb napfizikai változások (napfolttevékenység, flerek), melyek kaotikusak.

A felsoroltak közül az első három tényező időbeli változásait a 20. század második évtizedében Milankovics vetette össze az eljegesedési időszakokkal. Számításait Bacsák György ellenőrizte és fejlesztette tovább, így a jégkorszakok keletkezésének elméletét, melyet a 20. század során egyre több bizonyítékkal támasztottak alá a kutatók, Milankovics-Bacsák elméletként ismerjük. Az *55. ábrán* egyszerűsített ábrán láthatjuk a csillagászati ciklusok és az eljegesedési fázisok változásait.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



55. ábra. A természeti ciklusok hatása az éghajlatra (Fry, 2008)

Származhat-e máshonnan az éghajlat kialakításában szerepet játszó, említésre méltó hőmennyiség?

A Föld belső anyagmozgásainak tárgyalásakor említettük, hogy bolygónk belső hőtartalékai milliárd évekre elegendők a lemeztektonikai rendszer fenntartásához. Ez a hatalmas hőmennyiség azonban a földkéreg anyagainak jó hőszigetelése következtében hővezetéssel gyakorlatilag nem befolyásolja az éghajlati rendszer működését. Közismert, hogy egy adott topográfiai helyen a felszíntől mért kb. mélységben az adott hely évi középhőmérsékletéhez közeli értéket mérhetünk, s csak innen lefelé haladva kezd lassan emelkedni a kéreg hőmérséklete.

Az aktív vulkánok környezetében azonban más a helyzet: a felszínre kiömlő magma, továbbá a légkörbe kerülő forró hamu és gáz jelentős hőmennyiséget szállít. A Napból érkező energiához képest ez mégis elhanyagolható érték. Az éghajlatkutatók ezért nem a felszínre került hőmennyiség közvetlen hatását veszik figyelembe az éghajlatváltozások kutatásánál, hanem a vulkanizmus révén a légkörbe kerülő gázok és aeroszolok hatását.

A geológusok 2004-ben találták meg az Atlanti-óceánban annak a gigantikus gázkitörésnek a nyomait, amely 55 millió évvel ezelőtt a légköri CO_2-koncentrációt 500 ppm-ről néhány évtized alatt 2000 ppm-re emelte (*Flannery*, 2006). Az óceán fenekén egy klatrát nevű, jeges, metánban gazdag anyag halmozódott fel nagy tömegben, amiből a víz alatti lávaömlés hatására óriási mennyiségű metán szabadult fel, és hatalmas robbanás közepette szén-dioxiddá égett el. A tenger hatalmas területen elvesztette oxigén-készletét, és ez a tengeri élővilág regionális kihalását okozta. A légkör ugyanakkor felmelegedett.

A vulkanizmus napjainkban jóval kisebb intenzitású. A meteorológiai mérőhálózat alkalmas arra, hogy a mai vulkánkitörések globális éghajlatra gyakorolt hatását kellő pontossággal mérjük. Így tudjuk pl., hogy az elmúlt 20 év egyik legnagyobb vulkánkitörése, a fülöp-szigeteki Pinatubo 1991-es robbanásos kitörése a légkörbe jutó aeroszolok hatása révén globálisan 0,2–0,3 ^{o}C-os lehűlést okozott egy-két éven át. Ezt nem nevezhetjük éghajlatváltozásnak, csak éghajlati anomáliának tartjuk.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Mindez arra utal, hogy a Föld globális éghajlati rendszerének működésében a légkör összetételének, a levegő áramlásainak, a légkörbe jutó gázoknak és aeroszoloknak, a hidroszféra hőraktározásának és hőszállításának, a földfelszín albedójának és a bioszféra anyagcseréjének van fontos szerepe.

Geológiai időtávlatokban azonban a kontinensek vándorlása, a hegységképződések, a tengermedencék kiterjedésének és földrajzi helyzetének változásai, valamint a tengerszintváltozások is nagyon fontosak a nagyléptékű éghajlatváltozások létrejöttében.

2. 15.2. Az éghajlati rendszer természetes működése és az ezt módosító antropogén hatások

Az éghajlati rendszer – mint a környezeti rendszerek általában – nyílt rendszer. Működését hatalmas mennyiségű energia biztosítja, ami a Napból származik. De melyek is az éghajlati rendszer elemei? Úgy gondoljuk, ezt az éghajlat fogalmának tágabb értelmezéséből vezethetjük le. *Götz* (2004) szerint az éghajlat szűkebb értelemben magának a légkörnek, tágabb értelemben pedig a légkör és a vele érintkező geoszférák együttese által alkotott éghajlati rendszernek a t®∞ folyamán tanúsított szokásos (állandósult) viselkedési módja.

A légkör legnagyobb felületen a hidroszférával érintkezik, amelynek hőkapacitása sokszorosa a légkörének. A szárazföldek felszínével (kőzetekkel, talajjal és az épített környezettel) valamint az élővilággal ugyancsak szoros kapcsolatban van a légkör, vagyis mindezek együtt alkotják az éghajlati rendszer elemeit. Az éghajlat állapotát és változásait a felszínközeli légkör tulajdonságai alapján szoktuk jellemezni: a meteorológiai világhálózat több, mint 160 éve méri ezeket, s e méréseket használjuk fel az éghajlat elmúlt 160 évben tapasztalt változásainak jellemzésére.

A napsugárzás felszínre érkezett energiájából a légkör üvegház-gázai ejtik csapdába azt a hőmennyiséget, ami az éghajlati folyamatokat meghatározza. A légkör alulról melegszik fel. A földfelszín az általa elnyelt napenergiát infravörös tartományban sugározza vissza a világűr felé, az üvegház-gázok azonban ennek az energiának 83%-át csapdába ejtik, és csak 17% halad át a légkörön. A legfontosabb üvegház-gázok a következők (közéjük sorolják a vízgőzt is, holott ez szoros értelemben nem gáz): H_2O, CO_2, CH_4, N_2O, CFC-k és HFC-k. E gázok globális melegítő potenciálját és egyéb jellemzőiket az *8. táblázat* tartalmazza.

A klasszikus ipari forradalom óta a társadalom egyre fokozódó intenzitással avatkozik be a Föld természeti folyamataiba.

A gyáripar felvirágzásával, a kőszén, majd a szénhidrogének energianyerésre történő egyre intenzívebb használatával az emberiség a földkéregből egyre több szenet juttatott a légkörbe CO_2 formájában. Ezt a növekedést segítette az igen drasztikus erdőirtás is. Az intenzív állattenyésztés, a földgázipar és a rizstermesztés növekedése a légköri metántartalmat növelte meg. A metán üvegházhatása (az ún. globális melegítő potenciálja) egységnyi gáztérfogatra és száz évre vonatkoztatva 23-szor nagyobb, mint a szén-dioxidé *(10. táblázat)*. A dinitrogén-oxid esetében az arány 314-szeres. Ez utóbbi a mezőgazdaságból és a gépkocsi-közlekedésből kerül a légkörbe legnagyobb arányban.

10. táblázat. A felszínközeli légkör melegedésében meghatározó üvegházhatású gázok fontosabb jellemzői. Forrás: IPCC (2001)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Gáz	Képlet	GWP[a] (GMP)	Légköri tart. idő (év)	Légköri koncentráció[b]	Változás (%)
szén-dioxid	CO_2	1	50-200	280 ↑ 368 ppmv	+31
metán	CH_4	23	8,4-12	700 ↑ 1 750 ppbv	+151
dinitrogén-oxid	N_2O	314	120	270 ↑ 316 ppbv	+17
fluorozott szénhidrogének (HFC-k)					
HFC-23	CHF_3	12 000	260	0 ↑ 14 pptv	
HFC-134a	CH_2FCF_3	1 300	14	0 ↑ 7,5 pptv	
HFC-143a	$C_2H_3F_3$	3 800	48		
telített freonok (CFC-k)					
CFC-11	$CFCl_3$	4 600	45	0 ↑ 268 pptv	
CFC-12	CF_2Cl_2	10 600	102	0 ↑ 533 pptv	
CFC-113	CF_2CFCl_3	6 000	85	0 ↑ 84 pptv	

[a] *GWP = global warming potential (100 évre számítva) = globális melegítő potenciál (GMP)*
[b] *az ipari forradalom előtt és 2000-ben*

E három gáz mellett a 20. században több tucat mesterségesen előállított üvegházgáz is növelte a globális melegítő potenciált. Ilyenek a fluorozott szénhidrogének, perfluor-karbonok, telített és telítetlen freonok *(10. táblázat).* Valamennyi antropogén eredetű nem-szén-dioxid gáz üvegházhatása – mivel légköri koncentrációjuk jóval kisebb, mint a szén-dioxidé – együttvéve kb. megfelel az emberi hatásra keletkezett szén-dioxid üvegházhatásának. Mindezek együtt új tényezőt hoztak az éghajlatot meghatározó tényezők sorába, amit emberi tényezőnek nevezhetünk. A közismert üvegházhatás miatt a felszínközelben ma globálisan több hő esik csapdába, mint 200 évvel ezelőtt.

Ez még akkor is igaz, ha az emberi tevékenységek megnövelték a légkör aeroszol-koncentrációját is, s az aeroszolok jelentős része hűtő hatást fejt ki a légkör alsó rétegeire. Ennek mértéke azonban – mai ismereteink szerint – nem éri el az üvegházgázok melegítő potenciálját. Számos egyéb módosító tényező hatásának mértékét nem tudjuk még reálisan becsülni (*Lóczy*, 2002; *Kerényi*, 1995, 2003), de az összes antropogén hatás eredője pozitív sugárzási kényszert mutat (*Climate Change*, 2007).

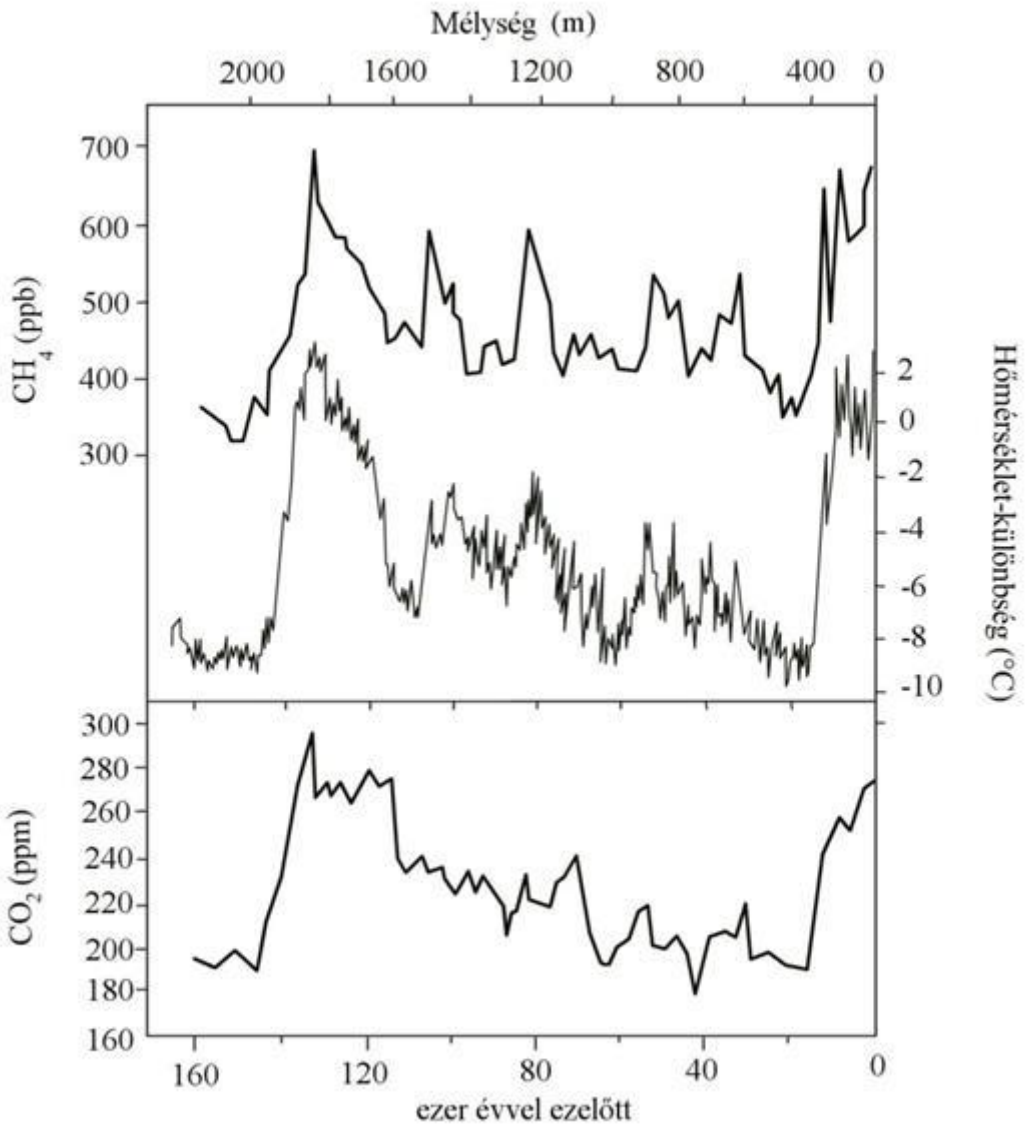
Mindezek mellett a légköri üvegházhatás legnagyobb részéért a vízgőz felelős, részben a vízpára, részben a felhők révén. A felhők szerepe azonban kettős: albedo-hatásuk révén a felszínre lejutó hőmennyiséget csökkentik, miközben a felszínről visszavert hosszúhullámú sugárzást pedig hatékonyan „csapdába ejtik”. A vízgőz légköri mennyiségét 13 billió tonnára becsüljük (*Haszpra*, 2004). Számos emberi tevékenység befolyásolja a légköri vízgőz mennyiségét (víztározók, földhasználat, mesterséges felületek létesítése stb.), legnagyobb mértékben azonban az egyéb okok miatt emelkedő hőmérséklet növeli meg a mennyiségét, így a folyamat pozitív visszacsatolásként működik. A vízgőz és a felhők hatásának mennyiségi becslése a meteorológusok körében még vitatott.

Milankovics és Bacsák elmélete a pleisztocén időszak éghajlatváltozásairól azt ugyan igazolta, hogy a Föld energiabevétele és az éghajlat felmelegedése-lehűlése között kapcsolat van, de a determinisztikus hatások (sugárzási bevétel változásai) és a valóságos változások között sokszor jelentős eltérés van.

Az *56. és 57. ábra* hőmérsékleti görbéje az elmúlt 160 ezer, ill. 110 ezer év változásait mutatja be az antarktiszi, ill. a grönlandi jégmintákba zárt levegőzárványok elemzése alapján.

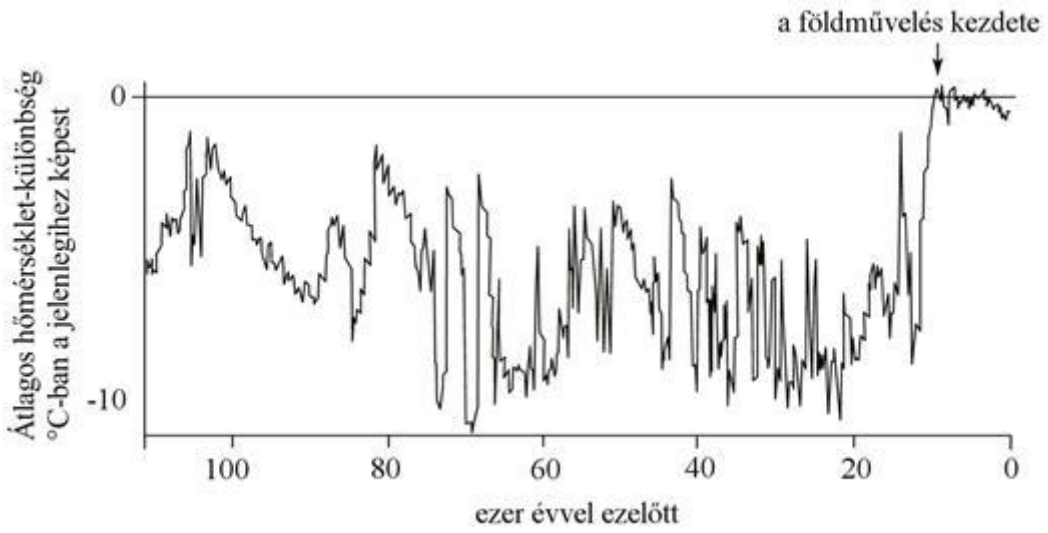
A csillagászati paraméterek alapján számított és a tényleges hőmérsékletingadozás között – szoros kapcsolatuk ellenére – van egy elég feltűnő különbség. A tényleges hőmérsékletváltozások sok esetben lényegesen gyorsabban mentek végbe, mint azt a csillagászati számításokból várhatnánk. Ez különösen jól látszik az *57. ábrán,* amely a grönlandi jégminták elemzése alapján született. A görbe egyes szakaszai szélsőségesen „ugráló” jellegűek. Ezeknek a geológiai értelemben gyors változásoknak az értelmezéséhez lehetőséget teremtett az utóbbi évtizedekben felfedezett „nagy óceáni szállítószalag” működésének tanulmányozása. (*Broecker*, 1987).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



56. ábra. A metán és a szén-dioxid koncentrációjának változása, valamint a hőmérséklet jelenlegitől való eltérése az elmúlt 160 ezer évben, az antarktiszi jégminták analízise alapján Forrás: Chapellaz et al. 1990 (in Mészáros, 2001b)

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



57. ábra. Az elmúlt 110 ezer év hőmérsékletváltozásai grönlandi jégminták alapján rekonstruálva (Forrás: Dansgaard, in Czelnai, 1999)

A világóceánban a bonyolult rendszert képező tengeráramlások szállítószalagszerűen kapcsolódnak egymásba. Ez a „nagy földi vízkörzés" a felszíni vízrétegek és a mélyóceán közötti vízcserét teszi lehetővé. A víz igen nagy (a levegőnél nagyságrendekkel nagyobb) hőraktározó képessége miatt hatalmas hőmennyiségek szállítására alkalmas – igaz, általában lényegesen lassúbb tempóban, mint a levegő. Tapasztalatból is tudjuk, hogy a tengeráramlások jelentősen befolyásolják a Napból származó energia földfelszíni eloszlását: a trópusi övezet energiatöbbletét a magasabb szélességek felé szállítják. Ennek egyik leghatékonyabb „szállítószalagja" a Golf-, ill. Észak-atlanti-áramlás, amelynek trópusi eredetű hőtöbblete Európa éghajlatát kellemessé teszi.

