

**Dr. Kiss Ferenc - Dr. Vallner Judit**  
**SEGÉDLET A KÖRNYEZET ÉS EMBER**  
**TANTÁRGYHOZ**



**KÖRNYEZETTUDOMÁNYI**  
**ALAPISMERETEK**

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Alapok.....</b>	<b>1</b>
Bevezetés.....	1
Alapfogalmak.....	1
<b>A természeti környezet kialakulása .....</b>	<b>6</b>
<b>Kozmikus környezetünk.....</b>	<b>6</b>
Az Univerzum keletkezése.....	6
A csillagok élete és az elemek szintézise.....	7
<b>Közvetlen környezetünk .....</b>	<b>11</b>
A Föld keletkezése.....	11
A Föld szerkezete és kémiai összetétele.....	12
Az ásványok és kőzetek keletkezése.....	13
Magmás eredetű kőzetek.....	14
A magmatikus differenciáció.....	14
Üledékes kőzetek.....	15
Átalakult kőzetek.....	16
Az ásványok.....	17
A talaj.....	17
Az élet keletkezése.....	18
Összefoglalás.....	21
<b>Az ember és környezete.....</b>	<b>22</b>
Az elemek biogeokémiai körforgása.....	22
A megoszlást befolyásoló tényezők.....	22
A környezetszennyezés és az ember kapcsolata .....	25
Az ember tevékenységének következményei .....	28
<b>Az oxigén és az ózonlyuk.....</b>	<b>33</b>
Az oxigén körforgása.....	33
Az oxigén és az oxigénvegyületek reakciói.....	34
Az ózon.....	34
<b>A szén és az üvegházhatás.....</b>	<b>37</b>
A szén körforgása.....	37
A szén körforgásának kémiája.....	38
Az emberi tevékenység hatása a szén körforgására.....	38
<b>A nitrogén és a füstköd.....</b>	<b>41</b>
A nitrogén körforgása.....	41

A nitrogén körforgásának kémiája.....	41
Az emberi tevékenység hatása a nitrogén körforgására.....	43
<b>A kén és a savas eső.....</b>	<b>47</b>
A kén körforgása.....	47
A kén körforgásának kémiája .....	48
Az emberi tevékenység hatása a kén körforgására.....	48
<b>A hulladékgyűjtés.....</b>	<b>50</b>
A hulladékok környezeti hatásai.....	50
A hulladékok csoportosítása.....	50
A hulladékkezelés technológiai folyamata.....	53
A települési hulladék hasznosítása.....	54
A termelési hulladékok hasznosítása.....	55
Biokémiai hulladékkezelés.....	57
Lerakás.....	58
<b>Fenntartható fejlődés.....</b>	<b>60</b>
A fenntartható fejlődés előzményei.....	61
Indikátorok.....	65
Az elv gyakorlati megvalósítása.....	66
<b>A tanulást segítő kérdések és feladatok.....</b>	<b>70</b>
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>72</b>

## ALAPOK

### Bevezetés

Ahogy az az előző fejezetekben láthattuk, a természeti környezetben fizikai, kémiai, geológiai, biológiai folyamatok játszódnak le, és ezek egymással összefüggésben vannak.

Az emberi tevékenység (különösen az ipari forradalom kezdete óta) egyre nagyobb mértékben befolyásolja ezeket a folyamatokat, s ezek olykor súlyos környezeti problémához vezetnek.

Ebben a fejezetben korunk legjellemzőbb környezeti problémáit tárgyaljuk, mint pl. az üvegházhatás, savas eső, füstköd, "ózonlyuk", melyek tünetei annak a válságnak, amelybe az emberiség jutott a második évezred végére. Számos tényezőre vezethető vissza az emberi tevékenység okozta válság. Talán a legfontosabb tényező az ismerethiány, amely nem új keletű probléma, hiszen már Szókratész is megemlítette, hogy: *"A helytelen cselekvés alapja a nem-tudás. Mert ugyan mi alapja lenne valakinek, aki tudja a helyeset, hogy ne azt cselekedje."*

Ezért e fejezetben olyan ismereteket és szemléletet szeretnénk nyújtani, amelyek megkönnyítik a számítástechnika szakos hallgatók számára az ember és környezete kapcsolatának megértését, segítik a problémák megoldását. Azt reméljük, hogy a környezeti problémák lényegének elemzése és megértése inspirálja a hallgatókat arra, hogy számítástechnikai tudásukat egy fenntartható társadalom érdekében használják föl.

### Alapfogalmak

Ciolkovszkij orosz tudós, a rakétatechnika atyja szerint: *"A Föld az emberiség bölcsője, de nem tölthetjük egész életünket a bölcsőben."*

Ha a fenti gondolatot elfogadjuk, felmerül a kérdés: meddig piszkolhatunk még a bölcsőnkbe büntetlenül? Hulladékainkkal meddig szennyezhetjük még a környezetünket?

Az emberek nem használtak mindig gyűjtőfogalmat a piszokra, mocsokra, füstre, sárra, iszapra, szennyvízre és általánosságban a kellemetlen és veszélyes anyagokra, amelyek szennyezik környezetünket. 1783-ban határozta meg Johnson a szennyezést, mint *"a bemocskolás műveletét"* vagy

a "megszentelésnek az ellentétét". Johnson szerint ez a fogalom azt jelenti, hogy "vallási értelemben tisztátalanná tesz", vagy "bűnös módon bepiszkol". A szennyezés fogalmát a mai értelemben a XIX. századtól kezdve használják az emberek.

1972-ben a brit biológus, Kenneth Mellanby úgy határozta meg a **környezetszennyezést**, hogy az "a mérgező anyagok jelenléte, amelyeket az ember juttatott a környezetébe", ezen felül azonban még jelenti a természetes talaj és vízrendszerek tönkretételét azáltal, hogy a természetes anyagok máshová kerülnek az eredeti helyükről.

Ma az alábbi fogalmat használjuk:

**Környezetszennyezés:** a környezetet, illetve az embert közvetve vagy közvetlenül veszélyeztető vagy károsító jelenség, folyamat, negatív környezeti hatás, amely valamely környezeti elem (föld, víz, levegő, élővilág, táj, települési környezet) fizikai, kémiai v. biológiai szennyeződését, károsítását eredményezi. Az ember egészségére, a növény- és állatvilágra, az anyagi javakra egyaránt káros hatásokat fejt ki, környezeti ártalmakat okoz, a környezeti elemek természetes tulajdonságait hátrányosan megváltoztatja, a környezeti elemeket rongálja v. elpusztítja.

A környezetszennyezés sok olyan problémát vet fel, amely az emberiség jövőjét befolyásolja. Az emberi faj be kellene lássa, hogy a kozmikus kor küszöbén egy újfajta gondolkodásmód szükséges ahhoz, hogy tovább léphessünk. A tudományos eredményeket új szemlélettel kell tanítani és alkalmazni. Az ember csak összhangban élhet a **környezetével**, ugyanis a természetnek részei, és nem urai vagyunk, s nélküle nem maradhatunk meg. Einstein gondolata jól mutatja a változás lényegét:

*"Egy probléma nem oldható meg azzal a gondolatmenettel, amely létrehozta."*

**Környezet (milió):** az élő szervezete(ke)t körülvevő fizikai, kémiai és biológiai körülmények összessége.

A fogalom könnyebb kezelhetősége érdekében a környezetet néhány nagyobb összefüggő részre szokták osztani. A Magyarországon használatos felosztás: talaj, víz, levegő, élővilág, táj és épített környezet. Az első öt a környezet **természetes** elemeit jelenti. A

munkaeszközként létjogosultságot élvező felosztás öncélúvá válása miatt még a szakemberek is egymástól elkülönülőnek képzelik a környezet egyes elemeit, és környezet helyett levegő környezetről, vízi környezetről beszélve különálló, néha egymásnak ellentmondó eszközökkel “védik” a levegőt, a vizet stb.

*(Környezetvédelmi Lexikon)*

Az élet megjelenése és kiterjedése a Föld egészére alapvető változásokat hozott, meglévő egyensúlyokat borított fel, újakat állított be. Miként azt a **bioszféra** tette, most a **technoszféra** hatol be minden területre, és okoz egyensúlyi eltolódásokat. Ebből következik, hogy napjainkban e két egymásba ékelődött (fonódott) szféra kölcsönhatását is tanulmányoznunk kell.

**Bioszféra:** a Föld biológiai és geológiai rendszereinek együttese.

**Technoszféra:** mindazon objektumok összessége, amelyek az emberi tevékenység révén jönnek létre, és a természetben ember nélkül soha nem keletkeznek.

Az emberi faj megjelenése, majd produktumainak, az ún. **mesterséges** anyagoknak a környezetbe jutása újabb változásokat okozott.

**Természetes:** a természetben előforduló, ember által meg nem változtatott, át nem alakított, eredeti.

**Mesterséges:** a (természetessel szemben) emberi beavatkozással, eljárással, tevékenységgel alkotott, létrehozott (készítmény).

A Földet, amely a közvetlen környezetünket biztosítja, tekinthetjük egy olyan **rendszernek**, amelyben reakciók és folyamatok játszódhatnak le.

**Rendszeren** azokat az egymással kölcsönhatásban lévő anyagokat értjük, amelyeknek sajátosságait tanulmányozni kívánjuk, s amelyet e célból gondolatban elkülönítünk a környező világ többi részétől.

Az anyag- és energiaáramlás szempontjából három alapvető rendszert különböztetünk meg.

**Nyitott** rendszerek és környezetük között anyag és energia átmenete egyaránt lehetséges.

**Zártnak** nevezzük a rendszert, ha anyagot nem ad át környezetének, és onnan nem is vesz fel, energia (és a hozzá tartozó anyagfajta) átmenete azonban lehetséges.

**Elszigetelt** a rendszer akkor, ha környezetével semmiféle kölcsönhatásban nincs, vagyis sem anyagot, sem energiát nem ad át környezetének, s nem vesz fel onnan.

A “vizes palack” modellel egyszerűen értelmezhető a három rendszer:

A “nyitott palackot” szabadon fűthetjük vagy hűthetjük, belőle a vízgőz elpárologhat, vagy lecsapódhat benne.

A “zárt palackot” melegíthetjük vagy hűthetjük, de benne a víz mennyisége nem változhat (mert be van dugva).

Az “elszigetelt palack” hőt sem felvenni, sem leadni nem tud, s benne a víz mennyisége állandó. (Leginkább egy leforrasztott termoszra hasonlít.)

A fentiek alapján a Föld bármely, vizsgálat céljára elvileg vagy gyakorlatilag elválasztott része nyitott rendszernek tekinthető. A vizsgált rendszerre természetesen érvényes az anyag-, energia- és az impulzus-megmaradás törvénye.

A rendszerben (természetben) lejátszódó folyamatokat, ahogyan azt az előző fejezetekben láthattuk, fizikai, kémiai, geológiai, biológiai szempontból vizsgálhatjuk. A **környezettudomány** szemléletmódja azonban eltér az említett klasszikus tudományágakétól, hiszen rá az interdiszciplináris látásmód jellemző, ahogyan az kitűnik az alábbi meghatározásból is.

**Környezettudomány:** az emberi tevékenység, a természetes és művi környezet kapcsolatának tudománya. Célja az életet befolyásoló külső tényezők antropogén változásainak nyomon követése, ezek gazdasági és szociális következményeinek feltárása. Alapvető

feladata a környezetet ért hatások és az emberi tevékenység mértékének matematikai modellekkel történő összekapcsolása. A modellek alapján a környezeti károk előre jelezhetők, ill. meghatározhatók azok a műszaki és jogi követelmények, amelyek betartása esetén a környezetet ért terhelés meghatározott határérték alatt tartható. Ily módon a környezettudomány megalapozza a környezetvédelmet, eredményei elengedhetetlenek a hatékony **környezetvédelem** számára. A környezettudomány kutatási területe kiterjed az összes földi szférára, így a légkörre, a hidroszférára, a talajra, a litoszférára és természetesen a bioszférára. Ezeket nem egymástól elszigetelve vizsgálja, hanem az egész környezetet összefüggéseiben szemléli, nagy figyelmet szentel a különböző szférák közötti kölcsönhatások (pl. anyag- és energiacsere) kutatásának. Műveléséhez több klasszikus tudományág módszereinek együttes alkalmazása szükséges.

*(Környezetvédelmi Lexikon)*

**Környezetvédelem:** olyan céltudatos, szervezett, intézményesített emberi (társadalmi) tevékenység, amelynek célja az ember ipari, mezőgazdasági, bányászati tevékenységéből fakadó káros következmények kiküszöbölése és megelőzése az élővilág és az ember károsodás nélküli fennmaradásának érdekében. E tevékenység alapjait elsősorban a műszaki tudományok, az alkalmazott természettudományok és az ökonómia képezik. Hatékonyságát és működőképességét a használók felelősségén alapuló törvényi szabályozás és intézményrendszer biztosítja.

A táj természetföldrajzi egység. A táj védelme az adott táj jellegétől függően lehet elsősorban tájvédelmi vagy környezetvédelmi feladat, ill. mindkettő. A tájvédelem tehát a két tevékenység hierarchiájának egy fokát jelenti. A környezetvédelem nemcsak egészségvédelmi, esztétikai szempontú, hanem elsősorban gazdasági tevékenység.

*(Környezetvédelmi Lexikon)*



## A TERMÉSZETI KÖRNYEZET KIALAKULÁSA

### KOZMIKUS KÖRNYEZETÜNK

#### Az Univerzum keletkezése

*"A tudás ára a szorongás, vagy legalábbis a tudatlanság tudata."*

/G. Clark/

Az Univerzum kezdeti állapotáról biztosan nem tudunk, elméletekben azonban nincs hiány. A ma leginkább elfogadott modell, amelyet G. Gamov elméleti fizikus dolgozott ki, az ún. "Big-bang", a nagy robbanás elmélete. Eszerint a jelenlegi Univerzum egy ősanyag gigantikus robbanása következtében jött létre kb.  $1 \times 10^{10}$ -  $2 \times 10^{10}$  (10 - 20 milliárd) évvel ezelőtt. Az ősanyag sűrűsége szerinte  $10^{25}$  g/cm<sup>3</sup>, hőmérséklete pedig  $10^{16}$  K lehetett, ezen "tűzgömb" robbanásszerű kiterjedésével magyarázható az Univerzum ma észlelt expanziója azaz egy galaxisban elhelyezkedő megfigyelő az összes többi galaxist távolodni látja. (A legújabb elméletek már nem csak egy, hanem több egymással összeköttetésben lévő táguló Világegyetemmel is számolnak.)

A "tűzgolyóban" vagy a "tűzgolyókban" uralkodó magas hőmérséklet és sűrűség termikus egyensúlyt hozott létre a protonok, elektronok, neutronok és a sugárzási kvantumok között. A robbanással neutronbefogási és héliumképződési reakciók mentek végbe. Ezeknek a folyamatoknak az eredményeképpen az Univerzum anyagának körülbelül 10 %-a héliummá alakult. Vannak olyan elméletek is, melyek anyag-antianyag annihilációjával magyarázzák a robbanásszerű kiterjedést. Ez viszont azt jelentené, hogy az Univerzumban antianyagot tartalmazó résznek kell lennie (esetleg létezhet világunk antianyag tükörképi párja).

Az Univerzum anyaga jelen állapotában is elsősorban sugárzási anyagból, fotonokból áll. Az Univerzumban köbméterenként 400 millió foton található, míg a Tejútrendszer belseje kb. egymillió atomot tartalmaz köbméterenként, a galaxis halmazokban pedig átlagosan ezer atom van köbméterenként. A sugárzási anyag egy része a csillagokból származik (adott irányból észleljük). Más része egyenletesen tölti ki az Univerzumot (minden irányból azonos intenzitással érkezik, hullámhosszeloszlása egy 2,7 K hőmérsékletű fekete test sugárzásának felel meg). Ez a sugárzás az Univerzum anyagának lehűlésével és kiterjedésével jött létre. Az

"ősanyagban" véletlenszerűen fellépő sűrűsödések az anyag gravitációs tömörüléséhez vezettek, így jöttek létre a  $10^{14}$ - $10^{15}$  naptömegnyi anyagot tartalmazó halmazok, s ezekből alakultak ki később a galaxisok, a gravitációs erők hatására a csillagok, csillaghalmazok.

A Világegyetem tágulásának sebességét a spektrumvonalaknak a Doppler-effektus következtében létrejövő vöröseltolódásából lehet kiszámítani. A távolodó objektumok által kibocsátott sugárzás hullámhossza nagyobb, a közeledőké kisebb, mint a stacionárius sugárforrásé. A relatív eltolódás a sebesség/fénysebesség arányát adja meg.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

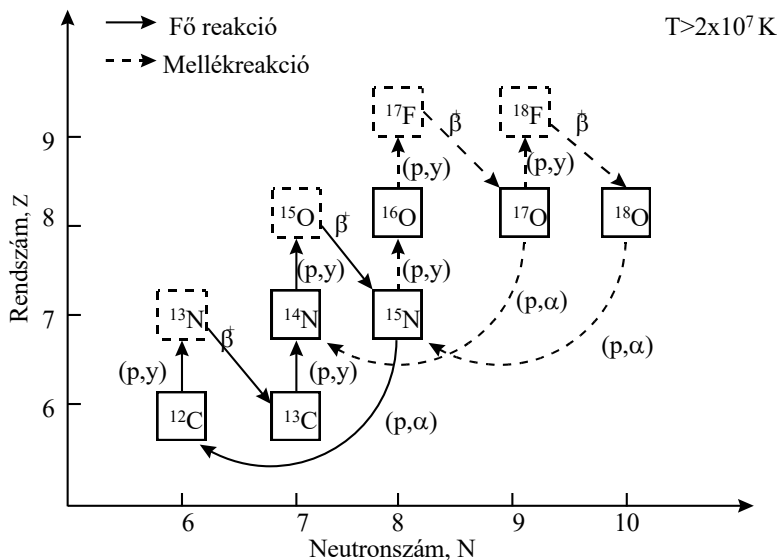
Az Univerzum fejlődésével foglalkozó kozmológiai elméleteink még nagyon sok megoldatlan problémát tartalmaznak. Kérdéses, hogy minden vöröseltolódás kozmológiai eredetű-e, vagy helyi, más okokkal magyarázható. Meddig tart az Univerzum expanziója? A végtelenig, az anyag teljes felhígulásáig, vagy oszcilláló világmindenségben élünk, melyben a kiterjedést ismételt gravitációs összehúzódás követi? A relativitáselmélet szerint e két lehetőség közül valamelyik megvalósulása az anyag mennyiségétől függ. A táguló Világegyetem három lehetséges változata. A "nyílt" Világegyetem végtelen kiterjedésű és örökkön-örökké tágul. A "zárt" Világegyetem véges nagyságú, végső sorsa az összeomlás, a "Nagy Reccs". A kettő közti határesetet a "kritikus" Világegyetem jelenti, amely a nyílthoz hasonlóan ugyancsak végtelenül nagy, és tágulása soha nem áll meg (2. ábra).

## A csillagok élete és az elemek szintézise

Ha a távoli múlttól és jövőről keveset is tudunk, a csillagok belsejében napjainkban is végbemenő folyamatokat sokkal pontosabban ismerjük. A csillagok anyaga az "ősanyagból kondenzálódott" a nehézségi erő hatására. Keletkezésük ma is megfigyelhető. A tömörüléssel felszabaduló potenciális energia a részecskék mozgási energiájává alakul, fokozatosan növekszik a csillag hőmérséklete. Egy csillag "születése" pillanatának azt tekintjük, amikor benne megindulnak a magfúziós reakciók, azaz az elemek szintézise. Az első lépés az ún. hidrogén-égés folyamata, amelyet további reakciók követnek, mint pl. a CNO-ciklus, amely a csillag életének hosszú ideig

meghatározó része (1. ábra). Mai ismereteink szerint a Világegyetem leggyakoribb elemei a hidrogén és a hélium, azaz az elemszintézis "alapanyagai". Tehát a kozmosz azon része, melyet eddig tanulmányoztunk, az elemek képződése szempontjából fiatal.

