

KOVÁCS FERENC

Meddig és mit bányásszunk?



*Kovács Ferenc
mérnök,
az MTA rendes tagja*

Az ásványi nyersanyagok kitermelése, feldolgozása és hasznosítása az emberi lét és a gazdaság alapvető szükségleteit biztosítja. Napjainkban a bányászatot illetően az egyik legfontosabb kérdés: Milyen kapcsolat van a hasznosítható ásványi nyersanyagok termelésének igénye és a fenntartható fejlődés között? Az ásványok földrajzi elhelyezkedéséből adódóan mindig változik a termelésben élenjáró országok köre, a termelési súlypontok át-helyeződnek. Az előadás ezeken a kérdéseken túl azt az aktuális problémát mutatja meg, melyet a bányászat és a környezet óvásának, helyreállításának kívánatos összhangja jelent, különös tekintettel a villamosenergia-termelésben felhasználható primer nyersanyagok – a keletkező füstgázok – környezeti hatásaira.

Bevezetés

Előadásomban a tények alapján levonható következtetésekért magam vállalom a „felelősséget”, a jövőre vonatkozó megállapításokért úgyszintén.

Nézzük először, mit mondtak a kívülrőlők a bányászatról, illetve a bá-

1938-ban született. A Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen 1962-ben bányamérnök, 1968-ban külfejtési szakmérnöki oklevelet szerzett. 1967-ben a műszaki tudomány kandidátusa, 1977-ben doktora lett. 1987-től a MTA levelező, 1993-tól rendes tagja.

Pályáját 1962-ban kezdte mint az MNME Bányászati és Geotechnikai Tanszékének oktatója, 1977-től egyetemi tanár, 1984-től a tanszék vezetője. 1977–1978-ban dékán, 1978-tól 1986-ig rektorhelyettes, majd nyolc évig az egyetem rektora, 1994–2001 között ismét a Bányamérnöki (Műszaki Földtudományi) Kar dékánja. Kezdeményező és kimagasló szerepe volt a Miskolci Egyetem oktatási-kutatási profiljának bővítésében.

A hazai és nemzetközi szakmai-tudományos élet aktív résztvevője. Több külföldi akadémia tiszteleti tagja, doktora, az *Acta Geodaetica*, *Geophysica et Montanistica* szerkesztőbizottságának tagja. Több mint 200 tudományos közlemény szerzője.

Főbb kutatási területe: a hasznosítható ásványi nyersanyagok kutatása és gazdasági értékelése, bányászati és energetikai rendszerek optimális paramétereinek meghatározása, a bányászati technológiák, a természeti és bányászati veszélyek elleni védekezési módszerek fejlesztése.



Georgius Agricola

Riói Föld Csúcs:

1992-ben 117 állam- és kormányfő gyűlt egybe Rió de Janeiróban, hogy szembenézen a globális fölmelegedés és más környezeti ártalmak következményeivel, amelyek hosszabb távon az egész emberi civilizációt veszélyeztetik, és közös fellépést sürgessen e jelenségek okai, például a környezetszennyező ipari tevékenység, így a légköri szén-dioxid-kibocsátás ellen. A résztvevők elfogadták az Agenda 21-et (1992. június 14.), amely az élet minőségének javításához szükséges tennivalókat tartalmazta a természeti erőforrások hatékonyabb felhasználása terén, továbbá a biodiverzitás (a Földet benépesítő sokmillió növény- és állatfajta) védelméről szóló egyezményt, az éghajlatváltozásra vonatkozó keretmegállapodást, amely nem kötelező korlátozásokat szabott meg az ipari országok szén-dioxid-kibocsátására.

nyákról. A bányászatról elsőként az Ószövetségben olvashatunk. (Jób Könyve, 28, 1–13.)

„Van hely, ahol ezüstöt találnak,
 olyan hely is akad, ahol aranyat mosnak.
 Föld mélyéről hozzák felszínre a vasat,
 és a kövekből rezet olvasztanak.
 Véget vet az ember (lenn) a sötétségnek,
 ezután feltúrja utolsó zugáig
 a szikla kőzetet – addig éjszaka borult rá.
 Lámpás emberek kifúrják az aknát,
 úgy csüngenek ottan, lábuk elfelejtve,
 emberektől távol lebegnek (az űrben).
 A kenyérgabona sarjadzik a földből,
 noha lent alatt a tűzzel robbantanak.
 Sziklatömbben van a zafír lelőhelye,
 de még aranypor is található benne.
 Olyan ösvény ez, hogy keselyű nem látja,
 a héja szeme sem tudja kifürkészni.
 A büszke vad sem veszi arra felé útját,
 nem járt arra még soha oroszlán.
 Az ember ráteszi kezét a kövekre,
 egész alapjukig dülja a hegyeket.
 Áttöri a sziklát és tárnát nyit benne,
 sok-sok drágaságot láthat ott a szeme.
 Felkutatta már a folyóknak forrását,
 és sok rejtett dolgot napvilágra hozott.
 De hát a bölcsesség – ez vajon honnét van,
 és az értelemnek hol a lelőhelye?
 Odavivő utat nem ismer az ember,
 élők országában nem lehet meglelni.”

Már az újkorból, 1530-ból való az orvos Georgius Agricola igazsága: „A bányászatot egyetlen társadalom sem tekinti közömbösen: érdemeit felnagyítva dicsőítik vagy érdemeit elhallgatva pocskondiázzák.”

A bányászat, az energiatermelés, a környezetvédelem kérdéseit ugyan-csak ellentmondásos módon minősítette a **riói**, a **kiotói Föld Csúcs**, és a mai világ egyik bányászati „nagyhatalmában”, **Johannesburgban** rendezett **Föld Csúcs** is 2002-ben. (A globális fölmelegedés, illetve a szén-dioxid-kibocsátás problémakörére, mely e konferenciák témája volt, még visszatérek.)

Utolsó idézetként szabadjon Teller Ede szavait említeni: „Nézetem szerint korunk legnagyobb veszélye a félelem. Különösen kétfajta félelemnek lehetnek szörnyű következményei: ha egymástól félünk, illetve ha a fejlődéstől félünk.

Jobban bízom a technikai fejlődés lehetőségeiben, mint a riói konferencián felvetett és vitatott megoldási kísérletekben – például az üzemanyagok

és tüzelőanyagok megadóztatásában. Egy dologban biztos vagyok: mielőtt többet fizetünk, többet kell tudnunk.”

Az emberi fizikai lét fenntartásához szükséges anyagok

-) a légkörből (oxigén),
-) a föld felszínéről (mezőgazdasági termelés) és
-) a föld mélyéből/méhéből (hasznosítható ásványok) származnak.

Mi is valójában a bányászat, ez az ősidők óta végzett tudatos emberi tevékenység? A bányászat a hasznosítható ásványi nyersanyagok: ércek, nemfémes ásványok, építőipari nyersanyagok, szén, kőolaj, földgáz és egyéb gázok, víz-hévíz stb.

-) felkutatása (felderítése),
-) feltárása,
-) kitermelése,
-) dúsítása-osztályozása,
-) hasznosításra való előkészítése.

A **Római Klub** megalakulása nyomán vált szélesebb körben ismertté a fenntartható fejlődés fogalma. Témánk szempontjából a következőképpen lehetne megfogalmazni a kérdést: Milyen kapcsolat van a hasznosítható ásványi nyersanyagok termelésének igénye és a fenntartható fejlődés között?

Hadd villantsak fel részletesebb kifejtés nélkül néhány témát, mely e kapcsolat összhangjával, illetve ellentmondásaival foglalkozik:

-) a fenntartható fejlődés mint esély a bányászat fejlődése szempontjából;
-) a fenntartható fejlődés mint kihívás a bányászat számára;
-) a meg nem újuló erőforrások (energiatermelésben: szén, olaj, földgáz, urán) igénybevételének mértéke, az erőforrások „védelme”;
-) a megújuló erőforrások (általában a bányászattól függetlenek) igénybevételének várható lehetőségei;
-) a természet védelme, rehabilitációja;
-) az erőforrások védelme, a jövő generáció esélyei.

Előadásom célja, hogy tudatosítsam a valóságnak megfelelő tényeket és összefüggéseket, valamint reálisan mutassam be a közvéleménynek a bányászatot, visszaszerezve a bizalmat és a hitelességet.

Szeretném hangsúlyozni, hogy az ásványi nyersanyagok kitermelése az emberek jólétének és életminőségének javát szolgálja; hogy ez a tevékenység összeegyeztethető a természet és a környezet hosszú távú védelmével, és hasznos a gazdaság és a környezet számára.

A bányászati tevékenységnek, az ásványi nyersanyagtermelésnek – az emberi létszükségletek kielégítése kapcsán – gazdasági, társadalmi, esetenként politikai jelentősége is van. A bányászati termékek és a belőlük előállított energia, fémek, építőanyagok stb. az életszínvonal, a társadalmi jólét meghatározó feltételei. A világon e területen is meglevő igen jelentős különbségek társadalmi feszültségeket okoznak, országokon belüli és nemzetközi konfliktusokat váltanak ki.

A fejlett országok 25 százalékos népessége az élelmiszer 60 százalékát éli föl, az anyagi javak és az energia több mint 90 százalékát használja. A fejlődő – a nyersanyagok kitermelésében lényegesen nagyobb szerepet vivő –

Kiotói Föld Csúcs:

1997-ben született meg a riói megállapodást kiegészítő kiotói jegyzőkönyv, amelyben azt a célt fogalmazták meg, hogy az ipari országok a 2008–2012 közötti időszakra 6–8 százalékkal csökkentsék az üvegházhatást – azaz a Föld felmelegedését – okozó gáz kibocsátást. 2000-ben az ENSZ adott keretet a millenniumi csúcshoz, amely megerősítette a Rióban megfogalmazott nemes célokat. Csakhogy az elveket nemigen ültették át a gyakorlatba. 2000-re a szén-dioxid-kibocsátás 10 (az Egyesült Államokban 18) százalékkal nőtt 1990-hez képest. 1997-ben az erdőtüzek ötmillió hektárt faltak fel, többet, mint az ezt megelőző bármely esztendőben, 1998-ban a rákkeltő ultraibolya sugárzást átengedő ózonlyuk az Antarktisz fölött 25 millió négyzetkilométeres területre nőtt, ami nyolcszorosa volt az előző, 1993-as rekordnak. 2001-ben George W. Bush amerikai elnök bejelentette, hogy országa nem írja alá a kiotói jegyzőkönyvet, nem csökkentheti az abban előírt mértékben a szén-dioxid-kibocsátást, mert az elmentes országok érdekeivel. A riói célokat éppen a rövidtávú gondolkodás veszélyezteti, egyfelől a szegénység, másfelől a gazdagság véglete. 1950-ben még minden emberre 17 ezer köbméter friss víz jutott, 1995-ben már csak 7 ezer, és a készletek olyan gyorsan csökkennek, hogy ebben az ütemben 2020-ra ötmilliárd embernek nem jut elegendő, s így a vízhiány válhat a legfőbb konfliktusforrássá a világon.



A népesség és az anyagi javak felhasználása

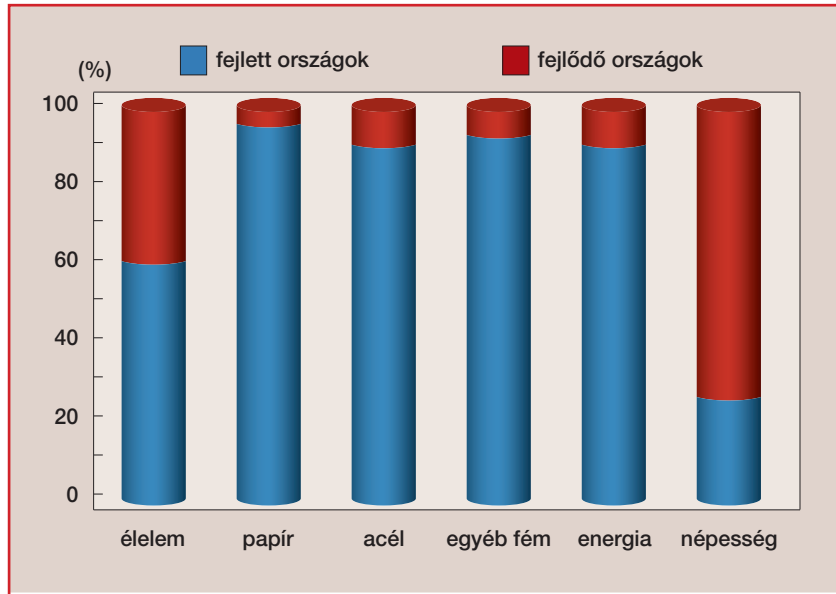
Johannesburgi Föld Csúcs:

a 2002-ben rendezett találkozó résztvevői hivatalosan is elfogadták a konferencia egyik alapdokumentumát, az úgynevezett akciótervet, amely a riói csúcstalálkozón elfogadott határozatok továbbvitelére szolgál.