A kutatók azonban azt feltételezik, hogy ez a szállítószalag leállhat, ha a globális éghajlat melegszik: a tengeri és szárazföldi jég olvadása, a folyók vízhozamának növekedése a sós tengervíz sűrűségét csökkenti, s ennek következtében az Atlanti-óceán északi régiójában leállhat a vízsüllyedés, ezáltal az óceáni szállítószalag is (*Czelnai*, 1999). A víz hőszállításának megszűnése vagy lényeges csökkenése magyarázatot adhat a hirtelen lehűlésre, későbbi újraindulása pedig a gyors felmelegedésre.

3. 15.3. Éghajlatunk jövője

Az éghajlati rendszer működése rendkívül bonyolult. A Föld hőbevételének csillagászati okok miatt bekövetkezett változásaira általában nem reagál azonnal: számos pozitív és negatív visszacsatolási mechanizmus szabályozza a működését, ezért a tényleges változások időben eltérnek a hőbevétel változásaitól. Ez egyben azt is jelenti, hogy a tényleges változások a csillagászati változásokhoz képest gyakran felgyorsulnak, de ideig-óráig azzal ellentétes irányúak is lehetnek.

Az 1988-ban megalakult Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) egyik alapvető feladata, hogy a világ tudományos közösségének közreműködésével átfogóan értékelje az emberi tevékenységek hatását a Föld éghajlati rendszerére, és tudományosan megalapozott becsléseket adjon az éghajlat várható globális változásaira. A Testület a különböző tudományos intézetek, iskolák, kutatók által közzétett, megfelelően alátámasztott eredményeket vitatja meg, összesíti, és jelentéseiben bemutatja, értékeli azokat. A Testület legutóbbi, negyedik értékelő jelentése 2007-ben készült el, amelynek a döntéshozók számára készített összefoglalói magyar nyelven is megjelentek (Éghajlatváltozás, 2007). A kötet szerzői megállapították, hogy a globális éghajlati rendszert leíró numerikus modellek 1988 óta sokat fejlődtek, így a globális és regionális éghajlati jövőképek pontosabbakká váltak, ugyanakkor a jelentés nem tartalmaz a korábbi jelentésektől lényegesen eltérő megállapításokat.

Az IPCC negyedik jelentése alapján a 21. század éghajlatának változásait a következőképpen jellemezhetjük.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Erősödött a bizonyosság abban, hogy a globális átlaghőmérséklet közelmúltbeli és jelenlegi növekedését az antropogén eredetű üvegházgázok koncentrációnövekedése okozza. Mivel ezek a kibocsátások a 21. században folytatódnak, a hőmérsékletemelkedés is folytatódni fog. A jelentés hat emissziós forgatókönyv következményeit vizsgálja (*11. táblázat*). A 21. század végére a kutatók a legkisebb CO_2-koncentrációt 600 ppm-nek feltételezik. (Ez jelenleg közel van a 400 ppm-hez.) Ebben az esetben a legjobb becslés hőmérsékletnövekedést mutat, a valószínű tartomány: 1,1 – . Amennyiben ez a legalacsonyabb érték következne be, akkor is gyorsuló felmelegedés lenne a 20. századhoz képest.

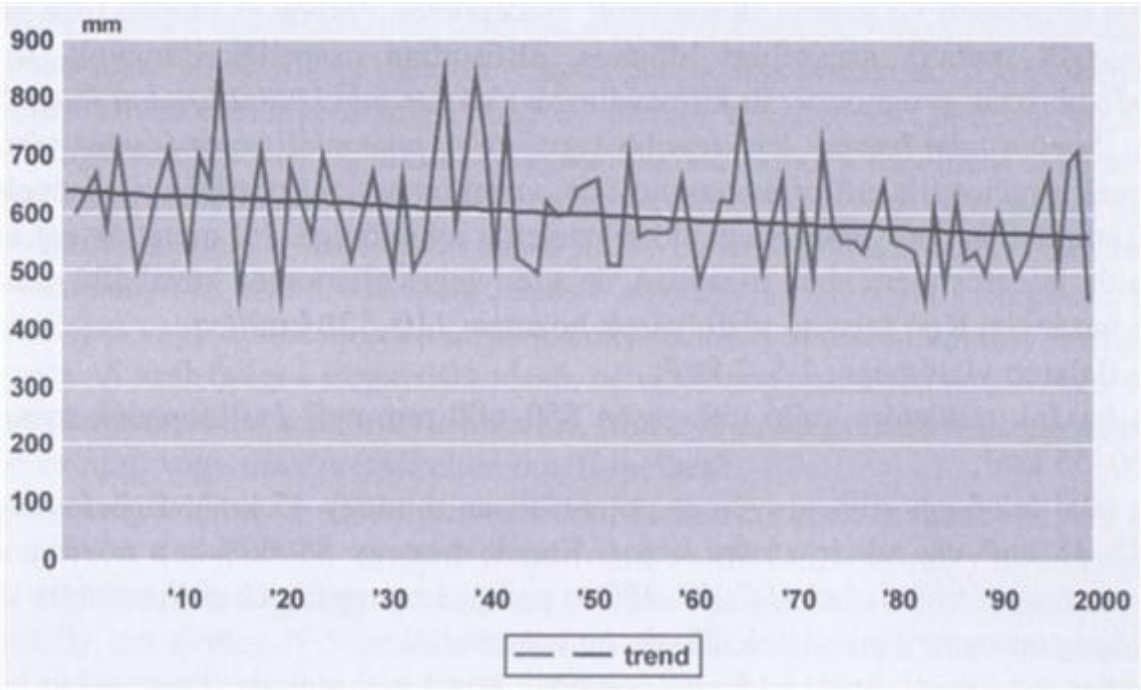
11. táblázat. A felszíni melegedés és a tengerszint-emelkedés földi átlagos előrejelzései a 21. század végére (Forrás: IPCC negyedik jelentése, 2007)

Eset	Hőmérséklet-változás (°C a 2090-2099 időszakban 1980-1999-hez viszonyítva)		Tengerszint-emelkedés (méter a 2090-2099 időszakban 1980-1999-hez viszonyítva)
	Legjobb becslés	Valószínű tartomány	Modellezett tartomány, a jégáram esetleges hirtelen jövőbeli változásai nélkül
B1 forgatókönyv	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
A1T forgatókönyv	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
B2 forgatókönyv	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
A1B forgatókönyv	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
A2 forgatókönyv	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51
A1FI forgatókönyv	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

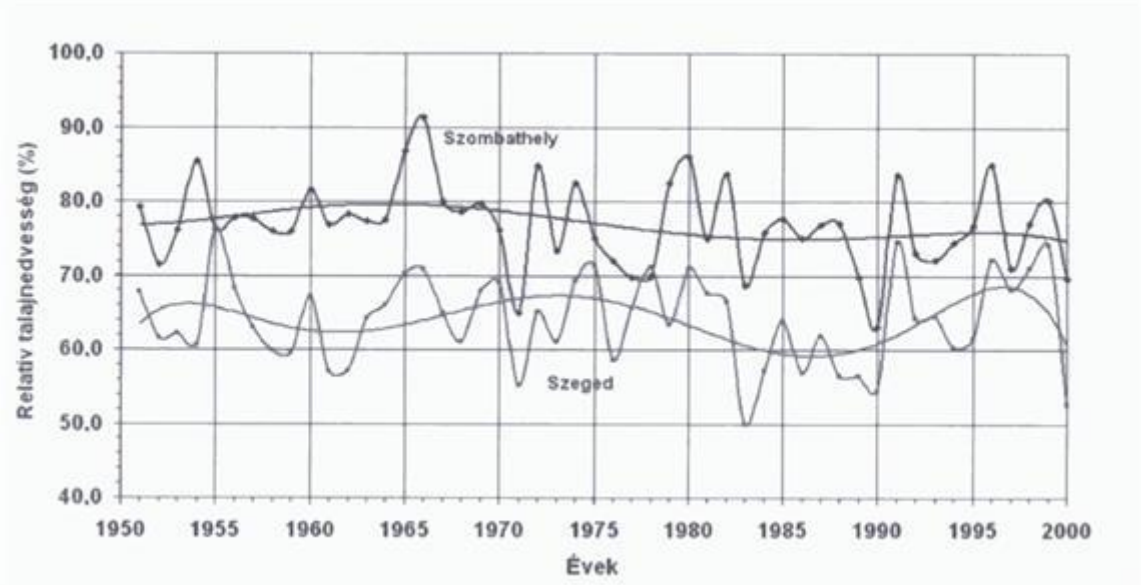
A legpesszimistább forgatókönyv (A1FI) szerint a 21. század végére 1550 ppm-es CO_2-koncentrációval kell számolni. Ehhez 4,0 °C-os legjobb becslés tartozik, ami azt jelenti, hogy a 20. századi hőmérsékletemelkedéssel együtt két évszázad alatt közel 5 °C-os globális hőmérsékletnövekedés valósulna meg. Ez pedig már a geológiai értelemben vett éghajlatváltozás alsó határértékét közelíti. Nem lehet tudni, hogy a hatféle forgatókönyv közül melyik valósul meg, de a B1 forgatókönyv esetén is számos következménnyel kell számolnia az emberiségnek (éghajlati övek eltolódása, a növénytermesztés szerkezetének megváltozása, ökológiai rendszerek károsodása, egészségügyi hatások stb.). Az MTA és a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium által támogatott és irányított kutatási program (VAHAVA-program) éppen az éghajlatváltozás hazai következményeit és az azokhoz való alkalmazkodás módjait helyezte középpontba (*Láng – Csete – Jolánkai*, 2007).

Számunkra kiemelten fontos, milyen mértékű és jellegű változások várhatók országunk területén. Különféle módszertani alapokon a kutatók arra az eredményre jutottak, hogy éghajlatunk a 21. században tovább melegszik, szárazabbá és naposabbá válik (*58 és 59. ábra*). Teleink melegebbek és csapadékosabbak lesznek (kevesebb hó és több eső fog esni) míg nyaraink szárazabbakká, melegebbekké válnak, és több napsütéssel kell számolnunk (*Bartholy – Mikaet al.*, 2005).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



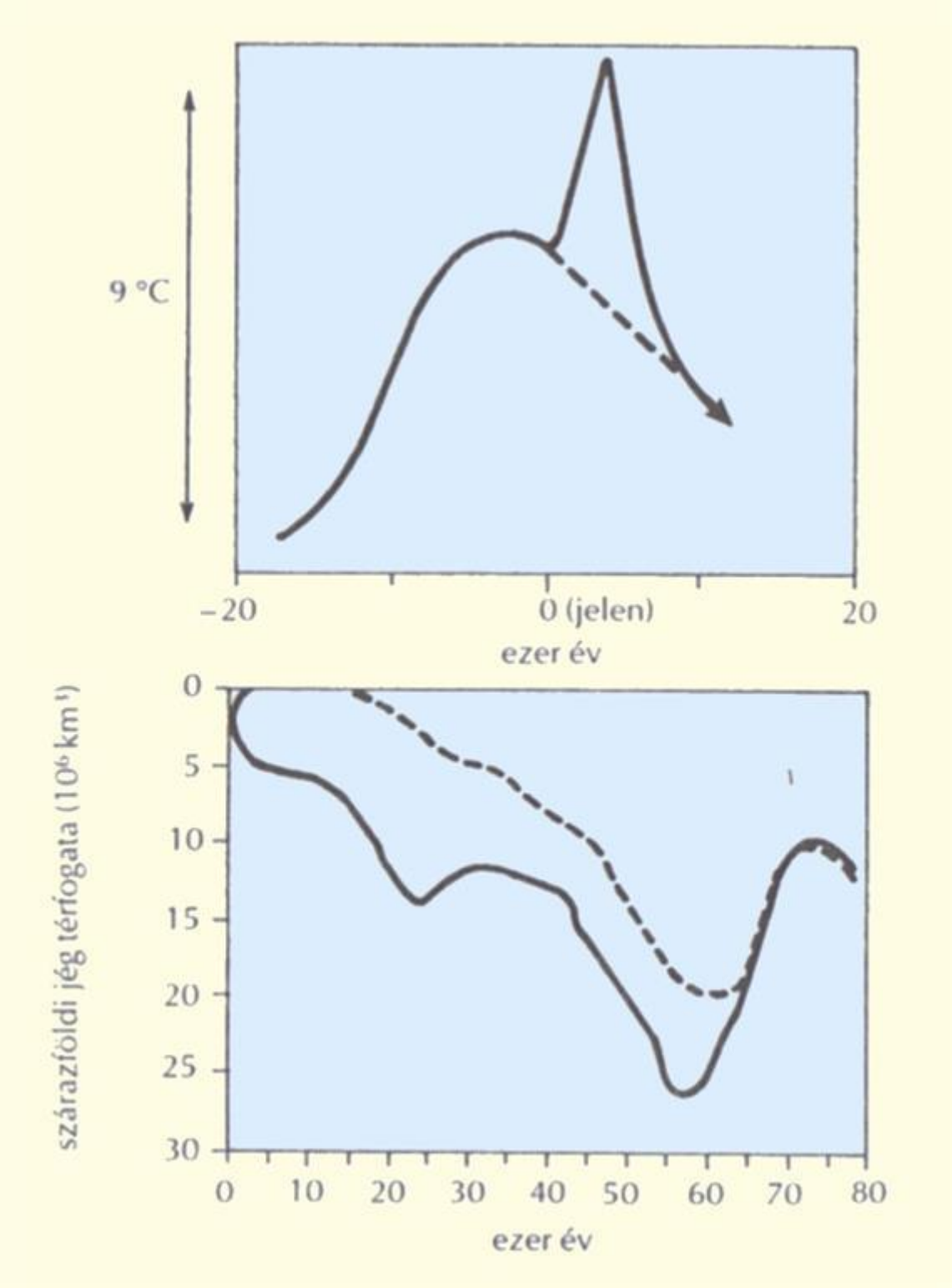
58. ábra. Az éves csapadékösszegek változása az utolsó 100 évben Magyarországon (VAHAVA 63. oldal)



59. ábra. A talaj évi átlagos nedvességtartalmának évenkénti változásai két városunk térségében (VAHAVA 83. oldal.)

Az emberiség szempontjából nem közömbös, mit hoz a távolabbi jövő. André Berger belga klimatológus a Milankovics-féle számításokat az elkövetkező 100 000 évre elvégezte (in *Mészáros*, 2001b). A Föld pályaelemeinek változásai alapján a következő kb. 20 000 évben a napsugárzás csökkeni fog, vagyis természetes viszonyok között új jégkorszak felé haladnánk. Az antropogén eredetű üvegházhatású gázok növekvő mennyisége, valamint az éghajlati rendszerre gyakorolt egyéb emberi hatások (földhasználat-változás, beépített területek növekedése stb.) következtében a hőmérsékleti görbében egy természetellenes maximum fog kialakulni. Ezt a maximumot „szuper-interglaciálisnak" nevezzük (*60. ábra*). A kutatók azt feltételezik, hogy ennek lecsengése után a természetesnél gyorsabb lehűlés következik be, és a hőmérsékleti görbe belesimul a természetes hőmérsékletváltozás görbéjébe. Az emberi léptékkel mérve lassan kialakuló újabb jégkorszak jégtakarója kb. 55–60 ezer év múlva éri el legnagyobb kiterjedését.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



60. ábra. Az átlagos hőmérséklet sematikus változása (a) a közelmúltban és a közeli jövőben Berger számításai alapján (szaggatott görbe az emberi hatások nélküli becsült menetet jelenti). A (b) a szárazföldi jégtakaró térfogatának változását adja meg abban az esetben, ha a grönlandi jégtakaró az emberi tevékenység hatására elolvad (folytonos görbe), illetve nem olvad el (Graedel és Crutzen, 1993., in. Mészáros, 2001)

A távolabbi jövővel kapcsolatban felmerülhet a kérdés, hogy a már említett óceáni szállítószalag esetleges leállása nem fordítja-e vissza a felmelegedési folyamatot, s nem következik-e be sokkal gyorsabban és hamarabb a következő jégkorszak. Modellkísérletek azt mutatják, hogy a szállítószalag leállása önmagában nem

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

elegendő a jégkorszak kiváltásához, de regionális éghajlatváltozásokat előidézhet (*Stouffer – Manabe*, 2003 és 2004).