A csillagok energiáját több milliárd éven keresztül a hidrogén héliummá való alakulása szolgáltatja. A csillag stabil állapotban van mindaddig, míg belsejében lejátszódnak az energiatermelő reakciók. Miután megszűnnek az energiatermelő folyamatok, a termikus nyomás csökkenésével a csillag magja összeroppan, a külső rétegből "tüzelőanyag" kerül a magba, a hőmérséklet hirtelen növekedni kezd, újabb fúziós reakciók indulnak be, ennek eredményeképpen a belső nyomás növekedtével a külső rétegek kiterjednek. A csillag átmérője az eredeti 200...300-szorosára nő. A kiterjedés csökkenti a felületi hőmérsékletet, a csillag a "vörös óriás" állapotába jut. A csillag dinamikailag instabillá válik, nagysága és felületi hőmérséklete is változik. A "vörös óriás" állapot igen rövid ideig tart, addigi élettartamának csupán 1%-át teszi ki.



1. ábra A CNO-ciklus

A változás sebessége és a csillag további sorsa tömegétől függ. Ha a csillag tömege 1,4 naptömegnél kisebb, a mag tüzelőanyagának felégetése után a

gravitációs kontrakció segítségével igyekszik pótolni a kisugárzott energiát, így viszont a külső rétegből még anyag kerül a csillag belsejébe, mely újabb magreakciókat indít el. A csillag periodikusan fellángol, fényessége rövid időtartamra többszöröse lesz a Nap fényességének. Az ilyen változó csillag a nóva. Miután a csillag felégette tüzelőanyagát, a nyomás csökken, a gravitáció eredményeképpen összeroskad. Így jönnek létre a “fehér törpék”, melyekben a Nappal egyenlő nagyságú tömeg a Földnek megfelelő térfogatban található. A csillag elektrongázba beágyazott ionokból épül fel, egy gigantikus fémhez hasonlít.

Más lesz a sorsa annak a “vörös óriásnak”, melynek tömege a Nap tömegének 1,4-szeresénél nagyobb. A csillag belső hőmérséklete  $10^9$  K-nél magasabb, belsejében a vasig az összes elem szintézise végbemegy. Elhasználva a kondenzációra alkalmas anyagot, a gravitációs erők hatására a csillag összeroppan. A köpenyből friss tüzelőanyag kerül a magba, újabb termonukleáris reakciók indulnak be, ez viszont a hőmérséklet hirtelen növekedését idézi elő. Egy hatalmas robbanás szétdobja a csillag anyagának egy részét a térbe. Ez a szupernóva robbanás. A robbanás rövid ideje alatt neutronbefogás következtében létrejönnek a vasnál nehezebb elemek is. Így jönnek létre az általunk ismert kémiai elemek, amelyek az anyag szerveződésének a szerves, szerves és élő rendszerek kémiai alapjai.

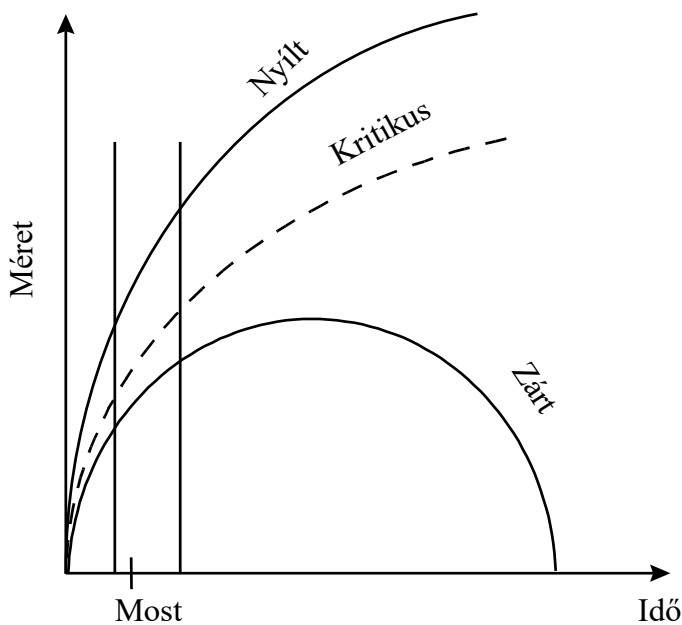
Mi marad a szupernóva helyén? A visszamaradó anyag gravitációs szorítása az elektronokat a magba préseli, az anyag neutronokká alakul, egy kis térfogatú neutroncsillag jön létre.

1968-ban a Cambridge-i csillagvizsgáló kutatói igen rövid periódusú (pulzáló) rádióhullámokat kibocsátó objektumokat észleltek. Ezért pulzároknak nevezték őket. 1969-ben a Rák-ködből az 1054-ben észlelt szupernóva robbanás helyéről is 0,033 s periódusú pulzáló fényt fogtak fel, ennek periódusa megegyezik az innen kiinduló rádióhullám periódusával. A sugárzást feltételezhetően a szupernóva-robbanás után visszamaradt neutroncsillag bocsátja ki. A neutroncsillag sűrűsége  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>, gigantikus atommagnak tekinthető. A neutroncsillag nem ritka objektum. Tejútrendszerünk hozzávetőlegesen százmilliónyit tartalmaz.

Mi lesz a sorsa azoknak a csillagoknak, amelyek tömege sokkal nagyobb a Nap tömegénél? Miután “felégették” nukleáris tüzelőanyagaikat és megszűntek a magreakciók, a gravitációs erők hatására a csillag annyira összetömörül, hogy sűrűsége meghaladja a maganyag sűrűségét is (kb.  $10^{16}$

$\text{g/cm}^3$ ). Az objektum hatalmas gravitációs terébe mint egy hatalmas üregbe minden közelben levő anyagfajta "beleesik", a nehézségi erő szorításából még a fénykvantumok sem szabadulhatnak. Az ilyen csillagmaradványokat "fekete lyuk"-nak nevezik az asztrofizikusok.

A táguló Világegyetemről alkotott képünk lassan fejlődött, és amint azt az eddigiekből láttuk, még sok a bizonytalanság vele kapcsolatban, akár a múltját, akár jövőjét vizsgáljuk. Ezt még tovább fokozza az élet megjelenése, kialakulásának kozmikus (múltbeli) feltételei, és az élet hatása a Világegyetem jövőjére. A felmerülő kérdésekre ma még csak hipotetikus választ adhatunk (2. ábra).



2. ábra A kritikus határt jelentősen meghaladó sebességgel táguló univerzumok tágulása túl gyors ahhoz, hogy az anyag csillagokká és galaxisokká tudjon sűrűsödni. Ezért az ilyen univerzumokban az élet sem alakulhat ki. A kritikusanál sokkal lassabban táguló univerzumok viszont összeomlanak, még mielőtt a csillagok kialakulnának. A behatárolt terület jelzi a kozmológiai tágulásnak azt a tartományát és azt az időintervallumot, amelyben a saját Világegyetemüket megfigyelni képes lények létrejöhetnek. Ahogy Juhász Ferenc írja "A Világegyetem az emberben látja először önmagát, az emberben ismeri föl léte anyagát és elvirágzó állapotait."

## KÖZVETLEN KÖRNYEZETÜNK

### A Föld keletkezése

Csillagunk, a Nap egy spirál galaxis  $10^{11}$  csillagának egyike, amely körül bolygók jöttek létre.

Milyen adatok állnak rendelkezésünkre annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy hogyan alakult ki a Naprendszer, és vele együtt a Föld? Rendelkezésünkre állnak a fizikai és kémiai törvények, a megfigyelhető végállapot (a jelenleg megfigyelhető Naprendszer) néhány megmaradó mennyisége (tömeg, perdület, a kémiai elemek aránya stb.). A kezdeti feltételekből és a törvényekből modellezhetjük a Naprendszer kialakulását, a mai állapotot pedig ellenőrzésül használhatjuk a fejlődési modell helyességére.

A napjainkban leginkább elfogadott tudományos elmélet szerint a Naprendszer  $5 \cdot 10^9$  évvel ezelőtt, egy szupernóva robbanás közvetlen szomszédságában, a csillagközi anyag (atomok, molekulák) gravitációs erő által előidézett kondenzációja révén jött létre. Az összehúzó rendszer középpontja csillaggá alakult, míg a külső részekből forgó korong képződött. Eközben a gravitáció potenciális energiája hőenergiává alakult át, és a hőmérséklet növekedni kezdett. Ehhez a hőmérséklet-növekedéshez a radioaktív nuklidok spontán, exoterm hasadása is hozzájárult ( $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{235}_{92}\text{U}$  stb.). Mivel a rendszerben a Nap tömege elegendően nagy volt, hőmérséklete elérte a  $2 \cdot 10^7$  K-t, ez elég volt a fúziós reakció beindulásához. A Nap tehát csillag lett, míg a többi égitest (protobolygók) a Naphoz viszonyítva lényegesen kisebb tömege miatt nem érte el a magfúzióhoz szükséges hőmérsékletet.

A Nappá sűrűsödő gázfelhőn kívül maradt, a perdület leadása során lecsatolódtól szoláris köd - melyben jelen voltak a szupernóva által "szétszórt" kémiai elemek - volt a bolygórendszer alapanyaga. A szoláris köd hőmérséklete az ős-Naptól távolodva csökkent. A köd hőmérséklet-eloszlása határozta meg, hogy az ős-Naptól adott távolságban mi kristályosodott ki a szoláris ködből. Az ős-Naptól távolodva vas-nikkel, piroxén, földpát, olivin - a fő meteoritalkotó ásványok -, tremolit, szerpentin, vízjég, ammónia-hidrát, metán-hidrát voltak a legfontosabb kiváló anyagok. A kivált szemcsékből álló porfelhő lecsatolódtól a maradék szoláris ködről, másként hűlt, mint a gáztér. Rugalmatlan ütközésekkel

csomósodott. Ez alakította ki bolygórendszerünknek a ma is megfigyelhető tömegarányát.

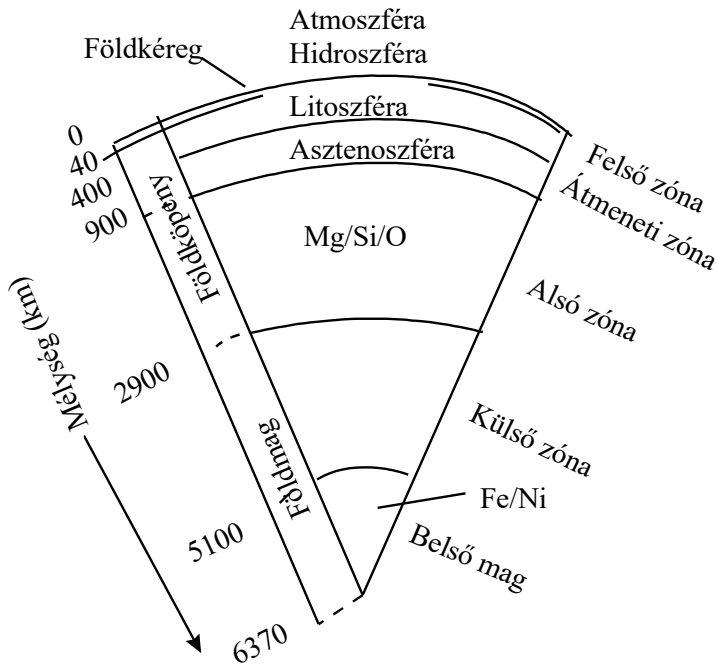
Ha a bolygók keletkezésének imént bemutatott elmélete igaz, akkor a Föld, a Naprendszer többi bolygója, a meteoritok és az üstökösök eredete közös. Ez az elmélet - hipotetikus jellege ellenére is - támpontot ad ahhoz, hogy az elemek relatív gyakoriságát és eloszlását mai Földünkön értelmezni tudjuk, mivel feltételezhető, hogy valamennyi égitest elemi összetételét eredetileg az intersztelláris köd összetétele határozta meg.

A Föld életkora mintegy 4,5 milliárd év. A gázállapotú és szilárd anyagrészecskék kezdődő kondenzációjának és agregációjának idején a hőmérséklet néhány száz K lehetett. Ily módon néhány milliárd év alatt a Föld anyagának felmelegedése és részben megolvadása, az alkotók sűrűség szerinti elválása, a kondenzált fázis gázvesztése, továbbá a földkéreg lassú lehűlése és kristályosodása során alakult ki bolygónk mai szerkezete.

### **A Föld szerkezete és kémiai összetétele**

Mai ismereteink szerint a Föld fejlődése során a következő rétegek alakultak ki: földkéreg, földköpeny és földmag (3. ábra).

Az egyes rétegek kémiai összetétele eltérő. Az elemek gyakorisága nem csak a Földön és az Univerzumban eltérő, hanem a Föld egyes rétegei között is. A földkéreg elemi összetételéről rendelkezünk a legtöbb ismerettel. A külső 16 km-es kéregrész felépítésében mintegy 95 %-ban magmás kőzetek, 4 %-ban agyagpala, 0,75 %-ban homokkő, 0,25 %-ban mészkő vesz részt.



3. ábra A Föld rétegei

### Az ásványok és kőzetek keletkezése

Az ásványok és kőzetek a Föld alapvető szerkezeti egységei, ezért keletkezésük főbb sajátosságait összefoglaljuk.

A kőzetek olyan nagy kiterjedésű ásványtömegek illetve jellemző összetételű ásvány-együttesek, amelyek meghatározott természeti folyamatban egységesen képződtek, s a Föld szilárd kérgét alkotják. Az egy



ásvány tömegéből álló kőzeteket monominerális vagy homogén kőzeteknek nevezzük. A kőzetek együttesen képződött ásványok jellemző társulásai.

A kőzetek keletkezésük szerint három nagy csoportba sorolhatók.

Magmás eredetű /elsődleges/ 95 %

Üledékes /másodlagos/ 1 %

Átalakult kőzetek /másodlagos/ 4 %

### **Magmás eredetű kőzetek**

Magmának nevezzük a természetben megjelenő, sokkomponensű rendszernek tekinthető, a jelentős részben szilikát-olvadék összetételű cseppfolyós fázisból álló mozgékony kőzetanyagot, amelyben különböző szilárd fázisokat képviselő már kivált kristályok lehetnek szuszpendálva. Bizonyos körülmények között gázfázis is jelen van. A lehető legegyszerűbben fogalmazva a magma kőzetolvadék (hőmérséklete ~ 1000-1200°C). Az oldott gázoknak szerepe van a magma viszkozitálásában, amely hatással van a kristályosodásra. A legfőbb illékony komponensek a következők:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $S$ ,  $SO_2$ ,  $HCl$ ,  $NH_4Cl$ . A fő komponensek (oxid alakban megadva):  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ , ez összesen 99,1 tömegszázalékot tesz ki.

A felszínre kiömlött vagy a földkéregben rekedt magma hőmérsékletének csökkenésével megindul az egyes alkotók kiválása, azaz az olvadékból történő kikristályosodás. Ennek során a kőzetalkotó ásványok olvadáspontjuk fordított sorrendjében válnak ki.

### **A magmatikus differenciáció**

A magma a megszilárdulás előtt különböző összetételű részmagmákká vált szét. Különböző szakaszokat különböztethetünk meg: az elő-, fő- és utókristályosodás szakaszát.

Előkristályosodás:

- Likvid magmás elkülönülés során a hőmérséklet csökkenésével csökkent a szilikátolvadék és a szulfidolvadék kölcsönös oldhatósága, a két olvadék elkülönült.

A magma réz-, nikkell- és platinatartalmának nagy többsége így halmozódott fel.

- A tulajdonképpeni előkristályosodásban 1000°C-on megjelentek az első kristályok. Króm- és titánvasérc, a platinafémek, a gyémánt és a foszfátásványok így képződtek.

#### Főkristályosodás:

Amikor a magma 900°C-ra lehűlt, a kőzetek ebben a szakaszban keletkeztek. Az ásványok közül elsőnek az olivin és a piroxének, később a gránit és a hozzá hasonló kőzetek váltak ki. A magma főkristályosodási szakasza szolgáltatta a Föld szilárd kérgének kb. 94 %-át.

#### Utókristályosodás:

A főkristályosodás végén megmaradó olvadék sok kismolekulájú (illékony) anyagot tartalmazott. Feldúsultak azok az anyagok is, amelyek az eredeti magmában kis koncentrációban voltak jelen (pl.: Zr, Ce, Be, Mo, W, Sn ásványok).

#### Vulkáni exhalációs szakasz:

A vulkáni kitörés környékén a gázfázisból ún. exhalációs ásványtársulás keletkezhet (kén-, bór- vagy cinnabarit telepek).

### Üledékes kőzetek

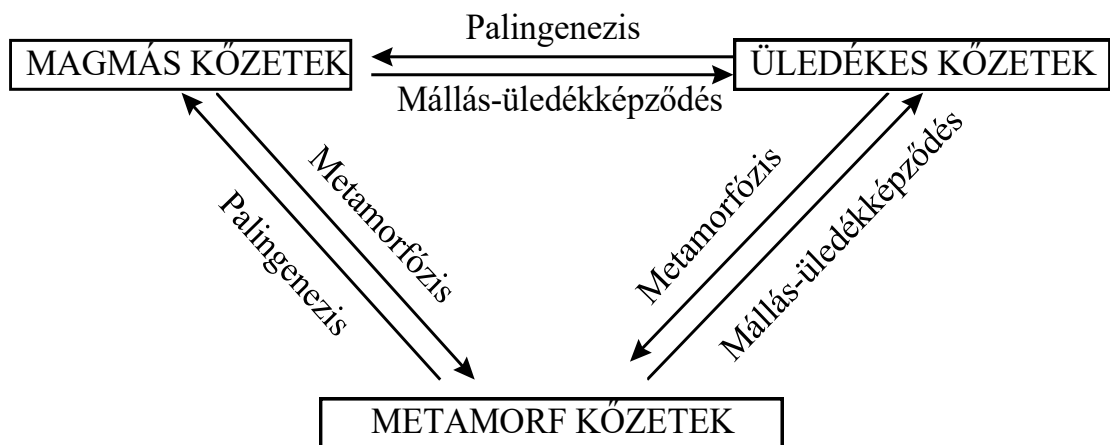
A málláson az ásványtársulásoknak a Föld felszínén végbemenő lebomlását, oldását értjük, mely folyamatokban elsőrendű szerepet a víz illetve a benne oldott anyagok játszanak.

- Fizikai (mechanikai) mállás: a kőzetek felaprózódnak, de kémiai összetételük nem változik meg. Legfőbb tényezői a napsugárzás, a fagy és a sók.
- Kémiai mállás: a kőzetek anyaga kémiailag megváltozik. Legfőbb reakciópartnerek a víz, az oxigén és a szén-dioxid. Az ún. hidrolitos mállás során az elmálló kőzet anyaga kémiai tulajdonságától függően oldatba kerül, oldhatatlan hidrolizátumot, vagy komplex aniont (pl:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) alkot. Az oldási mállás során a víz kioldja a más mállasztó tényezők által létrehozott oldható anyagokat.
- Biológiai mállás: az élőlények hatására létrejövő kőzetmállás.

A mállási folyamatok során megváltozott mállástermékek további folyamatokon mennek át, míg belőlük új üledékes kőzetek alakulnak ki, mint pl. az agyagos üledékek, melyeknek fontos szerepe lehet az élet kialakulásában.

### Átalakult kőzetek

Ha a külső körülmények megváltoznak (pl: jelentősen növekszik a nyomás vagy a hőmérséklet), a kőzetek, illetve a kőzetalkotó ásványok alkalmazkodva a megváltozott körülményekhez átalakulnak, és az új feltételeknek megfelelő, azokkal egyensúlyban levő új fázisok, új ásványok keletkeznek. A folyamat a metamorfózis, a létrejött ásványtársulások a metamorf ásványok. Ha az eredeti kémiai összetétel változatlan, akkor izokémiai, ha pedig megváltozik, allokémiai átalakulásról beszélünk.



4 . ábra Az kőzetképződési folyamatok összekapcsolódása

A három ásványképződési folyamatot áttekintve (4. ábra) látható, hogy az ásványok és kőzetek megjelenése csak átmeneti állapotot jelent. Mind a magmás, mind a metamorf kőzetekből a mállás, majd az ezt követő üledékképződés során üledékes kőzetek keletkezhetnek, a magmás és üledékes kőzetek nyomás és hő hatására átalakulnak, illetve mind az

üledékes, mind a metamorf kőzetek a palingenezis révén újra olvadékba mehetnek át, amelyből ismét magmás kőzetek képződhetnek.