A 152 pontból álló, angol változatában 65 oldalas szöveg számos résztvevő szerint jócskán elmarad a csúcstalálkozót megelőző várakozásoktól. Így például mindössze ajánlást tesz a megújítható energiaforrások részarányának „lényegi növelésére” a világ energiatermelésében, de nem említ sem konkrét százalékokat, sem határidőket – így azután az Európai Unió máris kezdeményezte e határozat továbbvitelét.

Torlat:

ásványok folyó- vagy tenger-víz által összehordott telepe.



országok ezeken az arányokon nyilván változtatni kívánnak, a kérdés csupán a változtatás érdekében bevetett eszközök milyensége lehet.

A 2000. évben élő kereken hatmilliárd ember életminőség-indexe 60 MJ/fő/év átlagos energiafogyasztás mellett talán 0,5–0,6-os érték (az 1-es maximum mellett). Ha 2100-ban a nyolcmilliárd főt 200 MJ/fő/év fajlagos energiafogyasztással 0,8-as életminőségi indexre becsljük, akkor a jelenlegi kereken 400 exajoule energiaigény négyszeresére, 1600 EJ-ra növekszik.

A fő ásványi nyersanyagok (vasérc, réz, bauxit, kőszén és lignit, földgáz, kőolaj) utóbbi ötven évre vonatkozó termelési adatai rendre monoton növekedést mutatnak. Kérdés természetesen, hogy a jövőben milyen tendencia tartható.

A jelen időszak tízéves kőolajtermelése kereken 40 milliárd tonna, ami 2060 körül már csak 20 Mrd t/10 év. A 21. század összegzett kőolajtermelési adata még így is kereken 250 milliárd tonna.

Az irodalomban különböző becslések találhatók. Az előbbi számítással szemben (2100-ban 1600 EJ energiaigény) egy másik prognózis már 2060-ra ad meg 1600 EJ-os energiaigényt.

Várható növekedés, várható igények

Év	Népesség (Mrd)	Életminőség-index	Energiafogyasztás (MJ/fő/év)	Energiaigény (EJ)
2000	6	0,5-0,6	60	387
2100	8	0,8	200	1600

A minimálisan szükséges energiaigény 2100-ban négyszerese a jelenleginek

A bányászat múltja

Az ásványi anyagok, kőzetek hasznosítása szinte egyidős a tudatos emberi tevékenységgel. A paleolitikumban az ember éles köveket választott harci szerszámként, „munkaeszközként”. A neolitikumban már csiszolta, formázta ezeket az eszközöket. A bronzkorban már hasznosította a természetben található fémeket, az „ötvözetek” előállítását, a vaskorban a fém kiolvasztása már „kohászati”, avagy más nyelven „anyagtudományi” tevékenység volt.

Az egyiptomi piramisok, a római hadiutak, a görög templomok a kőbányászat, a szállítási és építészeti tevékenység máig csodált alkotásai.

Az arany és ezüst bányászata, ércekből, **torlatokból** való kinyerése a középkorban (többek között Magyarországon) érte el relatív csúcspontját.

A gőzgép feltalálása, majd a 19. század utolsó negyedében a villamos erőművek építése a szénbányászat, majd a hajózás és a vasútépítés a vasércbányászat, illetve a kohósítás korszakát hozta el. Az ugrásszerű fejlődést a 17–18. század természettudományos eredményei is segítették.

A robbanómotorok alkalmazása a kőolajtermelés széles körű fejlődését hozta, a földgáztermelés a vegyiparét. A rezet részben helyettesítő alumínium előállítása is új iparágat teremtett.

A 20. század elején a radioaktivitás, a maghasadás felfedezése új tudományokat hívott életre és új korszakot nyitott, a második világháború alatt, illetve után következett be az áldást és átkot is hozó atomkor.

Az utóbbi évtizedekben az energiaigény növekedése, a primer energiafajták közötti technikai és gazdasági vetélkedés tanúi vagyunk. Napjainkban a környezeti hatások értékelése, a megújuló energiafajták hasznosítási lehetőségeinek keresése áll a viták keresztútjában. Nagy kérdőjel természetesen a távoli jövő.

A bányászat múltjáról a Kárpát-medence, Magyarország területe kapcsán szívesen bővebben.

Az 1950–1951-ben a Veszprém megyei Lovas községben feltárt festékbányát az ősember harminc-negyvenezer évvel ezelőtt művelte; ez az emberiség egyik legősibb bányája. Ezt követően, hat-hétezer éve, a neolitikumban kovafejtők működtek. A római korban Pannóniában (a mai Dunántúlon), Dáciában (Erdélyben) és Dalmáciában jelentős nemesfém-bányászat volt. Erről sírfeliratok, emlékkövek és viasztáblák, a bányaművelésre jellemző kéziszerszámok, agyaglámpák, szállítóteknők tanúskodnak. Erdély területén Marosújváron, Tordán sóbányákat műveltek. A honfoglaló magyarok rabszolgákkal dolgoztattak bányáikban.

Az államalapítás után az erdők és a föld méhének kincsei királyi kézbe kerültek. A Garam vidéke, majd Gömör és Zólyom környéke, Körmöcbánya, Selmecebánya, Besztercebánya jeles arany- és ezüsttermelő központ lett.

A 16. század végére a rézbányászat is fellendült, a Thurzók és Fuggerek révén Magyarország világgazdasági jelentőségű termelésével a vezető európai bányászati országok közé került.

Római Klub:

a globálisan gondolkodó elit értelmiség vitafóruma, szigorúan zártkörű tagsággal: maximum száz fő lehet a tagja. A Római Klub első jelentését Dennis Meadows és munkatársai állították össze, és 1972-ben jelent meg *A növekedés határai* címmel. A szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a 21. század közepére globális környezeti katasztrófa léphet fel, kimerülnek a természeti erőforrások, drámai módon megnövekszik a környezet szennyezettsége, s a Föld rohamosan növekvő lakosságát egyre nehezebb lesz megfelelő mennyiségű és minőségű élelemmel, ivóvízzel ellátni. Mindennek elkerülésére kidolgozták a globális egyensúly koncepcióját, amely szerint sürgősen csökkenteni kell a népesség növekedését, korlátozni kell az ipari termelést és a meg nem újuló természeti erőforrások felhasználását. A jelentés javaslatai nagyrészt és egyoldalúan a gazdasági növekedés korlátozására irányultak. A fejlődő országok politikusai és tudósai is általánosságban ellenérzettel fogadták a Római Klub első jelentését, amely lényegében megalapozta a zéró növekedés koncepcióját. A fejlődő világ esetében mindez egyenlő lett volna a szegénység és elmaradottság konzerválásával. Minden kritika ellenére *A növekedés határainak* óriási érdeme, hogy felrázta a világ lelkiismeretét. Vitákat gerjesztett a további útkeresés, a méltányos, történelmileg is igazságos megoldások érdekében.



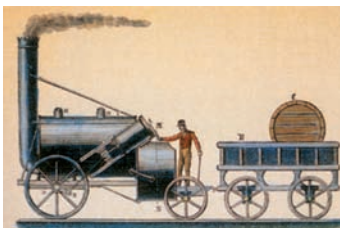
Selmecebányai bányatiszt

1627. február 8-án Weindl Gáspár a világon először a selmecebányai Felső-Bíber táróban használt bányászati célú robbantást. Mikoviny Sámuel a bányák energiaellátását szolgáló többlépcsős víztárolórendszert épített ki.

A 18. században a természettudományok és a technika fejlődése lehetővé tette a bányászat tudományos alapokra helyezését, a korábbi mesterségszerű művelés helyett. III. Károly 1735. június 22-i rendeletével Bányatiszt-képző Iskolát alapított Selmeceben.

Hazánk első szénbányája 1759-ben a Sopron melletti Brennbergen kezdett termelni, az előfordulást Rieder János szegkovács fedezte fel 1753-ban. Az 1700-as évek végén már Vértesomlyón, Vasason, Nógrádverőcén, Sajókazán, Dorogon is termeltek szenet.

A 19. század közepétől a gőzgép alkalmazásával, a hajózás és a vasút megindulásával fellendült a szénbányászat, majd a kiegyezés után a vasércbányászat is jelentőssé vált (Szepes-Gömöri Érchegység, Krassó-Szörény vármegye). A villamosenergia-termelés, a kohászat, a gépgyártás kifejlődése újabb lökést adott a szénbányászatnak. Budapest nagyipari központtá válását az 1896-ban megindult tatabányai szénbányászat tette lehetővé.



Gőzmozdony, 1829

A lendületes ipari fejlődést az első világháború, majd a trianoni tragédia törte meg, az ország ércbányászatának 98 százaléka idegenbe került; a szénbányászat talpra állását az 1920-as évek végi gazdasági válság is hátráltatta.

1926-ban Gánton vette kezdetét a hazai bauxitbányászat (Nyírad, Halimba, Iszkaszentgyörgy), Úrkúton és Eplényben megindult a mangánbányászat. Az 1930-as években ismét új bányászati ágazat, a kőolaj- és földgáztermelés jelent meg Zalában.

A második világháború után a szénbányászat helyreállítása, fejlesztése volt kulcsfontosságú, 1949-re haladta meg a termelés a háborús évek 13 millió tonnás csúcstermelését. Az 1950-es évektől a recski, a gyöngyösorszi és a rudabányai ércbányászat fejlődött ki. Az urántermelés 1957-ben a Mecsekben indult, és kereken negyven éven át stratégiai, majd energetikai szempontból kiemelt jelentőségű volt. A szénbányászat új irányát jelentette az 1957-ben megkezdett ecsédi külfejtés, majd az 1970-es évek elején a visontai, az 1990-es évektől pedig a bükkábrányi üzem.

Az 1960-as évek szinte minden vonatkozásban a magyar bányászat „aranykora”, fellendülése. A korszakot a következőkkel jellemezhetjük:

-) 31 millió t/év széntermelés;
-) a bauxit- és alumíniumipar „nemzeti iparág”;
-) jelentős érc- és ásványbányászat;
-) az alföldi (Hajdúszoboszló, Algyő) kőolaj és földgáz feltárásával jelentős és gazdaságos szénhidrogén-bányászat;
-) korszerű kő-, kavics- és homoktermelés stb.



Fúróberendezés Zalában

Az 1960-as évektől napjainkig eltelt kereken négy évtizedet hektikus változás jellemezte. Alacsony gáz- és olajárak esetén a döntéshozók a szénhidrogénekre esküdtek, olaj-, illetve gáztüzelésű erőművek épültek. A kőolaj árrobbanása során a „széncsaták” időszaka következett, szombat-vasárnapi pótműszakokkal, kellő előkészítés nélküli rohammunkával. A világ-

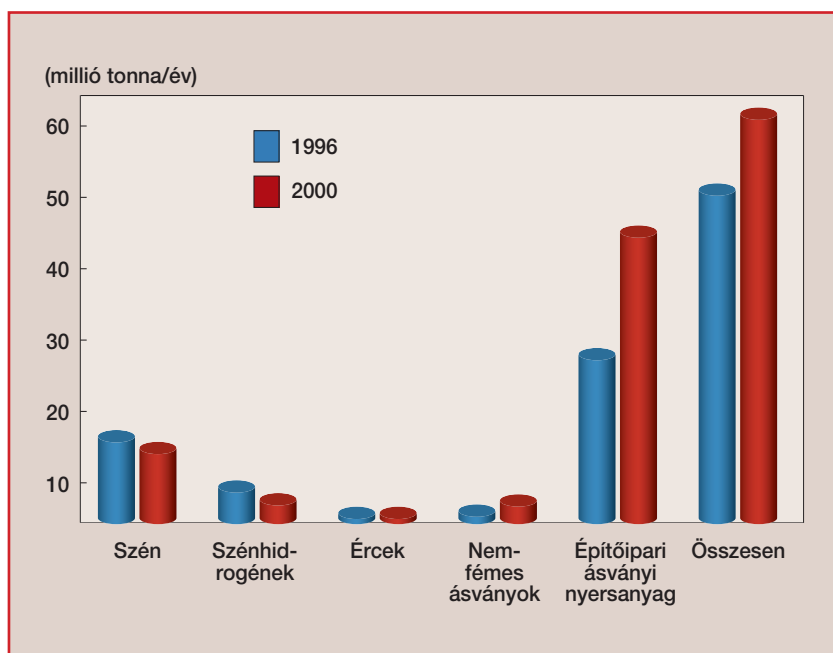
	Működő bányáink száma (db)	Ipari vagyon (millió tonna)
Szén	24	635
Kőolaj-, földgázkút	197	107
Érc-, bauxitbánya	10	41,4
Nemfémes ásvány	905	5120
Építőipari nyersanyag	813	2158

Működő bányászati egységek Magyarországon 2000-ben

ban, azon belül különösen az Európában lejátszódó jelenségek magukkal rántották – általában lefelé – a magyar bányászatot is. Hangsúlyozni kell, hogy ebben az ellentmondásokkal terhelt időszakban Magyarországon nem volt üzemanyaghiány, illetve áramkorlátozás.

A hazai bányászat közelmúltbeli, illetve jelen időszaki helyzetét néhány főbb termelési adattal jellemezzük.