Hangsúlyoznunk kell, hogy a távolabbi jövő éghajlatváltozásainak becslésében nagy a tudományos bizonytalanság. Berger számításai azonban összhangban vannak a pleisztocén jégkorszak felmelegedéseivel és lehűléseivel kapcsolatos eléggé megbízható ismereteinkkel. A 20. század második felétől tapasztalható éghajlati folyamatok ugyancsak arra utalnak, hogy az emberiség az intenzív termelő tevékenységeivel egy olyan *akaratlan kísérletbe kezdett, amellyel a globális klímarendszer tűrőképességét teszteli*. Ez mindenképpen új helyzet a Föld történetében. Véleményünk szerint nem kizárólag az vezethet a társadalomra nézve súlyos következményekhez, ha a globális hőmérséklet a 21. század végére esetleg +3°C-ot emelkedik, hanem még inkább az, *ha a rendszerben a pozitív visszacsatolások válnak dominánssá*, s *afolyamat esetleg évszázadokon át nem áll meg, hanem tovább gyorsul*. Vagyis ha a becsült hőmérsékletnövekedés csak egy folyamat kezdete (*12. táblázat*). Az éghajlatkutatók úgy gondolják, hogy számos éghajlati fordulópont létezik, amelyik destabilizálja a földi éghajlatot.

12. táblázat. Éghajlati fordulópontok és következményei (A Világ helyzete 2009)

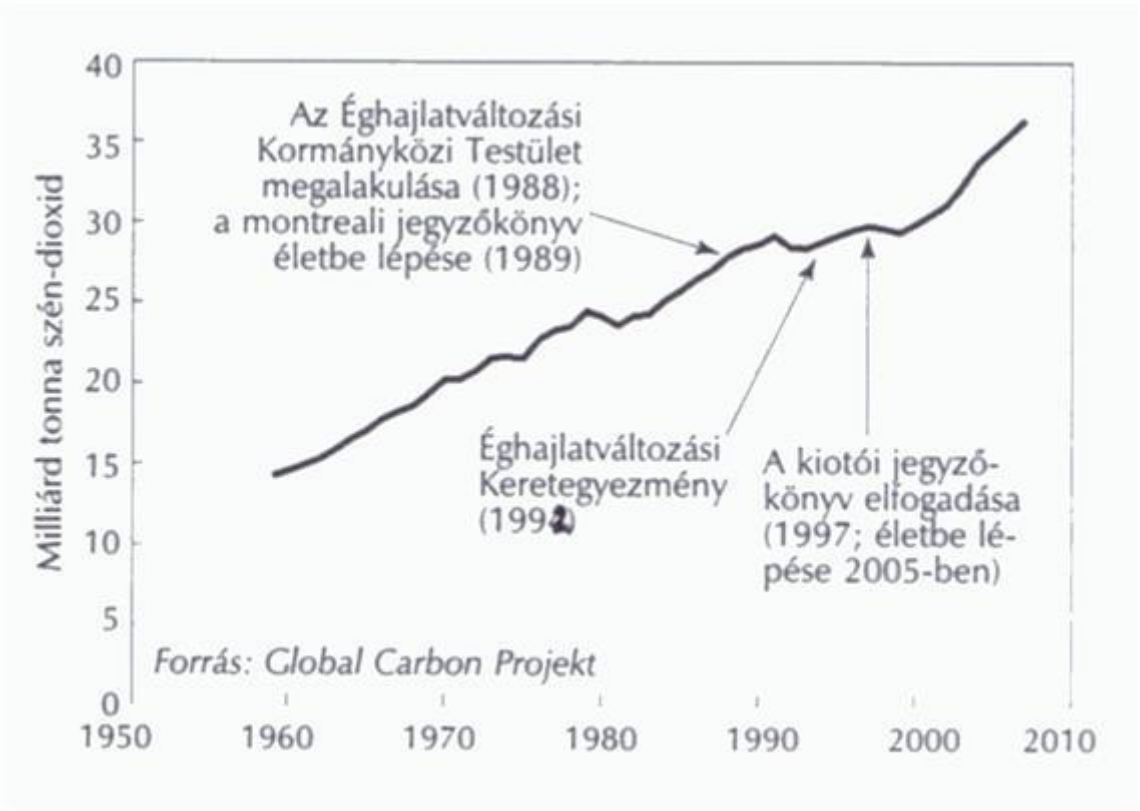
Fordulópontok	Várható következmények
Az Északi-sark nyári jégtakarójának eltűnése	Magasabb lesz az átlagos globális hőmérséklet, és átalakulnak az ökológiai rendszerek
Grönland jégtakarójának elolvadása	A tengerszint világszerte 7 méterrel megemelkedik, és magasabb lesz az átlagos globális hőmérséklet
Nyugat-Antarktisz jégtakarójának elolvadása	A tengerszint világszerte 5 méterrel megemelkedik, és magasabb lesz az átlagos globális hőmérséklet
Atlanti-óceáni áramlatok összeomlása	A Golf-áramlat megszakad, az időjárási rendszer átalakul
Gyakoribbá válnak az El Nino események	Az időjárási rendszer átalakul, beleértve a nagyobb szárazságot, különösen Délkelet-Ázsiában
Az északi erdők kezdenek pusztulni	Jelentősen átalakulnak a boreális erdei ökorendszerek
Amazónia erdei kezdenek pusztulni	Nagymérvű kihalás, és csökkenő csapadék
Átalakul az indiai nyári monszun	Kiterjedt lesz a szárazság, az időjárási rendszer átalakul
Átalakul a monszun a Szahara Száhel-övezetében és Nyugat-Afrikában	Megváltozik az időjárási rendszer, beleértve a Szahara Száhel-övezetének lehetséges kizöldülését – a forduló-pont kevés pozitív elemének egyikét

Megjegyezzük, hogy a kutatók kevesebb figyelmet fordítanak az éghajlati rendszer kaotikus működéséből fakadó, esetlegesen fellépő váratlan változásokra, „abnormális” viselkedésre. A múltbeli tapasztalatok pedig pl. azt mutatják, hogy 110-120 ezer évvel ezelőtt a hőmérséklet és a légköri CO_2-koncentráció az „elvárhatótól” alapvetően eltérően változott, vagyis emelkedő CO_2-koncentráció ellenére a lehűlés trendje folytatódott. Az okot nem ismerjük, de az éghajlati rendszer ma sem működik másképp, mint 120 ezer évvel ezelőtt. Vagyis: nem lehet kizárni egy gyors, erőteljes negatív visszacsatolás fellépését, vagyis a várt melegedési trenddel szemben egy lehűlést. Hosszú távon (évezredek alatt) azonban érvényesülnek a determinisztikus hatások, de a társadalom számára az évtizedes változások is lényegesek lehetnek.

A társadalom számára két alapvető lehetőség kínálkozik: 1. az éghajlati rendszerre gyakorolt antropogén hatások csökkentése; klíma várható változásaihoz való alkalmazkodás. Az első lehetőséget a kiotói jegyzőkönyvben rögzített nemzetközi megállapodás tükrözi legjobban (*Faragó – Kerényi*, 2003).

A kiotói jegyzőkönyv előzményeként már 1992-ben az ENSZ égisze alatt létrejött az éghajlatváltozási keretegyezmény, amely még csak az alapelveket rögzítette, melyek értelmében az antropogén kibocsátású üvegház-gázokat (ÜHG) csökkenteni kell. A keretegyezmény szellemében született kiotói jegyzőkönyv (1997) már konkrét vállalásokat (globális szinten 5,2%-os ÜHG-kibocsátás-csökkentést) írt elő. A jegyzőkönyv ratifikálása nagyon lassan haladt, így az csak 2005-ben lépett hatályba (*61. ábra*).

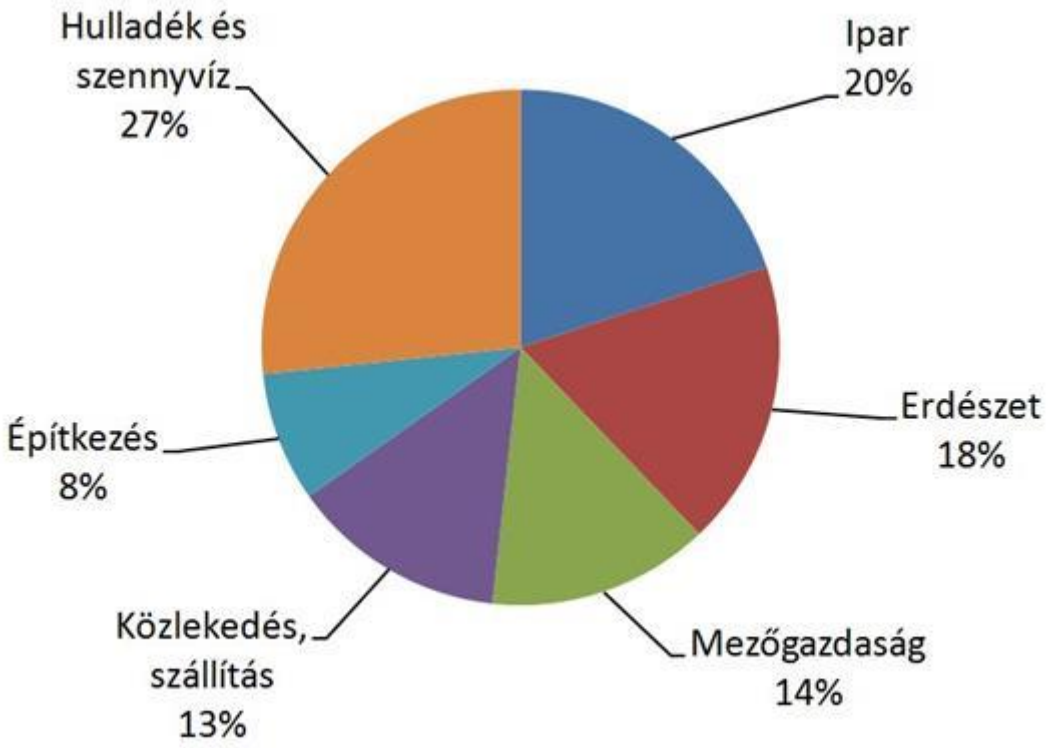
Created by XMLmind XSL-FO Converter.



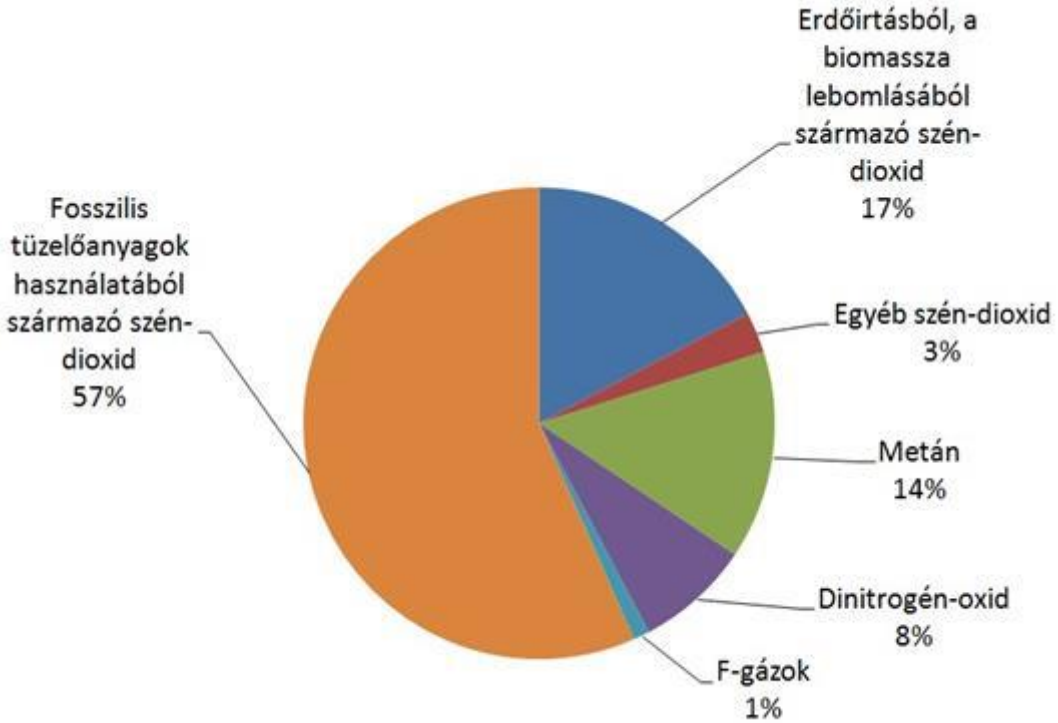
61. ábra. A globális szén-dioxid-kibocsátás, minden forrás alapján, 1959-2007 (A világ helyzete 2009)

Az ábráról leolvasható, hogy a keretegyezménynek és a jegyzőkönyvnek is csak rövid ideig tartó és csak mérsékelt hatása volt az ÜHG emisszióra: azok mennyisége csaknem töretlenül nő. A szektoronkénti kibocsátást az *62. ábra* mutatja be: az energiaellátás, az ipar és a közlekedés együttes emissziója meghatározó ebből a szempontból, hisz mindháromban dominál a fosszilis tüzelőanyagok használata. A globális kibocsátás gáz-összetételét a *63. ábrán* tanulmányozhatjuk.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



62. ábra. A globális kibocsátás szektoronként, szén-dioxid-egyenértékben, 2004 (A világ helyzete 2009)

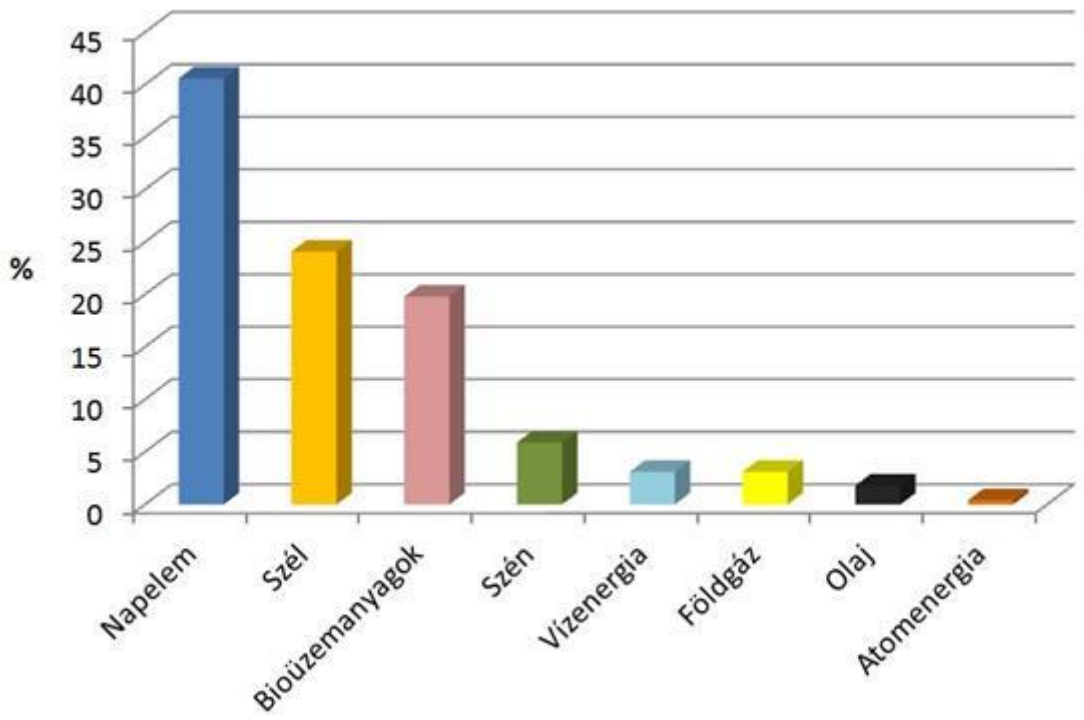


63. ábra. A globális kibocsátás összetevői, szén-dioxid-egyenértékben, 2004 (A világ helyzete 2009)

Az ÜHG-emisszió csökkentésének kulcskérdése a fosszilis tüzelőanyagok visszaszorítása, és a megújuló energiaforrások arányának növelése. Kedvező iránynak vehetjük, hogy a napelemekből, a szélerőművekből és a

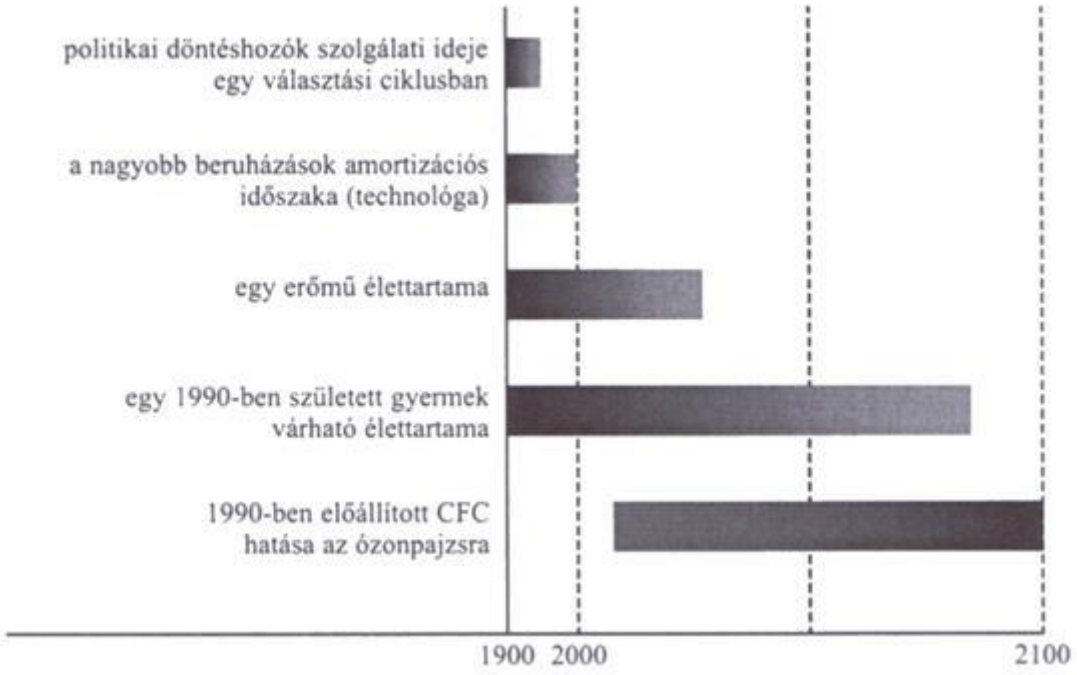
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

biomasszából nyert energia növekedési üteme lényegesen meghaladja a többi energianyerési forma növekedési ütemét (*64. ábra*).