## Az ásványok

Ásványok építik fel a kőzeteket, azaz a kőzetek ásványhalmazoknak tekinthetők. Az ásványok a szilárd földkéregben természetes úton keletkezett, legtöbbször fizikailag, kémiai is egységes összetételű, többnyire kristályos anyagok, amelyek élőlényekhez nem kötődnek.

Az ásványok rendszerezésének alapját mindig a geológia tudományágainak fejlettsége határozta meg. A ma leginkább elfogadott rendszerezési alap az ásványok kémiai összetétele. Ezen az alapon kilenc ásványosztályt különböztetünk meg (1. táblázat).

I. Terméselemek	VI. Szulfátok és rokon vegyületek
II. Szulfidok és rokon vegyületek	VII. Borátok, karbonátok, nitrátok
III. Oxidok és hidroxidok	VIII. Halogenidek
IV. Szilikátok	IX. Szerves ásványok
V. Foszfátok és rokon vegyületek	

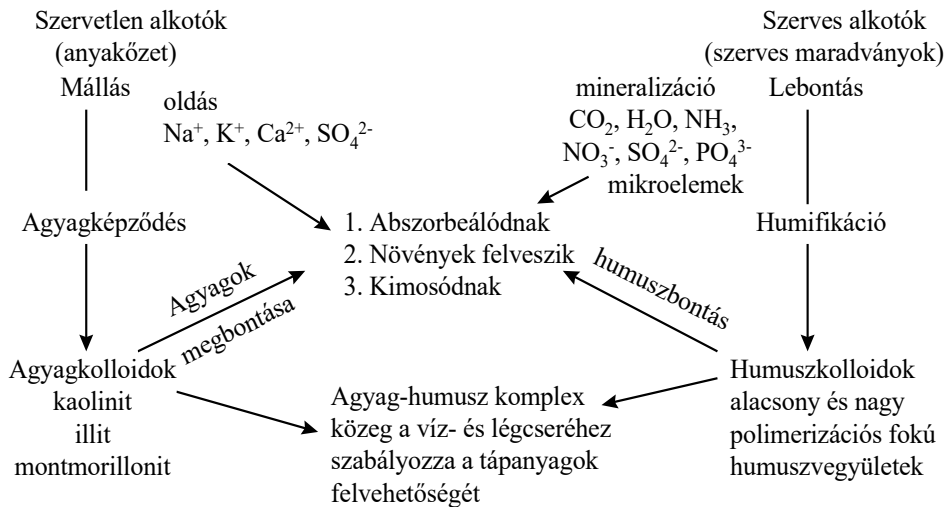
1. táblázat Az ásványok osztályozása.

Megjegyzés: Az ásványrendszertan tanulásához az “*Ásványtani táblázatok*” nyújt bővebb információt, amely a Nyíregyházi Főiskola belső hálózatán a Környezettudományi Tanszék multimédia jegyzetei között érhető el. (A későbbiekben *multimédia jegyzet*).

## A talaj

Az ásványok és kőzetek képezik a talajképződés alapját. A talaj a földkéreg külső, laza takarója, amely összetett fizikai, kémiai és biológiai folyamatok eredménye (5. ábra). A különböző folyamatok hatására szintekre tagolódik. Általában három szintet különböztetünk meg. A felső szint humuszban gazdag és átlagosan 40 cm mélységig helyezkedik el, a következő szint a fák gyökerei által átjárt 40-60 cm-es réteget jelenti, az utolsó szint földarabolódott kőzettörmelékéből áll.

A talaj egy biológiai rendszernek is tekinthető, amelynek jellemzője a visszacsatolási folyamatok segítségével szabályozott anyag- és energiaforgalom. Igyekszik a külső zavaró tényezőket csökkenteni annak érdekében, hogy működése optimális legyen. Ha azonban az emberi hatás már túllépi az önszabályozó képesség határait, ennek visszafordíthatatlan következményei vannak.



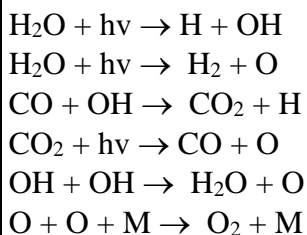
5. ábra A talajképződés lépései.

## Az élet keletkezése

Az élet létrejötte alapvetően meghatározta a Föld, mint bolygó mai jellegzetességeinek kialakulását, ezért röviden áttekintjük a ma elfogadott elméleteket.

A Föld 500 millió éves lehetett, amikor már megszilárdultak az élet kialakulásához szükséges ásványok (agyagásványok), és a légkörben már jelen voltak a szükséges elemek és vegyületek: szén-dioxid, szén-monoxid, vízgőz, nitrogén, ammónia, metán, kén-hidrogén. Szabad oxigén gyakorlatilag nem volt jelen. Ezt a tényt az elméletek mellett a kőzetek zárványainak vizsgálata is megerősíti. Az akkori légkörben jelenlévő gázokból fotokémiai reakciók útján ugyan létrejöhetett oxigén (l.

egyenletek), azonban a mai oxigén koncentráció ennek a koncentrációnak  $10^{11}$ -szerese.



*M a reakcióhoz szükséges  
harmadik molekula (pl. nitrogén).*

A ma leginkább elfogadott tudományos elméletek szerint az élet keletkezésének első lépései (a szerves vegyületek szintézise) 3,8-4 milliárd évvel ezelőtt indultak meg.

Ezt elsőként Miller igazolta laboratóriumi modell-kísérletek segítségével a XX. század 50-es éveiben. A kísérleti berendezésben lévő gömblombikba metánt és ammóniát vezetett, ugyanis a

kísérletek végzése idején még azt feltételezték, hogy az őslégkört felépítő legfontosabb vegyületek a metán és ammónia voltak. Ezt a gázkeveréket elektromos kisülésnek vetette alá, az őslégkör villámai biztosította energiát szimulálva. A víz körforgását is biztosította azáltal, hogy egy másik lombikból vizet párologtatott el. A keletkező anyagokat kondenzálta, s így azok a berendezés alján lévő vízben (óceánt helyettesítő folyadék) összegyűltek. Ebből az oldatból mintát véve kimutatta aldehidek, zsír- és aminosavak keletkezését.

Ma már valószínűbbnek látszik, hogy az őslégkör kevésbé volt redukáló, és a főbb összetevői  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2$  voltak. A fenti kísérleteket ezzel a gázkeverékkel elvégezve lényegében azonos eredményt kapunk, ha szabad oxigén nincs jelen a rendszerben. Azt, hogy a gyakorlatilag oxigénmentes atmoszféra elengedhetetlen feltétele annak, hogy kialakulhassanak benne azok a molekulák, melyek az élet első lépéseit jelentették, már Oparin és Haldane munkássága révén tudjuk. (Ha ma esetleg létre is jönnének ilyenek, az oxigén jelenlétében azonnal átalakulnának.)

A legparányibb élő szervezet is rendkívül összetett rendszer, amely környezetével szabályozott anyag- és energiacserét folytat. Az élet létrejöttének kutatásában ezért a legnagyobb problémát az jelenti, hogy a létrejött szerves molekulák hogyan hozták létre az első élőlényeket. Bernal és Haldane úgy gondolták, hogy a szerves vegyületek agyagásványok hatására aggregátumokká szerveződtek, amelyek azután nagy molekulaszámú anyagot tartalmazó ún. koacervátum-cseppekké alakultak át. Ezek ún. protosejtként viselkedtek, beléjük fehérjék épültek. Később

kialakultak a membránok, és megjelentek az első prokarióta baktériumokra hasonlító szervezetek.

Honnan származik a légköri oxigén?

A bioszféra fejlődésében nagy változás akkor következett be, amikor olyan szervezetek jelentek meg, amelyek a vízből oxigént állítottak elő, és jellemzőjük volt, hogy a szerves anyagokat lényegében a ma is ismert fotoszintézissel hozták létre. Ezek a cianobaktériumok voltak, melyek tevékenysége révén magas koncentrációban jelent meg a földi légkörben az oxigén, ez a változás új környezetet teremtett az élőlények számára. Ezután folyamatosan nőtt az őslégkör oxigéntartalma, amíg lassan elérte a mai koncentráció századrészét. Ekkor vált lehetővé, hogy az élőlények az energiát erjesztés helyett légzéssel állítsák elő, ami az erjesztésnél hatékonyabb energia előállítás mód. Közben az ózonréteg vastagodott, egyre jobban védett az UV sugárzástól, így az élő szervezetek kevésbé szorultak a vízréteg védelmére. Ez új lehetőségeket nyitott meg. Benépesültek a vizek felső, napfényben gazdag rétegei, fokozódott a fotoszintézis, és ezzel az oxigéntermelés. Az élővilág létrehozta a számára kedvező, a maihoz hasonló légkört, így fejlődése felgyorsult, és a mai napig tartó, utolsó félmilliárd évben kialakult a soksejtű élővilág.

A kialakult új szféra alapvető változásokat okozott a Földön. A bioszféra önszabályozó képessége segítségével a körülményeket úgy változtatta meg, hogy számára a létfeltételek a lehető legkedvezőbbek legyenek. Ez az ún. Gaia-elmélet lényege. Ha ezt elfogadjuk, akkor azt is feltételezhetjük, hogy a bioszféra ki fogja küszöbölni az emberi tevékenység kedvezőtlen hatásait. Persze felmerül a kérdés, ez az önszabályozó képesség elegendő kapacitású-e ahhoz, hogy az emberek okozta változásokra kellő mértékben reagáljon, a hatásokat kedvezően befolyásolja. A másik kérdés az, ha valóban kiküszöböli az ember okozta kedvezőtlen hatásokat, ez az ember kiküszöbölésével együtt jár-e.

## Összefoglalás

A 2. táblázat összefoglalja azokat a legfőbb jelenségeket, amelyek mai tudásunk szerint lényeges szerepet játszottak kozmikus környezetünk kialakulásában.

Idő	Hőmérséklet	Fontosabb jelenségek
0	$\infty$	Részecske nélküli massa
$10^{-16}$ s	$10^{13}$ K	<u>Hadronkorszak</u> : Gyakorlatilag minden részecske jelen van. A nukleonok és antinukleonok szétválása, majd annihilációja.
$10^{-4}$ s	$10^{12}$ K	<u>Leptonkorszak</u> : (elektronok, müonok, neutrínók stb.) A hőmérsékleti sugárzás jellemzőit a részecskék erős kölcsönhatásai határozzák meg. Az annihilációs időszak vége.
1 s	$10^{10}$ K	<u>Fotonkorszak</u> : A korszak elején a nukleonok kevés szerepet játszanak, a világ csaknem csupa fotonból áll.
$10^6$ év	$3 \cdot 10^3$ K	<u>Nukleonkorszak</u> : A sugárzás lehül. A nukleonok energiasűrűsége nagyobb lesz mint a fotonoké. Az elemi egységek atomokká állnak össze (H, He).
Máig	3 K	<u>Sűrűsödések korszaka</u> : A helyi sűrűsénövekedések gázfelhőkké sűrűsödhetnek, ős csillagokká vagy csillaghalmazokká alakulhatnak át, amelyekben magasabb rendszámú elemek képződhetnek. Felrobbanó csillagok gondoskodnak az újonnan képződő elemek szétszóródásáról, további csillagnemzedékek formálódnak. A csillagok környékén levő porfelhők bolygókká sűrűsödnek. Az alkalmas hőmérsékletű és tömegű bolygókon megjelenhet az élet.

2. táblázat Az Univerzum fejlődéstörténete.

*"A világ fejlődése egy éppen most véget ért tűzijátékhoz hasonlítható: néhány vörös szikra, hamu és füst. Egy kihűlt salakdarabkán állva látjuk a csillagok lassú kialvását, és megpróbáljuk a világok keletkezésének letűnt ragyogását visszaidézni."*

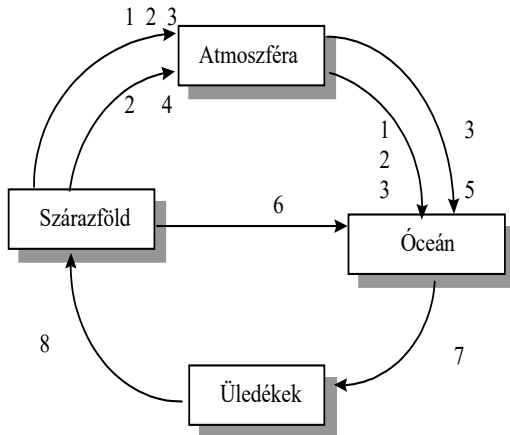
(Lemaître)



## AZ EMBER ÉS KÖRNYEZETE

### Az elemek biogeokémiai körforgása

Az egyes kémiai elemek arányát bolygónkon a szoláris köd összetétele - melyből



- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Csapadék képződése           | 5. Óceáni gázfelszabadulás      |
| 2. Por                          | 6. Oldott és szuszpendált anyag |
| 3. Óceáni pára                  | 7. Üledék                       |
| 4. szárazföldi gázfelszabadulás | 8. Üledék felvétele             |

6. ábra A biogeokémiai körforgás általános sémája

technoszféra között változik, az ún. biogeokémiai körfolyamatoknak köszönhetően (6. ábra).

Naprendszerünk alakult ki - ill. az egyes bolygók létrejöttében szerepet játszó szeparációs folyamatok határozták meg. Ma a kémiai elemek mennyisége Földünkön megközelítőleg állandó, de megoszlásuk az atmoszféra, hidroszféra és

6. ábra A biogeokémiai körforgás általános sémája

### Az elemek megoszlását befolyásoló tényezők

- Egy adott elem milyen mennyiségben, koncentrációban, milyen vegyület formájában van jelen az egyes előfordulási helyeken (rezervoár).
- Az egyes rezervoárok közötti anyagtranszport mértéke.
- Azok a kémiai, biológiai és fizikai mechanizmusok, amelyek az anyagtranszportot szabályozzák.

- Az antropogén folyamatok hatása a fentiekre.

Az elemek biogeokémiai körforgását a földkéregben biológiai, kémiai, fizikai és technológiai tényezők határozzák meg.

#### Biológiai tényezők

- Az elemek részaránya a biomassza átlagos összetételében.
- A redoxi-sajátság a biológiai rendszerben.
- A bioakkumuláció, illetve biomagnifikáció mértéke.
- Az elem és vegyületeinek mérgező hatása.

#### Kémiai tényezők

- Az elem redoxi-sajátsága az élettelen környezetben.
- A fotokémiai folyamatok lejátszódásának lehetősége.
- A vegyületek stabilitása és képződési feltételei.
- A komplexképzési hajlam, disszociáció, illetve asszociáció vizes közegben.
- A legfontosabb vegyületek adszorpciós-, illetve ioncsere-képessége.
- A leggyakoribb vegyületek oldhatósága.

#### Fizikai tényezők

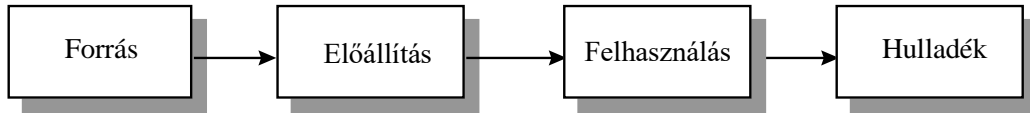
- Az elem gyakorisága a földkéregben.
- Az elem és vegyületeinek illékonysága.
- A különböző fázisok közötti megoszlás.
- A biológiai és az abiotikus rendszerekben lejátszódó anyagmozgás mértéke.

#### Technológiai tényezők

- A globális igény illetve fogyasztás, továbbá az előállított mennyiség.
- A kitermelés, gyártás és átalakítás alapvető folyamatainak technológiai jellemzői.
- Az alkalmazás jellegzetes formái.

A természetben jellemző körfolyamatok helyett a technoszférában a lineáris folyamatok a jellemzőek (7. ábra), amelyek egyrészt a források kimerüléséhez vezetnek, másrészt befolyásolják az egyes elemek

biogeokémiai körforgását, s ennek következtében káros folyamatokat indítanak el.



7. ábra A technoszféra lineáris folyamatainak sémája.

## AZ EMBER TEVÉKENYSÉGÉNEK KÖVETKEZMÉNYEI

### A környezetszennyezés és az ember kapcsolata a történelemben

A környezetszennyezés őseink megjelenése óta létezik. Azóta termel az ember fizikai és kémiai hulladékot, amely megváltoztatja a levegő, a talaj és a természetes vizek eredeti összetételét. A történelem előtti időktől kezdve a környezetszennyezés elválaszthatatlanul kapcsolódik az egészség és a gyógyítás problémaköréhez. Sok korai betegségért a környezetszennyezés volt a felelős, és ma is milliók megbetegedésének okozója. Feltevések szerint az új kőkorban a kőbányákban dolgozó emberek, akik naponta faragták a kovakövet, szilikózisban szenvedhettek.

Az emberi történelem alapvető változásának tekinthetjük azt a folyamatot, amikor az új-kőkorban az emberek a vadászó-gyűjtögető életmódról áttértek a nomád állattartásra, majd a növénytermesztésre. Így növekedett az előállított élelmiszer mennyisége, majd megjelent a magántulajdon is. Az élelmiszer-többlet előállításával a mezőgazdasági termelés megteremtette az alapot a jelentős társadalmi változáshoz. Mivel kisebb területen nagyobb mennyiségű terményt állítottak elő, megindulhatott a népesség növekedése. Először kis falvak alakultak ki, majd városok, végül városállamok.

A világon az első csatornarendszert, a Cloaca Maximát a Római Birodalomban építették fel, a Kr.e. VI. században a Tarquinius etruszk dinasztia uralkodása idején. Annak ellenére, hogy már az ókori Római Birodalomban létrehozták a csatorna- és vízvezetékrendszert, egészen a XIX. századig a legtöbb országban nem élvezett elsőbbséget a közegészségügyi problémák és a tiszta ivóvízellátás megoldásának kérdése. A városokban végül általában azért oldották meg a szerves hulladék eltávolítását és a csatornázást, mert az emberek már nehezen viselték el a bűzt, tiszta ivóvízre vágytak, és kényelmetlennek találták, hogy az utcákon a mocsokban kell járniuk. Csupán a XIX. század második felében nyert bizonyítást, hogy közvetlen kapcsolat áll fenn a vízszennyezés és a betegségterjesztő mikroorganizmusok között. A középkori Európa városai nem lehettek kellemes szagú helyek. A hulladék eltávolítására disznókat tartottak, és ami hulladékot a disznók nem ettek meg, azt végül is lemosta az eső. Majd fokozatosan több városban hoztak kezdetleges hulladékeltávolítási szabályokat, alkalmaztak utcaseprőket a szemét

eltávolítására. A víz kezelésének az ókori rómaiak által bevezetett módszerei azonban hosszú időre feledésbe merültek. Bár készítettek csatornákat és emésztőgödröket is, ezek nem működtek túlságosan hatékonyan. A csatornák gyakran eldugultak, és emellett tartalmuk minden esetben a legközelebbi folyóba vagy patakba ömlött; az emésztőgödrök gyakran telítődtek, és a szennyvíz a szomszédos kutak vizébe is beszivárgott.

A XV. század végén a velencei nagykövet titkára elképedve írt egy rendeletről, amely megtiltja, hogy bárki megöljön egy hollót vagy héját, ugyanis ezek a madarak eltakarítják a szemetet az utcákról. A legtöbb szakértő véleménye szerint a középkorban jobban ügyeltek a higiéniére, mint a késő reneszánszban, ez azonban nem volt elég ahhoz, hogy megmentse Európát a pestis pusztításától. Philip Ziegler a Fekete Halál című, klasszikussá vált könyvében írja le, hogy hogyan sepert végig Európán a hatalmas pestisjárvány. Az utcákon folyó szennyvíz ideális feltételeket biztosított a betegség elterjedéséhez. Bár nem jegyezték fel a pestis terjedésének adatait, úgy becsülik, hogy a járvány egy csupán két és fél éves periódus alatt Európa lakosságának egyharmadát elpusztította.