Öt év alatt az ásványi nyersanyagtermelés tömege hazánkban 26,2 százalékos növekedést mutat, ez évi átlagban 5,2 százalékos növekedésnek felel meg. (A szén- és szénhidrogén-termelés csökkenése miatt az értékarányok eltérően alakultak.)



Termelési adatok 1996–2000 között

A 2002. évi adatok szerint az építőipari ásványi nyersanyagtermelés, illetve tereprendezés térfogata 32,2 millió köbméter, kereken 60 millió tonna. A külfejtések meddőletakarítási munkája mintegy 70 millió tonna. A szén-, szénhidrogén-, érc- és ásványtermeléssel együtt a hazai bányászat 2002-ben kereken 150 millió tonna tömeget termelt ki, mozgatott meg.



A hazai bányászat, az ásványi nyersanyagtermelés jövőbeni lehetőségei

A jövőbeli lehetőségek egyik alapvető feltétele az ásványi nyersanyagok megléte, másik pedig a kitermelés gazdaságossága. A földtani vagyon a potenciális lehetőséget, a kitermelhető vagyon a műszaki lehetőséget, az ipari vagyon a gazdaságos kitermelés lehetőségét jellemzi.

Ha az ásványi nyersanyagokkal kapcsolatban az „ellátottság”, a „gazdaság” kerül szóba, esetenként még szakmai körökben is elhangzik a minősítés: Magyarország ásványi nyersanyagokban *szegény* ország. Magam úgy ítélem meg, hogy ez a minősítés legfeljebb akkor használható, ha két kategóriában gondolkodunk: azaz hogy vannak egyfelől szegény országok, másfelől pedig gazdag országok. Árnyaltabb minősítés esetén semmiképpen sem igaz, hogy Magyarország szegény volna nyersanyagban. Sőt bizonyos hasznosítható ásványok – a lignit, a nemfémes ásványi nyersanyagok és az építőipari (szilikátipari) nyersanyagok – területén kimondottan sokféle és nagy mennyiségű ásványi nyersanyaggal rendelkezünk.

A hazai ásványvagyon

Ásványféléesség	Milliárd (10 ⁹) tonna
Szén	10,8
Érc	1,2
Nemfémes ásvány	16,8
Szilárd ásványi nyersanyag	28,8
Kőolaj	0,2
Szilárd + kőolaj	29,0
Földgáz + szén-dioxid	220 (Mm ³)
Szénhez kötött metán	150 (Mm ³)



Feketekőszén-külfejtés a Mecsekben

A mecseki feketekőszén földtani vagyon 1600 millió tonna, az úgynevezett barnakőszén (kréta, eocén, oligocén) 3200 millió tonna, az ország lignitvagyon 6 milliárd tonna. Tény ugyanakkor, hogy az első két kategóriában a geológiai-földtani körülmények nem kedvezőek, a telep- és tektonikai adottságok, a viszonylag nagy művelési mélység, a lágymellékközetek és a természeti veszélyek kérdésessé teszik a kitermelés gazdaságosságát.

Sokkal kedvezőbb a helyzet a lignit-előfordulások esetében, ahol európai viszonylatban is jelentős a készlet, a kitermelés gazdaságossága nemzetközi szinten is kedvező, a villamosenergia-termelés területén hazai vonatkozásban bármely más energiahordozóval is versenyképes lehetőséget biztosít. A hazai lignit a jövőben a földgáz mellett a vegyiparnak is alapvető forrása lehet.

A kőolaj- és földgázkészlet évtizedes távlatban is számottevő és gazdaságos forrás. A kitermelés gazdaságossága jelentősen kedvezőbb az importbeszerzésénél. (A hazai gáztermelés fedezi az importgáz dotációigényét.)

A magyarországi ércvagyon, illetve érctermelés ezeréves hagyományait a trianoni döntés majdhogynem teljesen felszámolta, bizonyos ércfajtákból (például réz és bauxit) azonban számottevő készlettel rendelkezünk, változó mértékben kérdéses azonban a kitermelés gazdaságossága. A rézérc kitermelése alapvetően új technológiával (föld alatti **kilúgzás**) a jövőben nem kizárt.

A nemfémes ásványok vonatkozásában hazánk kifejezetten gazdag, mind az ásványfélésegek, mind pedig az előfordulások számát illetően. Jelenleg 64 féle ásvány több mint kétezer előfordulása ismert, igen jelentős földtani és gazdaságosan kitermelhető ásványvagyonnal (8–10 milliárd tonna). A nemfémes ásványokból előállítható termékek száma szinte korlátlan.

Az építőipari nyersanyagok (kő, kavics, homok stb.) esetében készletekről szólni aligha érdemes. Az előfordulások száma és az ásványvagyon tömege nemigen jelenthet termelési korlátot, legfeljebb egyes helyeken a környezeti megfontolás léphet közbe. (Az építőipari márványt a kemény mészkő pótolhatja.)

Azt, hogy ez az ásványvagyon meddig és mire elegendő, döntő módon a gazdasági (világgazdasági) mutatók határozzák meg. A lignit, a kőolaj és a földgáz, valamint a nemfémes ásványok és az építőipari nyersanyagok kitermelésének gazdaságossága a világpiaci árakkal mérve is határozottan versenyképes, a **mélyművelés** szén- és ércbányászat – a többi európai országhoz hasonlóan – aligha kap a jövőben számottevő szerepet.

Ezen összefüggések alapján talán szokatlan, de nemzetközi összehasonlításban teljesen megalapozott a következtetés: Magyarország az ásványi nyersanyagok előfordulása vonatkozásában *közepesen* ellátott ország.

A világ bányászati iparágának termelési adatai, a változás jellemzői

A világ ásványi nyersanyagkészletéről több vonatkozásban csak becült adatok állnak rendelkezésre. Egyes területeken a földtani megkutatottság még korántsem tekinthető „teljesnek”, ilyen például Afrika, Dél-Amerika, Kína, India, Indonézia, illetve a tengerek alatti ásványkincsek. Más vonatkozásban viszont az adatok nem publikusak, ez jellemzi például a volt Szovjetuniót, Kínát, egyes arab országokat, korábban az uránércet, hasadóanyagok készleteit.

Ezért néhány főbb ásványfélése esetén azt mutatom be, hogy a világstatisztika szerint a jelenlegi kitermelhető készletek évi 2 százalékos termelés-növekedés mellett hány évre biztosítanak ellátottságot. Az adatok azt mutatják, hogy egy-két nemzedék ellátottsága is biztosított, ha egyáltalán megmarad az igény az adott ásványfélésegre.

A táblázat adatainál fontosabb azonban az a több évtizedes (évszázados) tapasztalat, hogy általában a földtani kutatás (amelynek módszerei is jelen-

Kilúgzás:

a fémeknek vagy fémek vegyületeinek az ércből oldószerrel történő kioldása, amikor a fémek alkatrész az oldatba megy át, s a meddő visszamarad.

Mélybányászat:

a takaróréteg alatt elhelyezkedő ásványkincsek – telepnek, tellérnek, tömzsöknek – föld alatti bányatérsegek létesítésével történő bányászata.

A mélybányászat alkalmazhatóságának határát és esetlegesen a külfejtéses bányászattól való elválasztó vonalát a műszaki fejlődés színvonala és gazdaságossági megfontolások alapján határozzák meg.

Ásványfajta	Év
Szén	84
Bauxit	81
Vas	65
Földgáz	41
Kőolaj	31
Nikkel	30
Ón	28
Réz	22
Cink	20
Ólom	17
Ezüst	15

Hány évre elegendők a kitermelhető ásványi nyersanyagkészletek?



tősen fejlődnek) minimálisan annyi készletet tár fel, mint amennyit a bányászat kitermel. Nem is beszélve az új, „szűz” területek megkutatásáról (például hazánkban ötven évvel ezelőtt nem volt megkutatva a 6 milliárd tonna lignit).

Az alapvető kérdés nem az, hogy az ásványvagyon, illetve az egyes ásványfésülés-készletek mekkorák, meddig elegendőek, hanem az, hogy a felhasználás mikor, hol, milyen igényt támaszt, és az adott igény honnan és milyen gazdaságossággal elégíthető ki (például a dél-afrikai szén a francia, a holland, a német kikötőkben fele-harmadannyiba kerül, mint az adott országban felmerülő [felmerült] termelési költség).

Világtendenciák az ásványi nyersanyagtermelésben

Az ásványi nyersanyagtermelésben és a bányászati tevékenységben bekövetkezett változásokat az utóbbi harminc év adatainak elemzése alapján vizsgálom. Öt olyan terméket választottam, amelyek egyrészt alapvető energetikai nyersanyagok: a kőszén és a kőolaj; az alapvető szerkezeti és villamosipari anyagok, s egyben vezető kohászati termékek, a vas és a réz; valamint az alapvető ékszeralapanyag, az arany.

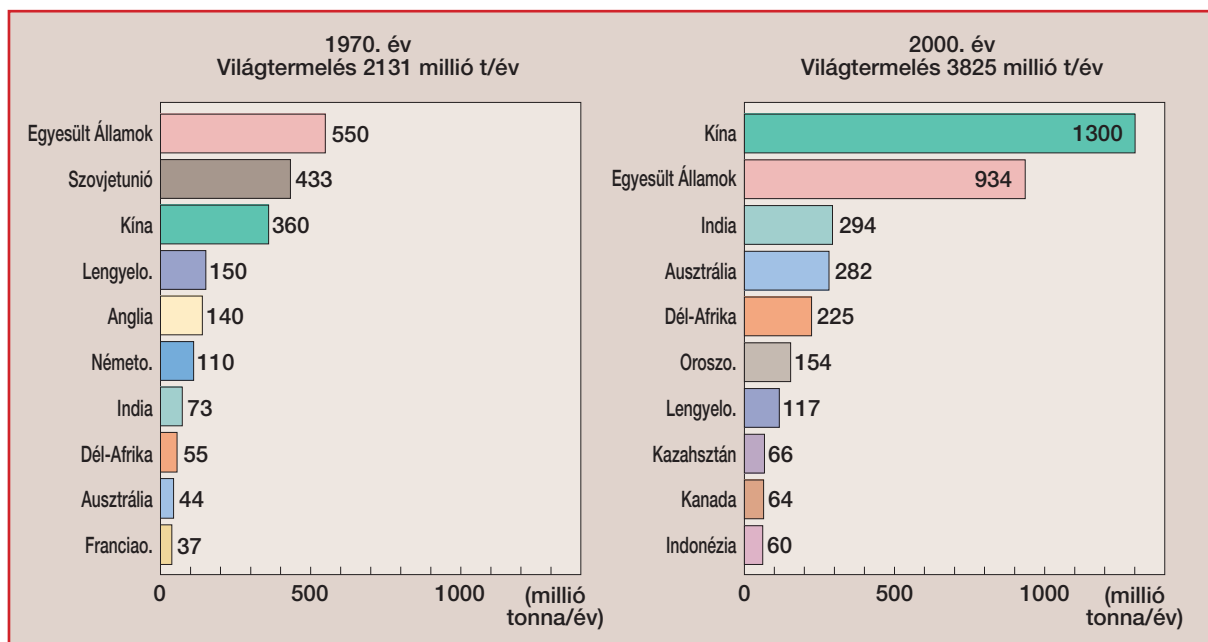
A főbb ásványi nyersanyagok termelésének alakulása 1970–2000 között. A harminc év alatti változás, növekedés mértéke az öt termék átlagában 173 százalék, az évi növekedés 2,4 százalék

	1970	2000	1970/2000 (%)
Kőszén (10 ⁶ t/év)	2131	3825	179
Kőolaj (10 ⁶ t/év)	2272	3512	154
Vas (10 ⁶ t/év)	417	581	139
Réz (10 ³ t/év)	6320	12 413	196
Arany (t/év)	1239	2433	196
Növekedés (30 éves átlag)			173
Növekedés (1 éves átlag)			2,4

A kőszéntermelés „országosrendjének” 1970. és 2000. évi adatait szemléltető táblázatból látható, hogy a sorrend harminc év alatt jelentősen „átrendeződött”; 400–600 százalékos termelési növekedéssel nagy győztesek vannak, a 20. század első felében még élenjáró nyugat-európai országok a nagy vesztesek.

A kőolajtermelés adatait bemutató táblázaton is jelentős változásokat láthatunk. Néhány ország őrzi vezető pozícióját (Egyesült Államok, Szaúd-Arábia, Oroszország, Irán), a termelésüket megsokszorozó országok (Mexikó, Kína, Norvégia, Anglia) a nagy győztesek, a háborúval és politikai-társadalmi feszültségekkel sújtott országok a nagy vesztesek.

Norvégia és Anglia példája – ahol a százmillió termelések kizárólag a tenger alatti telepek műveléséből származnak – azt mutatja, hogy a geológiai kutatás és a kitermelés technikai fejlődése olyan lehetőségeket teremt, amelyre még néhány évtizede gondolni sem mertünk. Az eset jól példázza azt is, hogy minden kor megtalálja saját problémáinak megoldását.