64. ábra. A világ energiaforrásainak évi átlagos növekedési üteme, 2002-2007 (A világ helyzete 2009)

A dolog szépséghibája, hogy a megújulókból nyert energia nagyon kevés, így az arányok nagymértékű növekedése sem jelent nagy abszolút mennyiségeket. Komoly gondot okoz, hogy a társadalomban (beleértve a politikai döntéshozókat is) uralkodik a rövidtávú gondolkodás, holott a termelési szektorok átalakítása és a környezetben végbement változások módosítása évtizedes, néha évszázados előrelátást igényel (*65. ábra*).



Created by XMLmind XSL-FO Converter.

65. ábra. Választási ciklusok és más élettartamok (Meadows et al., 1993 nyomán)

Kedvezőnek kell azonban vennünk, hogy a lakosság körében egyre inkább terjed a klímatudatos viselkedés. Sokszor pályázatok is segítik a megújuló energiaforrások használatát a háztartások energiaellátásában. A 6. videón ilyen példát mutatunk be a napkollektorok családi házakban történő alkalmazásáról.

A kiotói folyamat tovább folytatódik, de be kell látnunk, hogy egyelőre mérsékelt eredménnyel: a globális szénemisszió tovább nő, bár valamivel lassabban, mint ha nem létezne a kiotói jegyzőkönyv. Az emberiségnek ezért egyre intenzívebben kell foglalkoznia a megváltozó klímához való alkalmazkodással. Ez a társadalom minden tevékenységére kiható tervezést, előkészületeket jelent, s ez rendkívül bonyolult tudományos és politikai feladat is, mint ahogy azt a VAHAVA-jelentés is tükrözi.

4. Önellenőrző feladatok

Többszörös választás. Állapítsa meg, hogy az alábbi lehetőségek közül melyik a helyes!

A) *az 1., a 2. és a 3. állítás igaz*

B) *az 1. és a 3. állítás igaz*

C) *a 2. és a 4. állítás igaz*

D) *a 4. állítás igaz*

E) *mindegyik állítás igaz*

1. 1) A szárazföld egy adott pontján a felszíntől mért kb. 10 méteres mélységben az adott hely évi középhőmérsékletéhez közeli értékeket mérhetünk.

2) 10 méternél mélyebben a hőmérséklet lassan elkezd csökkenni.

3) A Föld tengelyferdesége a függőlegestől 21,8° és 24,4° közötti mértékben térhet el.

4) A Föld precessziós mozgása 260 éves ciklust ír le.

2. 1) A Pinatubó vulkán 1991-es kitörésekor a légkörbe jutott aeroszolok hatása révén globálisan mintegy 2-3 °C-os lehűlés következett be.

2) A Milankovics és Bacsák nem találtak kapcsolatot a Föld pályaelemeinek változásai és az éghajlat alakulása között.

3) A földfelszín közeli légkör mindig felülről lefelé melegszik fel.

4) A meteorológiai világhálózat 160 éve végez méréseket a felszíni légkör állapotával kapcsolatban.

3. 1) A földfelszínről visszasugárzott energiának csak 17%-a képes áthaladni a légkörön.

2) A N_2O üvegházhatású gáz.

3) A metán üvegházhatása egységnyi gáztérfogatra számítva 23-szor nagyobb, mint a szén-dioxidé.

4) A hidroszféra hőkapacitása eltörpül a légkör hőkapacitása mellett.

4. 1) A freonok természetes eredetű üvegházhatású gázok.

2) Az aeroszolok jelentős része hűtő hatást fejt ki a légkör alsó rétegeire.

3) A vízgőz nem rendelkezik üvegházhatással.

4) A „nagy óceáni szállítószalag” leállása, majd újraindulása magyarázattal szolgálhat a földtörténeti múltban hirtelen bekövetkezett éghajlatváltozásokra.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

5. 1) Az IPCC 4. jelentésében a 21. század végére a legkedvezőbb esetben is legalább 600 ppm-es szén-dioxid koncentrációt feltételeznek.

2) A legpesszimistább IPCC forgatókönyv szerint a 21. század végére 1500 ppm lesz a szén-dioxid koncentráció.

3) Magyarország éghajlata a kutatók szerint úgy fog megváltozni, hogy a nyarak melegebbek és szárazabbak, a télen pedig melegebbek és csapadékosabbak lesznek a jelenleginél.

4) Magyarországon a HAHAHA program keretében foglalkoztak az éghajlatváltozás hazai vonatkozásaival.

Korrelációs vizsgálat. Állapítsa meg az a) és a b) tényező közötti összefüggést!

A) egyenes arányosság

B) fordított arányosság

C) nincs összefüggés

6. a) a légkör vízgőztartalma

b) az üvegházhatás mértéke

7. a) a fosszilis tüzelőanyagok elégetése

b) a légkör CFC-koncentrációja

8. a) az üvegházhatás mértéke

b) a földfelszínről visszaverődő sugárzásnak a légkörön áthatoló része

Mennyiségi összehasonlítás.

A) „a” nagyobb, mint „b”

B) „b” nagyobb, mint „a”

C) „a” egyenlő ”b”

9. a) egységnyi térfogatú dinitrogén-oxid üvegházhatása

b) egységnyi térfogatú szén-dioxid üvegházhatása

10. a) a jelenlegi átlagos csapadékmennyiség Magyarországon a téli hónapokban

b) a 21. század végén várható átlagos csapadékmennyiség Magyarországon a téli hónapokban

Megoldások:

1. B

2. D

3. A

4. C

5. A

6. A

7. C

8. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

9. A

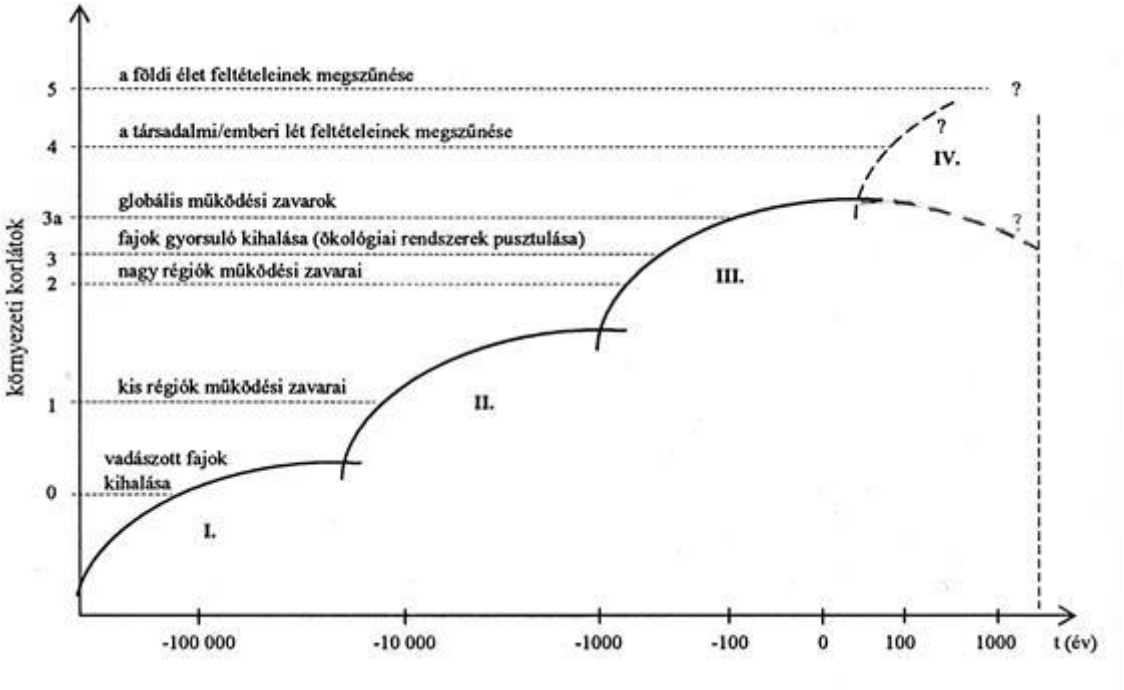
10. B

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

16. fejezet - Az emberi társadalom korlátai a globális földi rendszerben

A 20. század utolsó harmadáig a társadalom irányítói és a gazdaság szereplői egyaránt úgy viselkedtek, mintha a Föld végtelen energia- és nyersanyag-szolgáltató lenne, így a gazdasági növekedés korlátlanul folytatható. Ez annál inkább meglepő, mert a történelem során számos előjele volt annak, hogy a termelésnek természeti korlátai vannak.

A *66. ábrán* nagyvonalú áttekintést adunk arról, hogy a társadalom – fejlődése során – milyen típusú, ill. milyen léptékű korlátokba ütközött.



66. ábra. A környezeti korlátok hierarchiája az emberi fejlődés szakaszaival összevetve. I. = vadászó-gyűjtögető életmód, II. = az első mezőgazdasági forradalomtól az első ipari forradalomig, III = az első ipari forradalomtól napjainkig, IV. = a 21. századtól…

Az ősközösségi társadalomban a vadászó-gyűjtögető életmód viszonylag környezetkímélő tevékenységeket foglalt magába, mégis előfordult, hogy egy-egy nagytestű zsákmányállat (mint azzal korábban foglalkoztunk) kihalt, s az emberi közösségnek új területeken más vadászható állatok után kellett nézni.

A növénytermesztést folytató, letelepedett őskori majd ókori társadalmak találkoztak először olyan jelenségekkel, amelyek természeti környezetük erőforrásainak kimerülését jelezték: egyes esetekben csak átmeneti, máskor tartós ellátási gondokat okoztak. Így pl. az aszályos évek súlyos éhínségeket okoztak, a másodlagos szikesedés (akkor még nem ismerték a folyamatot, csak a következményeit tapasztalták a földművesek) pedig olyan mértékű környezeti változást jelentett, ami egyes társadalmak eltűnéséhez vezetett. A szigeteken élő társadalmak különösen tapasztalhatták természeti környezetük korlátait. Az egyik közismert társadalmi összeomlást a Húsvét-szk. történelmében követhetjük nyomon (*Diamond*, 2004).

Az ókor legfejlettebb társadalma a Római Birodalom ugyan nem a környezet eltartó képességének leromlása miatt omlott össze, de a mediterrán erdők pusztulása és a mezőgazdaság termelőképességének korlátai szükségessé tették, hogy Róma, mint a birodalom központja a provinciái kizsákmányolásával jusson megfelelő mennyiségű nyersanyaghoz és élelemhez.

Az első ipari forradalom hatására bekövetkezett jobb ellátás a népesség rohamos növekedését tette lehetővé, ugyanakkor a nagy ipari körzetekben megkezdődik a természeti környezet minden korábbit felülmúló leromlása: különösen az erdei ökoszisztémákat viseli meg az ipari fejlődés, emellett pedig az emberek egészségét is

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

veszélyeztetik a környezetszennyezés hatásai. A nagyobb régiók természeti rendszereinek működési zavarai és a fajok gyorsuló kihalása jellemzi a 20. század első feléig tartó folyamatot, amikor aztán globális léptékre vált a környezetterhelés és -pusztítás.

Felvethető a kérdés, hogy az egyre nagyobb régiókat ért hatások és azok eredményeként fellépő működési zavarok miért nem okozzák az adott régiókban élő társadalmak összeomlását. A választ a gyarmatosításban, a világkereskedelem kialakulásában, a globalizációhoz vezető folyamatban kapjuk meg. Anglia pl. mint az ipari fejlődés éllovasa hatalmas gyarmatbirodalmat épít ki. A saját tönkretett természeti környezete ugyan képtelen lenne ellátni társadalmát a szükséges termékekkel, de a hatalma és fejlett kereskedelme, hajóflottája révén mindent be tud szerezni a Föld távoli országaiból is, amire szüksége van. A regionális korlátok tehát a modern társadalom számára nem tűnnek valódi korlátoknak, hosszabb távon azonban mégis fontosak, mert ezek sokasága elvezet a globális korlátokhoz.

A 20. század második felében már mérhető és érzékelhető jelei vannak a globális földi rendszer működési zavarainak. A fokozódó légszennyezés már kimutatható a Föld minden pontján. A savas ülepedés fokozódása nemzetközi konfliktusokhoz vezet. A sztratoszférikus ózon ritkulása azt is jelzi, hogy bolygónk egyetlen pontján sem vonhatjuk ki magunkat a saját magunk által előidézett környezetváltozások következményei alól. A 20. század végére és a 21. század elejére már az antropogén klímaváltozás került a tudósok és politikusok érdeklődésének középpontjába, mivel annak potenciális veszélyei sokak szerint meghaladják a korábbi környezeti ártalmak káros következményeit.

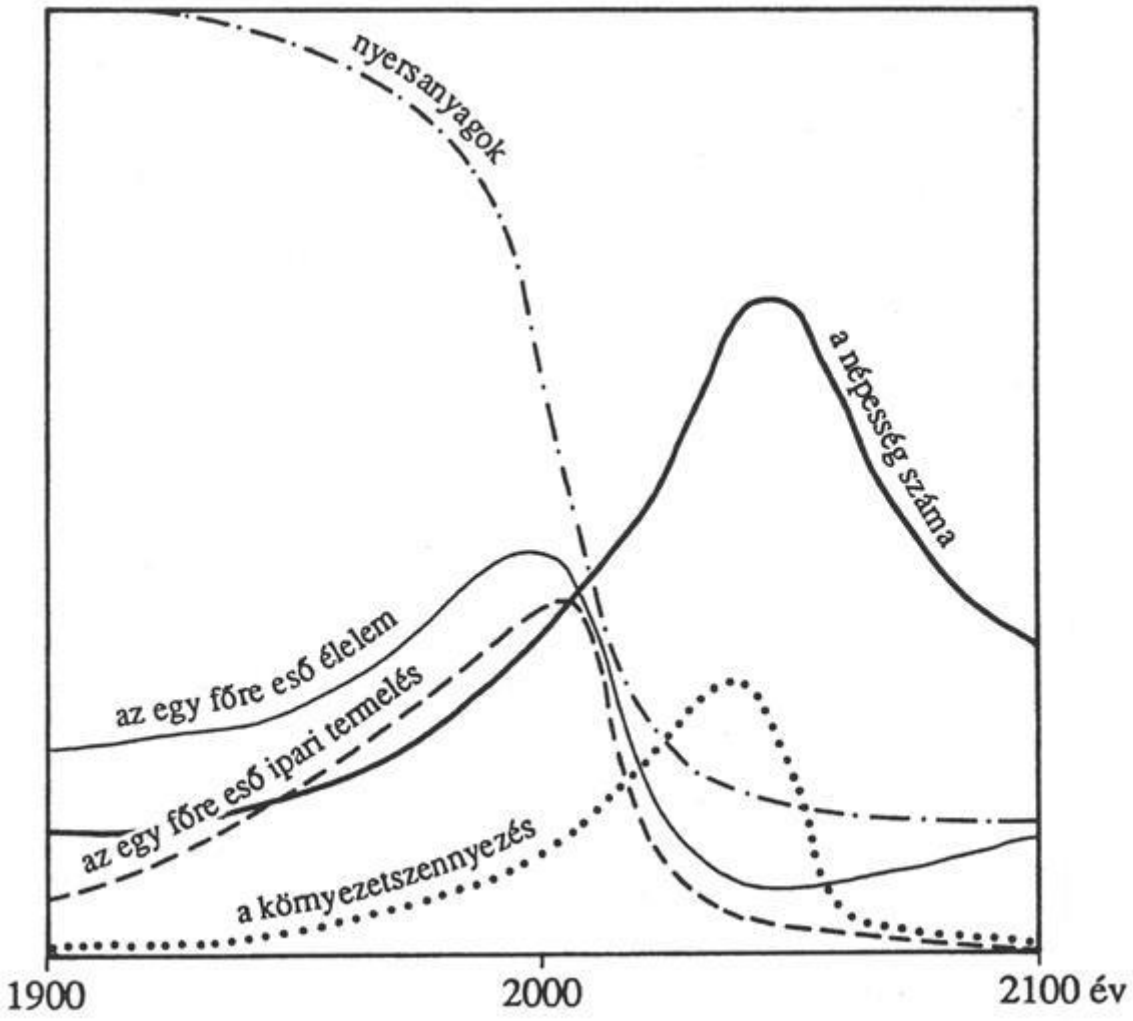
A 66. ábrán a IV. szakasz az emberiség távolabbi jövőjére utal – kérdőjelekkel. A lefelé irányuló szaggatott vonal azt az optimista megközelítést tükrözi, hogy az emberiség képes lesz felismerni hosszú távú érdekeit, és oly módon fog cselekedni, hogy a globális földi rendszer zavartalanabbul fog működni, mint jelenleg. Másképp fogalmazva: idővel úrrá leszünk a jelenleg már felismerhető káros folyamatokon, amiket magunk okoztunk. Az ábra IV. szakaszának felfele irányuló ága arra utal, hogy hosszú távon földi létünknek vannak korlátai. Egyrészt a természeti kincsek mennyisége nem végtelen, másrészt külső (csillagászati) okok miatt a Föld milliárd éves távlatban lakhatatlanná fog válni. Ez utóbbival csak hosszú idő múlva kell foglalkoznunk, az előbbi problémával azonban már most is. Az utolsó fejezetben arról lesz szó, hogy az emberiség közeljövőbeli sorsát hogyan igyekeznek feltárni a tudósok rendszermodellek alkalmazásával.