Az emberi ürülék és az egyéb szerves hulladékok problémájának kezelése átnyúlt a XIX. századba. Clive Ponting leírja, hogy 1366-ban a párizsi mészárosokat arra kötelezték, hogy az állati eredetű hulladékot a városon kívül helyezték el. Arról is ír, hogy a polgárok a forradalom előtt a Tuileries parkban egy sor tisztafát használtak pissoir-ként, Madridot pedig úgy takarították, hogy az utcákra hordókból vizet öntöttek, hogy a víz sodorja el a szemetet. A vízöblítéses WC-t egy angol költő, Sir John Harrington találta fel 1589-ben. Mivel azonban az Erzsébet-kori Angliában a higiénia nem tartozott a leghangsúlyosabb kérdések közé, és nem volt még csatornarendszer sem, senki sem figyelt fel találmányára. Végül jóval később, 1778-ban Joseph Bramah kezdte el árusítani az általa szabadalmaztatott vízöblítéses WC-t.

A víztisztítást 1892-ben vezették be a poroszországi Altonában, amely város teljesen egybeépült Hamburggal. A két város közötti határ az egyik utca közepén húzódott. Amikor 1892-ben Európában kitört az utolsó nagy kolerajárvány, az utca hamburgi részén lakó családok megbetegedtek, míg az altonai részen élő embereket, akik tisztított ivóvizet fogyasztottak, megkímélte a betegség. Ez az eset világhíressé tette az egészséges és a tisztított

ivóvíz közötti kapcsolatot, és a hamburgi városatyákat arra indította, hogy Hamburgban is tisztítsák az ivóvizet.

A Viktória korban Wales déli része az ipari környezetszennyezés valódi pokoli üstje volt. A XIX. század elején a Vivian család és Thomas Williams bányatulajdonos a Tawe folyó völgyében 75 hektár területen létrehozta az akkori világ legjelentősebb fémipari központját. A üzem virágzása idején körülbelül 400 kémény okádta a füstöt a kis völgyben. 1861-ben a közeli Llanelliben állították fel a világ legmagasabb kéményét, hogy vigye el a füstöt a parányi város hatalmas rézüzeméből. Az 1880-as években Walesben a rézipart fokozatosan a cink, ólom, nikkel, arzén, ezüst, majd a XX. század elején az ón és acél előállítására és feldolgozására váltotta fel. A környezetszennyezés következtében a folyókból kipusztult az élővilág, az erdők eltűntek. A farmerek már az 1830-as években beszámoltak arról, hogy a szarvasmarhák elpusztultak, és 1888-ban Swanseában az emberek átlagéletkora mindössze 24 év volt. Hasonlóan lehangoló statisztikákat lehetett volna idézni az ország más területeiről is, az ipari környezetszennyezés hatása úgy terjedt el Anglia tájain, mint egy környezeti ekcéma.

A levegőszennyezés közel 800 éve komoly probléma. 1659-ben John Evelyn azt írta, hogy *London "olyan füstfelhő borítja, amely a Földet a pokollal teszi hasonlatossá"*. 25 év múlva sem volt jobb a helyzet, 1684 januárjában a következőket írja: *"Londonban a hideg levegő megakadályozza, hogy a füst felszálljon, ezért a kormos füst úgy beborítja a várost, hogy alig lehet átlátni az utca túloldalára. A füst az emberek tüdejét durva szén-szemcsékkel tölti meg, ez gátolja a tüdő működését, ezért mindenki nehezen lélegzik."*

Még később, a XVIII. század végén Gilbert White természettudós megfigyelte, hogy az általa nagyon szeretett Selborne városát *"kék színű köd borítja, aminek olyasféle szaga van, mint a kőszén-füstnek, és akkor érzékelhető, amikor észak-keleti szél fúj, tehát feltételezhetően Londonból jön a füst. Erős szaga van és valószínűleg káros az egészségre"*.

Charles Dickens a *Sivár ház* című elbeszélésének nyitó bekezdéseiben leírja, hogy *"a novemberi (...) füst lesüllyed a kéményekből, puha fekete koromszemcsék szóródnak szét a levegőben, némelyik olyan nagy, mint egy jól fejlett hópehely - gyászolnak, talán a Nap halálát."*

A rövid történeti összefoglalóból érzékelhetjük, hogy a környezetszennyezés történetében jelentős változás következett be, amikor a manufakturális termelést a nagyipar váltotta föl. Ezt az időszakot az ipari forradalom kezdetének tartjuk. A gőzgép munkába állításával egyre nagyobb mennyiségben kerültek fölhasználásra a fosszilis tüzelőanyagok, továbbá felgyorsult a természeti források kiaknázása, hiszen egyre nagyobb mennyiségű ércre, szénre majd később olajra, kőolajra és fölgázra volt szükség. Fontos megjegyezni, hogy az ember ma már akkora anyagmennyiségeket mobilizál, hogy ezek összevethetőek az egyes elemek biogeokémiai körforgásában résztvevő mennyiségekkel. A környezetbe bocsátott mesterséges termékekre az is jellemző, hogy nem képesek beilleszkedni az évmilliárdok alatt kialakult körfolyamatokba, azaz az egyes végtermékek környezetbe bocsátása egy lineáris folyamat utolsó lépését jelentik a technológiákban. Századunkban egyre több olyan mesterséges anyag jelent meg (műtrágyák, gyom- és rovarirtók, gyógyszerek, műanyagok), amelyek a mezőgazdasági termelés növekedéséhez, egyes iparágak és a kereskedelem látványos fejlődéséhez vezettek. Ezzel párhuzamosan a népesség robbanásszerű növekedése is bekövetkezett. Mindezek eredményeképpen drasztikus, sokszor visszafordíthatatlan változások következnek be a környezetünkben, amelyek közül a legjellegzetesebbeket a következő részben tárgyaljuk.

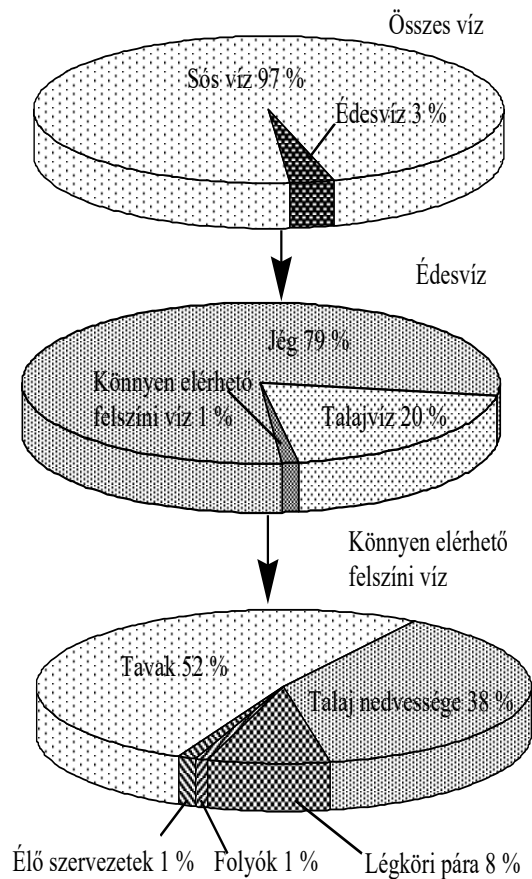
A szennyeződés átjárja Földünk levegőjét, átítatja a talajt, megbetegíti az erdőket, és lassan megfojtja a vízi életet.

### **Az ember tevékenységének következményei napjainkban**

Mindannyiunk számára nyilvánvaló, hogy a víz, a levegő, a talaj az emberi élethez nélkülözhetetlen források. Ezek hosszú idő alatt kialakult és egyensúlyba jutott biogeokémiai körfolyamatoknak köszönhetően olyan erőforrások, amelyek megújulásra képesek. Az emberi tevékenység azonban erősen veszélyezteti ezek megújuló képességét, hiszen az emberi szükségletek és említett környezeti elemek “teherbírása” közötti környezeti egyensúly attól függ, hogy az egyes emberek mennyit “használnak föl” belőlük. Ebből következik, hogy a hosszú távú egyensúlyt nem csak az határozza meg hogy hány ember használja az erőforrásokat, hanem az is, hogy egyenként mennyit használnak föl belőle. A fokozódó gazdasági növekedés azonban csak fokozódó egyéni fölhasználással biztosítható, ez

pedig az említett egyensúlyt a természeti források kimerülésének (és szennyeződésének) irányába tolja el. Ennek jelei már egyértelműen mutatkoznak. Tekintsük át összefoglalva ezeket, aztán vizsgáljunk meg néhány konkrét problémát!

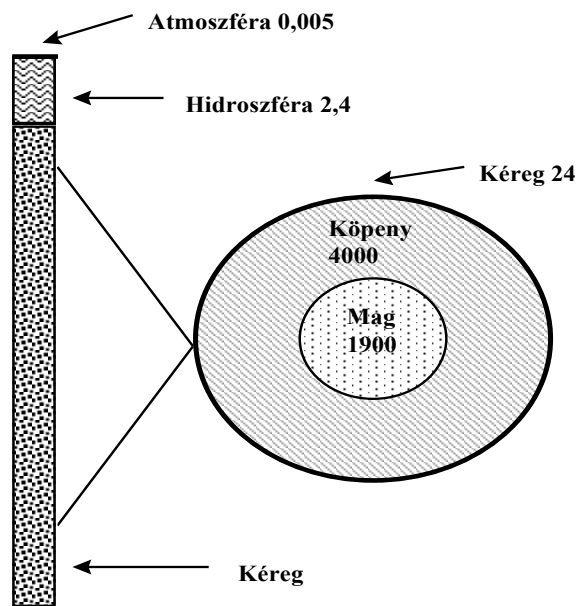
Földünk felszínének négyötödét víz borítja, ezért szinte hihetetlennek tűnik a hétköznapi ember számára, hogy egyes előrejelzések szerint bizonyos területeken komoly vízhiánnyal kell számolni a harmadik évezred elején. Ahogyan azt a 8. ábra mutatja, az emberi fogyasztásra könnyen hozzáférhető víz mennyisége rendkívül kicsi a Föld felszíni vízkészletéhez viszonyítva. E képhez az is hozzátartozik azonban, hogy ezen vízkészletbe bocsátjuk a technoszféra szennyezőanyagainak jelentős részét. Ennek eredményeképpen az



8. ábra Föld vízkészletének eloszlása

utóbbi 50 évben az 1 főre jutó jó minőségű édesvíz mennyisége egyharmadára csökkent. Modellszámítások alapján az egész Földet tekintve az emelkedő emberi szükségletek lassan elérik a felhasználhatóság maximumát. Ennek azonban a környezeti problémákon túl súlyos társadalmi, politikai, gazdasági következményei lehetnek.





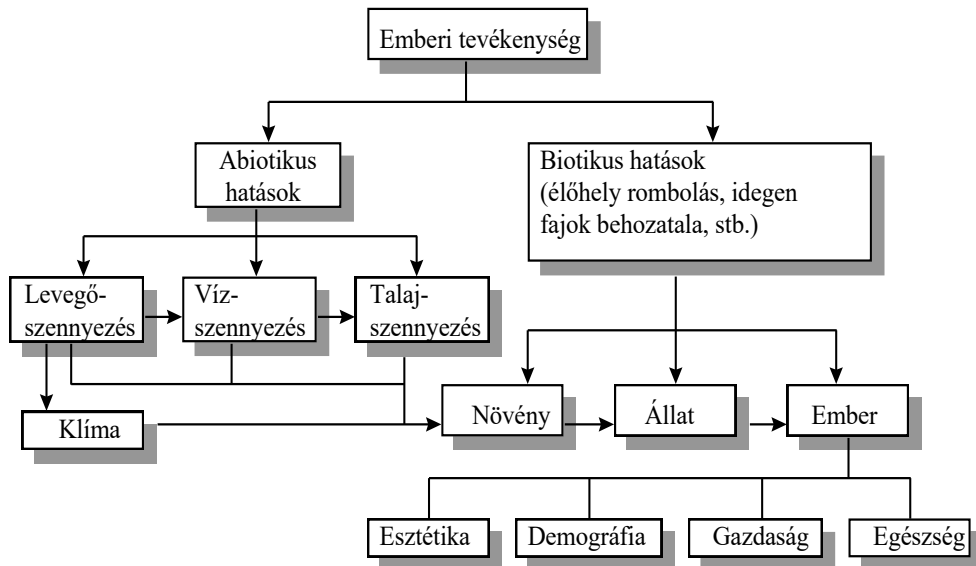
Megjegyzés: bioszféra 0,00001

9. ábra. A Föld rétegeinek relatív tömege  
(1 egység =  $10^{24}$  g)

Földünk légkörével hasonló jellegű problémák merülnek föl, mint a vízzel kapcsolatban. A 9. ábrából jól látható, hogy a Föld tömegéhez képest a légkör elenyészően kis tömegű, s rendkívül vékony réteget alkot. Hasonlóan a vízhez, nem csak mennyiségi problémákkal kell szembenéznünk. A fő kérdés ma már az, hogy a minősége megfelel-e a bioszféra számára, hiszen az antropogén tevékenység következtében jelentős változások következnek be Földünk légkörében. Csökken az ózon-koncentráció, amelynek következtében fokozódik a Föld felszínére jutó káros ultraibolya sugárzás, növekszik az üvegház hatású gázok mennyisége, melynek eredményeképpen globális klímaváltozás következhet be, a fosszilis tüzelőanyagok elégetése következtében füstköd és savas eső alakulhat ki.

A víz és a levegő mellett az emberi tevékenység hatására bekövetkező változások nagy mértékben befolyásolják a talajt is. Ebben az esetben is, mint a másik két környezeti elemnél az élet szempontjából rendkívül fontos a minőség. Amint az előző fejezetekben láttuk, a mezőgazdasági művelésre alkalmas, jó minőségű termőföld kialakulása összetett folyamat, és egy 30

cm-es réteg képződéséhez néhány ezer évre is szükség lehet. Az emberi tevékenység közvetlenül is, illetve a levegő és a víz szennyeződésén keresztül is pusztítja a termőtalajt. A klímaváltozás miatt kiszáradhat, vagy éppen a heves esőzések következtében erodálódhat, a savas eső hatására pedig a talajból nem kívánatos nehézfémek kerülhetnek a növényekbe, az intenzív mezőgazdasági termelés következtében tápértéke drasztikusan csökkenhet, a fokozódó műtrágya használat viszont minőségét jelentősen megváltoztatja. Előrejelzések szerint abban az esetben, ha az emberi tevékenység jellege jelentősen nem változik meg, a harmadik évezred elején bolygónk talajának 20-30 %-a nem lesz alkalmas mezőgazdasági termelésre. A környezeti elemekre kifejtett antropogén hatás jelentősen befolyásolja a bioszféra biológiai sokféleségét, biodiverzitását, amely egyrészt fajdiverzitást, másrészt genetikai diverzitást jelent. A fajdiverzitás csökkenését jól példázza a mezőgazdasági monokultúrák létrehozása, hiszen a modern mezőgazdasági termelés arra törekszik, hogy a hasznosnak kinevezett növényen kívül egy adott területen minden fajt kipusztítson. Egy bonyolult természetes rendszert helyettesítünk egy mesterséges rendszerrel. Ugyanígy a genetikai diverzitás is csökkenhet az ember tudatos szelekciója révén, illetve az által, hogy a vadon élő fajok élettere egyre inkább szűkül, így az egyedszám korlátozása miatt elveszítik korábbi génformáik egy részét. Mindez azért veszélyes, mert minél inkább csökken egy ökoszisztéma diverzitása, annál inkább veszíti el stabilitását. Az emberi tevékenység hatása környezetünkre tehát igen összetett (10. ábra), s végül visszahat az emberre az egészségi, gazdasági, demográfiai stb. változásokon keresztül.



10. ábra Az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatásának modellezése.

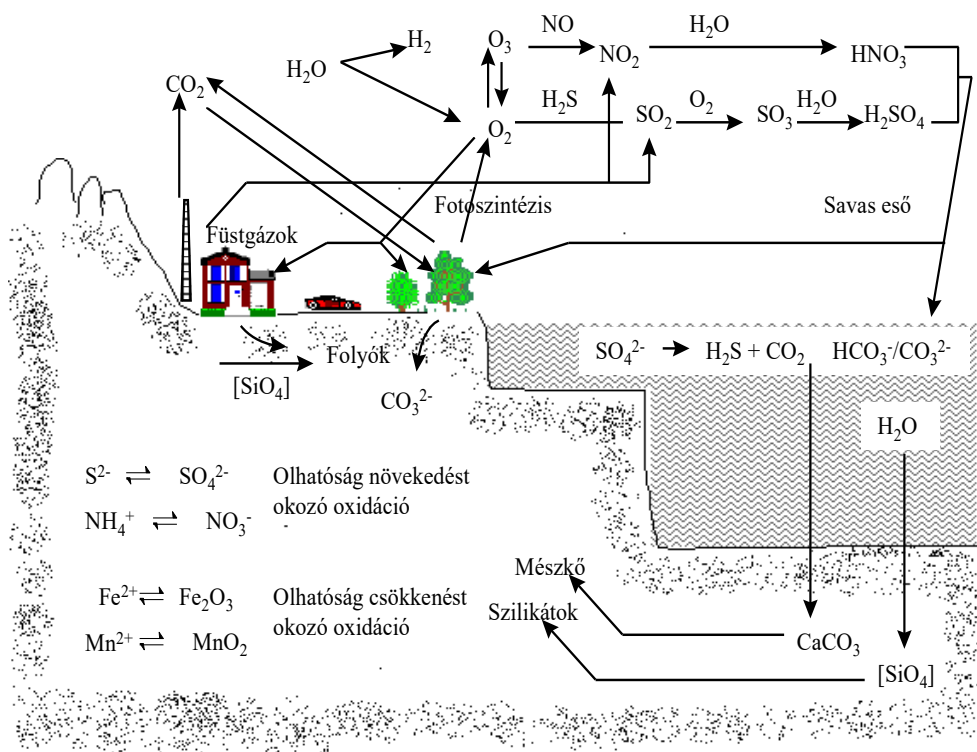
Ezek után tekintsük át néhány elem biogeokémiai körforgását, amelyre közvetlen vagy közvetett hatással van az emberi tevékenység!

A fejezet terjedelme nem engedi meg, hogy minden emberi tevékenység okozta környezeti problémát bemutassunk, a *multimédia jegyzetek* azonban további információval szolgálnak az érdeklődők számára.

## AZ OXIGÉN ÉS AZ ÓZONLYUK

### Az oxigén körforgása

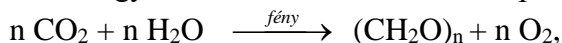
Az atmoszférában található molekuláris oxigén ( $O_2$ ) nagy része fotoszintetikus eredetű, de nem bizonyított, hogy az antropogén oxigénfogyasztást (és az ezzel összefüggő  $CO_2$ -terhelést) a fotoszintézis ellensúlyozni tudja (11. ábra).



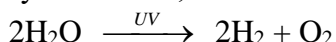
11. ábra Az oxigén biogeokémiai körforgása.

## Az oxigén és az oxigénvegyületek reakciói

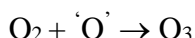
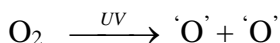
A légköri  $O_2$  nagy része fotoszintetikus úton képződik:



$O_2$  képződhet még UV-fény hatására is, a  $H_2O$  fotodisszociációja révén:

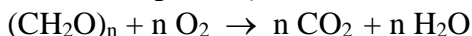


Az UV-fény hatására a kétatomos oxigénmolekula háromatomos molekulává alakul az ún. fotolízis során:



(Az  $O_3$ -ra az ózonréteg fontossága miatt még visszatérünk.)

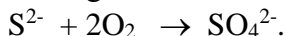
Az atmoszférikus  $O_2$  fontos szerepet játszik az élő szervezetek energiatermelő reakcióiban (**respiráció**):



Általánosságban elmondható, hogy a légkör  $O_2$ -tartalma szerepet játszik sok fém oldhatatlan vegyülettelé alakításában:



ill. bizonyos nemfémek oldhatóságának fokozásában:



A szennyezők, mint pl. a  $CO$ ,  $NO$ ,  $SO_2$  és  $CH_4$  átalakulásában is fontos szerepe van az oxigénnek.