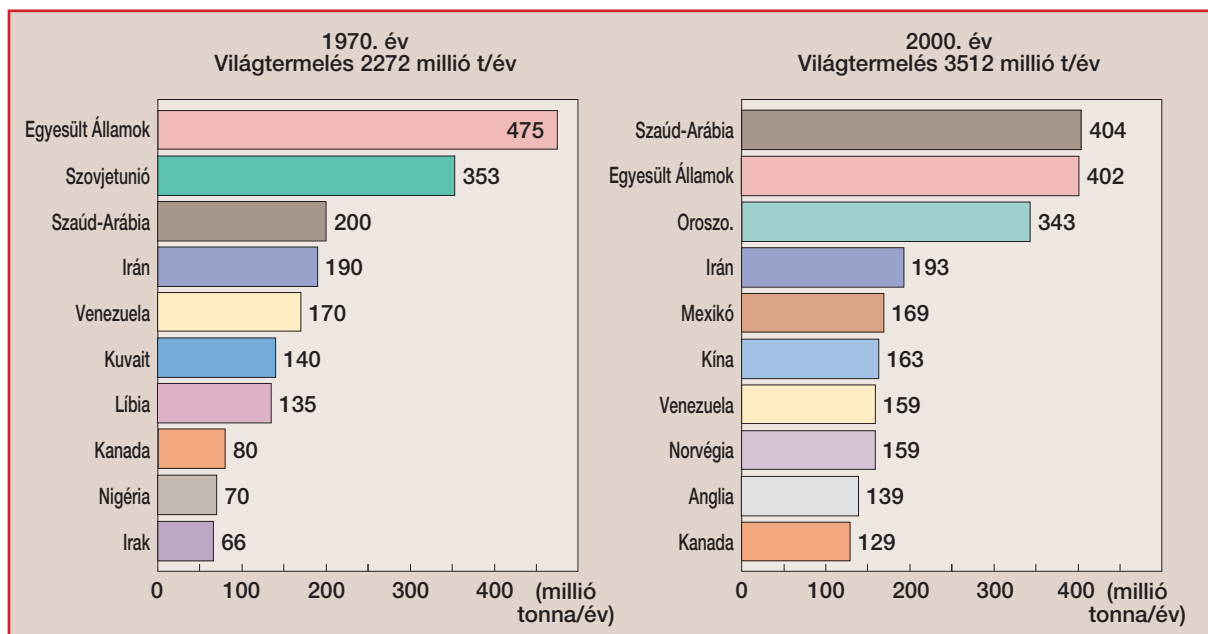


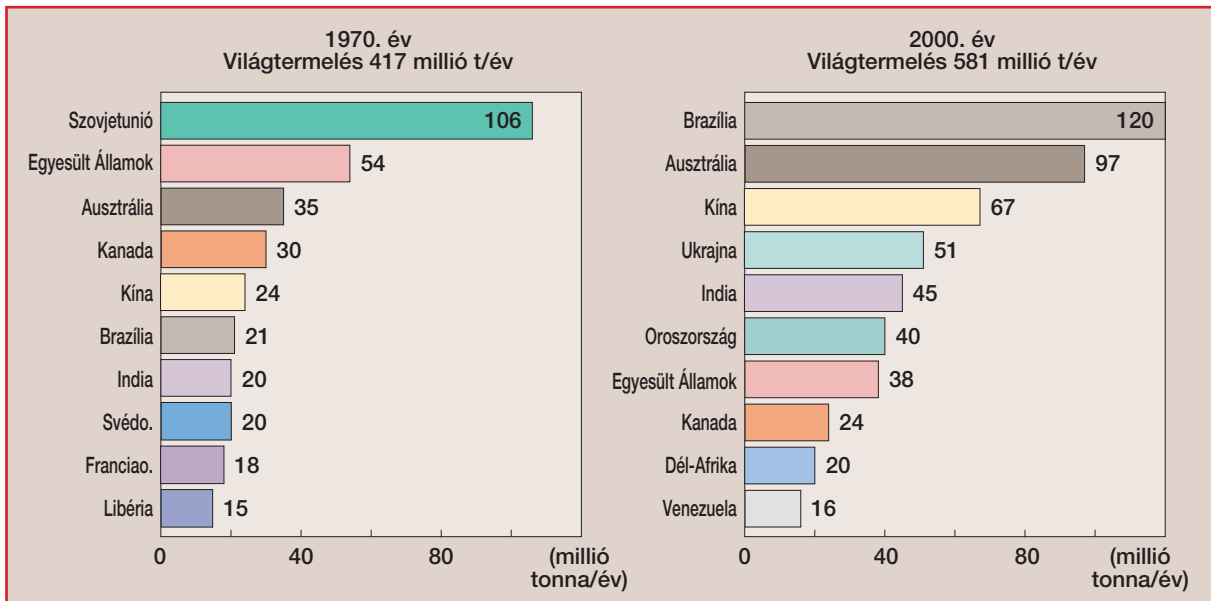
A vasérc termelési adatai az elmúlt harminc évben ugyancsak jelentősen változtak. A politikai szembenállás, a hidegháború éveiben elsősorban saját forrásokra támaszkodó „világelső” – a Szovjetunió és az Egyesült Államok – már „csak” vásárolják a nyersvasat; Ukrajna és Oroszország együttes termelése gyakorlatilag kiadja a Szovjetunió termelését. A nagy győztes Brazília, de Kína, India is jelentős termelést mutat fel. A nagy vesztesek most is a nyugat-európai országok – Svédország és Franciaország eltűnt a világranglista éléről.

A világ kőszéntermelése 1970-ben és 2000-ben

A réz stratégiai szerepe csökkent, a nagy győztesek Chile, Indonézia, Ausztrália, Kína, Mexikó, Lengyelország. A nagy vesztesek a belső háborúkkal küszködő országok, ahonnan elmenekül a „gyarmati” tőke.

A világ kőolajtermelése 1970-ben és 2000-ben





A világ vasérctermelése 1970-ben és 2000-ben

Az aranytermelésben a világranglistán európai országgként csak Oroszország szerepel, ugrásszerű fejlődést Ausztrália, Kína, Indonézia és Peru mutat.

A termékenkénti összehasonlításnál talán több következtetést vonhatunk le az öt termék összevont rangsorából. Tizenöt országot rangsoroltam a termékenkénti sorrend (1–10 helyezés) alapján. Az abszolút maximum 50 pont volna (5 első helyezés). 1970-ben az Egyesült Államok és a Szovjetunió volt 46 pontos. A 2000. évi rangsor, illetve a harminc év alatt elért többlet (pozitív) helyezési pontok jól mutatják a változás jellegét, nagyságát. Az abszolút „kiugrást” Kína, Ausztrália, Indonézia érte el. Európából csupán Lengyelország és Ukrajna szerénykedik a sorban (Oroszország nincs pontozva).

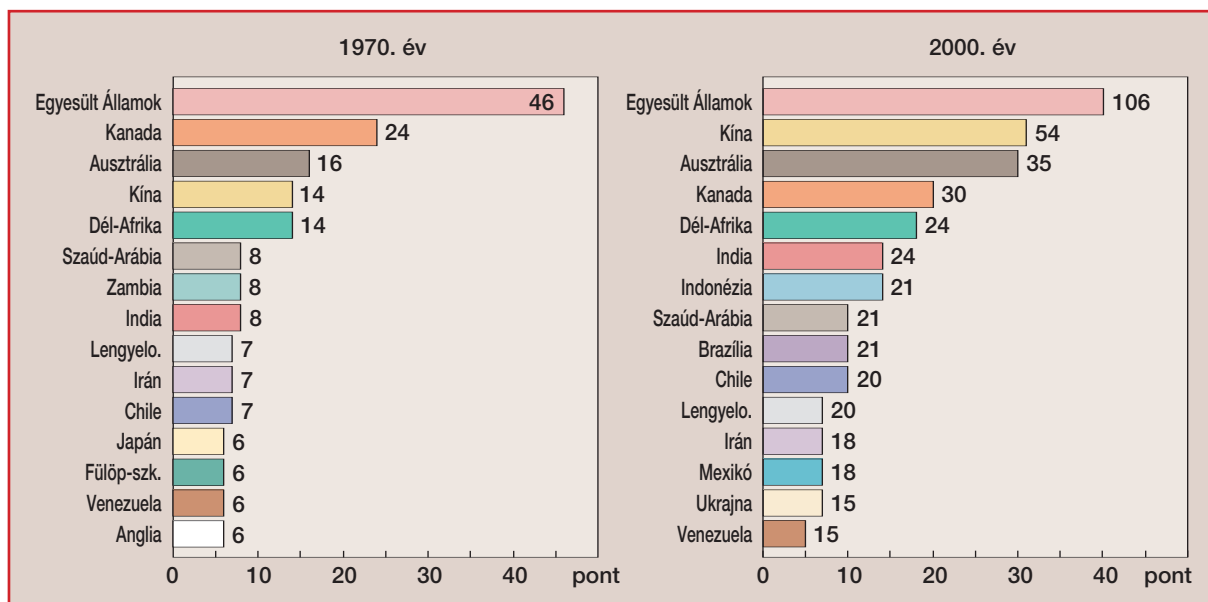
Magyarország helyezései a világ-sorrendben

Nyersanyag	Helyezés
Gallium	3
Perlit	4
Bauxit	14
Lignit	16
Mangán	19
Bentonit	24
Földpát	26
Kőszén	34
Alumínium	35
Talk	35
Gipsz	38
Kaolin	42
Földgáz	47
Kőolaj	61

A világ után nézzük a magyarországi ásványok helyezését a világranglistán: a világsorrend első tíz helyén a gallium és a perlit szerepel. A második tízben a bauxit, a lignit és a mangán. A szokásos, általános statisztikában – a különböző termékek termelési adatait más-más részletességgel közlik a statisztikák – 14 ásványi termékünk szerepel, a 61. helyen a kőolaj, éppen megelőzve a világhírű magyar labdarúgó válogatott világranglistán elfoglalt helyét.

A villamosenergia-termelés alakulása, a primer nyersanyagok aránya a termelésben

Az emberiség nyersanyaggal, illetve energiával való ellátásánál kiemelt szerepe van a villamos energiának. Előnyeit nem részletezve azt biztosan mondhatjuk, hogy nélküle az emberiség, a modern ember ma már nem létezhetne.



A harmincéves fejlődés lényegében hasonló képet mutat, a japán ipar fejlődése az utóbbi évtizedekben kiugró villamosenergia-felhasználást igényelt: harminc év alatt kétszeresére nőtt a villamosenergia-termelés.

A statisztikák be szokták mutatni a villamosenergia-termelés eloszlását primer energiahordozó-fajtánként is.

Az OECD-országok primer nyersanyagfajták szerinti megoszlása bizonyos körök számára talán meglepő, bizonyos illúziókat cáfol, más állításokat viszont erősít. A természeti adottságok alapvetően talán csak a vízenergia felhasználását determinálják – az esssel és vízhozammal rendelkező

Az öt termék (kőszén, kőolaj, vasérc, réz és arany) termelésének összesített rangsora

1.	Franciaország	76,84
2.	Belgium	57,40
3.	Szlovákia	47,35
4.	Magyarország	40,17
5.	Svédország	39,19
6.	Svájc	37,86
7.	Korea	37,46
...		
13.	USA	20,13
15.	Kanada	12,45
16.	Hollandia	4,40
OECD		23,29

Az atomerőművek aránya a villamosenergia-termelésben (százalékban)

A világ villamosenergia-felhasználásának növekedése

Ország	1970 (TWh)	2000 (TWh)	Növekedés (%)
USA	1853	3813	205,7
Japán	359	1057	294,4
Ausztria	30	57	190
Magyarország	15	33,4	222,7
OECD	4828	9571,4	198

	(TWh)	%
Atom	2229	23,29
Víz	1377	14,39
Geotermikus	32	0,33
Megújuló	29	0,30
Fosszilis	5752	60,10
Atom + fosszilis	7981	83,39
Összes	9571	100,00

A világ villamosenergia-termelésének eloszlása primer energiafajtánként



1.	Norvégia	99,45
2.	Izland	82,47
3.	Luxemburg	71,67
4.	Ausztria	70,37
5.	Új-Zéland	66,41
6.	Kanada	60,97
7.	Svájc	58,01
...		
15.	Franciaország	13,37
...		
19.	Egyesült Államok	6,86
...		
27.	Magyarország	0,51
OECD		14,39

A vízi erőművek aránya a villamosenergia-termelésben (százalékban)

vízfolyásokhoz kötött, és nem szállítható –, más energiafajták szállíthatók, illetve hasznosításuk nagyrészt emberi, gazdasági, politikai döntés kérdése.

Hogy kinek mi a meglepő, kinek mi a kívánatos, ki mit favorizál, és ki mit tekint nemkívánatosnak, napjainkban gyakran igen szubjektív, illetve elfogult megítélés kérdése. Jó lenne természetesen, ha a széles nyilvánosságot kihasználó megnyilatkozások természettudományi-gazdaságossági-ökológiai realitásokon alapulnának.