1. 16.1. A Meadows-féle világmodell eredményei a 20. század utolsó harmadának folyamatai alapján

A tudósok már az 1960-as években észlelték az emberi tevékenységek globális következményeit, és világossá vált előttük, hogy a termelésnek és fogyasztásnak vannak korlátai. A Meadows-féle világmodell vált a legismertebbé, melyet a szerzők A növekedés határai címmel tettek közzé (*Meadows et al,* 1972). A bonyolult számítógépes rendszermodell alkalmas volt arra, hogy különböző előfeltételekkel futtassák le a programot, így több modellváltozatot kaptak. A modellváltozatok az emberiség különböző cselekvéseinek forgatókönyvei a jövőre nézve is becsléseket adtak, egészen a 21. század végéig.

E szerint a normál világmodell (a 70-es években ismert tendenciákra alapozva) azt mutatja (*67. ábra*), hogy az ipari termelés és az egy főre jutó élelmiszermennyiség kb. 2000–2010-ig nő, majd a kimerülő nyersanyagok miatt rohamosan csökken. A népesség száma egy ideig még exponenciálisan nő, majd 2050 táján az éhínségek és járványok hatására erősen csökken. A szennyeződések a népességcsökkenés kezdetén hirtelen mérséklődnek.

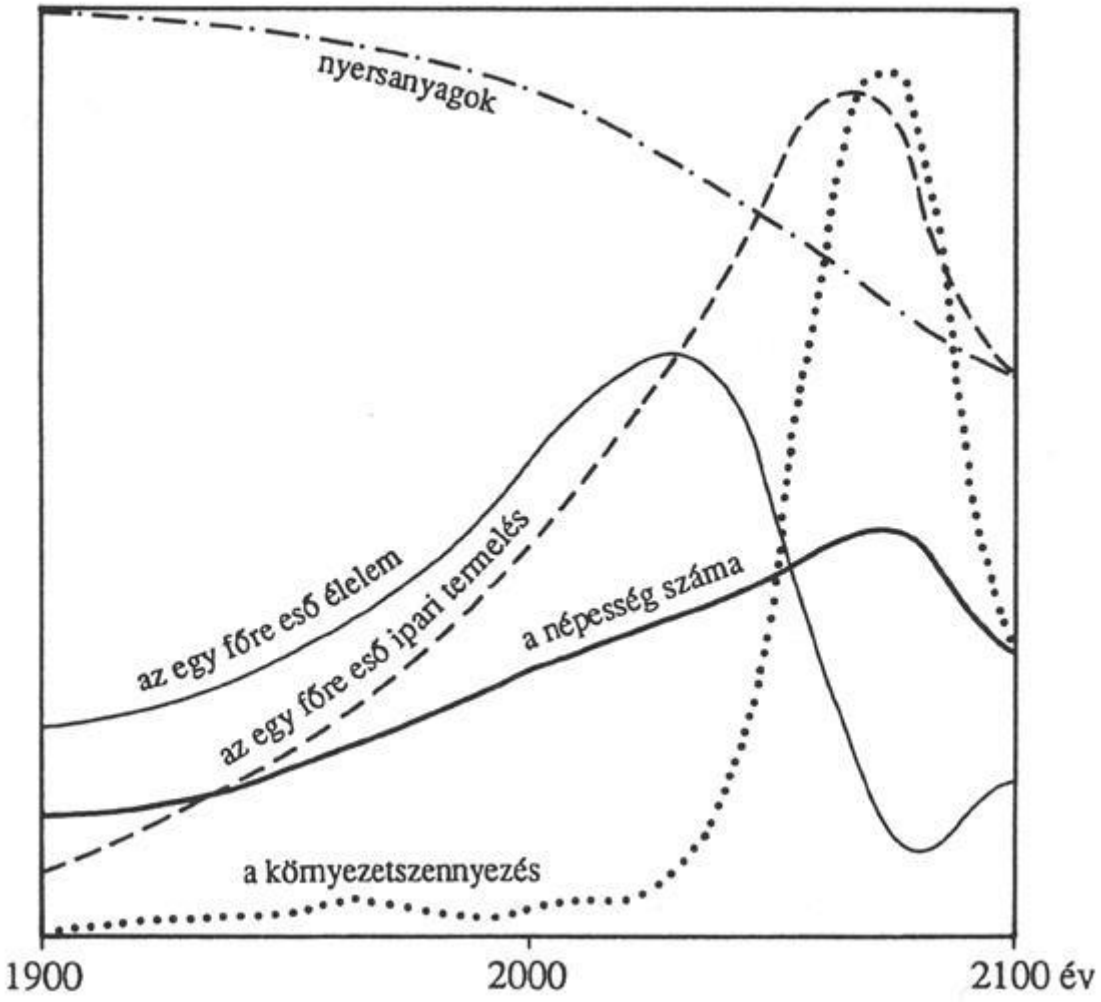
Created by XMLmind XSL-FO Converter.



67. ábra. A Meadows-féle világmodell I. modellváltozata: a 70-es évek fejlődési tendenciáinak fennmaradása esetén (*Korán*, 1980. és *Vester*, 1982. nyomán)

A továbbiakban azt feltételezték, hogy a nyersanyagforrások „korlátlanok” (a nukleáris energia megkettőzi a feltárható tartalékokat, és lehetővé teszi az újrafelhasználást), a szennyezésszabályozás megvalósul, és hatékony születésszabályozást vezetnek be (*68. ábra*).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

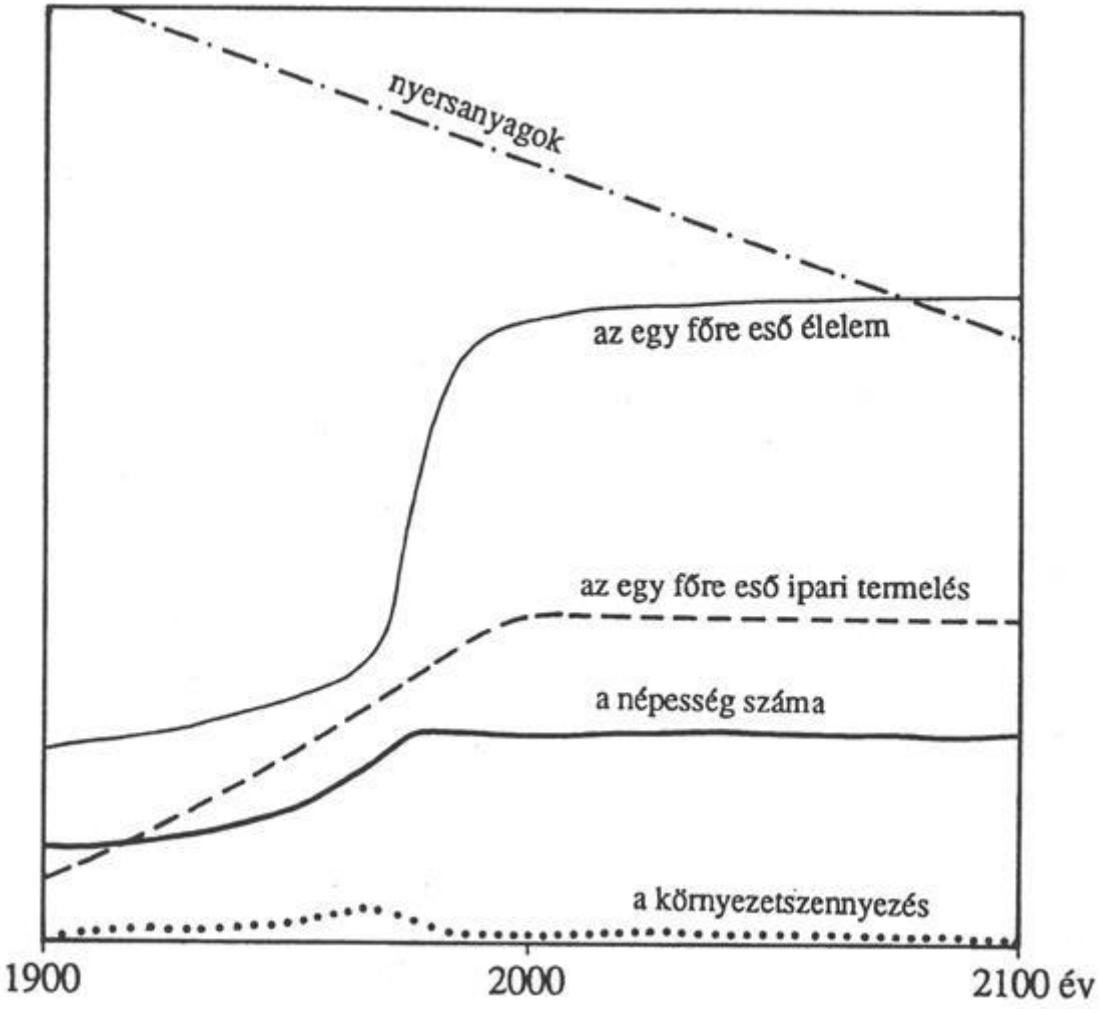


68. ábra. A Meadows-féle világmodell 7. modellváltozata: korlátlan nyersanyagforrásokkal, szennyezésszabályozással és világméretű születésszabályozással (*Korán*, 1980, és *Vester*, 1982. nyomán)

Ebben az esetben az ipari termelés a 21. század végén érné el a csúcspontját, az élelmiszertermelés viszont hamarabb, 2030 körül. A Föld népessége nem növekedne olyan ütemben, mint az előző modellben, de az élelmiszerhiány és a szennyezett környezet miatt a 21. század végén bekövetkezne a rohamos csökkenés.

A Meadows-féle világmodell 10. és 11. változata ún. *stabilizált világmodell*. A 10. változatban a szerzők – többek között – azt feltételezték, hogy a népesség számának növekedése 1975-ben megáll (ez már akkor is nonszensznek számított), 1990-ig stabilizálódik a tőke és az ipari termelés, szabályozzák a környezetszennyezést, az anyagokat újrafeldolgozzák. Ez a változat 2100-ig egyensúlyi állapotot mutatott (*69. ábra*).

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



69. ábra. A Meadows-féle világmodell 10. modellváltozata: szennyezésszabályozással, a nyersanyagforrások gondozásával, a gazdasági növekedés ütemének azonnali (70-es évek!) csökkentésével majd megállításával és a népességszám 1975-ös szinten történő stabilizálásával (*Korán*, 1980, és *Vester*, 1982 nyomán)

A 11. változat alapelveiben hasonló, de a növekedés korlátozásának időpontját nem határozták meg olyan mereven, mint a 10. változatban, azt késleltetésekkel építették be a modellbe. Az eredmény hasonló volt az előzőhöz, de a népesség száma magasabb, az ipari termelés alacsonyabb szinten állandósult, amiből az is következett, hogy az átlagos életszínvonal ebben a modellváltozatban alacsonyabb volt. A fentiek miatt a modell bírálói Meadowsék elméletét elnevezték a *nulla növekedés teóriájának*.

A Meadows-féle jelentés végkövetkeztetése: a krízis csakis úgy kerülhető el, ha az emberiség lélekszámát, termelő és fogyasztó tevékenységét mielőbb korlátozza. A modell óriási vitát váltott ki a tudósok körében. Maguk a modellkészítők is egyetértettek abban, hogy sok fontos tényezőt nem vettek figyelembe (részben azért, mert nem lehet azokat számszerűen kifejezni), mint pl. az alkalmazkodás regionális különbségeit, a társadalmi különbségeket, vallási tényezőket stb. Egyesek kifogásolták, hogy a tudományos és a technikai fejlődésben rejlő lehetőségeket sem vették kellő súllyal figyelembe. A geológusok egy része erősen vitatja a nyersanyagkészletekre vonatkozó adatokat – bár ezzel kapcsolatban a szerzők azt állítják, hogy az újabb lelőhelyek feltárása nem szünteti meg a problémákat, csupán kevéssel elodázza azokat.

Meadows és munkatársai húsz évvel később megismételték számításaikat a közben eltelt idő eseményeinek figyelembe vételével (*Meadows* et al., 1993). Amikor az újabb (1990-es) adatokat betáplálták a számítógépbe, s az első eredményeket megkapták, látszott, hogy az emberiség a 70-es évek elején elemzett helyzethez képest új viszonyrendszerbe került környezetével. Globális méretekben emberek milliói foglalkoztak és foglalkoznak a környezeti problémák megoldásával, s számos eredményt tudnak felmutatni ezen a téren. Például sikerült javítani az energia-felhasználás hatékonyságán, kifejlesztettek új, környezetkímélő anyagokat, sok helyen megvalósították a hulladékok újrahasznosítását, új környezetkímélő technológiákat dolgoztak ki,

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

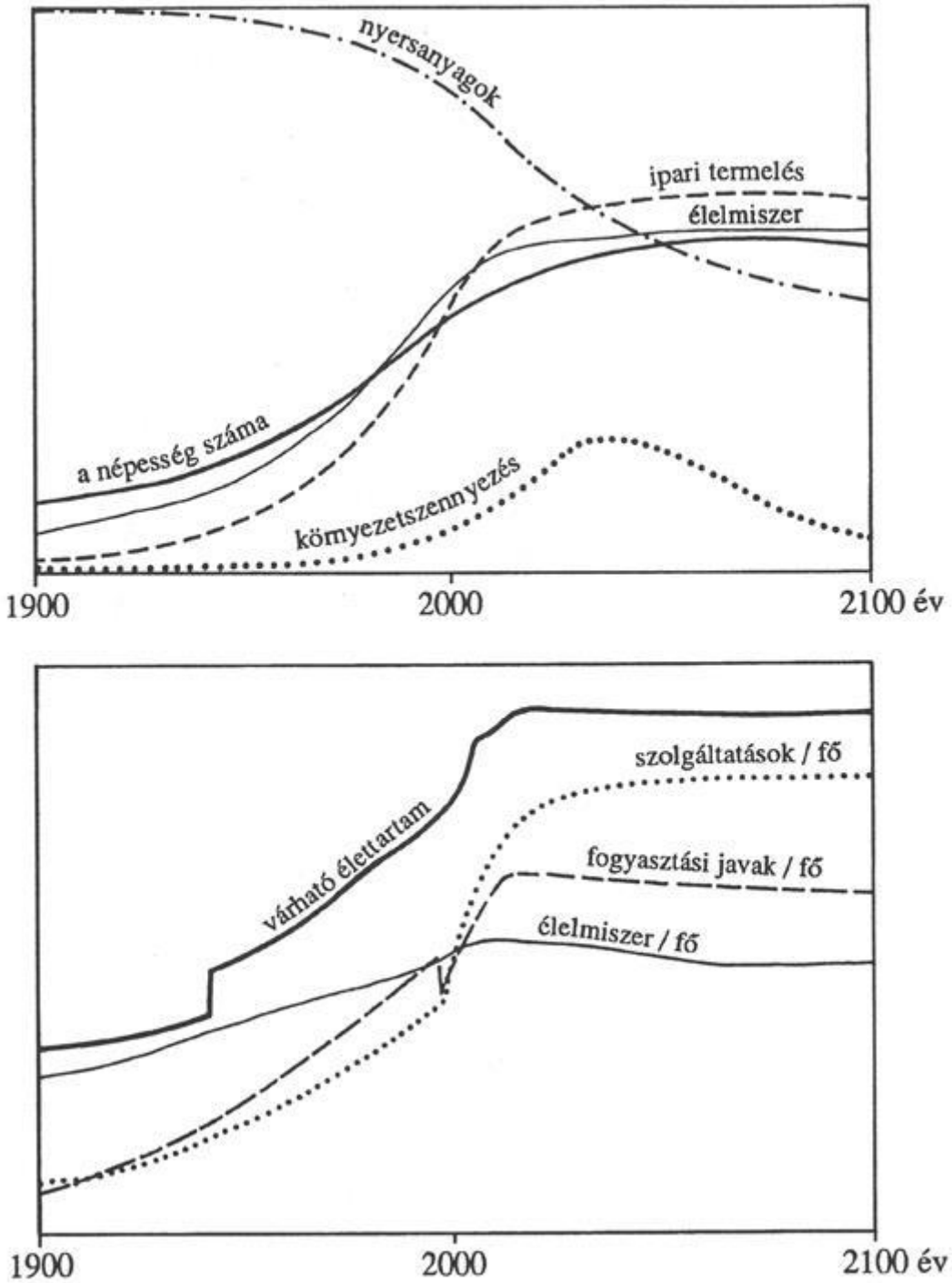
környezetvédelemmel foglalkozó intézmények jöttek létre, nemzetközi egyezményeket kötöttek a Föld egészét érintő problémák (pl. az ózonréteg ritkulása) megoldására stb.

A kedvező jelenségek mellett azonban a régóta megfigyelt folyamatok is léteznek: sok millió ember él a Földön reménytelen szegénységben, a természeti erőforrásokat tovább pazarolják, még több szennyező anyag kerül a környezetbe stb. Ezek a folyamatok tovább csökkentették a Föld „életfenntartó kapacitását”.