## Az ózon ( $O_3$ )

Sztratoszférikus ózon

Bár az  $O_3$  megtalálható a troposzférában is, a teljes mennyiség 90 %-át a 15-50 km magasságban előforduló sztratoszférikus  $O_3$  teszi ki. Ez a réteg, mint egy UV-szűrő működik, hiszen a Napból a Földre érkező ultraibolya-sugárzás jelentős részét elnyeli.

Az elektromágneses sugárzás UV-tartományát három részre osztjuk (3. táblázat).

Név	Hullámhossz ( $\lambda$ )	Energia
UV-A	$\lambda = 320-400$ nm	kis energiájú
UV-B	$\lambda = 290-320$ nm	közepes energiájú
UV-C	$\lambda < 290$ nm	nagy energiájú

3. táblázat Az elektromágneses sugárzás három UV-tartománya

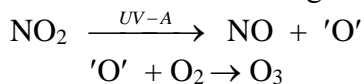
Az elnyelés során az ózon a sugárzás energiájának hatására elbomlik. Természetes visszaalakulása oxigénből UV-C hatására azonban ma már bizonyos területek fölött nem éri el bomlásának mértékét, ugyanis a Naptól származó UV-sugárzás mellett bizonyos antropogén eredetű anyagok is elősegítik az ózon bomlását. Ezt az ózonkoncentráció-csökkenést nevezzük köznyelven “ózonlyuk”-nak. Az ózonréteg sérülése a Föld felszínére jutó UV-sugárzás növekedéséhez vezet, amely a daganatos megbetegedések számának növekedését, látáskárosodást, és az immunrendszer gyengülését eredményezi.

Az  $O_3$  bomlását katalizáló anyagok közül a Cl a legveszélyesebb, hiszen 1 klóratom közel 100000 ózonmolekula felbomlását képes elősegíteni. (Egyéb ózonbontó anyagok NO, HO, Br stb.) A klórozott-fluorozott szénhidrogének (CFC) a sztratoszférába jutva UV-B sugárzás hatására bomlanak, s ez a reakció biztosítja az atomos klórt a katalízishez. A CFC vegyületek élettideje az atmoszférában nagy, ezért hosszú ideig elősegítik az ózon bomlását (12. ábra).

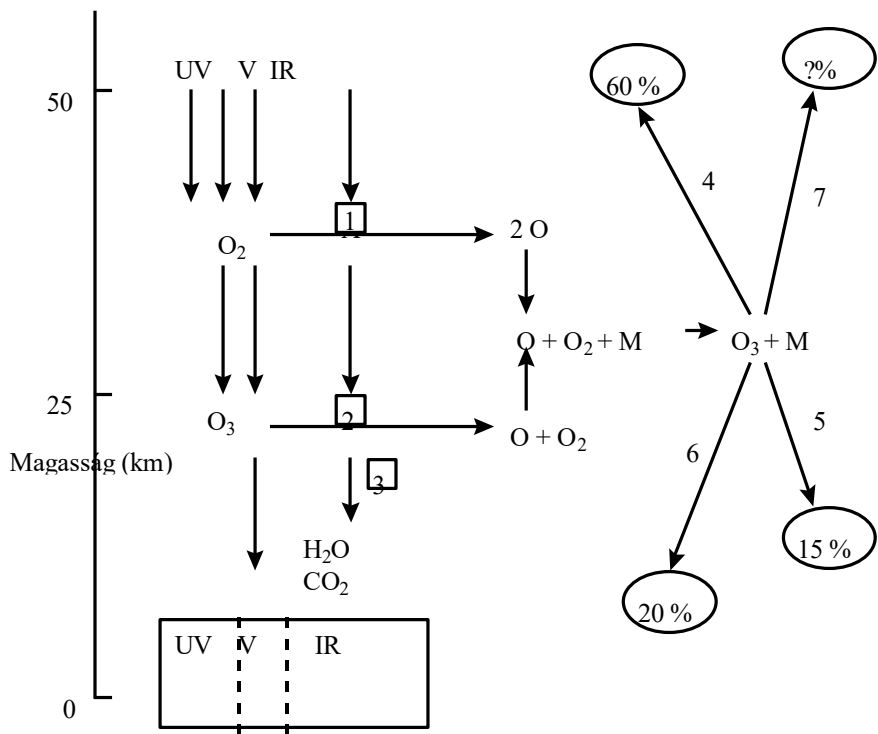
#### Troposzférikus ózon

Az  $O_3$  koncentrációja a troposzférában lényegesen alacsonyabb, mint a sztratoszférában, de már ez is veszélyes lehet, hiszen 1 ppm ózon halálos, 120 ppb (= 0,12 ppm) pedig légzési nehézségeket okoz.

A Föld felszínének közelében az ózon UV-A sugárzás hatására képződik:



(A Los Angeles típusú füstköd tárgyalásánál a troposzférikus ózonra még visszatérünk.)



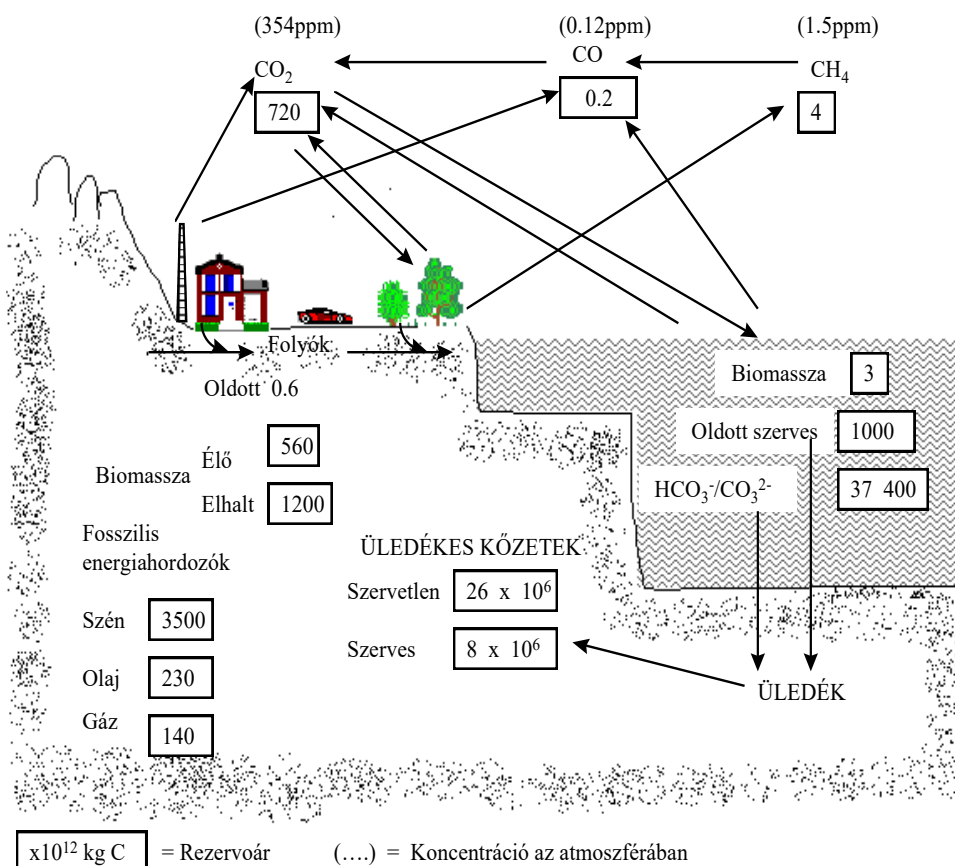
- |                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 UV &lt; 242 nm</p> <p>2 UV 200-320 nm</p> <p>3 IR</p> <p>4 (i) <math>\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2</math><br/>(ii) <math>\text{NO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2</math></p> | <p>5 (i) <math>\text{HO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{HO}_2 + \text{O}_2</math><br/>(ii) <math>\text{HO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{Oh} + \text{O}_2</math></p> <p>6 <math>\text{O} + \text{O}_3 \rightarrow 2\text{O}_2</math></p> <p>7 (i) <math>\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2</math><br/>(ii) <math>\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2</math></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

12. ábra Az ózon lehetséges átalakulásai a sztratoszférában

## A SZÉN ÉS AZ ÜVEGHÁZHATÁS

### A szén körforgása

A szén mind az élő, mind az élettelen természet jelentős alkotóeleme (13. ábra). Körforgásának két legfontosabb folyamata a fázisátmenettel járó reakciók és a redoxi reakciók.



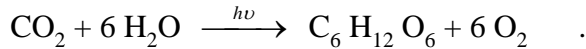
13. ábra A szén biogeokémiai körforgása



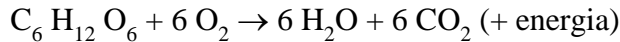
## A szén körforgásának kémiája

A szén körforgásának legfontosabb kémiai folyamatai a következők:

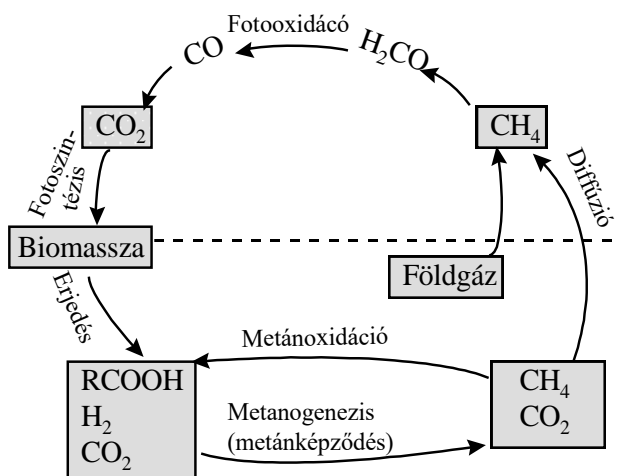
A fotoszintézis



A biomassa lebomlása:



A  $\text{CH}_4$  —  $\text{CO}_2$  ciklus (14. ábra)



A metán az atmoszféra széntartalmának megközelítőleg 1 %-át teszi ki.

Egyre nagyobb mértékben számolnunk kell az antropogén tevékenységgel, amelynek eredményeképpen az eddig szerves vegyületekben kötött szén-dioxid formájában a légkörbe jut.

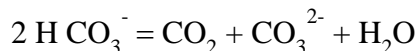
14. ábra A metán - szén-dioxid ciklus

## Az emberi tevékenység hatása a szén körforgására

A körforgásban résztvevő szén több mint 10 %-a (!) antropogén eredetű. Az atmoszféra  $\text{CO}_2$ -tartalma az 1860-as 270 ppm értékről 1980-ig 338 ppm-re emelkedett. A  $\text{CO}_2$ -tartalom növekedését a fotoszintézis egyéb korlátozó tényezők miatt nem tudja ellensúlyozni.

A megnövekedett CO<sub>2</sub>-tartalom hatásai:

- Fokozódik a karbonátos kőzetek mállása



A légkör szén-dioxid-tartalmával egyensúlyt tartó tiszta víz pH-ja, a

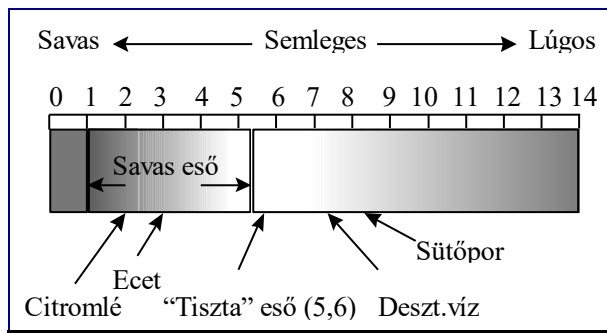


egyensúly miatt nem 7,0, hanem 5,6. A levegő CO<sub>2</sub>-tartalma ugyanis c = 0,03 %, parciális nyomása p<sub>(CO<sub>2</sub>)</sub> = 30,39 Pa, így a gázoldhatóságra vonatkozó Henry - Dalton törvény szerint a légkörrel egyensúlyban lévő vízben az oldott szén-dioxid (azaz szénsav) koncentrációja

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = k \times p = 3,79 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \text{ Pa}^{-1} \times 30,39 \text{ Pa} = 1,15 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

A szénsav disszociációjának egyensúlyi állandója:

$$K_c = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

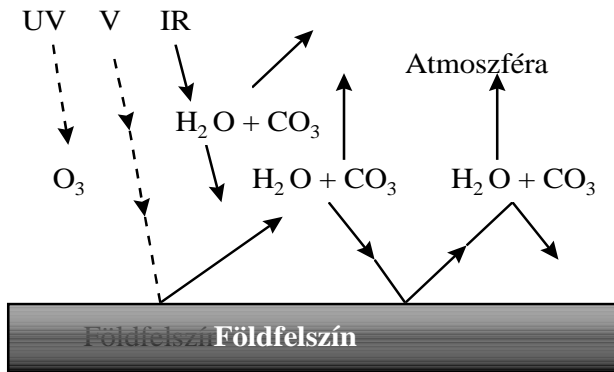


Ebből:  $[\text{H}^+] = 2,19 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ , azaz pH = 5,6 adódik. A nyitott edényben lévő víz tehát savasabb, mint a tiszta H<sub>2</sub>O. Ezt az értéket kell az eső semlegességi pontjának tekinteni, a savas eső tehát pH < 5,6-os csapadék (15. ábra).

15. ábra A savas eső pH-tartománya.

• Üvegházhatás

A szén-dioxidnak az elektromágneses sugárzás infravörös tartományában van elnyelése (16. ábra), ezért a Nap által felmelegített földfelszínről a



hőmérsékleti sugárzás nem tud a világűrbe távozni, így a légkör a  $\text{CO}_2$  (és más üvegház hatású gázok, mint pl. a  $\text{CH}_4$ ) koncentráció növekedésével párhuzamosan melegszik.

16. ábra Az elektromágneses sugárzás különböző tartományainak elnyelődése az atmoszférában

Előrejelzések szerint 80-100 éven belül a légkör  $\text{CO}_2$ -tartalma elérheti az 1000 ppm-et, amely 2-5°C-os hőmérséklet-emelkedéssel járhat. Ennek következményei katasztrofálisak lehetnek.

Ha a Föld teljes fosszilis energiahordozó készletét elégetnénk, akkor a légkör  $\text{CO}_2$ -tartalma elérné a 2000 ppm-et, s az átlaghőmérséklet 6°C-kal emelkedne.

## A NITROGÉN ÉS A FÜSTKÖD

### A nitrogén körforgása

A nitrogén környezeti kémiájában a redoxi folyamatok játszanak fontos szerepet, amelyekben az oxidációs száma -3 és +5 között változhat (17. ábra).

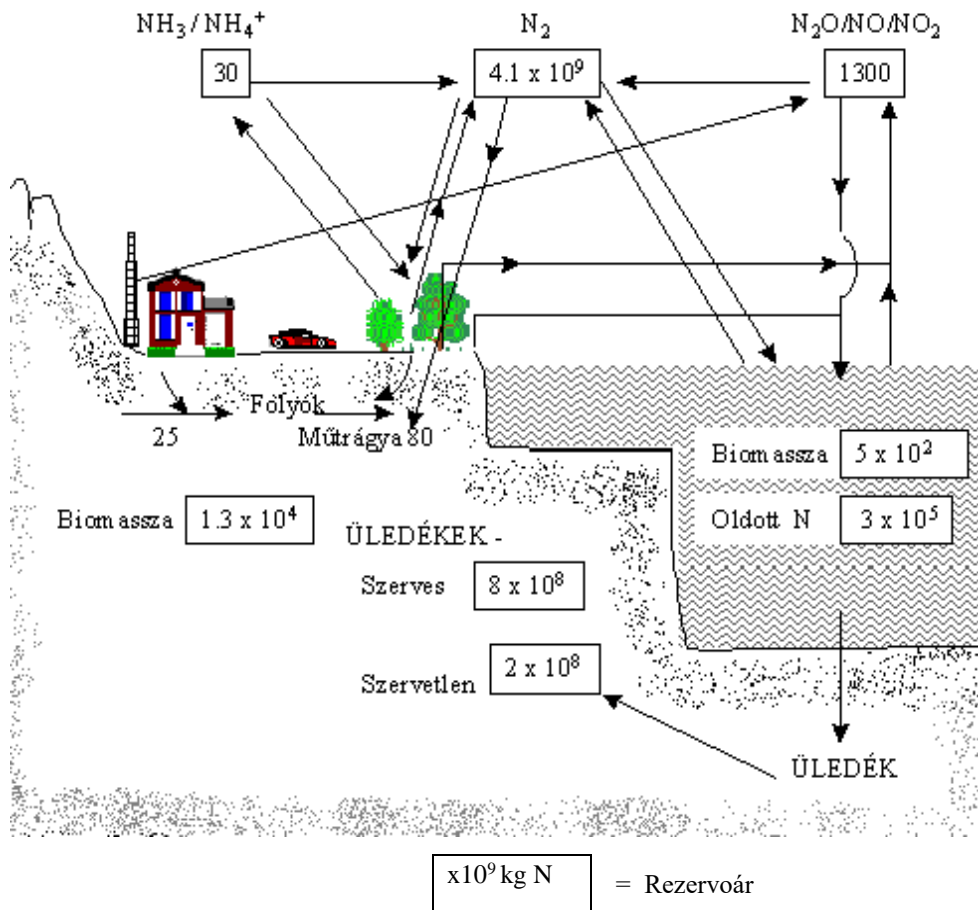
A  $N_2$  stabil molekula, ezért kémiai reakcióba nehezen vihető, így közvetlenül csak néhány élőlény számára elérhető. A nitrogénciklus folyamataiban a mikroorganizmusoknak kiemelkedő jelentősége van a  $N_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^- \rightarrow \text{aminosavak} \rightarrow \text{protein}$  átalakulási sorban (17. ábra). A mikroorganizmusok a szén- és a nitrogénciklus összekapcsolódásával a napenergia indirekt felhasználásával képesek a nitrogén fixálására.

Ilyen organizmusok lehetnek a kék-zöld algák (*Anabaena*, *Nostoc*) és a szimbiotikus baktérium (*Rhizobium*). Szervetlen, természeti (nem ember által irányított) folyamat során  $N_2$ -ből nem képződik ammónia, ezért a nitrogénfixálás és a denitrifikáció a nitrogén körforgásának meghatározó lépései.

### A nitrogén körforgásának kémiája

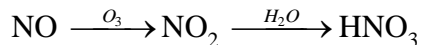
Az atmoszférában lejátszódó reakciók:

- Magas hőmérsékleten a nitrogén oxidálódik:  $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$   
 $N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2$
- Nagy magasságban (20 km fölött) elektromágneses sugárzás hatására a nitrogén-oxidok bomlanak:  
 $NO_2 \xrightarrow{h\nu} NO + O$   
 $N_2O \xrightarrow{h\nu} N_2 + ,O'$   
 $N_2O + ,O' \rightarrow 2NO$



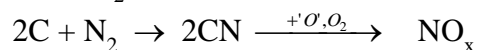
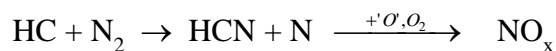
17. ábra A nitrogén biogeokémiai körforgása

- Reakció oxigénnel vagy ózonnal (oxidáció)  $2\text{NO} \xrightarrow{\text{O}_2} 2\text{NO}_2$



A képződött  $\text{HNO}_3$  szabad sav formájában vagy  $\text{NH}_3$ -val reagálva  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  formájában kerülhet az esővízbe, segítve a savas eső kialakulását.

- Reakció szénrel és széntartalmú gyökökkel nitrogén-oxidokat eredményez:



- A  $\text{NO}_x$  reakciója  $\text{HO}\cdot$ ,  $\text{HO}_2\cdot$  és  $\text{CH}_3\cdot$ -C-O-O $\cdot$  gyökökkel, olyan vegyületeket eredményez, amelyek szerepet játszanak a füstköd (5. táblázat) kialakulásában.
- Az  $\text{NH}_3$  és az N-H kötést tartalmazó szerves vegyületek reakciói: Ezekben a reakciókban karcinogén hatású nitrózaminok ( $\text{R}_2\text{-N-NO}$ ) keletkeznek.