Az atomerőművek és a vízi erőművek számának növekedése szemléletesen mutatja, hogy a világon melyik az a két primer energiafajta, mely a villamosenergia-termelésben meghatározó.

A villamosenergia-termelésben az atomenergia aránya 23 százalék, két országban haladja meg az 50 százalékot, és Franciaországban alapvetően meghatározó: 77 százalékos. Az utóbbi arány nyilván összefügg azzal, hogy Franciaország a NATO keretén belül is nagyrészt önálló katonai politikát vitt, önálló atomtűzterítőt teremtett meg, saját nukleáris ipart fejlesztett ki.

Talán meglepő Szlovákia és Magyarország „helyezése”, nemkülönben az abszolút demokratikus hatalomnak tekintett Svédország és Svájc pozíciója. Nem érdektelen azon országok sora sem, ahol nincs működő atomerőmű.

A vízi erőművek jelentősége négy-öt országban determináló, további három-négy országban is jelentős. A természeti adottságok szerepe – mint már említettem – ezen a területen alapvetően meghatározó.

A megújuló források aránya átlagosan 0,3 százalék, Dánia kivételével szerepük teljesen jelentéktelen.

Az utóbbi években társadalmi mozgalmak célpontjává vált a meg nem újuló erőforrások, a fosszilis energiahordozók – különösen a szén – szerepe. (A heves kirohanások, melyek szerint a szén-dioxid fokozza az üvegházhatást, globális felmelegedést okoz, elsősorban a szén ellen irányulnak, pedig a szénhidrogének elégetése során is képződik szén-dioxid, és kisebb mértékben kén-dioxid is.)

Szám adatok mutatják, hogy az OECD-országok kétharmadában a fosszilis energiahordozók szerepe meghatározó a villamosenergia-termelésben.

Különösen érdekes megfigyelni, hogy a bányászati nyersanyagok (szén, olaj, gáz, uránérc) milyen arányban vesznek részt a villamosenergia-termelésben.

Az OECD-országokban ezek aránya átlagosan 83 százalék, a harmincból 22 országban ezek adják a villamosenergia-termelés döntő részét, több mint 50 százalékát. A bányászati termékek 83,39 százalékos aránya mellett a megújuló források 0,3 százaléka kerekén 280-ad rész.

Ez tehát a mai vagy a tegnapi (2000. évi) helyzet. A kérdés természetesen az, hogy mit hoz a holnap, és ez nem is könnyű kérdés.

Álljon itt egy kínai mondás: A jóslás nagyon kockázatos dolog, különösen, ha a jövőre vonatkozik!

A jövő kérdései a következők:

-) Meddig tartanak készleteink?
-) Milyen műszaki-technikai fejlesztések várhatók?
-) Valójában milyen környezeti hatások jelentkeznek?
-) Hosszabb távon milyen energiahordozók lesznek a meghatározók?

1.	Dánia	11,71
2.	Luxemburg	2,50
3.	Németország	1,60
4.	Spanyolország	1,58
5.	Görögország	1,52
6.	Hollandia	1,01
7.	Írország	0,96
...		
13.	Franciaország	0,12
19.	Belgium	0,02
23.	Svájc	0,02
OECD		0,30

A megújuló források aránya a villamosenergia-termelésben (százalékban)

Az ásványi nyersanyagokkal való ellátottság jellemzésére azt adtam meg, hogy az eddig megkutatott készletek – az 1999. évi termelés évi 2 százalékkal való növekedése mellett – hány évig fedezik az igényeket. A fő energia-hordozók (szén, kőolaj, földgáz) harminc-nyolcvan éves készletei azt igazolják, hogy az ellátottság hosszú távra is biztosított. Nem indokolt tehát az a félelem, hogy belátható időn belül kimerülnek ezek az energia-hordozók.

Ismét szeretném hangsúlyozni, hogy a földtani kutatás módszereinek fejlődése, az új területek megkutatása az utóbbi évtizedekben a termelési mennyiségeket meghaladó készleteket produkált. Úgy gondolom, hogy az ésszerű takarékoságon túlmenő „spórolás” egyáltalán nem indokolt, mivel a tapasztalat azt mutatja, hogy az emberiség minden időben megoldást talált az aktuális gondokra. Más kérdés természetesen, hogy akkor miért fájnak és éheznek a világon – horribile dictu a gazdag országokban és hazánkban is jelentős számban – embermilliók!

A jövő fejlődési lehetőségei

Az utóbbi évszázadokban a természettudomány és a technika fejlődése többször is ámulatba ejtette az emberiséget, különböző adatokat ismerünk arról, hogyan csökken az ismeretek megduplázódásának időtartama. Olyan nézetek is napvilágot látnak, amelyek szerint az emberiség többet is feltalált, mint amit „kellett volna”: gondoljunk csak a bizonyos kérdések kapcsán – például az atomerőművek esetében – ismételtelen megjelenő hisztériára.

A technikai fejlődés lehetőségeire, várható eredményeire most egyetlen példát szeretnék említeni. A következő ábra a szén-erőművek termikus hatásfokának adatait mutatja; az oroszországi, a kínai, a német és a jelenlegi világtátlagot, továbbá a 2030-ra elvárt átlagot.

A szén-erőművek hatásfokának növelése céljából jelenleg német–amerikai kooperációban folynak kutatások egymilliárd dollár költségvetéssel. A vizs-

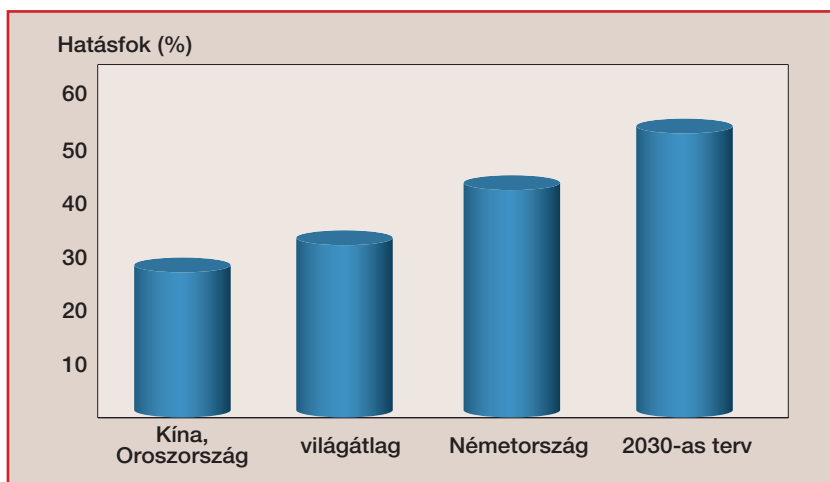
1.	Lengyelország	96,79
2.	Írország	93,68
3.	Görögország	90,45
4.	Hollandia	89,97
5.	Ausztria	89,86
6.	Dánia	83,23
7.	Olaszország	78,67
...		
12.	USA	70,77
17.	Magyarország	58,95
28.	Svájc	1,76
OECD		60,10

A fosszilis energia-hordozók aránya a villamosenergia-termelésben (százalékban)

1.	Magyarország	99,12
2.	Korea	98,04
3.	Lengyelország	96,79
4.	Belgium	96,52
5.	Csehország	95,62
6.	Nagy-Britannia	95,53
7.	Hollandia	94,37
...		
10.	USA	90,90
24.	Svájc	39,62
29.	Norvégia	0,32
OECD		83,39

A bányászati nyersanyagok szerepe a villamosenergia-termelésben (százalékban)

A szén-erőművek termikus hatásfoka ma és a jövőben





Plazmaállapot:

az anyag negyedik állapota, amelyben az atomok vagy a molekulák ionos állapotban vannak. A pozitív és a negatív töltéshordozók száma egyenlő, ezért a plazma kifelé elektromosan semleges. Minden anyag igen magas hőmérsékleten plazmaállapotba kerül. Félvezető anyagok elektromos viselkedése már szokásos hőmérsékleten is bizonyos tekintetben megfelel a plazma viselkedésének. A plazmaállapot leggyakrabban gázkisülés keletkezésekor áll elő.

ITER tokamak:

a tokamak magas hőmérsékletű plazma létrehozására szolgáló berendezés. Célja olyan körülmények elérése, amelyben a plazma atommagjai között energiatermelésre használható gyakorisággal következnek be fúziós reakciók. E cél eléréséhez a plazmahőmérsékletnek 10–100 millió kelvint kell elérnie, ami kizárja, hogy az bármilyen anyagi kontaktusban legyen a tárolóedény falával. Ennek megakadályozására a tokamak berendezés erős mágneses tereket alkalmaz.

gálatok a szén zárt térben történő elgázosításával kapcsolatosak, és arra irányulnak, hogy nagy nyomás és magas hőmérséklet mellett (1300–1500 °C) váljék lehetővé a gázturbinás villamosenergia-termelés.

A kutatások fő célja az, hogy a jelenlegi 32–35 százalékos átlagos termikus hatásfokkal szemben 46–60 százalékos hatásfok legyen elérhető. Másrészt célkitűzés az is, hogy a keletkező szén-dioxidot föld alatti üregekbe nyomják vissza.

A primer energiahordozók jövőbeli arányainak alakulását/kialakítását jelentős mértékben meghatározza az is, hogy az egyes energiahordozó-félések milyen módon, illetve milyen mértékben szállíthatók vagy tárolhatók. Ezek a tulajdonságok a gyakorlati hasznosítás szempontjából döntő tényezők.

A technikai fejlődés elvi lehetőségei között mindenképpen említeni kell a fúziós energiát, a szabályozott termonukleáris fúzióval történő villamosenergia-termelést. Az eljárás lényege – a maghasadáson alapuló atomenergia-termeléssel ellentétben – az, hogy könnyű atommagokat (hidrogén izotópok, deutérium, trícium) olvasztanak össze plazmaállapotban, s e folyamat során energia szabadul fel. A **plazmaállapot** hőmérséklet- és nyomásparaméterei ma még nem állíthatók elő. A tízmilliárd eurós kísérleti program (ITER tokamak kísérleti reaktor) a tervek szerint 2005-ben indul, a fizikusok szerint a magfúziós erőmű 2050 környékén termelhet energiát. Ez tehát a nagyon távoli jövő lehetősége.

Az ásványi nyersanyagtermelés új lehetőségei

A klasszikus bányászati technológiák mellett a környezeti rehabilitációs célt szolgáló eljárások is alkalmasak gazdaságos kitermelésre.

A szénbányászati meddőhányók feldolgozása évtizedek óta magyar szabadalom (HALDEX) alapján történik. A meddőhányók anyagának komplex hasznosítása valósul meg:

-) a kinyerhető szén mennyisége 10–15 százalék;
-) a meddő anyagából ipari nyersanyagként hasznosítható anyagok:
 - cementgyári (agyag, márga) ~10 százalék,
 - téglagyári agyag ~6 százalék,
 - betonadalék ~3 százalék;
-) bányabeli tömedékanyag ~70 százalék.

Az eljárás során a környezeti rehabilitáció csaknem teljes.

A vasércbányászati meddőhányókból a vasérc hordozókőzetétől függően (karbonátos, oxidos) agyag, homok (kvarc), homokkő, mészkő (kalcit), barrit stb. ásványok választhatók el. A vaskohászati salakhányókból általában 10 százalék vasanyag nyerhető ki.

Az üvegházhatás és a globális felmelegedés

A társadalom érzékenysége az utóbbi időben mind a természeti jelenségek, mind pedig a politika és a gazdaság kérdéseiben fokozódott. A hírközlés fejlődésével ma már a világ minden tájáról – és csaknem azonnal – információ érkezik; egyes események, különösen a szenzációk felnagyítása, túlértékelése sem ritka dolog.

A globális felmelegedés, az üvegházhatás nemzetközi konferenciák témája, 2003 nyarán napi hírek foglalkoztak a kérdéssel. A világméretű híráramlás eredményeként napjainkban olyan jelenségekről is tudomást szerzünk, amelyek korábbi évtizedekben, évszázadokban csak az érintettek körében voltak ismertek. A természeti katasztrófák, a földrengések, a hurrikánok vagy az országokat-földrészeket sújtó aszályok és árvizek napi hírként szerepelnek. E tanulmány írásának idején hazánkban és Nyugat-Európa több országában rendkívül tartós a hőség, Kínában hatalmas árvíz pusztít.

Olyan időjárás természetesen aligha volt és biztosan nem is lesz, mely minden ország és ember tetszését megnyerné. A nyaralónak hosszú forró nyár, a síelőnek hosszú havas hideg tél kellene, a mezőgazdáknak májusi eső, és a gabona érésének időszakában meleg, a kapások számára megint csak eső. Az egyik gazdának az egyik héten, a másiknak a másikon. Ezt a rendet a természet ez idáig még nem tanulta meg, erre talán még az „égiek” hatalma sem elegendő.