Meadows és munkatársai úgy látták, hogy mindezért nem elég az 1972-ben készített jelentésük kibővítése; az új helyzet teljes körű elemzést igényel. Az alapvető kérdés, amelyre a választ keresték: van-e még elég ideje az emberiségnek, hogy a még mindig fennálló és világméretű környezeti katasztrófához vezető folyamatokat lefékezze, s elkerülje ezt a katasztrófát?

Figyelemre méltó a 10. modellváltozat, melyben a feltételek a következők: világszerte születés- és termeléskorlátozást, szennyezést csökkentő technológiákat, erózió elleni védelmet és az erőforrások kíméletes használatát vezetik be már 1995-től. Ilyen körülmények között a népesség lassan 7,7 milliárdra emelkedne, s jó életszínvonalon élhetne. A várható átlagos élettartam magas lenne, s a környezetszennyezés kb. 2030-tól fokozatosan csökkenne. Ez az állapot legalább 2100-ig fenntartható lenne (*70. ábra*).

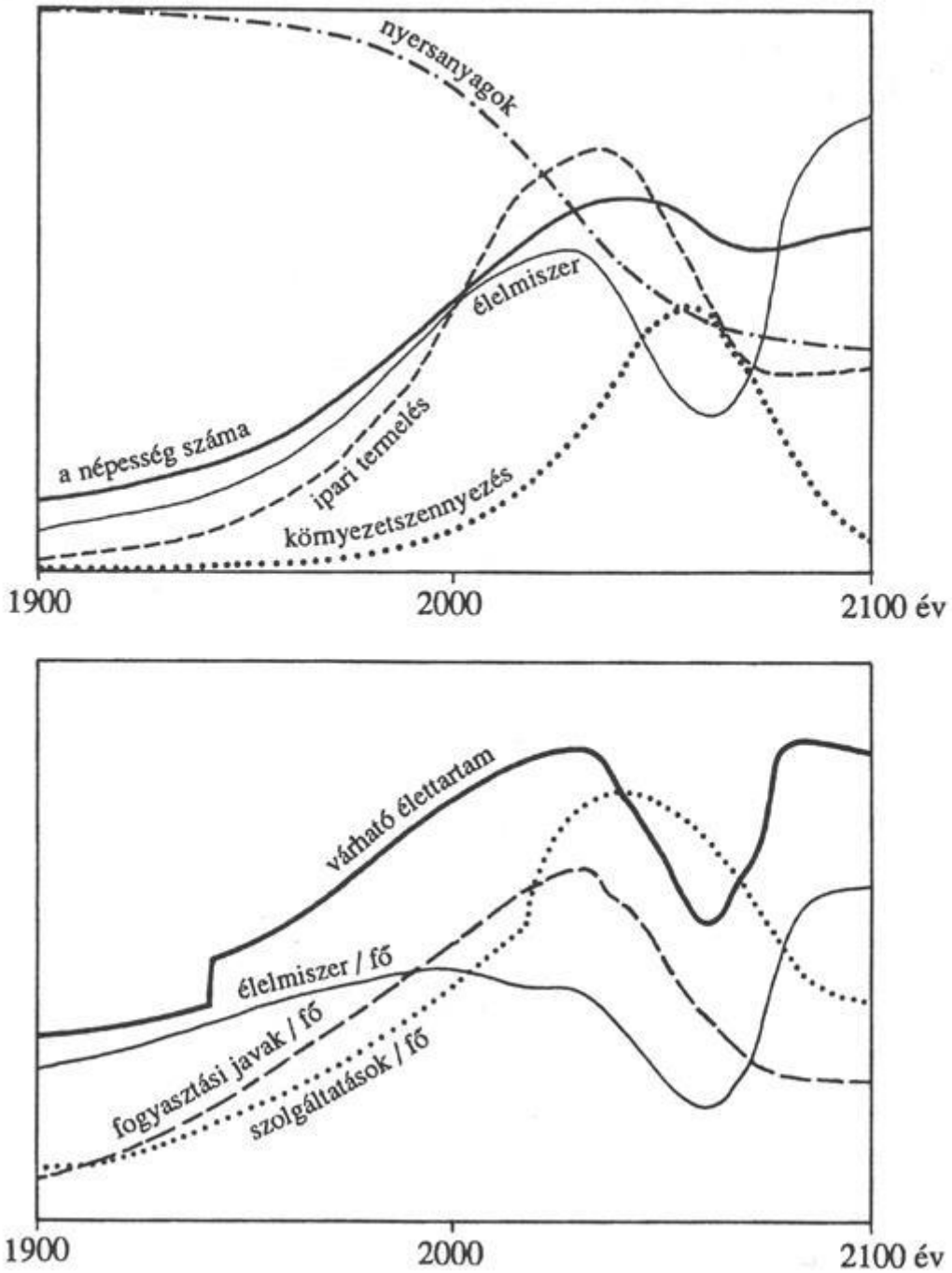
Created by XMLmind XSL-FO Converter.



70. ábra. A Meadows-féle újabb (1991-ben készült) világmodell 10. modellváltozata. Feltételek: világszerte születésszabályozás, termeléskorlátozás, szennyezést csökkentő technológiák, erózió elleni védelem és az erőforrások kíméletes használatának bevezetése 1995-től (*Meadows* et al., 1993)

Meadows és munkatársai oly módon is lefuttatták a programot, hogy azt feltételezték: a 10. változatban leírt intézkedéseket csak 2015-ben fogják meghozni. Az említett feltételek ilyen késői biztosítása esetén a népességszám, az ipari termelés és a környezetszennyezés túl magas értéket érne el (*71. ábra*). Még a hatékony technológiák sem tudnák megakadályozni a gazdasági hanyatlást és a népességszám csökkenését, amely a 21. sz. második felében bekövetkezne. A 21. sz. végén azonban újabb fellendülés kezdődhetne.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



71. ábra. A Meadows-féle újabb (1991-ben készült) világmodell 12. modellváltozata. Feltételek: ugyanazok, minta 10. modellváltozatnál, de az intézkedéseket csak 2015-ben fogják meghozni (*Meadows* et al., 1993)

A modellváltozatok azt bizonyították, hogy az emberiség előtt még mindig nyitva állnak megoldási lehetőségek. Az újonnan kidolgozott technológiák és az új intézmények lehetővé teszik, hogy a természeti erőforrásokkal kíméletesebben bánjunk, a környezetbe juttatott szennyező anyagok mennyiségét csökkentsük. Elvileg a tömeges szegénység is megszüntethető. Ezek közül a lehetőségek közül azonban semmi sem realizálható, ha a népességnövekedés féktelenül folytatódik, ha az energia és a többi természeti erőforrás felhasználásának hatékonysága nem növekszik még jobban, valamint elosztásuk nem lesz egyenletesebb. A Meadows-féle világmodell 1972-es és 1992-es forgatókönyveinek tanulságai a következők:

1. Több természeti erőforrás felhasználása és a nehezen bomló káros anyagok környezetbe bocsátása már túllépte a megengedhető határokat. Ha ezeknek az anyagoknak az emissziója és az energiafelhasználás nem fog

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

lényegesen csökkenni, a következő évtizedekben ellenőrizhetetlen visszaesés fog bekövetkezni az élelmiszertermelésben, a hozzáférhető energiakészletekben és az ipari termelésben.

2. Ez azonban elkerülhető, ha két alapvető változtatást megvalósítunk: átfogóan revideáljuk azt a politikai gyakorlatot és azokat a módszereket, amelyek elősegítik a népességszám és a fogyasztás növekedését; emellett jelentősen növeljük az energiafelhasználás és az anyagi erőforrások hasznosításának hatékonyságát.

3. A technika és a gazdaság fejlettsége még az 1990-es években is lehetővé teszi egy hosszú távon létezni képes társadalom megvalósítását. Ez nem lehet olyan társadalom, amely problémáit állandó expanzióval akarja megoldani, emellett olyannak kell lennie, amely az életet jobban tiszteli. Egy ilyen társadalom létrehozása megköveteli a rövid távú és a hosszú távú célok összhangba hozását, biztosítani kell a lakosság elégséges ellátását, az igazságos elosztást, a megfelelő életminőséget – mindezt kisebb árutömeggel. Ehhez többre van szükség, mint csupán termelékenységre és modern technológiára, kell hozzá megfelelő érettség és bölcsesség, együttműködésre képes emberek, intézmények és államok.

A szerzők hangsúlyozzák, hogy a világ nem egy előre meghatározott jövő előtt áll, hanem *több választási lehetőség adott*. Az akkori véleményük szerint három alapvető gondolati modell lehetséges.

Az egyik azt hangsúlyozza, hogy véges világunknak de facto még sincs határa. Ezt a modellt követve – a szerzők szerint – biztosan bekövetkezik az összeomlás.

A másik gondolati modell szerint a határok léteznek, és annyira megközelítettük azokat, hogy már nincs elég időnk cselekedni. Ez a modell is összeomláshoz vezet.

A harmadik modell szerint is léteznek ezek a határok, de még van időnk a cselekvésre. Van elég energia, nyersanyag, pénz, környezeti kapacitás és emberi képesség arra, hogy alapvető változást valósítsunk meg, az emberiség harmadik nagy forradalmát: a környezeti forradalmat. Elvileg ez a modell is lehet téves, de a szerzők szerint minden jel, minden globális adat és a számítógépes elemzések is valószínűvé teszik, hogy ez a gondolati modell lényegében helyes.

2. 16.2. A Meadows-féle világmodell továbbfejlesztése: World3-03

Meadows kutatócsoportja az 1970-es évek elején készített világmodelljének kidolgozásánál a DYNAMO-nak nevezett szimulációs programozási nyelvet használta (World3). Az 1992-ben megjelent könyvükben (A növekedés határain túl) már egy módosított változattal dolgoztak: a World3 modellt a DYNAMO-ból STELLA-ba konvertálták (World3-91). A magyar nyelven 2005-ben megjelent munkájukban (A növekedés határai 30 év múltán) tovább korszerűsítették a modellt, amit World3-03-nak neveztek el.

Az újabb módosítás nem számítástechnikai jellegű volt, hanem a rendszermodell elemeiben történtek változások az alábbiak szerint.

- Megváltoztatták az új technológia állóeszköz-beruházási költségeinek determinánsát három szektorban. (Erőforrások, szennyezés, mezőgazdaság.)
- A népességi tényező referenciatáblázatát úgy módosították, hogy az egy főre jutó ipari termelés értékei a korábbinál jobban befolyásolják a kívánt családméretet.
- Beépítették a modellbe a humán fejlettségi indexet (HDI), valamint az emberi ökológiai lábnyom-indexet (HEF). Megjegyezzük, hogy Meadowsék helyenként a HDI helyett a HWI-t (human welfare index = humán jóléti index) használják.
- Új, a korábbiakban nem használt grafikonokat szerkesztettek, amelyek az előzőkben ismertetett paraméterek (HDI, vagy HWI, illetve HEF) időbeli változásait mutatják be.

Mint korábbi tanulmányainkból tudjuk, az emberiség ökológiai lábnyoma azt fejezi ki, hogy az emberiség milyen hatást gyakorol a Földre. A hatást sok tényező alapján számítják, mint pl. a mezőgazdaság, a bányászat, a fakitermelés, a szennyezőanyag-kibocsátás, az új termőföldek kialakítása, stb. (Wackernagel – Rees, 2001). A ökológiai lábnyom dimenziója egy területérték (egyes emberekre számítva ha-ban adják meg), ami azt fejezi ki, hogy az emberiségnek mekkora területre van szüksége életének (a mai életszínvonalon történő) fenntartásához. Ez az érték a megfelelő adatok alapján a múltra és a jövőre nézve is kiszámítható. Az ökológiai lábnyom a

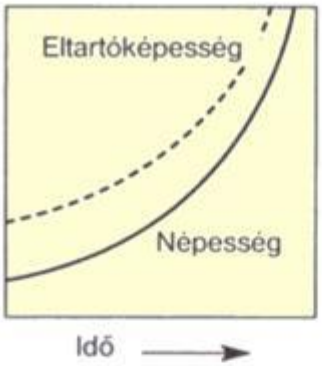
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

népességnövekedéssel nő, mivel az a fogyasztást is megnöveli. Elvileg csökkenhet is, ha az emberiség hatékonyabb eljárásokkal csökkenteni tudja a hatások mértékét: pl. a megújuló energiák fokozottabb (és jelenleginél hatékonyabb) felhasználásával kevesebb szennyező anyagot bocsátunk ki, és kevesebb erdőt irtunk ki.

Mint azt korábban láttuk (9.3. fejezet), Wackernagel és Rees számításai szerint az emberiség ökológiai lábnyoma 1980 körül meghaladta a Föld eltartóképességét, és azóta tovább nőtt. Meadows és munkacsoportja – bár elemzi az eltartóképesség és a népesség lehetséges összefüggéseit – az emberiség jövőbeli sorsát illetően abból indul ki, hogy bolygónk eltartóképességét már túlhaladtuk.

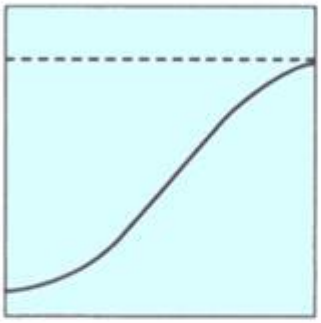
Ez esetben az elméletileg lehetséges négy variáció közül (*72. ábra*: 1 folyamatos növekedés, 2. szigmoid alakú közelítés az egyensúlyhoz, 3. túllövés és oszcilláció, 4. túllövés és összeomlás) már csak az utóbbi kettőre van lehetőségünk. Vagyis egyik esetben az ökológiai lábnyom irányított csökkentésével, rövidebb-hosszabb oszcillációs időszak után eljuthatunk az egyensúlyig; másik esetben a rohamosan növekvő hiányok és krízisek során a globális társadalom összeomlása bekövetkezik.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



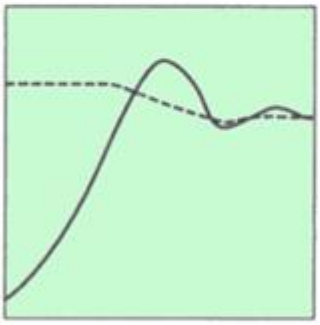
a) Folyamatos növekedés következik be, ha

- a fizikai korlátok még nagyon messze vannak, vagy
- maguk a fizikai korlátok is exponenciálisan növekednek



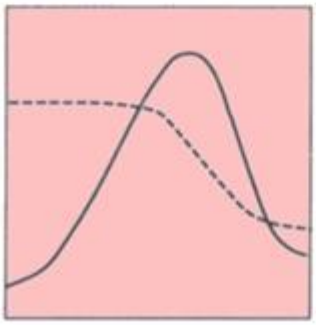
b) Szigmoid alakú növekedés következik be, ha

- a fizikai korlátoktól a gazdasághoz érkező jelek azonnal megérkeznek, pontosak, és azonnal válaszolnak rájuk, vagy
- a népesség és a gazdaság korlátozza önmagát anélkül, hogy jelekre lenne szüksége a külső korlátok felől



c) Túllövés és oszcilláció következik be, ha

- a jelek és a válaszok késnek, és
- a határok nem erodálódnak, vagy képesek gyorsan felépülni az erózióból



d) Túllövés és összeomlás következik be, ha

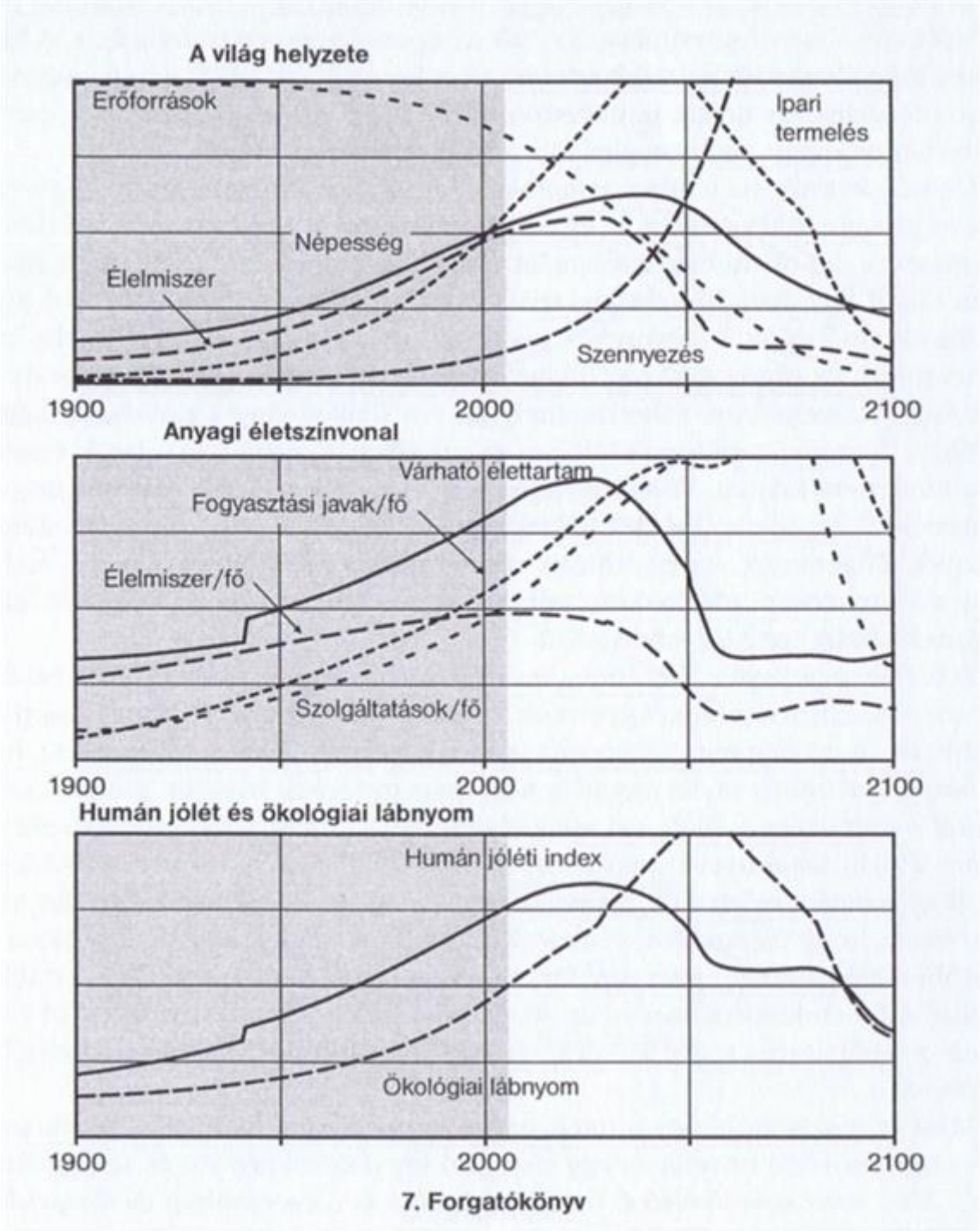
- a jelek és a válaszok késnek, és
- a határok erodálhatók (irreverzibilisen megrongálódnak, amikor túllépik őket)

72. ábra. A World3 modell négy lehetséges viselkedésmódjának szerkezeti okai (Meadows et al., 2005)

Meadowsék az előbbi változat eléréséhez vezető feltételeket keresték továbbfejlesztett világmodelljükkel. A javított modell 7. forgatókönyvével megvizsgálták a népességnövekedés tudatos korlátozásának várható következményeit. Feltételezték, hogy minden szülőpáros elhatározza, hogy kettőre korlátozza gyermekeinek

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

számát. (Ezt átlagértékként gondolták megvalósítani.) Ez reális célnak mondható, hisz a világ fejlett ipari országaiban ez gyakorlatilag megvalósult, sőt Kínát is beleszámítva több mint 2 Mrd ember teljesítette ezt a reprodukciós feladatot. A feltétel teljesítésének következményeit a *73. ábrán* láthatjuk.