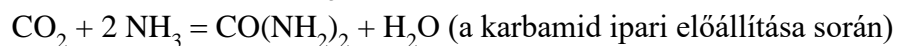
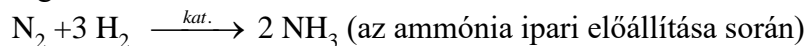
A bioszférában lejátszódó folyamatok

Mikroorganizmusok által kontrollált főbb folyamatokban 1 mol  $\text{N}_2$  redukálásához annyi energia szükséges, mint amennyi akkor szabadul fel, amikor 3 mol  $\text{O}_2$  oxidálja a glükózt.

- Nitrogénfixálás:  $\text{N}_2 \xrightarrow{\text{mikroorg.}} \text{NH}_4^+$
- Nitrifikáció:  $\text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{NH}_4^+$   
 $4\text{NH}_4^+ + 6\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO}_2^- + 8\text{H}^+ + 4\text{H}_2\text{O}$   
 $4\text{NO}_2^- + 2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO}_3^-$  (nitratáció)
- Ammonifikáció:  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$
- Denitrifikáció:  $5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{N}_2 + 5\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$

Technoszférában lejátszódó folyamatok:

Az "antropogén nitrogénfixálás" 20-30 %-a a teljes megkötött  $\text{N}_2$ -mennyiségnek.



### Az emberi tevékenység hatása a nitrogén körforgására

Nitrogén-oxid források

- Termikus  $\text{NO}_x$ , amely a levegő nitrogénjének oxidációjával keletkezik.
- Fűtőanyag  $\text{NO}_x$ , amely a tüzelőanyagok nitrogéntartalmú vegyületeinek oxidációjával jön létre.

- Indukált NO<sub>x</sub>, amely az átmeneti termékként képződő HCN oxidációjában keletkezik.

FORRÁS	RELATÍV MENNYISÉG (%)
Fosszilis tüzelőanyagok égése	35-40
Biomassza égése	27-40
Villámlás	7-8
Sztratoszférikus folyamatok	3-4
Ammónia oxidációja	1,5-5
A talaj kibocsátása	5-8

4. táblázat Globális NO<sub>x</sub> emisszió forrásai

A 4. táblázatból látható, hogy a Föld légkörébe jutó nitrogén-oxidok mennyiségét az emberi tevékenység jelentősen növeli, amelynek hatásai a következők:

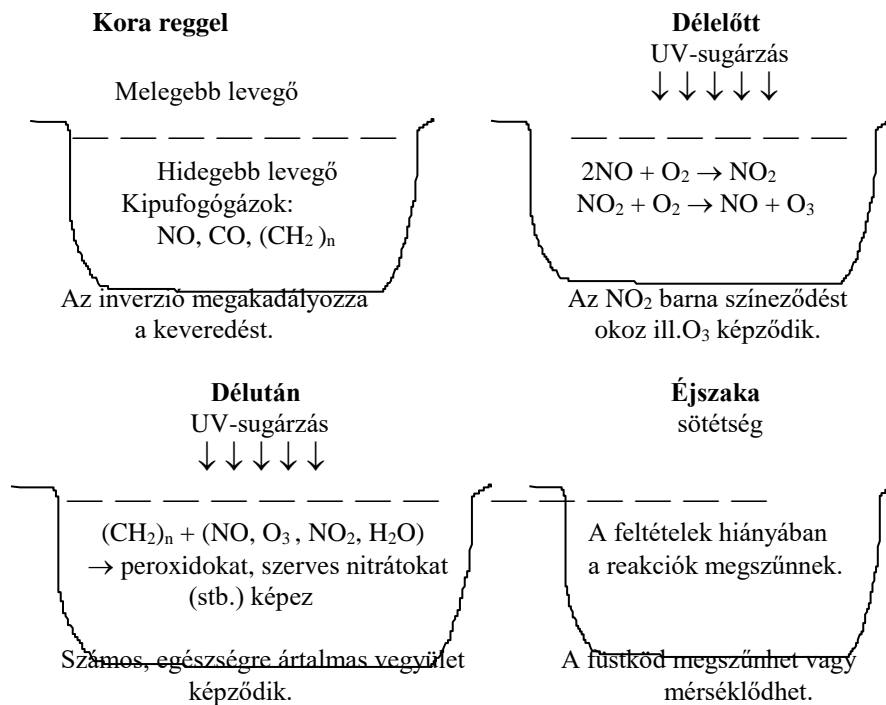
A NO<sub>x</sub> káros hatásai

- Savas esők (1. "Az emberi tevékenység hatása a kén körforgására" c. fejezetben).
- Füstköd (szmog) (5. táblázat, 18. ábra).

Tulajdonság	Los Angeles	London
A levegő hőmérséklete	24-32 °C	-1 -4 °C
A páratartalom	< 70 %	85 % (köd)
A hőmérsékleti inverzió	1000 m	< 500 m
A szél sebessége	szélcsend	szélcsend
A látótávolság	< 0,8-1,6 km	< 30 m
Előfordulás	aug.-szept.	dec.-jan.
Fő okozója	közlekedés	fűtés
Fő összetevője	NO, NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , korom, CO
A reakciók típusa	oxidatív	reduktív
A napi előfordulás	napközben	reggel és este
Az elsődleges egészségkárosító hatás	szemirritáció	légzőszerv-rendszeri károsodás (SO <sub>2</sub> , füst)
Károsodás	gumi (O <sub>3</sub> )	vas, beton

5. táblázat A Los Angeles- és London típusú füstköd összehasonlítása

A levegőszennyeződés szélsőséges formája a légszennyező anyagoknak a határértékeket nagy területen, huzamos időn át, jelentős mértékben meghaladó halmozódása. Kialakulásában döntő szerepet játszanak a nagymértékű emissziók, a kedvezőtlen meteorológiai körülmények (inverzió, szélcsend), domborzati tényezők. A füstködök két alapvető fajtája a redukáló (ún. London-típusú) füstköd és az oxidáló (ún. Los Angeles-típusú), más néven fotokémiai szmog.



18. ábra A Los Angeles típusú füstköd kialakulása

- A nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>) egészségkárosító hatásai

Vízben lassan oldódnak, ezért az egész légzőrendszerben megjelennek. A NO<sub>2</sub> már 300 µg/m<sup>3</sup> koncentrációban maradandó károsodást okozhat (tüdőödéma). Forgalmos utak mentén a fenti érték tízszerese is előfordulhat. Lakó- és munkahelyi belső környezetben a gáz-tüzeléses berendezések, az

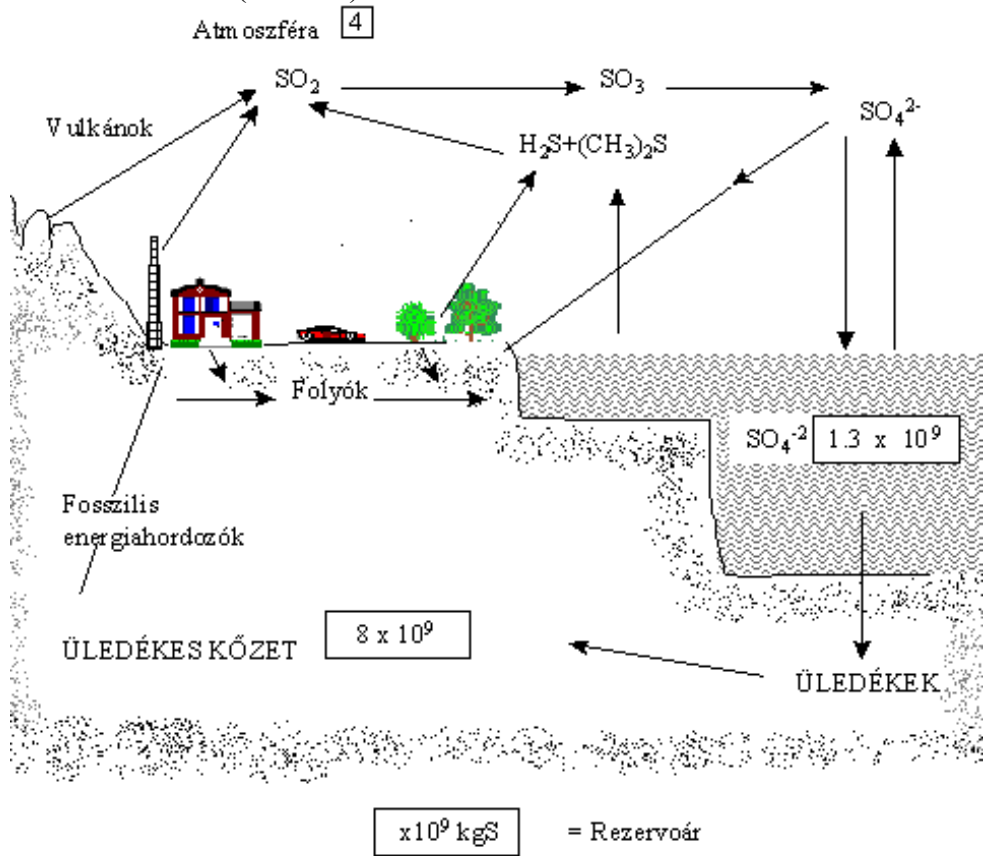


olajkályhák és a dohányzás emelheti a  $\text{NO}_x$  koncentrációját a megengedett határérték fölé. (Főzés ideje alatt  $470\text{-}1880 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , egyetlen cigaretta hatására  $150\ 000\text{-}226\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lehet a koncentráció).

## A KÉN ÉS A SAVAS ESŐ

### A kén körforgása

Az ipari forradalom következtében az emberi tevékenység jelentős hatással van a kén ciklusra (19. ábra).

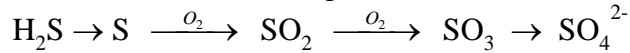


19. ábra A kén körforgása

Az antropogén beavatkozás általában a kén oxidációs számának növekedésével, míg a bioszférában lejátszódó folyamatok annak csökkenésével járnak.

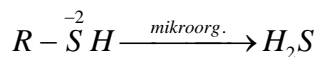
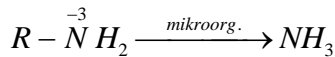
## A kén körforgásának kémiája

A redukált állapotú kén átalakulása oxidált állapotúvá:

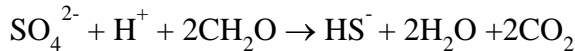
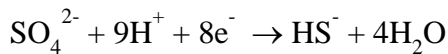


A kén körforgásának biológiai vonatkozásai:

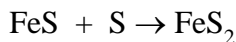
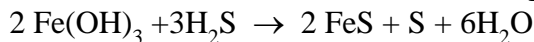
A S és N között analógia van abban, amilyen hatást a mikroorganizmusok kifejtenek a körforgásukra.



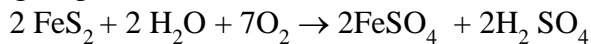
Néhány mikroorganizmus elemi ként állít elő (a  $\text{N}_2$  előállításához hasonlóan). A mikroorganizmusok a szulfát-ion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) redukciójához szükséges energiát a szénhidrátok lebontásával fedezik.



A felszabaduló kén-hidrogén ( $\text{H}_2\text{S}$ ) az atmoszférában oxidálódhat, vagy a talajba ill. a vízbe jutva fémionokkal oldhatatlan szulfidokat képez.



Víz és oxigén jelenlétében a szulfidok szulfáttá alakulhatnak, mikroorganizmusok segítségével.

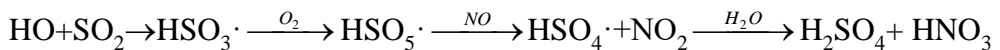


A folyamat csökkenti a környezet pH-ját, amely csökkenés a toxikus elemek oldhatóságát (mobilitását) növeli.

## Az emberi tevékenység hatása a kén körforgására

A fosszilis tüzelőanyagok fokozódó felhasználásával bizonyos területeken az atmoszférába jutó antropogén eredetű kén-dioxid ( $\text{SO}_2$ ) mennyisége meghaladja a természetes eredetű  $\text{SO}_2$  mennyiségét.

Az atmoszférába jutott  $\text{SO}_2$  különféle folyamatokban oxidálódik, és végül kénsav ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) lesz belőle.



A kénsav ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) és a salétromsav ( $\text{HNO}_3$ ) felelősek a savas eső kialakulásáért.

Savas eső: a légkörben lévő kén- és nitrogén-oxidok nedves kiülepedése a földfelszínre. Akkor beszélünk savas esőről, ha a csapadék pH-ja kisebb, mint 5,6. A vizeken, talajokon, az élővilágon túl (növények, állatok, emberek) a művi környezetet (hidak, utak, épületek stb.) is károsítja.

24 óráig tartó hatást véve figyelembe a  $\text{SO}_2$   $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fölött különböző légúti megbetegedéseket okoz. A haszonnövények  $70 \text{ kg}/\text{ha}$  ként igényelnek az optimális növekedéshez  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4]$ , de bizonyos területek több mint  $100 \text{ kg}/\text{ha}$  ként kapnak a savas esőből. A  $\text{SO}_2$  és a  $\text{H}_2\text{SO}_4$  direkt módon hat a növényi anyagcserére, amely 10-20 % termés-csökkenéssel is járhat. Az erdők gyengébb minőségű talajából a pH-változás hatására az esszenciális fémek kioldódnak, ill. a toxikus fémek (Al, Pb, Zn, Cu) oldhatósága és ezek felvehetősége megnő, ezáltal azok bekerülhetnek a táplálékláncba, s így az erdővel együtt az állatokat és embereket is veszélyeztetik.

Olvasás során, a hóban "raktározott"  $\text{SO}_2$  és  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a vizekbe kerül, és drasztikus pH-változást okozhat (pH 4,5). Az alacsony pH kedvezőtlenül hat az ikrákra és a fejlődésben lévő egyedekre. Savas közegben a toxikus elemek koncentrációja megnő a vízben, ami a fejlett halak pusztulásához is vezethet.

Az épületekre és fémszerkezetekre a savas eső oldó hatást fejt ki:

- Mész-kő:  $\text{CaCO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- Homok-kő:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$
- Fémek: Fokozódik a korrozív hatás  $\text{Me}^0 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Me}^{2+} + \text{H}_2^0$

## A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS

Amíg a bioszférában a körfolyamatoknak köszönhetően a hulladék nem jellemző, addig a technoszféra jellemzőjévé vált a lineáris folyamatok dominanciája miatt.

Általános értelemben véve hulladéknak tekintünk minden olyan, az ember élete, termelő- és fogyasztó tevékenysége során képződő anyagot, amely - közvetlenül vagy közvetve - veszélyezteti a környezet védelem alatt álló tárgyait, keletkezési helyén felesleges, ott fel nem használható és további kezelést igényel.

### A hulladékok környezeti hatásai

- A szerves anyagot is tartalmazó, nyitottan kezelt hulladékok lehetőséget adnak a legyek és a rágcsálók elszaporodására, illetve a hulladékban jelenlévő kórokozók fertőzést okozhatnak.
- A hulladékokat vagy bomlástermékeiket az esővíz kimossa, így azok szennyezik a talajt, a felszín alatti és a felszíni vizeket.
- Radioaktív hulladékokból sugárzó anyagok kerülhetnek a környezetbe.
- A levegő szennyeződése por, és a hulladékok bomlásakor keletkező gázokból származó bűz útján.
- Éles tárgyak sérüléseket okozhatnak.
- Az elszennyezett terület, a hulladék látványa undort keltő, az ember környezetét esztétikailag is kellemetlenné teszi.

### A hulladékok csoportosítása

- **Keletkezési hely szerint:**
  1. Termelési (ipari) hulladékok
    - a gyártási tevékenység természetszerű velejárója
    - selejt (a technológiai fegyelem be nem tartása, a berendezések hibája miatt képződő hulladék)
    - üzemépületek takarításából származó hulladék
    - a fenntartás, termékváltás során szükségszerűen képződő tisztítási maradék.

2. Települési (kommunális) hulladékok. Összetételük és mennyiségük az életszínvonalától és a fogyasztói szokásoktól függ.
  - a. Települési szilárd hulladék (lakóházi szemét, intézményi szemét, közforgalmi- és zöldterületek szemete, elhasznált, nagyméretű tartós fogyasztási cikkek).
  - b. Települési folyékony hulladék (közcsatornára nem kötött emberi szennyvízből származó, kommunális szennyvizet befogadó közüzemi csatornák és árkok, szennyvíztelepek fenntartásából és tisztításából származó hulladékok).

- **Veszélyesség szerint:**

- Különleges kezelést igénylő (veszélyes) hulladékok (I-III. hulladékkezelési osztály)
- Különleges kezelést nem igénylő hulladékok (IV. hulladékkezelési osztály).

Vannak háztartási veszélyes hulladékok, melyek különleges kezelést igényelnek, bár a háztartásban keletkeznek. Elkülönítve gyűjtendő, és az arra kijelölt helyen (pl. hulladékudvar) kell leadni őket. Ilyenek pl. a kémiai áramforrások, a fáradt olajok, növényvédőszer, gyógyszerek, háztartási vegyi áruk, szórópalackok, lakkok, festékek, festékes dobozok.

- **Hatás alapján:**

- Mérgező,
- Tűz- és robbanásveszélyes,
- Fertőző,
- Korrozív,
- Radioaktív hulladékok.

A szennyezés hatásának megnyilvánulási formája a közvetlen vagy közvetett hatás. Közvetlen hatás a helytelen kezelésből eredő mérgezés, fertőzés, illetve tüzeset és robbanás. A közvetett hatások a tápláléklánc keresztül jelentkeznek - lassabban - bioakkumuláció, akut toxicitás és rákkeltő hatás formájában.

• **Halmazállapot szerint:**

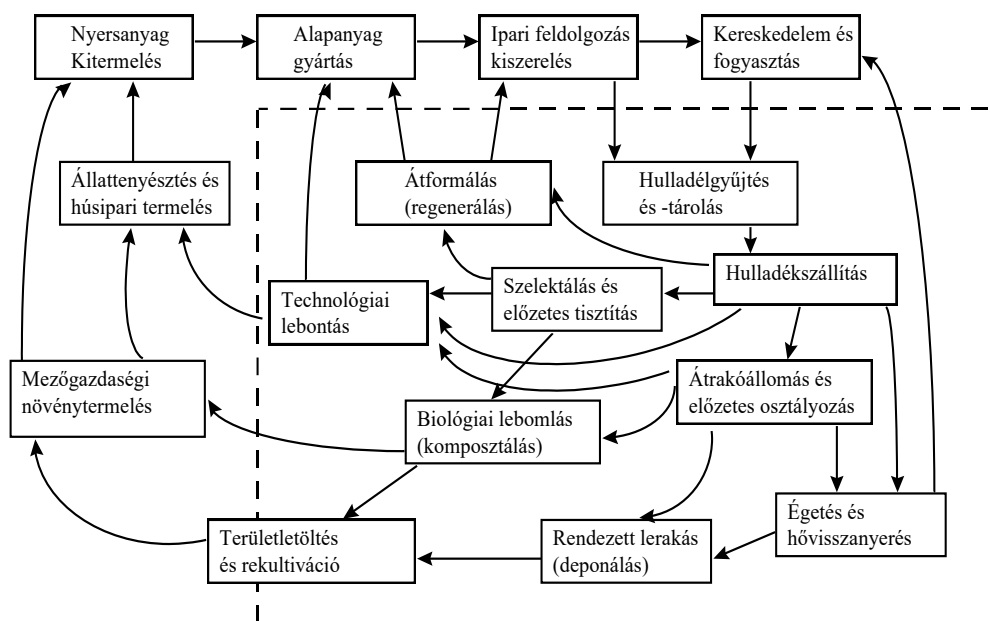
Szilárd, folyékony, iszapszerű és gáznemű hulladékok (6. táblázat).