A rendkívüli jelenségek magyarázatát több okban kell keresnünk, egyesek hajlamosak szubjektív szempontoktól sem mentesen bizonyos hatásokat túlértékelni. Talán elvárható lenne, hogy a természeti jelenségek, folyamatok értékelésénél, okainak felderítésénél a természeti törvények (a természettudomány), a racionalitás, a realitás, illetve a műszaki-gazdasági lehetőségek adnák a vezérlő elvet, nem pedig az illúziók, az álmok, bizonyos felszínes megfontolások, a szenzációhajhászás. Az aktuális kérdések kapcsán – a földtörténet eseményeit ismerve – azt mindenképpen rögzíteni kell, hogy a 2002/2003 telén tapasztalt hosszú hideg időszak még nem jelenti újabb jégkorszak kezdetét, 2003 nyarának hőmérsékleti csúcsokat megdöntő aszályos hónapjai pedig nem jelentenek globális felmelegedést.

A globális felmelegedés kérdésével kapcsolatban hallhatunk olyan megnyilatkozásokat, melyek a Föld átlagos hőmérsékletének növekedéséért elsősorban a fosszilis energiahordozók (szén, kőolaj, földgáz) felhasználása, elégetése során keletkező szén-dioxidot teszik felelőssé. Ebből kiindulva az olaj- és széntüzelés visszaszorítását, a kőolaj-kitermelés fékezését javasolják. Az előadás során még visszatérünk arra, hogy az utóbbi évszázad 0,4–0,6 °C-os globális hőmérséklet-emelkedése a földtörténeti változások mércéjével mérve rendkívüli jelenségnek számít-e, továbbá szólnunk a hőmérséklet-változás vélelmezett okairól.

A következőkben a földtörténet során jelentkezett globális hőmérséklet-változásokkal foglalkozunk. Majd bemutatunk néhány mértékadó, természettudományi alapokon álló magyarázatot; megismerkedünk a Földre



Aszály



Földgázüzem



Paleoklimatológia:

valamely terület földtörténeti múltbeli éghajlatának kutatásával foglalkozó tudományág.



érkező napsugárzás mértékét meghatározó alapvető tényezőkkel, a széndioxid-kibocsátás forrásaival és nyelőivel; valamint elemezzük a meteorológiai mérések során regisztrált globális hőmérséklet-változások és a fosszilis tüzelőanyag (szén, olaj, gáz)-felhasználás kapcsolatát.

Jégkorszakok a földtörténet során

Az őségghajlatban (**paleoclimatic**) több tétele is bizonyítja, hogy a Föld éghajlata folyamatosan változott. A kutatások alapján valószínű, hogy a Föld történetének nagy részében a Föld átlagos (globális) hőmérséklete 8–15 °C-kal magasabb volt, mint napjainkban. Voltak természetesen olyan időszakok is, amikor a mostaninál lényegesen hidegebb periódusok jelentkeztek. Az utóbbi időszakokban – az alpesi és a kontinentális eljegesedés idején is – az eljegesedés nemcsak a magasabb (északi és déli) és a középső, hanem olykor az alsó szélességi körökre is kiterjedt. A Föld 4,55 milliárd évének utolsó egymilliárd évében a nagyobb jégkorszakok i. e. 925, 800, 680, 450, 330 és 2 millió évvel kezdődtek. A legerősebb/legnagyobb jégkorszak i. e. 800 millió évvel kezdődött, amikor is a jég vonala 5 foknál közelebb került az Egyenlítőhöz.

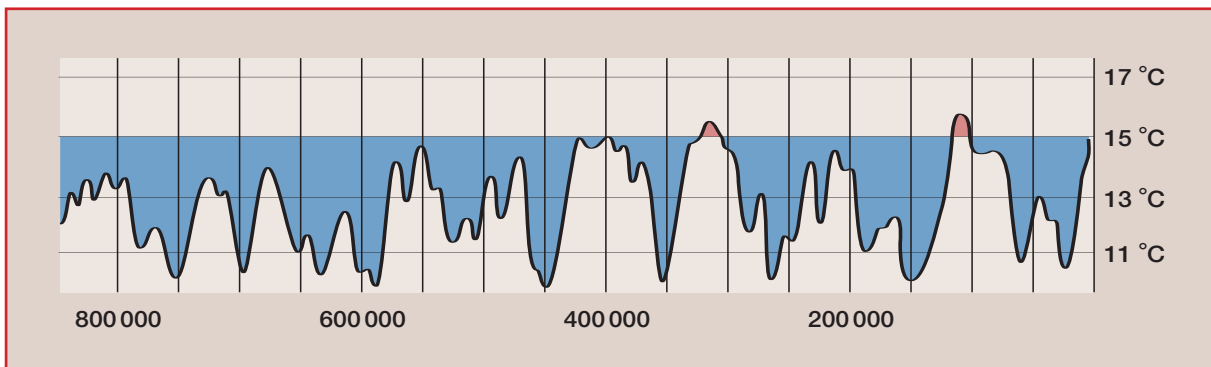
Az utolsó nagy jégkorszak körülbelül i. e. kétmillió évvel kezdődött, amikor hosszú időn keresztül jég borította Észak-Amerika, Európa és Ázsia nagy részét. Az eljegesedés mértéke változó volt, az interglaciális időszakokban a jég visszahúzódott, a glaciális szakaszban újra dél felé terjeszkedett. A pleisztocén tetőfokán az átlagos globális hőmérséklet 4–5 °C-kal volt alacsonyabb, mint ma. Az utolsó jégkorszak vége körülbelül i. e. 14 ezer évvel kezdődött – ezt nevezzük holocén kornak.

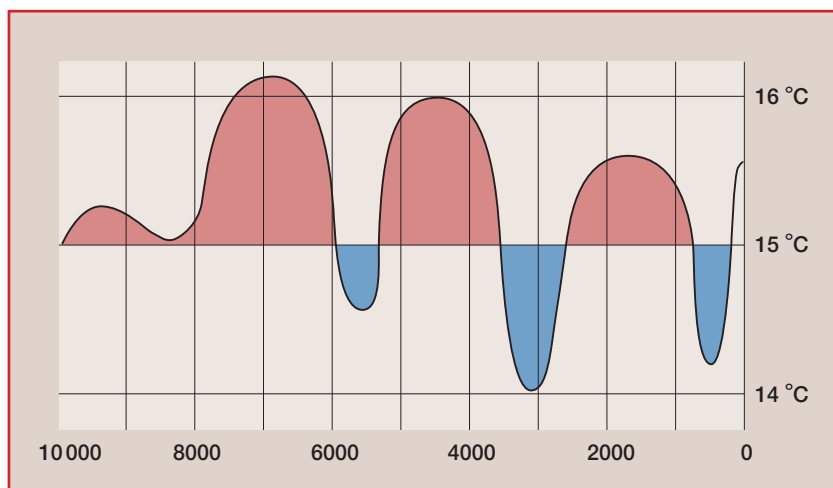
A nagy jégkorszakok között természetesen jelentős felmelegedések (14–15 °C) voltak.

A földtörténet mögöttünk levő 850 ezer éve során jelentkezett főbb lehűlési, illetve felmelegedési ciklusokat mutatja a következő ábra. Tízezer éves átlagokban 4–5 °C hőmérséklet-ingadozás jelentkezett.

Az utolsó jégkorszak vége i. e. kb. 14 ezer évvel kezdődött, az ábrán bemutatott időszakban már „csak” kerekén 1 °C-os felmelegedést és lehűlést valószínűsít a tudomány. Erre az időszakra már „emberi” megfigyelések is szolgáltatnak adatokat. I. e. 3000–2200 között a Szaharában nedves, hidegebb éghajlat volt, nomád pásztorkodás folyt, majd i. e. 2200–2000 kö-

A földtörténet utóbbi 850 ezer évének hőmérséklet-változásai





A földtörténet utóbbi tízezer évének hőmérséklet-változásai az északi féltekén

zött jelentős melegedés, elsivatagosodás történt. I. e. 2500–2200 között Észak-Amerika szubpoláris részén enyhe nyarak voltak (állattenyésztés), i. e. 2000–1300 között ugyanott hideg nyarak (jegesedés) következtek, eltűnik az ember és az állattartás. I. e. 1300–700 között ismét enyhe nyarak (melegedés) jöttek, ekkor jelent meg a II. független kultúra. A 15–16. és a 18–19. század között Nyugat-Európában és a világ más részein jelentős lehűlés, kis „jégkorszak” jelentkezett.

Az eddig bemutatott 20. század előtti globális hőmérséklet-, illetve klímaváltozások aligha hozhatók kapcsolatba az emberi (ipari) tevékenységgel, különösen nem a fosszilis energiahordozók elégetéséből származó széndioxid hatásával, mivel ezeket csak a 19. század második felében kezdték jelentősebb mennyiségben felhasználni.

A globális felmelegedés okairól

A globális felmelegedés kérdései, a klímaváltozásokat befolyásoló légköri gázok szerepe, azok származása már egy évszázaddal ezelőtt is foglalkoztatta a tudományos kutatókat. Most a szokásos hivatkozásoknál bővebb terjedelemben Svante August Arrhenius tanulmányából (1896) idézek megállapításokat. Ezek jelentős része teljesen megegyezik napjaink tudományos nézeteivel, és olyan területekre is felhívják a figyelmet (például kőzetek képződése és mállása), amelyek napjainkban kisebb publicitást kapnak, ugyanakkor a légkör szén-dioxid-tartalmát jelentősebb mértékben befolyásolják, mint bármelyik emberi (ipari) tényező.

Arrhenius elsődlegesen azt vizsgálta, hogy a földi hőmérséklet alakulásában milyen szerepe van a légköri gázok abszorpciójának, és megállapította, hogy nem a levegő fő tömege, hanem a levegőben kis mennyiségben jelen levő vízgőz és szén-dioxid szerepe a döntő. John Tyndall szerint legnagyobb hatása a vízgőznek van, Lecher és Pernter a szén-dioxidnak tulajdonítottak nagyobb szerepet.

Alapvető megállapítása Arrheniusnak, hogy a Föld és a légkör termikus egyensúlyban van, a Föld annyi hőt veszít az űrbe és a légkörbe jutó sugárzás útján, mint amennyit a Nap sugaraiból felvesz.



Kőzetmállás



Homokdűnék



Vulkánkitörést kísérő kigőzölgés

Modellszámítások alapján olyan eredményre jutott, hogy a levegő szén-dioxid-tartalmának csökkenése relatíve nagyobb mértékű hőmérséklet-csökkenést okoz, mint a szén-dioxid-tartalom növekedése a levegőhőmérséklet-emelkedésben. A szén-dioxid mennyiségének mértani haladvány szerinti növekedése számtani haladvány szerint emeli a levegő hőmérsékletét.

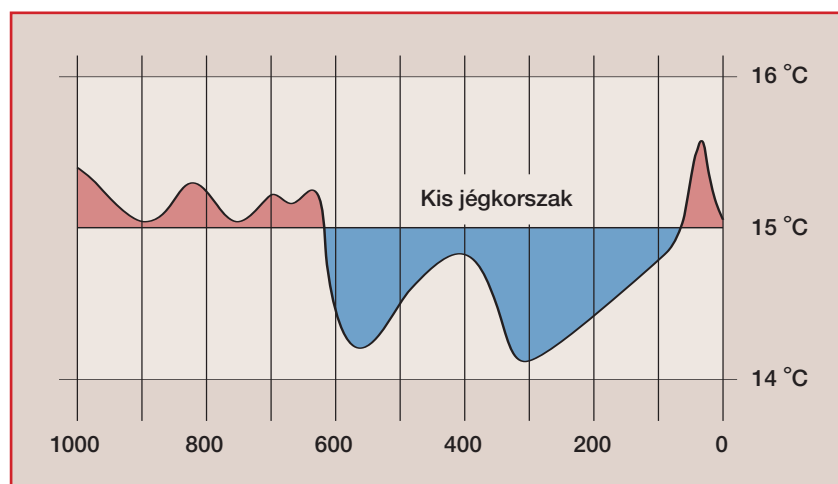
Vizsgálatai szerint a harmadkorban a sarki övezetekben a hőmérséklet 8–9 °C-kal volt magasabb a mainál, az akkori vegetáció a mainál sokkal magasabb hőmérsékletekhez alkalmazkodott. A jégkorszak idején viszont a mai civilizált világ területeit Olaszorszáig, a Kaukázusig és Szíriáig jég borította a mainál 4–5 °C-kal alacsonyabb globális hőmérséklet következtében.

A szén-dioxid jelenlétét és szerepét vizsgálva Arrhenius a következőket állapítja meg. A földfelszíni és felszín közeli karbonátos kőzetekben megkötött szén-dioxid mennyiségéhez képest a levegőben megkötött szén-dioxid-mennyiség elhanyagolható. Az üledékes (karbonátos, meszes) kőzetekben megkötött szén-dioxid mennyisége 25 ezerszer nagyobb, mint a levegő szén-dioxid-tartalma. A levegőbe jutó szén-dioxid az alábbi folyamatok eredménye: vulkanikus kigőzölgések, szénsavtartalmú meteoritok elégeése a felső légkörben, karbonátok bomlása, kőzetekbe mechanikusan bezárt szén-dioxid felszabadulása, szerves anyagok felbomlása és elégeése. Földtani jellegű szén-dioxid-fogyasztóként a szilikátok bomlása során történő karbonátképződést jelöli meg.