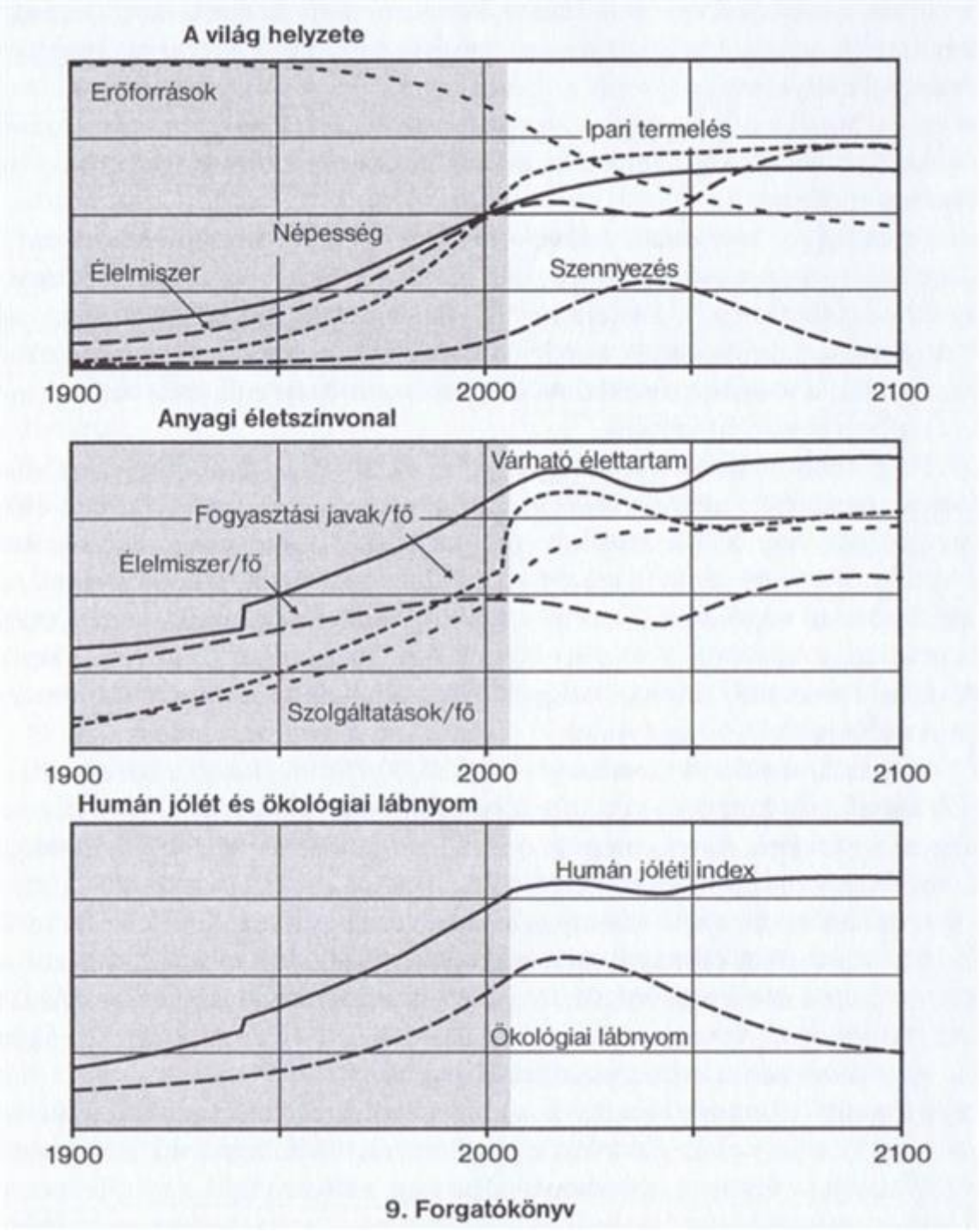
73. ábra. 7. Forgatókönyv: a világ 2002-től stabil népességet igyekszik elérni (Meadows et al., 2005)

A népességnövekedés ebben az esetben lelassul, s kb. 2040-re éri el a csúcspontját 7,4 Mrd fővel. (A feltétel teljesülésének kezdő időpontja 2002.) Mivel a termelés növekedésének és a szennyező anyagok kibocsátásának nincs korlátozó feltétele, a gyors ipari növekedés exponenciálisan növekedő szennyezést és egyéb környezetterhelést okoz. A szennyezések korlátozzák a mezőgazdasági termelést, ezért az élelmiszertermelés és az egy főre jutó élelmiszer mennyisége is csökken, a szennyező anyagok károsítják az emberek egészségét. Végeredményben mind a népesség, mind a humán jóléti index, valamint a várható élettartam csökken, az emberiség ökológiai lábnyoma kb. 2060-ig nő, majd miután a termelés lényegesen lecsökken, az ökológiai

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

lábnyomunk is kisebb lesz. Ez a forgatókönyv tehát az összeomlás felé haladó társadalom jellemző vonásait mutatja, vagyis önmagában a népességnövekedés tudatos korlátozása nem oldja meg a fenntarthatóság kérdését.

A modell 9. forgatókönyvében (*74. ábra*) a születésszabályozás mellett az emberiség „szerény korlátokat szab" az anyagi termelésnek. Mivel a szerzőket a 70-es években sokan támadták a nulla növekedés teóriájukért, itt a termelés csökkenő ütemű növekedésével számolnak. Nagy jelentőséget tulajdonítanak a műszaki-technológiai fejlesztéseknek, melyek egyrészt növelik az erőforrás-használat hatékonyságát, másrészt csökkentik az egységnyi ipari termelésre jutó kibocsátást. A talajpusztulás elleni hatékony védelem és a mezőgazdasági terméshozamok növelése ugyancsak a tudományos-technikai fejlesztések eredménye. A feltételezések szerint mindehhez elegendő tőke is rendelkezésre fog állni, főleg azért, mert lassabban nő majd a népesség, mint az ezredfordulón, sőt a 21. század derekán 8 Mrd fő alatt stabilizálódik az emberiség lélekszáma (*74. ábra*).



9. Forgatókönyv

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

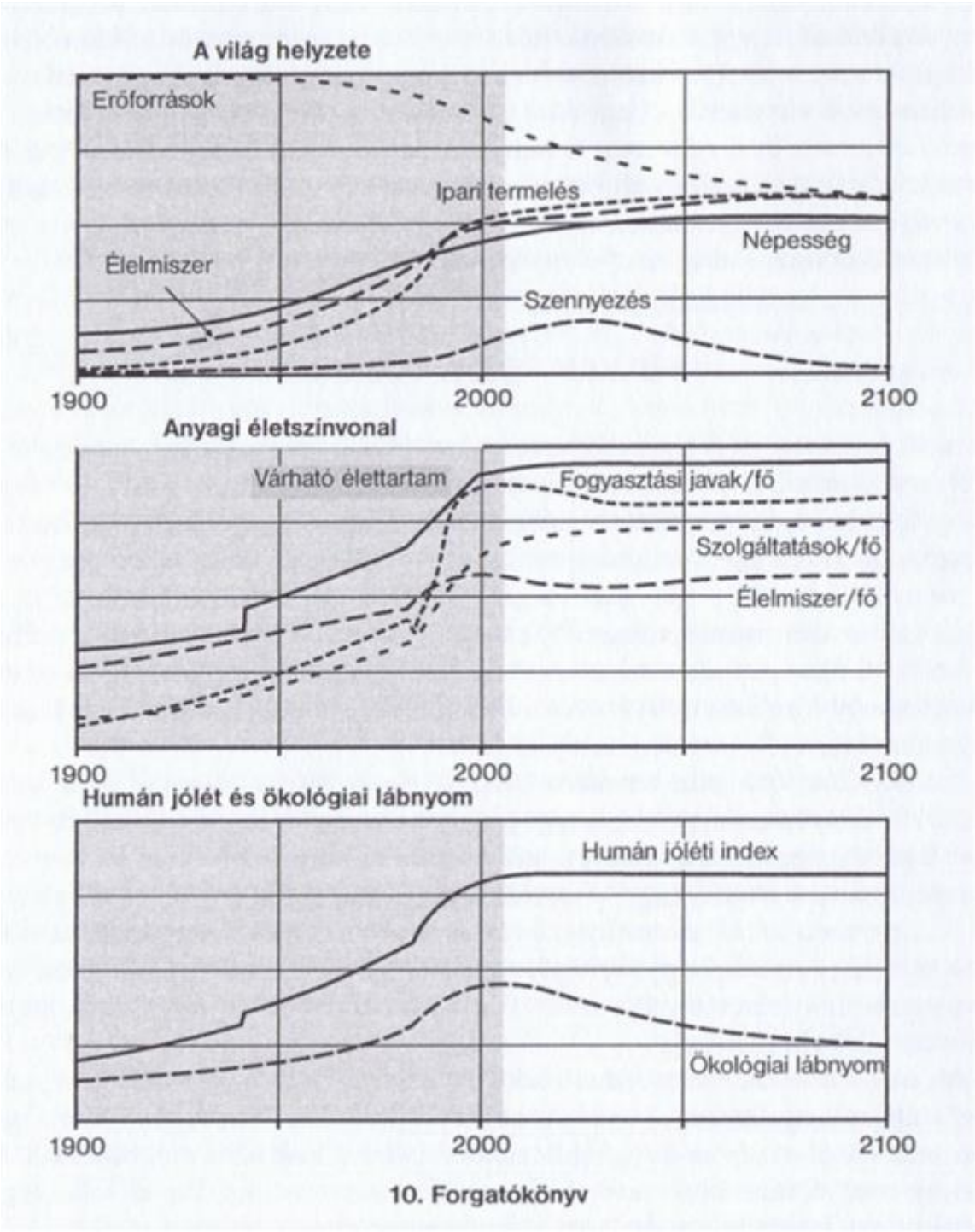
74. ábra. 9. Forgatókönyv: a világ 2002-től stabil népességet, stabil egy főre jutó ipari termelést igyekszik elérni, és műszaki fejlesztéseket alkalmaz a szennyezéssel, az erőforrásokkal és a mezőgazdasággal kapcsolatban (Meadows et al., 2005)

Az egységnyi ipari termelésre jutó nem megújuló erőforrások használata a 9. forgatókönyv szerint 80%-kal csökken, az egységnyi termelésből eredő szennyezés pedig 90%-kal lesz kisebb, mint amennyi a felsorolt intézkedések nélkül lenne. Mindez azt eredményezi, hogy az emberiség ökológiai lábnyoma a 21. század második negyedétől magas szinten stabilizálódik. A szerzők hangsúlyozzák, hogy az egyensúlyi állapot nem jelent statikus változatlanságot, hanem a globális társadalmi rendszer olyan működését, amelynek során a pozitív és negatív visszacsatolások egyensúlyba kerülnek, és a rendszer így kiegyensúlyozott állapotban marad. Ahhoz, hogy a stabilizált rendszer kialakuljon, a fenntartható fejlődés elvének világméretű elterjedésére és annak szellemében történő cselekvésre lenne szükség. Ez minél később következik be, annál nehezebb lesz a rendszer stabilizálása.

A *74. ábrán* megfigyelhető változások abból a feltételezésből indulnak ki, hogy az előzőkben elemzett intézkedéseket 2002-től kezdik meghozni. A szerzők azt is megvizsgálták, hogy mit jelentett volna, ha ezeket az intézkedéseket 20 évvel korábban meghozzák.

A *75. ábrán* ennek a forgatókönyvnek az elméleti megvalósulását figyelhetjük meg. A népesség ebben az esetben nem sokkal 6 Mrd fő fölött stabilizálódott volna, a szennyezés 20 évvel korábban, az előző forgatókönyvhöz képest lényegesen alacsonyabb szinten tetőzött volna, ami a mezőgazdaság fejlődését is kevésbé gátolta volna.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.



75. ábra. 10. Forgatókönyv: a 9. Forgatókönyv fenntarthatósági szakpolitikái húsz évvel korábban, 1982-ben bevezetve (Meadows et al., 2005)

A várható élettartam már az ezredfordulón is meghaladta volna a 80 évet, s ez az érték globálisan is stabilizálódott volna csakúgy, mint a humán jóléti index. A nem megújuló erőforrásokat kevésbé használták volna fel, így a 21. század végére is tetemes mennyiség állt volna az emberiség rendelkezésére, több időt hagyva azok helyettesítő anyagainak megtalálására, a helyettesítési technikák, technológiák kidolgozására. Az emberek ellátása is magasabb szintet érhetett volna el (*74. ábra*: fogyasztási javak, szolgáltatások, élelmiszer egy főre jutó mennyiségei).

A 20 évvel korábbi, a fenntarthatóság irányába tett lépések elméleti következményei arra hívják fel a figyelmet – amit Meadows és munkatársai a 70-es évek óta hangsúlyoznak – hogy minél később hozza meg az emberiség a fenntartható társadalom létrehozásához szükséges intézkedéseket, annál nehezebb lesz a stabilizált rendszer

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

létrehozása, és annál tovább fog tartani ez a folyamat. A szerzők arról is írnak, hogy modelljük forgatókönyvei csupa optimista feltételezésből indultak ki, „azaz nincsenek háborúk, nincsenek konfliktusok, nincs korrupció, és nincsenek tévedések” (Meadows et al. 2005).

Mindezeket figyelembe véve a szerzők visszatérnek az őket ért „vádak” (a nulla növekedés elérése lehetetlen) visszautasításához, a fenntarthatóan működő társadalom jellemzéséhez, s annak magyarázatához, hogy az az általuk elképzelt módon megvalósítható. Gondolataik lényegét az alábbiakban foglaljuk össze.

Rendszerelméleti szempontból „fenntartható az a társadalom, melynek vannak olyan információs, szociális és intézményi mechanizmusai, melyek folyamatosan ellenőrzik azokat a pozitív visszacsatolási hurkokat, melyek a népesség és a tőke exponenciális növekedését okozzák” (Meadows et al. 2005). A szerzők különbséget tesznek az anyagi-energetikai értéktermelő tevékenységek és a szellemi értékteremtés között, mivel ezek környezeti hatásai különbözők.

Az anyagi és energetikai fenntarthatóság eléréséhez a gazdaság anyagátalakító teljesítményének három feltételét kell teljesítenie (Herman Daly nyomán):

· megújuló erőforrások használatának mértéke nem haladja meg azok regenerációjának mértékét;

· a nem megújuló erőforrások használatának mértéke nem haladja meg azt a mértéket, amivel kifejlesztik az őket helyettesítő fenntarthatóan megújuló erőforrásokat;

· a szennyező anyagok kibocsátásának mértéke nem haladja meg a környezet asszimilációs, szennyezőanyag-feldolgozó kapacitását.

A fenntartható társadalomra nem a fizikai expanzió, a materiális növekedés jellemző. Ez a társadalom „az anyagi növekedést úgy használná, mint egy alaposan végiggondolt eszközt, nem pedig egy egész életre szóló küldetést”. Időnként még a céltudatos negatív növekedés is elképzelhető, hogy megszüntesse a felesleget.

A fenntartható társadalomban nem engedhető meg a jelenlegi rendkívül egyenlőtlen elosztás, a szegénység instabillá teszi a társadalmat. Éppen ezért a mostani helyzet megváltoztatására kell fordítani a növekedésből származó többletet, kiegyenlítettebb jövedelmi viszonyokat biztosítva mind az országok állampolgárai, mind az országok között.