Halmazállapot	Szilárd	Folyékony	Iszapszerű	Gáznemű
<u>Eredet szerint</u>				
Települési	Háztartási és utcai szemét	Kommunális szennyvíz	Kommunális szennyvíziszap, szippantott iszap	Lakóház fűtések füstje
Termelési	Ipari melléktermékek és hulladékok; állati eredetű hulladékok; almos trágva	Ipari szennyvizek, olajok, hígtrágya	Ipari szennyvíziszap	Ipari füstök és gázok
Veszélyes	Különböző ipari törmelékek, salakok, porok	Savak, lúgok, oldatok, festékek, trafóolaj	Galvániszapok	Vegyipari, petrokémiai gázok és füstök

6. táblázat Néhány példa hulladékoknak az eredet, a veszélyesség és a halmazállapot szerinti csoportosítására

Új hulladékgazdálkodási értékrend:

1. megakadályozni a hulladékok keletkezését,
2. csökkenteni (esetenként új technológia bevezetésével) a keletkező hulladék mennyiségét,
3. hasznosítani az elkerülhetetlenül keletkező hulladékokat (20. ábra).



20. ábra A hulladékok hasznosításának rendszerszemléletű folyamatvázlata

## A hulladékkezelés technológiai folyamata

A termelés környezeti terheinek felismerésével megváltozott a termékek korszerűségének kritériuma. Már nem elég, ha egy jól alkalmazható terméknek termelékeny, hatékony és gazdaságos a gyárthatósága, fontos az is, hogy ne terhelje károsan a környezetet

- sem a gyártása,
- sem alkalmazása,
- sem pedig hulladékká válása során.

### • Gyűjtés és elszállítás

A szelektív gyűjtés a hulladékok újrahasznosításának egyik alapvető feltétele. Az iparban ez részben megvalósul, a magyarországi kommunális hulladékok szelektív gyűjtése azonban még megoldandó feladat.

A veszélyes hulladék gyűjtése, szállítása csak környezetkímélő módon végezhető, hogy közben a levegő, a víz, a talaj ne szennyeződjön, és ennek lehetősége is kizárható kell legyen.



- **Az előkezelés** az a művelet sor, amelynek során a hulladék ártalmassága csökken, kezelhetősége előnyösen változik. Lehetséges lépései: aprítás, rostálás, tömörítés, mosás, beágyazás.

- **Feldolgozás**

**1. Hasznosítás:** a hulladék közvetett (recycling = újrahasznosítás) vagy közvetlen (reuse = újrahasználat) visszajuttatása a termelés, szolgáltatás folyamatába (másodnyersanyagok, energiahordozók, fél- ill. késztermékek formájában). A hulladék égetése nem minősül hasznosításnak.

A hulladékhasznosítás előnyei:

- csökkenti a nyersanyagforrások kitermelését
- nem terheli az épített és a természeti környezetet:
  - üzemi átmeneti tárolás során
  - csökken az elszállítandó hulladék mennyisége, térfogata
  - csökken a lerakásra igénybevett területek nagysága és szennyeződése
  - csökkennek a megbetegedési, fertőzőési veszélyek
- energiamegtakarítás (7. táblázat).

Iparág	Másodlagos nyersanyagok	Elsődleges nyersanyagok
Papírgyártás	2,94	6,3...10,5
Műanyagipar	0,42	2,94
Üvegipar	1,26	11,76
Acélgyártás	2,52	25,2
Alumíniumgyártás	8,40	58,8

7. táblázat 1 t anyag felhasználásának energiaigénye ( $10^9\text{J/t}$ ).

## A települési hulladék hasznosítása

Szilárd hulladék

Szelektív gyűjtéssel vagy mechanikai szétválogatással tisztítás, előkészítés után ipari nyersanyaggá alakítják (recycle).

Folyékony hulladék

Mezőgazdasági elhelyezéssel egybekötött hasznosítás: kevert trágya előállítása.

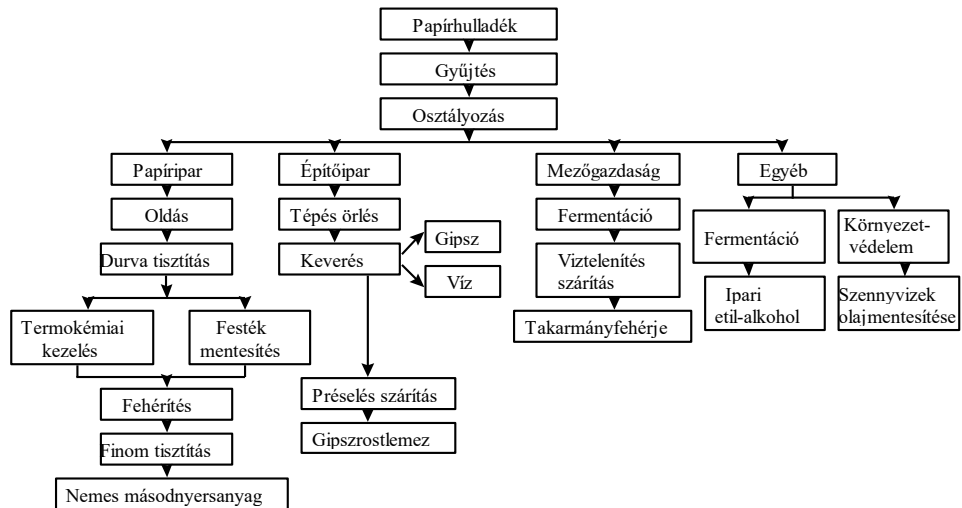
## A termelési hulladékok hasznosítása

### Fémek

- vas és acélhulladékok kohászati felhasználása
- alumínium és színesfémek beolvasztása
- hulladék akkumulátorok ólomtartalmának beolvasztása

### Papír (21. ábra)

- papíripari felhasználás
- építőipari hasznosítás
- mezőgazdasági hasznosítás
- egyéb (pl. felszívató-anyag előállítása szennyvizek olajmentesítésére)



21. ábra A papírhulladék újrahasznosítása

### Műanyag

- természetes lebontás
- mesterséges lebontás
- regenerálás (vegyes vagy típusazonos; de pl. a PVC nem lehet termikus degradációja miatt).

A műanyagok jelölése az egymásba forduló három nyíllal történik, melyek háromszöget alkotnak. Jelentése: a felhasznált anyag újrahasznosítható.

- 01 PET (polietilén-tereftalát)
- 02 PE-HD (nagy nyomású polietilén)
- 03 PVC (polivinil-klorid)
- 04 PE-LD (kis nyomású polietilén)
- 05 PP (polipropilén)
- 06 PS (polisztirol)
- 07 egyéb

#### Gumi

- gépkocsi gumibroncsok újrafutóztatása
- sportpályák, játszóterek burkolata (gumiőrlemény hulladék bekeveréssel)
- építőipari felhasználás: alapozás, tetőszigetelés, padlóburkolat, útépítés (suttogó aszfalt)

#### Üveg

- újratölthető (betétdíjas) üvegpalackok (közvetlen) hasznosítása (reuse)
- visszairányítás az üvegyiparba beolvasztásra (közvetett hasznosítás) (recycle)
- egyéb célú hasznosítás
  - útépítésnél (a közúzalék egy részét helyettesítik üveghulladékkal)
  - építőiparban: - a cementhez keverve (szilárdság), - falazó elemek gyártására
  - üvegyapot előállítására

#### Textilhulladék

- pamuthulladék - mint cellulóz alapanyag → «merített papír» (a legjobb minőségű papír)
- géprongy
- építőipar → hő- és hangszigetelő elemek

#### Élelmiszeripari hulladék

- baromfitáp
- állati takarmány
- csont → enyv
- cukoripari mésziszap → talajjavítás
- napraforgómaghéj → tüzelés

#### Mezőgazdasági hulladék

- biomassa jellegű hulladék → biobrikett

A hulladékok egy része azonban műszaki, technológiai okokból nem, vagy csak igen nagy költségráfordítással hasznosítható. Ezeknek környezetvédelmi szempontból megfelelő módon történő ártalmatlanításáról kell gondoskodni.

**2. Ártalmatlanítás:** a hulladék környezetvédelmi és közegészségügyi szempontból megfelelő feldolgozása vagy elhelyezése. Célja, hogy a hulladékot a környezetet nem szennyező, rá nem káros állapotba hozzák.

**A kémiai hulladékfeldolgozási eljárások** közé soroljuk a semlegesítést, a csapadékos leválasztást, a hidrolízist, redukciót, oxidációt és az elektrokémiai módszereket.

### **Hulladékégetés**

- Az égetés exoterm folyamat, melynek során a hulladék szervesanyag tartalma gázokká és vízzé elégve füstgáz formájában távozik a tüztérből.
- Az éghetetlen szervesanyagok salak és pernye formájában szilárd formában eltávolítandók.

A távozó anyagok minőségét az égetésre kerülő anyagok minősége, valamint az égetési körülmények befolyásolják.

### **Biokémiai hulladékkezelés**

Az a folyamat, melynek során a hulladék szerves alkotóinak feldolgozása élő mikroorganizmusok segítségével történik. A termékek révén hulladékhasznosítás is megvalósul.

Biokémiai hulladékfeldolgozási eljárások:

- komposztálás
- biogáz-előállítás
- enzimatikus fermentációs eljárás csoport.

A komposztálás aerob biokémiai eljárás szilárd és iszapszerű kommunális ill. bizonyos élelmiszeripari és mezőgazdasági hulladékok feldolgozására. Végterméke a 40-50 % nedvességtartalmú anyag, a komposzt.

Ennek jellemzői: - magas biológiai érték

- optikailag kifogástalan
- minimális károsanyag-tartalma van.

- komposztkihozatal 40-45 tömeg %

- erjedési veszteség 20-25 %
  - nem komposztálható maradék 35-40 % (deponálással ártalmatlanítható).
- A biogáz előállítás szerves anyagok anaerob erjedése elsősorban metanogén baktériumok jelenlétében.
- Lényeges gazdasági haszna a termelésnek, hogy a fertőző szerves eredetű hulladékokat értékes anyaggá (metángázzá és biokomposztá) alakítja.
- összetétele: metán (50-85 térfogat %)  
szén-dioxid (50-15 térfogat %)  
hidrogén, nitrogén, kén-hidrogén (egyenként 0-0,02  
térfogatszázalék)
  - hasznosítása:
    - olcsó szennyvízkezelési mód
    - újrahasznosítja a trágyát, szerves hulladékot
    - energiaforrás
    - a környezetterhelést csökkenti
    - termelése egyenletes, de a gázigény időszakos (hátrány)

#### Enzimes fermentáció

Fehérjék, zsírok és más komplex szerves anyagok lebontására kidolgozott enzimes (mint biokatalizátorok) eljárás.

### Lerakás

Rendezett lerakás (deponálás): különleges kezelést nem igénylő hulladék (termelési vagy települési, szilárd vagy folyékony) elhelyezése talajon vagy talajban, a környezetvédelmi és közegészségügyi előírások és technológia szerint.

A területfeltöltéses hulladékelhelyezés egyik legkorszerűbb módszere a prizmás rendszerű lerakás. A hulladékprizma trapéz keresztmetszetű hasáb. A prizma teljes felülete (koronasík és oldalrészük) időben folyamatosan takarásra kerül.

A depónia legfontosabb kivitelezési jellemzői:

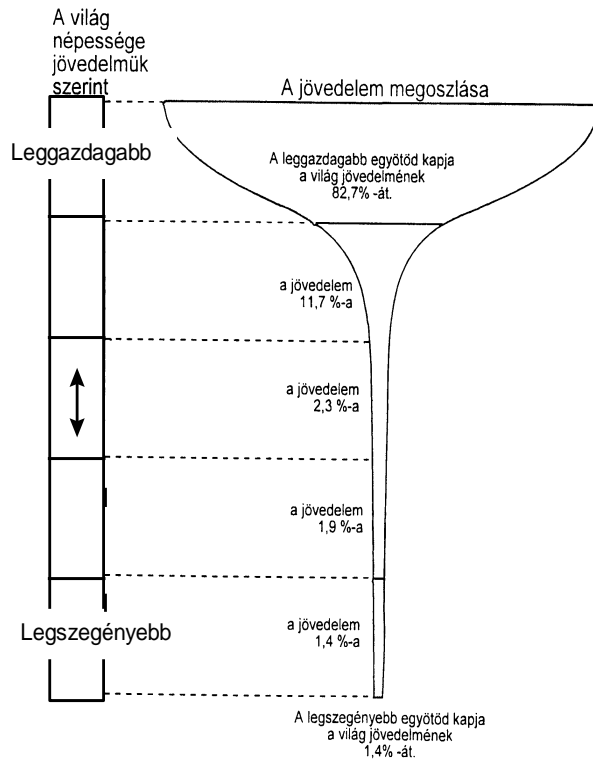
- föld alatti szigetelés
- berendezés a szivárgó víz elvezetéséhez, kezeléséhez: fenékcsővezéssel (dréncsövek)
- berendezés a szivárgó gáz felfogásához, kezeléséhez, értékesítéséhez
- hosszú távra tervezett
- utógondozható

- visszatájosítás: záróréteg felhordása termőtalajból a zöldterületi utóhasznosítás jellegétől függő vastagságban (füvesítés, fásítás stb.).  
Rendezett biztonságos lerakás: különleges kezelést igénylő hulladékok lerakása fokozott biztonsági követelmények szerint.

## FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS

“A végső kérdés nyilván az, hogy képes lesz-e túlélni az emberiség a ma élő emberek mesterkedéseit, akik - úgy látszik - gyakran inkább örült majomként, mint épeszű emberként cselekszenek.”

A Szentgyörgyi Albert által 1970-ben megfogalmazott aggodalmát sajnos ma már könnyű megértenünk. A környezetpusztítást és az emberi kultúra hanyatlását nap mint nap tapasztaljuk. Az embereknek már nem szükséges cáfolhatatlan tényekkel, tudományosan megalapozott mérésekkel bizonyítani környezetünk elszennyeződését, elég ha körülnézünk közvetlen környezetünkben, vagy a rádiót, televíziót nézve megerősödik bennünk, hogy a baj világméretű. A környezet romlását csak tetézi az emberi kapcsolatok megromlása, s ezt sem kell pszichológusnak, szociológusnak bizonyítani, hisz “*nincs időnk*” arra, hogy egymásnak segítsünk, egymással törődjünk, mert, mint mondjuk, “*pénzt kell keresnünk*”. Ma már sajnos tényként kezelhetjük, hogy globális válságban élünk, amelyben benne foglaltatik a környezeti válság, a gazdasági válság és sajnos a kulturális válság. A Föld szegényei számára - akik száma nő - egyre reménytelenebbé válik az emberhez méltó élet (22. ábra).



22. ábra A jövedelmek megoszlása a Földön.  
(Forrás: UNDP, Jelentés az emberiség fejlődéséről, New York, Oxford Univ. Press, 1994.)

Az előző fejezetekben már tárgyaltuk, hogy a problémák alapja a technoszféra megjelenése, melynek térhódítását az ipari forradalom segítette elő. Tisztán láthatjuk, hogy a gazdaság és üzleti élet nem képes azokat a hatalmas, az egész Földet érintő problémákat megoldani, amelyeket a technoszféra létrehozott. Az is nyilvánvaló, hogy a változás feltétlenül szükséges, és elérkezett az idő, nem várhatunk tovább.

## **A fenntartható fejlődés történeti előzményei**

Stockholm (1972)

U Thant, az ENSZ főtitkára 1969-ben az ENSZ Gazdasági és Szociális Tanács 17. ülészakán talán időben fordult felhívással a világ közvéleményéhez:

*"Az emberiség történelme során most első ízben vagyunk tanúi egy olyan világviszonylatú válság kibontakozásának, amely mind a fejlett, mind a fejlődő országokat érinti; az emberi környezet válságáról van szó. Ha a jelenlegi irányzatok továbbra is érvényesülnek, biztosra vehető, hogy veszélybe kerül az élet a földgolyónkon. Ezért sürgősen fel kell hívni a világ figyelmét azokra a problémákra, amelyek megakadályozhatják az emberiséget abban, hogy legmagasabb rendű törekvéseink megvalósulását lehetővé tevő környezetben éljen."*

Ezzel a kijelentéssel az Egyesült Nemzetek Szervezete deklarálta, hogy foglalkozni kíván a Föld globális problémáinak megoldásával. Ezt követően határozat született arról, hogy 1972-ben világkonferenciát rendeznek "Az Emberi Környezet ENSZ Konferenciája" címmel.

A svédországi konferencián 113 állam delegációja vett részt.

A megfogalmazott javaslatok a következő témákra hívták fel a figyelmet:

- A települések környezetvédelme
- A természeti erőforrásokkal való gazdálkodás környezetvédelmi szempontjai
- Szennyeződések
- A tengerek szennyeződése
- A környezetvédelem pedagógiai, tájékoztatási, szociális és kulturális kérdései
- Fejlődés és környezetvédelem.



A konferencián az emberközpontúság elve érvényesült, megjelent a jövő iránti felelősség is. Kiemelték továbbá a nemzetközi együttműködések fontosságát, de a fenntartható fejlődésről még nem esett szó.

A nyolcvanas évek elejére a globális környezeti problémák kiszélesedtek, ez indokolta egy újabb ENSZ-konferencia előkészítését.

### Környezet és Fejlődés Világbizottság (1983-1987)

Az újabb ENSZ világkonferencia előkészítésében jelentős szerepet játszott a Környezet és Fejlődés Világbizottság (a Brundtland Bizottság), amelyet "egy átfogó változás" megalapozására kértek fel.

Feladatai között szerepelt:

- hosszú távú stratégia kidolgozása, amely 2000-ig és azon túl is lehetővé teszi a környezetkímélő fejlődést;
- együttműködést kidolgozni a környezet megóvására a fejlődő és a különböző gazdasági fejlettségű és társadalmi berendezkedésű országok között, olyan közös és kölcsönösen előnyös megoldások érdekében, amelyek figyelembe veszik az emberek, erőforrások, a környezet és a fejlődés kölcsönhatásait;
- olyan módszereket és eszközöket találni, amelyek a nemzetközi együttműködést hatékonyabbá teszik a környezet megóvása végett;
- kialakítani a hosszú távú környezetvédelmi témák kölcsönösen elfogadható megfogalmazását, meghatározni a környezet védelmével és jobbításával kapcsolatos problémák megoldásához szükséges erőfeszítéseket;
- hosszú távú cselekvési programot kidolgozni a következő évtizedekre, valamint célokat kitűzni a világ népei számára.

1983 decemberében kérte fel az ENSZ főtitkára Gro Harlem Brundtland asszonyt arra, hogy alapítsa meg ezt a független bizottságot, és tolmácsolja a világ népeinek a fenti kihívásokat.

A feladat hatalmas volt, hiszen ahogy ő fogalmazta a bizottságnak: "Az emberiség céljait és létét kell felelősséggel összeegyeztetnie, s ez mindnyájunk cselekvő támogatását követeli."

*"Mivel nincs kezünkben az alapvető problémák megoldásának kulcsa, nincs más lehetőség, mint szüntelenül keresni azt. (...) szembe kell nézni a jövővel, az eljövendő generációk érdekeit védelmeznünk kell. Teljességgel nyilvánvaló volt: változtatásra van szükségünk!"*

*"Amikor 1982-ben megtárgyaltuk bizottságunk működésének feltételeit, voltak, akik csak környezetvédelmi tevékenységre akarták a munkát korlátozni. Ez nagy hiba lett volna. Nincs az emberi cselekvésektől, törekvésektől és szükségletektől elvonatkoztatott környezetvédelem, és ha emberi vonatkozásaitól elkülönítve kísérelnénk meg a környezet megvédését, maga a környezet szó is naiv politikai mellézköngét kapna."*

A Környezet és Fejlődés Világbizottság 1987-ben adta közre jelentését "Közös jövőnk" címmel, amelyben egyenesen a kormányokhoz, és rajtuk keresztül intézményekhez és minisztériumokhoz szólt. Mindenekelőtt természetesen az emberekhez szólt, akiknek jóléte minden környezet- és fejlődéspolitikai végső célja. Fontos a magánvállalatok szerepe is, hiszen a nagy nemzetközi társaságok forgalma sokszor nagyobb, mint némely országé, s ezért megvan a lehetőségük arra, hogy a változásokban jelentős szerepet játsszanak.

A "Közös jövőnk" jelentésben jelenik meg a fenntartható fejlődés gondolata, az akkori magyar fordításban még harmonikus fejlődés néven.