A szerves anyagok bomlása, elégeése során keletkező szén-dioxid-mennyiséget becsülve megállapítja, hogy az évi 500 millió tonna szén elégeése során (1890-es évek) keletkező szén-dioxid a levegő szén-dioxid-tartalmának ezredrészét képezi. Ez a mennyiség a földgolyóra számítva 0,003 mm (3 μ m) mészkőréteg szén-dioxid-tartalmát teszi ki. A 19. század végi szén-dioxid-egyenleggel számolva úgy gondolja a szerző, hogy az ipari szén-dioxid-kibocsátás a szilikátok mállása, elbomlása miatti szén-dioxid-fogyasztást pótolja.

A légköri hőmérséklet-változás, a globális felmelegedés kérdésében a mai nézetek közül Mészáros Ernő meghatározását tekinthetjük mértékadónak. A Föld-légkörrendszer teljes sugárzási egyenlege nullával egyenlő (alapvető

A földtörténet utóbbi ezer évének hőmérséklet-változásai Kelet-Európában



sugárforrás a Nap). Ez az egyensúly akkor is fennmarad, ha a rendszer belső állapota megváltozik. Ezért a nagyobb üvegházhatású légköri gázmennyiség (CO_2 , H_2O , CH_4) esetén nem a kimenő energia, hanem a légkör hőmérséklete módosul, azaz a levegő melegebb lesz. Ez a módosulás az egész légkörre kiterjed, ezért a földfelszín felmelegedése globális mértékű lehet.

Elemzésünk további részét illetően fontos megállapítása Mészáros Ernő akadémikusnak az is, hogy: „A jelenlegi [az utóbbi egy évszázadra vonatkozó, K. F.] melegedés mértéke azonban nem éri el az $1\text{ }^\circ\text{C}$ -ot, vagyis nem nagyobb, mint amely a múltban emberi hatások nélkül is előfordult”; továbbá hogy: „Egyrészt lehetséges, hogy hibás az alapfeltevésünk, amely szerint a hőmérséklet az üvegházhatású gázok mennyiségének növekedése miatt emelkedik, hiszen például a szén-dioxid a levegőben akkor is dúsult, amikor a hőmérséklet nem változott.”

A Földre érkező sugárzási energiát meghatározó tényezők

A Földet érő sugárzás alapvető forrása a Nap, a Földet érő napsugár mennyiségét és felszíni eloszlását a Föld Naphoz viszonyított pályájának változása döntő módon meghatározza. A földtudomány jeles művelői szerint ez a változás lehet alapvető okozója a globális lehülésnek és felmelegedésnek, illetve a jégtakaró előrenyomulásának vagy visszahúzódásának. Ez az elmélet már az 1800-as években megszületett, Milutin Milankovics 1920-ban tette közzé, majd az összegyűjtött adatok (megfigyelések és mérések) kiértékelése alapján az 1970-es évektől általánossá vált. Közbevetőleg jegyzem meg, hogy Bacsák György (1870–1970) az 1930-as években Milankovics elméletét bizonyos mértékben „kiigazította”, 85 klímaváltozáson és ezeken belül négyféle klímátípuson alapuló jégkorszaki kalendáriumot szerkesztett.

A 19. század végére visszatérve De Marchi álláspontját idézem, aki szerint „az enyhe időszakok és jeges korszakok fellépése” a következő természeti hatások következménye. A Föld világrbéli helyének hőmérséklete, a Nap sugárzása a Földre, a földtengely dőlése az ekliptikához képest, a sarkok helyzete a Föld felszínén, a földpálya alakja és különösen annak **excentricitása**, a kontinensek és a tengelyek alakja és kiterjedése, a Föld felületének borítottsága (vegetáció), a tenger és a légáramlatok iránya, a napégyenlőségek helyzete. Ezeket a hatásokat kiegészíti azzal, hogy a légkör „átlátszóságának” is jelentős szerepe van a hőmérséklet-változásokban, a levegő átlátszóságát ugyanakkor főleg a légkör víztartalma határozza meg.

A Milankovics által rögzített elv alapján a globális felmelegedést és lehűlést, illetve a jégtakaró terjedését vagy csökkenését elsősorban meghatározó – a napsugárzást számítható mértékben befolyásoló – három paraméter a következő:

-) a Földpálya excentricitásának változása;
-) a Föld tengelyszögének változása;
-) a Föld forgástengelyének mozgása (precesszió).

A három tényező együttesen befolyásolja a Földet érő napsugárzás meny-

Excentricitás:

az ellipszis alakú pályák fő jellemzője. Az ellipszis középpontjának és egyik gyújtópontjának távolságát nevezik lineáris excentricitásnak, az utóbbinak a fél nagytengelyhez vett arányát pedig numerikus excentricitásnak. Az excentricitás értéke az ellipszispálya lapultságának jellemzője. A bolygók pályájának excentricitása jóval kisebb, mint $0,1$; csupán a Merkúr és a Plútó esetében kb. $0,2$. A kör excentricitása 0 , a paraboláé 1 , a hiperboláé 1 -nél nagyobb. Értelmezni csak az ellipszispályára szokták. A mesterséges holdak pályájának excentricitása általában az idő folyamán csökken, kivéve a rendkívül kis fajlagos tömegű léggömbholdakat, mert ezek pályájának excentricitását a Nap sugárnyomása módosítja (bizonyos helyzetben növeli).



A Föld forgó mozgása

nyiségét és eloszlását. Adott helyen a változást befolyásolja a földrajzi szélesség és az évszak is. A három megjelölt fő tényező periodicitása különböző, ezért a napsugárzás változásának eredője összetett érték.

Az excentricitás hatását a Föld Nap körüli elliptikus pályájának alakja, annak változása határozza meg, ennek változása az idők folyamán 1–5 százalék közötti. A Földre érkező sugárzás változását az excentricitásból adódó naptávvoli (afélium), illetve napközeli (perihélium) helyzet okozza, jelentős eltérést eredményezve az északi és a déli féltéke évszakjainál. A Földpálya excentricitásának változási ideje kb. százezer év. A jégtakaró visszahúzóadásában vagy előretörésében jelentős szerepe van annak ellenére, hogy hatása a sugárzás mértékére viszonylag kicsi, kb. 0,2 százalék.

A Földpálya tengelyszögének dőlése az ekliptika síkjához jelenleg 23,5°, a dőlés 21,6° és 24,5° között változik, a változás periódusideje kb. 41 ezer év. A forgástengely szögének változása magasabb szélességi körökön nagyobb, az alacsonyabb szélességen kisebb hatással van a besugárzás változására. A pálya dőlésszög-változásának hatása szorosan kapcsolódik a precesszió hatásához, e két tényező együttes hatása a magasabb szélességi körökön eléri a 15 százalékot.

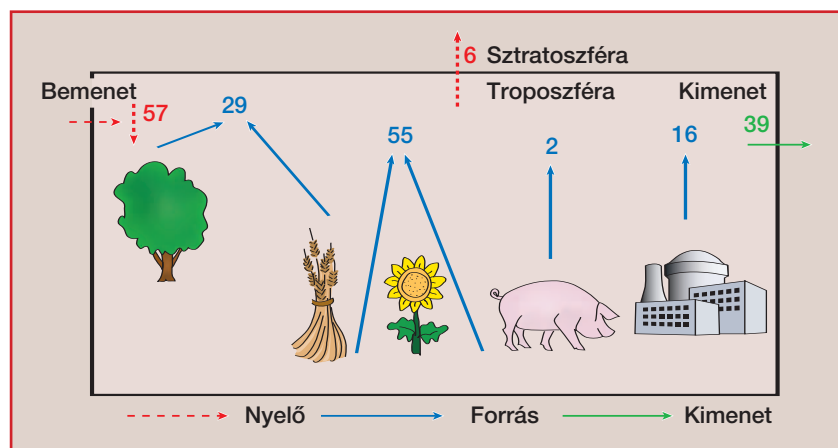
A precesszió (napéjgyenlőség) hatása a Föld tengelyének rotációs mozgása miatt jelentkezik. Ez a hatás önmagában nem jelentős, a földi naptáv-, illetve napközelségváltozás miatt azonban felerősödik. A precesszióknak egy kb. 19 ezer éves és egy kb. 23 ezer éves periódusa van, általában 22 ezer évvel számolnak. A precesszió és a pályadőlés változásának hatása együttesen kb. 15 százalékos, ami a globális hőmérséklet alakulásánál jelentős tényező.

A szén-dioxid-kibocsátás forrásai és nyelői

A szén-dioxid-kibocsátás adatait Mészáros Ernő tanulmányai alapján mutatom be.

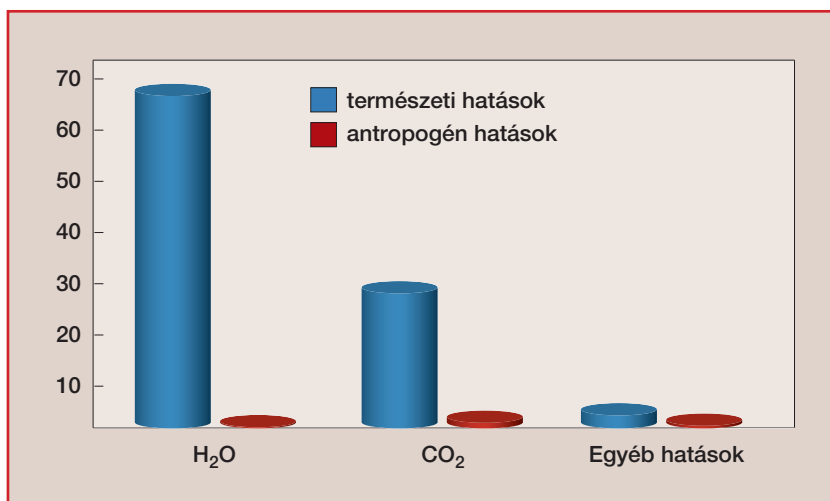
A felszabaduló forrás erőssége 102 TgC/év, ebből 29 egység a növényzetből, 55 a talajból, 2 az élőlények (ember, állat) légzéséből, 16 az energiatermelésből szabadul fel. A források közül kb. 60 százalékkal szerepel a talaj. Ez megerősíti Arrhenius száz évvel ezelőtti állítását, amely szerint a szén-dioxid-képződés döntő része a kőzetképződés és -mállás terméke, a szén-

Az 1992. évi magyarországi szén-dioxid-mérleg



tüzelés (akkori 500 Mt/év) a légkör szén-dioxid-tartalmának ezredrészét adja. Az ipari, környezeti változások ezt (ezredrész) az arányt nyilván változtatták, a földi légkör szén-dioxid-tartalma földrészenként a földtani, ipari aktivitástól függően eltérő lehet. Hazánkban 100 egységből 15–16 jut az energiatermelésre, a szén és szénhidrogének elégetésére.

A természettudományos alapon álló vizsgálatok eredményei szerint a CO₂ gáz mellett a H₂O és más anyagok légköri jelenléte is számottevő mértékben befolyásolja a felmelegedést, a globális hőmérséklet-változást. A korábban már említett Mészáros Ernő-publikáció mellett az újabb németországi kutatások azt mutatják, hogy a klimatikus változások okozója mintegy 64–65 százalékban a légkör víztartalma, 25–27 százalékban a légkör természeti származású szén-dioxid-tartalma és 4–6 százalékban egyéb természeti hatások. E természeti hatásokon túlmenően az emberi-ipari (antropogén) tevékenység okaként megjelenő szén-dioxid és egyéb hatások aránya kb. 2–2 százalék.