A fenntartható társadalmat embermilliárdok szellemi képességei, tehetsége, ötletei és előrelátása fogja megteremteni, tehát az oktatás-képzés, kutatás és fejlesztés minél magasabb szintre emelése kulcsfontosságú egy új globális társadalom kialakításában. A társadalom céljai a fejlődés, ne pedig a növekedés gondolata köré összpontosuljanak.

Három területen kell gyökeresen más gondolkodást meghonosítani, mint azt eddigiekben tettük.

- A szegénység felszámolása. Meadowsék szerint: ha javainkat jól kezeljük, van elég ahhoz, hogy mindenkinek jusson.
- A munkanélküliség minimálisra csökkentése. Minden embernek szüksége van arra, hogy dolgozzon, a társadalom hasznos tagjának érezze magát. A társadalmat úgy kell megszervezni, hogy az embereknek biztosított legyen a munkája és pihenése, azoknak pedig, akik valamilyen okból átmenetileg, vagy tartósan nem tudnak munkát vállalni, segítséget biztosítsanak.
- Kielégítetlen igények. Az embereknek alapjában véve nem materiális javak kellenek, hanem szellemi, érzelmi, kulturális igényeiket kell kielégíteni. Meg kell találni a nem anyagi természetű megoldásokat ezek kielégítésére, és akkor sokkal kevesebb anyag- és energiaráfordítással válik fenntarthatóvá a társadalom.

„Művelődés, humanitás, kooperáció, szimbiózis: ezek a jelszavai az egész világot átfogó új kultúrának” (Meadows et al. 2005).

3. Önellenőrző feladatok

Ábraelemzés. Állapítsa meg, hogy az alábbiakban felsorolt környezeti korlátokat az ábrán mely betűk jelzik!

1. nagy régiók működési zavarai

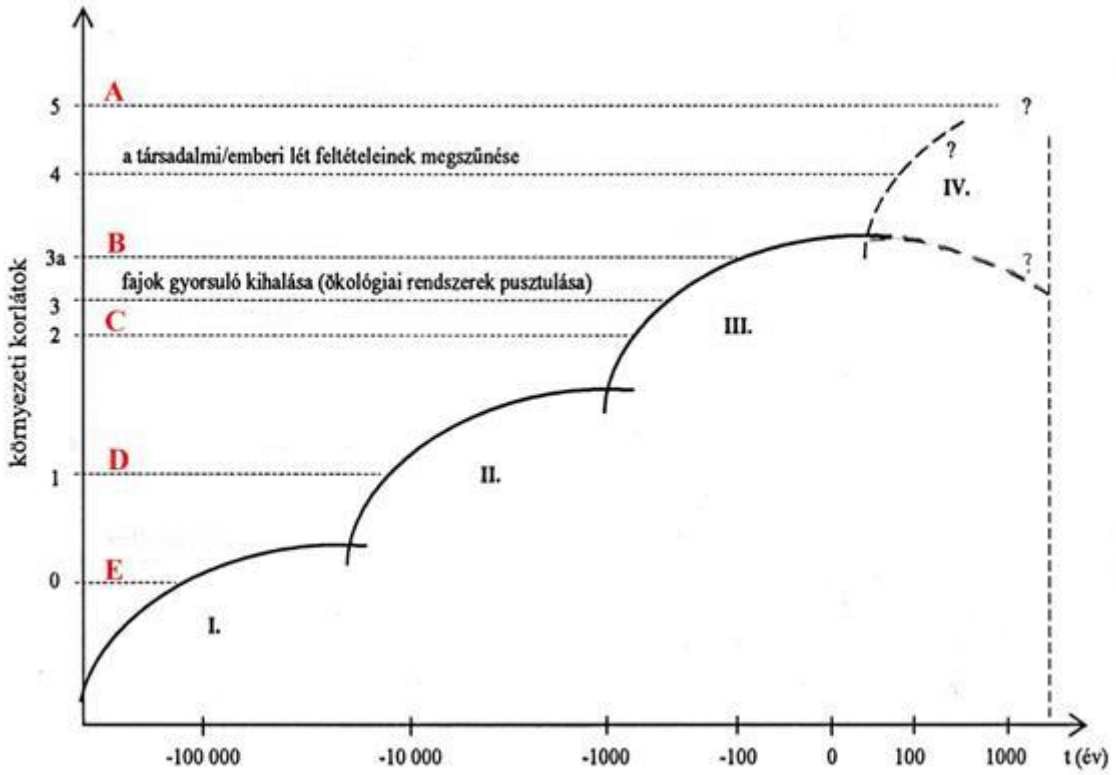
Created by XMLmind XSL-FO Converter.

2. vadászott fajok kihalása

3. a földi élet feltételeinek megszűnése

4. kis régiók működési zavarai

5. globális működési zavarok



Többszörös választás. Állapítsa meg, hogy az alábbi lehetőségek közül melyik a helyes!

A) *az 1., a 2. és a 3. állítás igaz*

B) *az 1. és a 3. állítás igaz*

C) *a 2. és a 4. állítás igaz*

D) *a 4. állítás igaz*

E) *mindegyik állítás igaz*

1. 1) Az első ipari forradalom idején a népesség növekedési üteme felgyorsult.

2) A 20. század második felében már mérhető és érzékelhető jelei voltak a globális földi rendszer működési zavarainak.

3) A szigeteken élő társadalmakra a történelem folyamán fokozottabban hatottak a környezeti korlátok.

4) Már az ókorban is előfordultak olyan környezeti problémák, amelyek egyes társadalmak összeomlásához vezettek.

1. 1) Medowsék első világmodelljüket a „Növekedés határai” című munkában tették közzé.

2) Meadows és munkatársai 1952-ben készítették el első világmodelljüket.

3) A savas ülepedés fokozódása nemzetközi konfliktusokhoz vezetett a 20. század második felében.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

4) Az ipari forradalom következtében fellépő környezeti károk Anglia társadalmi gazdasági összeomlásához vezettek.

1. 1) Az első Meadows-féle világmodell végkövetkeztetése az volt, hogy a krízis csak úgy kerülhető el, ha az egyes országok minél gyorsabb gazdasági növekedést képesek elérni.

2) A modell óriási vitát váltott ki a tudósok körében.

3) A modellkészítők azt állították, hogy minden tényezőt figyelembe vettek a modelljük elkészítésénél.

4) Meadowsék 1993-ban tették közzé 2. világmodelljüket, melyben már figyelembe vették az első modell kidolgozása óta eltelt eseményeket.

1. 1) Az egyes világmodellek készítésekor a szerzők különböző előfeltételekkel futtatták le a számítógépes programot, így több modellváltozat is készült.

2) Az 1993-as világmodell modellváltozatai alapján a szerzők azt a végkövetkeztetést vonták le, hogy az emberiség előtt még nyitva állnak a megoldási lehetőségek.

3) Az 1993-as világmodell arra is felhívta a figyelmet, hogy a probléma megoldásához többek között meg kell fékezni a népesség növekedését.

4) Az 1993-as világmodellben a szerzők még nem használták a HDI indexet.

1. 1) Meadowsék az ezredforduló után publikálták 3. világmodelljüket.

2) Ebben a modellben Már használták a HEF indexet.

3) Medowsék megállapították, hogy minél később hozza meg az emberiség a fenntartható társadalom létrehozásához szükséges intézkedéseket, annál nehezebb lesz a stabilizált rendszer megteremtése.

4) Wackernagel és Rees számításai szerint az emberiség ökológiai lábnyoma ma még nem, de egy-két évtizeden belül meghaladhatja a Föld eltartóképességét.

Megoldások:

1. C

2. E

3. A

4. D

5. B

6. E

7. B

8. C

9. E

10. A

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

17. fejezet - IRODALOM

A Világ Helyzete 2008 - Worldwatch Intézet jelentése. Föld Napja Alapítvány, Budapest, 315 p.

A Világ Helyzete 2009 - Worldwatch Intézet jelentése. Föld Napja Alapítvány, Budapest, 291 p.

Ángyán J. – Menyhért Z. (szerk.), 2004. Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 559 p.

Bartholy J. – Mika J. – Pongrácz R. – Schlanger V., 2005: A globális felmelegedés éghajlati sajátosságai a Kárpát-medencében. – In: Takács-Sánta a. (szerk.): Éghajlatváltozás a világban és Magyarországon. Alinea Kiadó, Budapest. Pp. 105–139.

Bennett, R. J. – Chorley, R. J., 1978. Environmental Systems: Philosophy, Analysis and Control – Methuen and CO LTD, London 624 p.

Beschta, R.L., Ripple, W.J., 2006. River channel dynamics following extirpation of wolves in northwestern Yellowstone National Park,USA. Earth Surface Processes and Landforms **31**, pp. 1525-1539.

Bojtok Á., 2012. Villámárvizek és a vízgyűjtők kapcsoltsági viszonyai – esettanulmány a Csörgő-patakon. SZTE TFGT Diplomamunka, p. 65.

Brierley G. J és Fryirs K., 1999. Tributary-trunk stream relations in a cut-and fill landscape: a case study from Wolumla cathchment, New South Wales, Australia. In: Geomorphology, **28**. pp. 61-73.

Broecker, W. S., 1987. The biggest chill. – Natural History Magazine 97. pp. 74–82.

Brunsden, D. Thornes, J.B., 1979. Landscape sensitivity and change. Trans. Inst. Br. Geogr. NS **4**, pp. 463-484.

Brunsden, D., critical assessment of the sensitivity concept in Geomorphology. Catena **42**, pp. 99-123.

Climate Change, 2007. The Physical Science Basis – Working Group, Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – WMO, UNEP, Cambridge Univ. Press, 996 p.

Czelnai R., A világóceán. – Vince Kiadó, Budapest. 182 p.

Diamond, J., 2007. Összeomlás – Tanulságok a társadalmak továbbéléséhez – Typotex, Budapest, 577 p.

Edelstein, K. K., 1992. The Global Hydrologic Cycle and its Continental Links – GeoJournal, 23. 3. pp. 263–268.

Faragó T. – Kerényi A., 2003. Nemzetközi együttműködés az éghajlatváltozás veszélyének az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére – KvVM és Debreceni Egyetem, Budapest – Debrecen, 70 p.

Fiala, K., Kiss, T., A középvizi meder változásai az 1890-es évektől az Alsó-Tiszán II. Hidrológiai Közlöny **86/5**. pp. 13-17.

Flannery, T., 2006. Időjárascsinálók – Akkord Kiadó, Budapest, 350 p.

Forrester, J. W., 1968. Pricniples of Systems. Cambridge. Mass. 183. p.

Fry, C. 2008. A klímaváltozás – A XXI. század legnagyobb kihívása – Totem Plusz Kiadó, Budapest, 208 p.

Fryirs K. A., Brierley G. J., Preston N. J., Spencer J., 2006. Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. In: Geomorphology **20**. 20 p.

Fryirs, K.A., Brierley, G.J., Preston, N.J., Kasai, M., 2007. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. Catena **70**, pp. 49-67.

Gleick, J., 1999. Káosz – Egy új tudomány születése – Göncöl Kiadó, Budapest, 360 p.

Götz G., 2004: A klíma-probléma tudományos alapjai – Természet Világa, **135**. II. különszám, pp 8–12.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

Gray, M., 2004. Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature – John Wiley and Sons, London, 420 p.

Haggett, P., 2006. Geográfia – Globális szintézis – Typotex, Budapest, 842 p.

Haszpra L., 2004: Üvegházhatás, üvegházgázok – Természet Világa, 135. II. különszám, pp. 21–24.

Horváth F. – Dombrádi E., A Föld mélye a kéregtől a magig – Földrajzi Közlemények, 132. 4. pp. 385–400.

Kerényi A., 1995. Általános környezetvédelem – Globális gondok, lehetséges megoldások– Mozaik Kiadó, Szeged, 383 p.

Kerényi A., 2003. Környezettan – Mezőgazda Kiadó, Budapest, 470 p.

Kerényi A., 2007. Tájvédelem – Pedellus Kiadó, Debrecen, 184 p.

Kiss, T., Andrási, G., horvátországi duzzasztógátak hatása a Dráva vízjárására és a fenékhordalék szemcseösszetételének alakulására. Hidrológiai Közlöny **91/5**, pp. 17-29.

Knighton A.D., 1998. Fluvial forms and processes, a new perspective. Arnold, London

Korán I., 1980. Világmodellek – A Római Klub jelentéseitől az ENSz kezdeményezéséig – Közgazd. és Jogi Kiadó, Budapest, 205 p.

Lane, S.N., Richards, K.S., , J.H., 1996. Discharge and sediment supply controls on erosion and deposition in a dynamic alluvial channel. Geomorphology **15**, pp. 1-15.

Láng J. – Csete L. – Jolánkai M., globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 220 p.

László E., rendszerelmélet távlatai – Magyar Könyvklub, Budapest 151 p.

László E., 2008. Világváltás – A változás harmonikus útja – Nyitott Könyvműhely, Budapest, 270 p.

Leopold L.B., Wolman M.G., 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. USGS Paper 282-B, Washington

Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957. River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight. Government Printing Office, , pp. 39-73.

Lóczy D., 2002: Újabb elképzelések az éghajlatváltozásról: üvegház- és óceáni elméletek – Földrajzi Közlemények 126. pp.15–30.

Lovelock, J. E., 1987. Gaia – A földi élet egy új nézőpontból – Göncöl Kiadó, Budapest, 207 p.

Lovins, L. H., A termelés újraértelmezése – A világ helyzete, 2008 – Fenntartható gazdaság – Föld Napja Alapítvány, Budapest, pp. 56–72.

Meadows, D. – Randers, J. – Meadows D., növekedés határai harminc év múltán – Kossuth Könyvkiadó, Budapest, 318 p.

Meadows, D. H. – Meadows, D. L. – Randers, J., 1993. Die neuen Grenzen des Wachstums – Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 319 p.

Meadows, D. H. – Meadows, D. L. et al., 1972. The Limits to Growth – Universe Books, New York.

Mészáros E., . A környezettudomány alapjai – Akadémiai Kiadó, Budapest, 210 p.

Mészáros E., 2001. b. A Föld rövid története – Vince Kiadó, Budapest, 167 p.

Mika J., globális klímaváltozásról: Egy meteorológus kutató szemszögéből – Fizikai Szemle, **52.** pp. 258–268.

O'Neil, P., 1985. Environmental Chemistry – George Allen and Unwin, London, 232 p.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.

O'Riordan, T. ed., 1995. Environmental Science for Environmental Management – Longman Scientific and Technical, London, 369 p.

Papp S. – Kümmel, R., 1992. Környezeti kémia – Tankönyvkiadó, Budapest, 359 p.

Perry, G.L., 2002. Landscapes, space and equilibrium: shifting viewpoints. Progress in Physical Geography, **26/3**, pp. 339-359.

Rózsa P., 2004. Város és környezet – Bevezetés a települések környezettanába – Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 201 p.

Schumm S.A., Khan H.R., 1972. Experimental study of channel patterns. Bulletin of the Geol. Soc. Of America, **83**, pp. 1755-1770.

Steffen, W. – Sanderson, A. et al., 2004. Global Change and the Earth System – Springer, Berlin, 336 p.

Stouffer R. J. – Manabe, S., 2003. Equilibrium respense of thermohaline circulation to large changes in atmospheric CO_2 concentration. Climate Dynamics 20, 59–73.

Stouffer R. J. – Manabe, S., 2004. Erratum to Equilibrium respense of thermohaline circulation to large changes in atmospheric CO_2 concentration. (Climate Dynamics, 2003: vol. 20), Climate Dynamics, 22, 325.

Sümeghy, B., Kiss, T., 2011. Discharge calculation of paleochannels on the alluvial fan of the Maros river, Hungary. J. of Environmental Geography, **4/1-4**, pp. 11-17.

Szathmáry E. – Smith, J. M., földi élet regénye – Vince Kiadó, Budapest, 196 p.

Thomas, M.F., 2001. Landscape sensitivity in time and space. Catena **42**, pp. 83-98.

Thorn, C.E. – Welford, M.R., 1994. The Equilibrium Concept in Geomorphology. Annals of the Ass. American Geographers, **84/4**, pp. 666-696.

Trimble, S.W., Mendel, A.C., 1995. The cow as a geomorphic agent: a critical review. Geomorphology **13**, pp. 233-253.

Usher, M.B., 2001. Landscape sensitivity: from theory to practice. Catena **42**, pp. 375-383.

Varga Z. (szerk.), biológiai sokféleség állapota és védelme Magyarországon – Fenntartható Fejlődés Bizottság, Budapest, 115 p.

Vester, F., 1982. Az életben maradás programja – Gondolat Kiadó, Budapest, 361 p.

Wackernagel, M. – Rees, W.E., 2001. Ökológiai lábnyomunk – Föld Napja Alapítvány, Budapest, 231 p.

Werritty, A., Leys, K.F., 2001. The sensitivity of Scottish rivers and upland valley floors to recent environmental change. Catena **42**, pp. 251-273.

Xu, J., Yan, M., 2010. Discrimination of channel patterns for alluvial rivers based on the sediment concentration to water discharge ratio. Zeitschrift für Geomorphologie, **54/1**, pp. 111-125.

1. Multimédia anyagok

Az anyagban szereplő 1., 3., 4., 5., és 6. videók saját muinkák.
 A 2. videóban használt anyagok elérhetők a http://www.ars.usda.gov/Main/docs.htm?docid=23216 cimen.

Created by XMLmind XSL-FO Converter.