*"A harmonikus fejlődés a fejlődés olyan formája, amely a jelen igényeinek kielégítése mellett nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségétől."*

*"A fejlődés magába foglalja a gazdaság és társadalom progresszív megváltoztatását. (...) De a fizikai fenntarthatóság nem biztosítható másképp, csak ha a fejlesztési politika figyelmet fordít például arra, hogy meg kell változtatni a természetes erőforrások felhasználási módját, a költségek és juttatások elosztását. Ahol csekély a hajlandóság a harmonikus fejlesztésre, ott is szem előtt kell tartani a generációk közti társadalmi méltányosságot, a generációkon belül is ki kell terjeszteni az egyenlő jogok elvét."*

Az ENSZ Közgyűlése 1992-re kitűzött egy új konferenciát "Környezet és Fejlődés ENSZ Konferencia" címmel, amelynek már központi gondolata lett a fenntartható fejlődés. Ennek meghatározására lényegét tekintve megegyezik Környezet és Fejlődés Világbizottság 1987-es jelentésében leírtakkal: olyan fejlődés, amely úgy elégíti ki a mai generációk igényeit, hogy közben nem befolyásolja károsan a következő generációk ugyanazon igényei kielégítését.

## Rio de Janeiro (1992)

A konferencián a 178 ENSZ-tagállam közül 172 vett részt, ezek közül 110 delegációt államfő vagy kormányfő vezetett, akik számára megszervezték a Föld Csúcstalálkozót, ahol Göncz Árpád, a Magyar Köztársaság elnöke is beszédet tartott.

Rióban az alábbi fontosabb dokumentumokat fogadták el:

- Riói Nyilatkozat, melyben általános elveket fogalmaztak meg az erőforrások hasznosításáról, a környezet védelméről, a fenntartható fejlődésről és az egyes országok együttműködésének alapelveiről (l. *multimédia jegyzetek*).
- A "Feladatok a XXI. századra" (Agenda 21) c. dokumentum, amely ajánlások és javaslatok gyűjteménye a fenntartható fejlődés megvalósítása érdekében.
- ENSZ Éghajlatváltozás Keretegyezmény.
- Egyezmény a biológiai sokféleségről.
- Nyilatkozat az erdőkre vonatkozó elvekről.

Megállapodás született arról is, hogy az ENSZ keretében létrejön a Fenntartható Fejlődés Bizottság, amely figyelemmel kíséri a konferencia határozatainak és ajánlásainak végrehajtását. Magyarország a kezdetektől fogva tagja ennek a bizottságnak.

## Aalborg (1994)

A "Feladatok a XXI. századra" (Agenda 21) megfogalmazása a fenntartható fejlődés megvalósítása érdekében jelentős eredménye volt a Riói Konferenciának.

A Konferencia eredményeit összefoglaló dokumentum 28. fejezete felhívja a világ politikai vezetőinek figyelmét arra, hogy kezdjenek párbeszédet országaik polgáraival egy, a helyi közösségek által elfogadható fenntartható fejlődéssel foglalkozó program, az ún. "Helyi feladatok a XXI. századra" (Local Agenda 21) kialakítására.

Az európai városok és közösségek reagáltak erre a felhívásra, létrehozták az ún. "Európai kampány a fenntartható városokért és közösségekért" programot. Ennek alapjait az 1994-ben Aalborgban megrendezett konferencián fektették le, megalkotva az "Európai Városok Chartája a

Fenntartható Fejlődésért" című dokumentumot, amely "Aalborg Charter" néven vált közzismertté (l. Multimédia jegyzetek).

1996-ban rendezték meg a második "Fenntartható Városok Konferenciát" Lisszabonban.

1997-ben került sor a "Rio+5 Konferenciára", amely a Riói Konferencia óta eltelt öt év eredményeit volt hivatott megvitatni.

## **Indikátorok**

Ha meg akarjuk valósítani a fenntartható fejlődést, szükségünk van indikátorokra (jelzőkre), amelyek megmutatják, jó úton járunk-e. Az indikátorok önmagukban nem mondják meg, mit kell tennünk, csak mutatják az utat a fenntarthatóság irányába. Segítenek meglátni, hogy mi történik ezzel kapcsolatban a saját közösségünkben. Általában elfogadott dolog indikátorokat használni annak jelzésére, hogyan haladunk előre céljaink elérése érdekében. Az indikátoroknak ugyanakkor nevelési szerepük is van. Az igazi értékük mégis abban rejlik, hogy nem csak kijelölik az utat, hanem a megvalósítás során segítenek a prioritások meghatározásában is.

Képzeljünk el egy olyan jövőt, amelyben mindenki harmóniában él közvetlen környezetével, nem okoz kárt sem lokálisan sem globálisan. Mindennapi élete során igényeit úgy elégíti ki, hogy azzal nem csökkenti az eljövendő generációk ugyanazon igénye kielégítésének esélyét. Ennek megvalósítását segíti az alábbi 13, Angliában kidolgozott indikátor.

1. A különböző forrásokat hatékonyan használjuk, a hulladékok mennyiségét a lehető legkisebbre csökkentjük újrahasználat és újrahasznosítás által.
2. A környezetszennyezést olyan mértékűre csökkentjük, hogy az nem káros az élő szervezetekre.
3. A természetet védjük, sokféleségét nagyra értékeljük.
4. Amennyire az csak lehetséges, a helyi igényeket helyi forrásokból elégítjük ki.
5. Mindenkinél lehetősége van elfogadható életkörülmények között élni, elérhető áron közlekedni, tiszta vízhez, megfelelő mennyiségű élelemhez és lakáshoz jutni.

6. Mindenkinek lehetősége van számára elfogadható munkához jutni, amelyet egy sokszínű gazdaság biztosít. Egyenlő munkáért lehetőleg egyenlő fizetség jár, és ugyanakkor értékes az önkéntes, egymásért vagy a közösségért végzett munka is.
7. Az emberek egészségét elsősorban tiszta és nyugodt környezetük biztosítja. Az egészségügyi ellátás feladata a megelőzés is, nemcsak a betegségek kezelése.
8. Miközben az emberek hozzájutnak a szolgáltatásokhoz és a különböző javakhoz, nem okoznak kárt mások és környezetük számára.
9. Az emberek félelem nélkül élnek saját közösségükben és nem tartanak a bűnözéstől, a személyes agressziótól, egyenlőtlen versenyhelyzetektől, a nemi és származás szerinti megkülönböztetéstől.
10. Mindenki hozzájuthat a különböző információkhoz, tudáshoz, szakmai ismeretekhez annak érdekében, hogy teljes értékű embernek érezze magát az adott társadalomban.
11. Valamilyen szinten mindenkinek lehetősége van arra, hogy részt vegyen a döntéshozatalban.
12. Mindenkinek lehetősége van művelődésre, pihenésre, szórakozásra.
13. Az adott település, amelyben a közösség él, úgynevezett "emberléptékű", ahol a sokféleséget és változatosságot nagyra értékelik és védik a szürkeséggel, az egyhangúsággal szemben. A dolgok használati és pénzben kifejezett értékén túl nagyra értékelik azok szépségét és harmóniáját.

Be kell látnunk, a fenntartható fejlődés megvalósítása talán a legnagyobb kulturális kihívás, amellyel az emberiség valaha szembenézett. Ebből következik, hogy rendkívül sürgető az új technológiák kifejlesztése, a gazdasági élet átszervezése, új vásárlási szokások bevezetése stb., egyszóval a fenntartható életstílusra való áttérés. Mindannyiunknak mérlegelnünk kell, hogy mindennapi tetteink segítik vagy éppen akadályozzák ezeknek a céloknak az elérését.

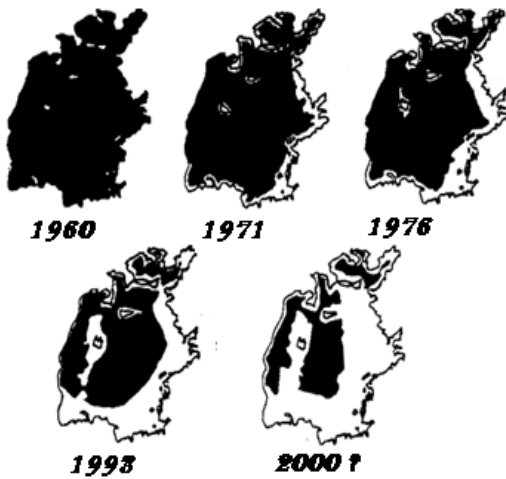
### **Az elv gyakorlati megvalósítása**

Mielőtt nekilátunk a fenntartható fejlődés gyakorlati megvalósításának, nagyon fontos belátnunk azt, hogy a fenntartható fejlődés nem azonos a környezetvédelemmel. A *környezeti* problémák nem kezelhetők

elkülönülten a **szociális** és **gazdasági** problémáktól, ha azokat fenntartható módon kívánjuk megoldani. Nekünk olyan új kultúrára van szükségünk, amelyben a különböző igényeket integrálni tudjuk.

A három elem harmóniájának durva megsértését, s ennek rendkívül súlyos következményeit jól mutatja az Aral-tó tragédiája (23. ábra).

A tó vízfelülete az elmúlt több mint harminc év során jelentősen csökkent, amely önmagában környezeti katasztrófaként értékelhető. A jelenlegi helyzet azonban nem ilyen "egyszerű". A szovjet hatalom idején központi döntés született a térség gazdasági "fejlesztéséről", figyelmen kívül hagyva a



helyi sajátosságokat, hagyományokat, az ottani közösségek érdekeit. Az Aral-tó környékét rizs- és gyapottermesztésre jelölték ki. Ehhez sok vízre volt szükség, amelyet a tavat tápláló két folyó, a Szir-darja és Amu-darja vízének csatornákon történő elvezetésével oldottak meg.

23. ábra Az Aral-tó felszínének változása.

A kitűzött tervek teljesítéséhez sok műtrágyára és növényvédő szerre is szükség volt. A folyók vizének elterelésével lényegesen kevesebb víz jutott a tóba, s ennek következtében felülete közel 50 %-kal, miközben vízszintje több 14 m-rel csökkent. Ez a katasztrófa végül is teljes gazdasági összeomláshoz és súlyos szociális problémákhoz is vezetett. Ma a tó környékén nagy a munkanélküliség, a szegénység, és a bekonztrálódott vegyszerek okozta megbetegedések száma. Ebből következően a falvak sorra néptelenednek el, és szűnnek meg azok a közösségek, amelyeknek létét évszázadokon keresztül a tó biztosította.

Milyen módszerekkel és eszközökkel valósítható meg a fenntartható fejlődés? A válasz az, hogy nincsenek univerzális módszerek és eszközök.

Minden közösségnek magának kell a legmegfelelőbbeket megtalálni. Fontos, hogy más tapasztalataiból is tanuljunk és saját tapasztalatainkat adjuk át másoknak.

Arra vonatkozóan, hogy mit tehetünk a mindennapi gyakorlatban, a *Multimédia jegyzetekben* találunk ajánlásokat. Itt csak két példát említünk meg táblázatba foglalva.

Indikátorok	Tevékenység	Igények
<p>A különböző <i>forrásokat hatékonyan használjuk</i>, a hulladékok mennyiségét a lehető legkisebbre csökkentjük <i>újrahasználat és újrahasznosítás</i> által.</p>	<p>Kiterjesztett gyártói felelősség (EPR). Az EPR megosztja a felelősséget a gyártók, szolgáltatók és vásárlók között, ezáltal csökkenti a termék környezeti hatását egész “életciklusa” során. Így minden lépés a tervezéstől, a gyártáson és felhasználáson át egészen a hulladékok kezeléséig összhangba kerül.</p>	<p>Arra serkenti a <b>gazdaságot</b>, hogy lényeges változtatásokat tegyen a termék <b>környezeti</b> hatásával kapcsolatban. Fontos továbbá, hogy az elhasznált termék (hulladék) nem marad az adott <b>közösségben</b>.</p>

<p>A <i>környezet-szennyezést</i> olyan mértékűre <i>csökkentjük</i>, hogy az már nem káros az élő szervezetekre.</p>	<p>Energiahatékonysági programok, melyek csökkentik a fogyasztást és a természeti erőforrások felhasználását, miközben lehetőséget adnak a gazdaság továbbfejlődésére. Az ilyen programok energiát és pénzt takarítanak meg, sőt csökkentik a levegő szennyeződését. Segítik a fogyasztók ismereteinek bővülését az energia felhasználásával kapcsolatban, és a megújuló energia felhasználásának lehetőségeit is bemutatják.</p>	<p>Ezen tevékenységek segítik az adott <b><u>közösséget</u></b> abban, hogy a problémákat jobban lássák, megmutatja a <b><u>gazdaság</u></b> számára a követendő utat, és jelentős mértékben elősegíti a <b><u>környezet</u></b> védelmét.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## A TANULÁST SEGÍTŐ KÉRDÉSEK ÉS FELADATOK

### Alapok

1. Jellemezzük a bioszféra és a technoszféra kapcsolatát!
2. Milyen rendszernek tekinthető a Föld, mint reakciótér?
3. A Föld vízkészletének hány százaléka édesvíz?

### Kulcsszavak

bioszféra, technoszféra, reakciótér (-rendszer), elszigetelt rendszer, zárt rendszer, nyitott rendszer, mállás

### A természeti környezet kialakulása

1. Mi a "BIG BANG" elmélet lényege?
2. Mai ismereteink szerint melyek az Univerzum fejlődéstörténetének főbb eseményei?
3. Melyek a csillagok "életének" lehetséges szakaszai?
4. Mik a Naprendszer kialakulásának és szerkezetének jellegzetességei?

### Kulcsszavak

ősanyag, Világegyetem tágulása, "BIG BANG", magreakciók, elemi részecskék, atomok, háttérsugárzás, csillagközi anyag, csillagok, galaxisok, galaxishalmazok, Doppler-effektus, protocsillag, "vörös óriás", nóva, szupernóva, neutroncsillag, fehér törpe, pulzár, fekete lyuk, bolygórendszer, bolygók, kisbolygók, holdak, meteorok, üstökösök, szilikátos- és gázbolygók, kozmikus por, természetes, mesterséges, kémia, bioszféra, technoszféra, környezetvédelem, környezettudomány

### Az ember és környezete

1. Melyek a szén körforgásának főbb folyamatai?
2. Milyen hatásai vannak a légkör növekvő szén-dioxid-koncentrációjának?
3. Az elektromágneses sugárzás mely tartományában van elnyelése a szén-dioxidnak?
4. Hogyan változtatja meg a légkör szén-dioxid-tartalma az esővíz pH-ját?
5. Milyen szerepet játszanak a nitrogén körforgásában a mikroorganizmusok?
6. Hogyan játszanak szerepet a füstköd kialakulásában a nitrogén-oxidok?

7. Mely antropogén tevékenység a legfőbb NO<sub>x</sub>- forrás?
8. Az elektromágneses sugárzás melyik tartományában nyel el az ózon?
9. Mely vegyületek az okozói az "ózonlyuk" kialakulásának?
10. Milyen hasonlóság fedezhető fel a kén és a nitrogén körforgásában?
11. Melyek a kén-dioxid okozta legsúlyosabb környezeti hatások?
12. Milyen lehetőségei vannak a kén-dioxid okozta környezeti hatások csökkentésének?

### **Kulcsszavak**

fotoszintézis, respiráció, metán - szén-dioxid ciklus, üvegházhatás, infravörös sugárzás, nitrogénfixálás, denitrifikáció, nitrifikáció, ammonifikáció, füstköd, savas eső, ózon, CFC (hajtógáz, hűtőközeg), talajsavanyodás, mállás

### **A hulladékgazdálkodás**

1. Mi az új hulladékgazdálkodási értékrend?
2. Mi a hulladék?
3. Melyek a hulladékok legfontosabb káros környezeti hatásai?
4. Mit nevezünk kommunális hulladéknak?
5. Mi tartozik a termelési hulladékok fogalomkörébe?
6. Milyen veszélyes hulladékok keletkezhetnek a háztartásban?
7. Melyek a hulladékkezelés technológiai folyamatának lépései?
8. Igaz-e, hogy a kommunális hulladék nem hasznosítható?
9. Mi a komposztálás, milyen előnyei vannak?
10. Mi a rendezett lerakás és a rendezett biztonságos lerakás között a különbség?

### **Kulcsszavak**

hulladék, termelési hulladék, kommunális hulladék, veszélyes hulladékok, gyűjtés, szállítás, előkezelés, feldolgozás, hasznosítás, ártalmatlanítás, hulladékégetés, füstgáz, salak, pernye, komposztálás, biogáz előállítás, rendezett lerakás, rendezett biztonságos lerakás, dréncövek.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. Az ENSZ közgyűlés rendkívüli ülészaka: **A fenntartható fejlődés Nemzetközi Programjának értékelése és a további feladatok**, Fenntartható Fejlődés Bizottság, Budapest, 1997.
2. Barótfi István: **Környezettechnika kézikönyv**, Mező-gazda Kiadó, Budapest, 2000.
3. Barrow, John D.: **A világegyetem születése**, Kulturtrade Kiadó - Budapest, 1994.
4. Battey, M. H.: **Mineralogy for students**. London, 1991.
5. Bérczi Szaniszló: **Kristályoktól bolygótestekig**. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
6. Carson, Rachel: **Néma tavasz**, Katalizátor Iroda, Budapest, 1994 (1962).
7. Chiris, Daniel D.: **Environmental science, Action for a sustainable future** Redwood City, California, 1991.
8. Corson, Walter H. "**Changing course: an outline of strategies for a sustainable future.**" *Futures* 26, 206-223. 1994.
9. Cox, P. A.: **The Elements, Their origin, abundance and distribution**. Oxford University Press 1989.
10. Dranke, J. A. G.: **The chemical industry - friend to the environment?** Royal Society of Chemistry - Cambridge 1992.
11. **Feladatok a XXI. századra**, Az ENSZ Környezet és Fejlődés Világkonferencia dokumentumai. Föld Napja Alapítvány, Budapest, 1993.
12. Förstner, Ulrich: **Környezetvédelmi technika**. Spinger Hungarica Kiadó Kft., Budapest, 1993.

13. Harrison, Roy M.: **Understanding our environment: An introduction to environmental chemistry and pollution** Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1992.
14. Harrison, M.: **Introductory chemistry for the environmental science** Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
15. Hawking, Stephen W.: **A brief history of time.** Bantam Books, Toronto, 1988.
16. Hutzinger, Otto: **The Handbook of environmental chemistry** Springer -Verlag, Berlin, 1992.
17. Juhász-Nagy Pál: **Az eltűnő sokféleség**, Scientia, Budapest, 1993.
18. Kevin, T. Pickering - Lewis A. Owen: **An introduction to global environmental issues** Routledge London, New York, 1994.
19. Közös jövőnk, **A környezet és fejlesztés világbizottság jelentése**, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1988.
20. Leakey, R.E., R. Lewin: **Fajunk eredete**, Kulturtrade, Budapest, 1986.
21. Manaham, Stanley E.: **Environmental chemistry** Lewis Publishers, Boston, 1991.
22. Manaham, Stanley E.: **Fundamentals of environmental chemistry** Lewis Publishers, Michigan, 1993.
23. Markham, Adam: **A Brief History of Pollution** Earthscan, London, 1994.
24. Michael, Zeilik: **Astronomy. The evolving Universe**, John Wiley & Sons, Inc. - New York, 1991.

25. Morris, Desmond: **Az állati jogok szerződése**, Európa Könyvkiadó, Budapest, 1995.
26. O 'Neill, Peter: **Environmental chemistry**  
Chapman and Hall, London, 1993.
27. Papp Sándor - Rolf Kümmel: **Környezeti kémia**  
Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
28. Stanners, David - Philippe Bourdeau: **EUROPE'S Environment, The Dobríř Assessment**. Copenhagen, 1995.
29. **Charter of European Cities and Towns Towards Sustainability** (The Aalborg Charter)  
<http://www.iclei.org/europe/echarter.htm>
30. **The road to sustainable development: a snapshot of activities in the United States**  
<http://www.webi.org/resources/pcsd/Snapshot.html>
31. **Local Agenda 21 Initiative**  
<http://www.iclei.org/iclei/la21.htm>
32. **The Earth Network for Sustainable Development**  
<http://www.ecouncil.ac.cr>
33. **Sustainable Developed Indicators**  
<http://www.iisd1.iisd.ca>