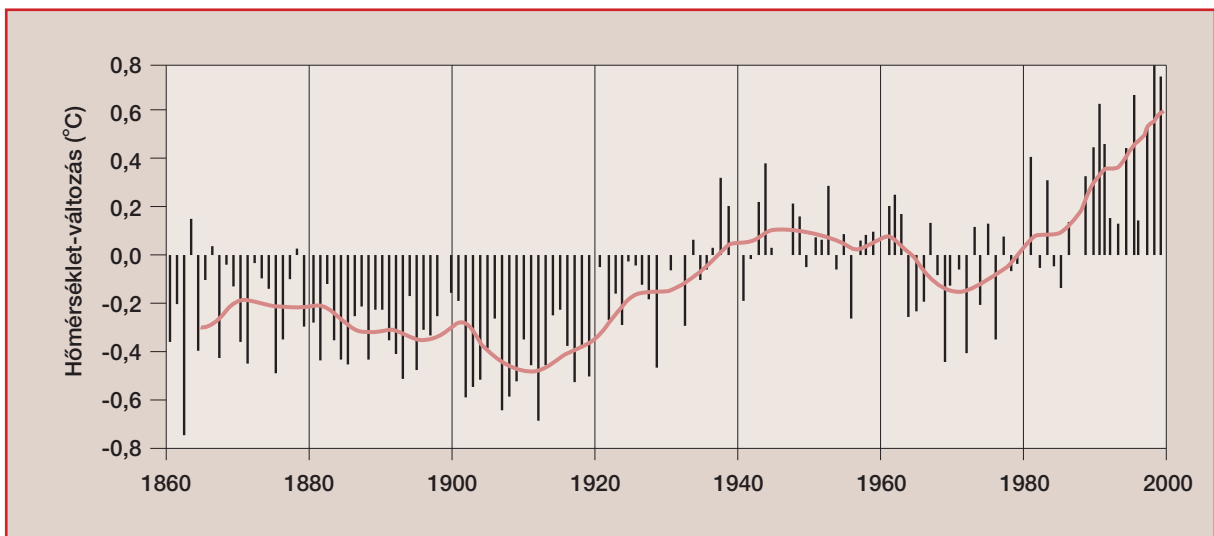
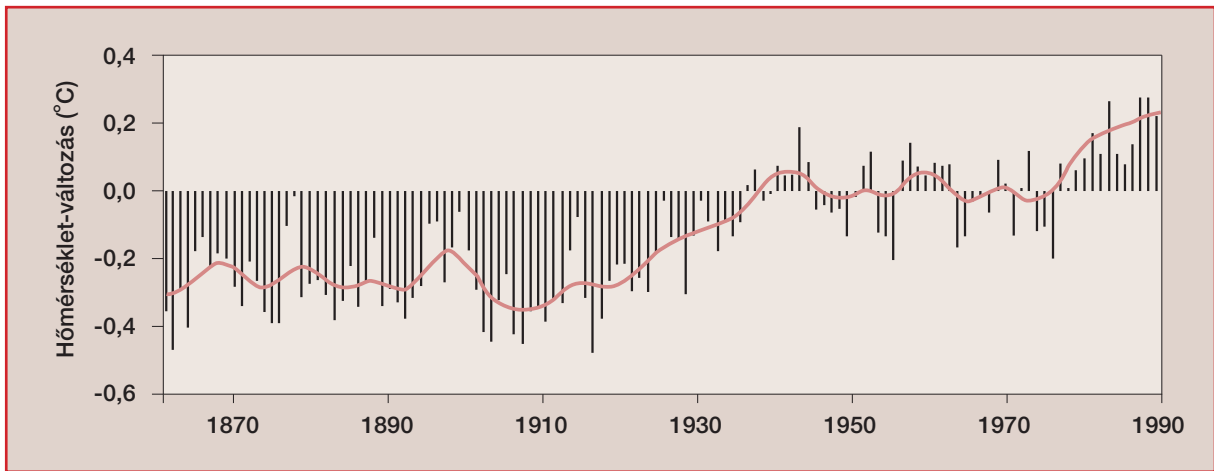


A légköri gázok szerepe az üvegházhatás kialakulásában

A fentiek alapján eléggé nagy „bátorság” azt állítani, hogy a globális felmelegedés elleni küzdelem legfőbb eszköze a szénenergia leállításának és a kőolajtermelés visszafogása. Miért éppen az üvegházhatás 2 százalékát okozó, antropogén eredetű szén-dioxid a „fő bűnös”? (A hazai 14–16 TgC/év kibocsátás az összes földi szén-dioxid kibocsátásához viszonyítva nyilván elhanyagolható mennyiség.)

A hőmérsékleti és a fosszilis tüzelőanyag-felhasználás adatainak összevetése

A globális hőmérséklet alakulásáról a Meteorológiai Világszervezet (WMO), illetve az IPCC (ENSZ Intergovernmental Panel of Climate Change – Klímaváltozás Kormányközi Bizottság) tájékoztató, a fosszilis tüzelőanyagok terme-



A Föld és az északi félteke hőmérsékletének változása

léséről és felhasználásáról pedig a bányászati világstatisztikák szolgáltatnak adatokat.

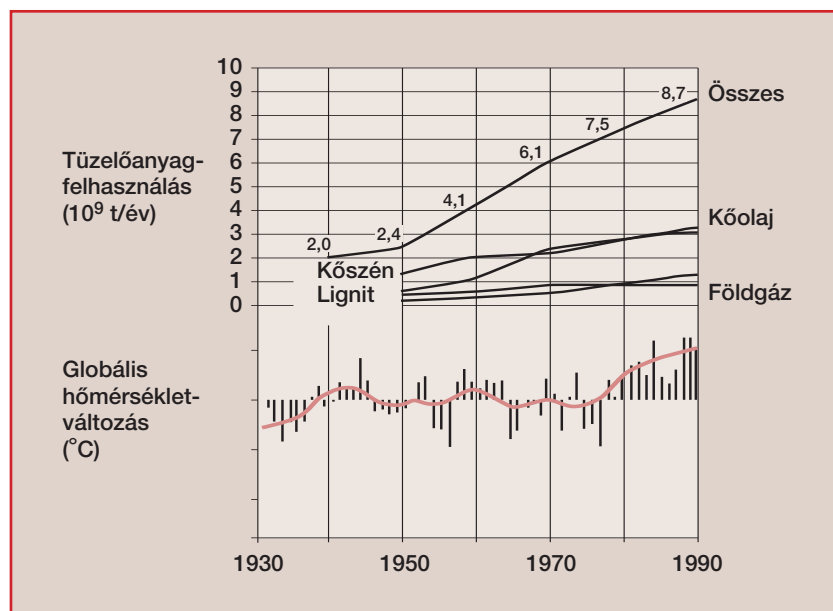
A Föld közepes hőmérsékletének változását illusztráló első ábra az északi félteke (30. szélességi foktól északra) átlagos hőmérsékletének alakulását mutatja. (A szén és szénhidrogének kb. 90 százalékát az északi féltekén használják fel.)

A változás mindkét ábrán hasonló jellegű, a Föld globális hőmérsékletének emelkedése 140 év alatt 0,6–0,8 °C. Bizonyos mérési, számítási pontatlanságok miatt a változás mértéke bizonytalan.

Az ábrákon lényegében három jellemző szakasz látható. Az 1860–1910 közötti években lényegesen nem változott az átlagos hőmérséklet, annak ellenére, hogy ebben a négy-öt évtizedben emelkedett a kőszénfelhasználás – a gőzgép, hajózás, vasút, acélgártás és villamos erőművek beindulása során – minimális értékről 600–800 Mt/évre. Az északi félteke globális hőmérséklete az 1860–1910 közötti időszakban általában 0,3 °C-kal csökkent (egyes években 0,4 °C-kal), amikor a kőszénfelhasználás nagyságrendekkel (nyolc-tízszerezésre) nőtt. Talán csak nem a szénfelhasználás ugrászerű növekedése okozta a viszonylag jelentős hőmérséklet-csökkenést? Az

1910–1940 közötti években kerekén $0,3\text{ °C}$ hőmérséklet-emelkedés jelentkezett, holott a világháborús károk és a gazdasági válság miatt alig nőtt a szénfelhasználás. Az 1940–1980 közötti években nem változott a Föld globális hőmérséklete, attól függetlenül – netán annak ellenére –, hogy a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása $7,5\text{–}8,0$ milliárd tonnára, vagyis $3,5\text{–}4,0$ -szeresére emelkedett.

A jelentős szén-, olaj- és gázfelhasználás nem változtatta a globális hőmérsékletet, nem növelte az üvegházhatást!



A tüzelőanyag-felhasználás és a globális hőmérséklet alakulása

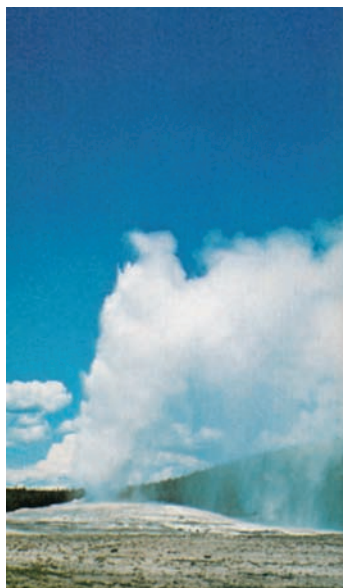
Az ábrákon látható az is, hogy a globális hőmérséklet értéke egyik évről a másikra jelentős mértékben „ugrál”. Eszerint például 1863-ban $0,75\text{ °C}$ -kal csökkent, 1864-ben $0,15\text{ °C}$ -kal emelkedett, ami egy éven belül $0,9\text{ °C}$ változás – ez gyakorlatilag a másfél évszázados változásnak felel meg. Az 1912-es $0,7\text{ °C}$ -os csökkenés egy év alatt $0,2\text{ °C}$ -ra mérséklődött; az 1990-es $0,7\text{ °C}$ -os emelkedés egy-két éven belül $0,1\text{ °C}$ -ra, holott a tüzelőanyag-felhasználás egyik évről a másikra csak maximálisan 3–5 százalékkal változott, általában emelkedett.

Következtetések

A hivatkozott irodalmi forrásokban közölt természettudományos eredmények, valamint a bemutatott meteorológiai és energiahordozó-felhasználási adatok alapján a következőket állapíthatjuk meg.

) A napsugárzás erősségét és területi eloszlását a földmozgás paraméterei és a naptevékenység determinálják, a Földpálya paramétereinek ciklikus változása a napsugárzási energia mértékét 15 százalékkal is módosíthatja.

) A Föld légkörében lejátszódó változásokat, a hőmérséklet emelkedését-csökkenését, a légkör „átláthatóságát” az úgynevezett üvegházhatású gázok (H_2O , CO_2 , CH_4 , NO_x , aeroszol részecskék) jelentős mértékben meghatározzák.



Gejzír a Yellowstone-parkban

) A légkörben található szén-dioxid mennyiségét döntő részben az emberi tevékenységtől független – a talajból származó – kőzetképződési és kőzetmállási folyamatok határozzák meg, az antropogén származású szén-dioxid mennyisége e teljes légköri szén-dioxidnak nem jelentős része.

) Egyes szerzők szerint a légkör víztartalmának van jelentősebb szerepe az üvegházhatás kialakulásában, mások szerint a szén-dioxidnak.

) Az üvegházhatás kialakulásában az antropogén (emberi, ipari) származású szén-dioxidnak csak 2 százalékos hatása van.

) A földtörténet során jelentkező nagy lehűlések és felmelegedések időszakában az emberi-ipari tevékenység nem játszott szerepet.

) Az utóbbi százötven év meteorológiai és tüzelőanyag (szén, olaj, gáz)-felhasználási adatai nem igazolják a hőmérséklet-változás (globális felmelegedés) és a fosszilis energiahordozók használata közötti kapcsolatot.

) Az utóbbi százötven év során jelentkezett 0,4–0,6 °C közötti globális hőmérséklet-emelkedésnél az emberi (tízezer év) és a földtörténeti múltban emberi-ipari hatások nélkül is lényegesen nagyobb hőmérséklet-változások voltak.

) E változások (évenkénti ugrások) bekövetkezésére nincs pontos magyarázat.

A fentiek alapján minden természettudományos alapot nélkülöz az a nézet, hogy a globális hőmérséklet-emelkedés okozója a fosszilis energiahordozókat felhasználó ipari létesítmények (erőmű, gépkocsi stb.) szén-dioxid-kibocsátása.

A fosszilis ásványi nyersanyagok energetikai arányának (ami jelenleg az OECD-országok átlagában 60 százalék) csökkentésére (az atomenergián túlmenően) a termonukleáris fúziós energia felhasználásig aligha lesz számottevő lehetőség. A fosszilis energiahordozók (tüzelőanyagok) felhasználásának jelentős korlátozása nemkívánatos hatással lenne a fenntartható fejlődésre. Fontos volna, hogy racionálisan értékeljük a természeti tényeket, ne engedjünk a szenzációhajhászásnak.

Ajánlott irodalom

Agricola, Georgius: Tizenkét könyv a bányászatról és kohászatról. (Szerk. Molnár László.) Bp.: Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 1985.

Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development. The Report of the MMSD Project, London and Sterling: Earthscan Publications Ltd., 2002.

Bulla Miklós: A természeti erőforrásokkal való gazdálkodás. In: *Ezredforduló. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián*, 2003/1. 20–25.

Láng István: Környezetvédelem – fenntartható fejlődés. In: *Mindentudás Egyeteme*, 1. kötet. Bp.: Kossuth K., 2002. 147–158.

Matthews, Samuel W.: Is Our World Warming? Under the SUN. *National Geographic*, Vol. 178. 1990. 66–99.

Matthews, Samuel W.: What’s Happening to Our Climate? *National Geographic*, Vol. 150. 1976. 576–621.

Mészáros Ernő: Az üvegházhatású gázok légköri körforgalma Magyarország fölött. In: *Ezredforduló. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián*, 2003/1. 14–19.

Teller Ede: Többet kell tudnunk... In: *Ezredforduló. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián*, 2002/3. 3–4.

Wilsdorf, Helmut: Montanwesen – Eine Kulturgeschichte. Leipzig: Edition Leipzig, 1987.

