

NÉMETH NORBERT, FÖLDESSY JÁNOS,

NYERSANYAGKUTATÁSI MÓDSZEREK

2



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

II. ÁSVÁNYI NYERSANYAGOK DÚSULÁSAIT ELŐIDÉZŐ FOLYAMATOK – RÖVID BETEKINTÉS

1. BEVEZETÉS

Ásványi nyersanyag nevezünk olyan természetes eredetű anyagokat, amelyeket szerves vagy szervetlen ásványok alkotta kőzetekből szilárd vagy fluid halmazállapotban felszínre kerülve önmagukban vagy feldolgozás után alkalmazható termékként rendszeresen felhasználnak, piacgazdaságokban termelésükhöz pozitív gazdasági eredmény kapcsolódik.

Az egyik olyan paraméter, amely döntően befolyásolja a gazdasági eredményt, a hasznosítható rész **dúsulásának mértéke**. Minél nagyobb fokú dúsulás alakult ki egy anyagban a természeti folyamatok során, annál kisebb technikai és pénzügyi ráfordítás lesz majd szükséges az anyag piaci igények szerinti tisztaságú változatának előállításához. A természetes dúsulási folyamatok részleteivel az *érces és nem-érces teleptan*, illetve a *szénhidrogénföldtan* tárgyak foglalkoznak. Azért, hogy a nyersanyagkutatásokat minél nagyobb határfokkal, sikerességgel tudjuk végezni, ezeknek a folyamatoknak a részletekbe menő ismerete szükséges.

Fontos az is, hogy a dúsulás meghatározott helyre összpontosuljon, hiszen a kitermelés helyét csak helyének és geometriai jellemzőinek pontos ismeretében lehet tervezni. A dúsulás akkor válhat kitermelésre alkalmassá, ha **nyersanyagtestként** (telepként, érctestként, szénhidrogén esetében tározószerkezetként) tudjuk meghatározni, amelyen belül a dúsulást folytonosnak tekinthetjük. A kutatás feladata a nyersanyagtestek meglétének felderítése (előkutatással), majd határainak, méretének, helyzetének, anyagi paramétereinek egyre részletesebb megismerése a kitermelésre irányuló döntés teljes előkészítő szakasza során.



A testek mérete, a nyersanyagok, az előfordulások és a kitermelés típusától függően szélsőségesen változó lehet, néhány négyzetmétertől akár több száz négyzetkilométeres kiterjedésig, a néhány ezer tonnás mérettől a több milliárd tonna tömegű testekig.



TOVÁBBI INFORMÁCIÓK

Teleptan – németül:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lagerstättenkunde> ⓘ

<http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/archaeo/Lehre/Lagerstaetten> ⓘ

2. DÚSULÁSOK MÉRTÉKE, TÉR- ÉS IDŐBELI ELOSZLÁSA

A természetben előforduló 92 elemből 8 elem (ún. *kőzetalkotó főelem*) alkotja a földkéreg 99 tömeg%-át. Ezekből a kémiai elemekből alkotott kőzetek alkotják mindennapi környezetünket és legfontosabb ásványi nyersanyagainkat. *Oxigén* nélkül nem lenne szerves élet, de nem tudnánk ma élni *szilíciumvegyületek*, leggyakoribb formájában *kvarc*, illetve a belőle gyártott *szilikátok* (pl. téglá, cement, cserép, porcelán stb.) nélkül. Ugyanígy nem képzelhető el, hogy hiányozzon például a *vas*, amelynek számtalan feldolgozott formája mindennapjaink része a betonacéltól az autókarszériáig. Az 1%-nyi mennyiséget kitevő többi 84 elem nagy része szintén jelentős gazdasági értéket képvisel.

Az egyes kémiai elemek földkéregbeli átlagos koncentrációértékeit **klarkértéknek** nevezzük. A gazdasági jelentőségű eleműdúsulások a klarkértékek 3-10000-szeresével jellemezhető koncentrációkat tartalmaznak.

Ha ezek az elemek egyenletesen oszlanának el a földkéregben, a nyersanyagkutatásra nem lenne szükség, bárhol lehetne foglalkozni a kinyerésükkel – ami viszont nem lenne könnyű feladat. Az *arany* például 4 ppb átlagos mennyiségben található oldva a tengervízben, amelynek így minden köbmétere 0,004 gramm arany kinyerésére lenne alkalmas. A ma gazdaságosnak tekintett dúsulási helyek kőzetekben vannak, s ennek a mennyiségnek 500-2000-szeresét tartalmazzák.

Ag: 0,07	Ca: 4,15 %	F: 625	Mg: 2,33 %	Pd: 0,013	Ta: 2
Al: 8,23 %	Cd: 0,2	Fe: 5,63 %	Mn: 950	Pt: 0,005	Te: 0,001
As: 1,8	Ce: 60	Ga: 15	Mo: 1,5	Rb: 90	Th: 9,6
Au: 0,004	Cl: 130	Ge: 1,5	N: 20	S: 260	Ti: 5700
B: 10	Co: 25	Hf: 3	Na: 2,36	Sb: 0,2	Tl: 0,45
Ba: 425	Cr: 100	Hg: 0,08	Nb: 20	Sc: 22	U: 2,7
Be: 2,8	Cs: 3	In: 0,1	Ni: 75	Se: 0,05	V: 135
Bi: 0,017	Cu: 55	I: 0,5	O: 47 %	Si: 28,15 %	W: 1,5
Br: 2,5	Er: 2,8	K: 2,09 %	P: 1005	Sm: 6	Y: 33
C: 200	Eu: 1,2	La: 30	Pb: 12,5	Sn: 2	Zn: 70
				Sr: 375	Zr: 165

2.1 táblázat: Az elemek klarkértékei betűrend szerint, %-ban vagy g/t-ban (ppm)

A számértékek mellett csak az 1 %-nál nagyobb klarkértékű elemeknél szerepel jelölés, az e nélküli számok mg/kg-ban, vagy g/t-ban (1 g/t = 0,0001%) értendők

Elem	Átlagos gyakoriság (ppm)	Minimum érc koncentráció (ppm)	Dúsulási faktor
arany	0,004	0,5	125
molibdén	2	500	250
ón	2	500	250
ólom	12	15000	1250
réz	55	5500	100
cink	70	5000	~700

2.2 táblázat: Néhány elem hozzávetőleges jelenlegi műrevalósági értéke

Megjegyezzük, hogy az adatoktól eltérések lehetnek, mert a műrevalóság a fémtartalmon kívül még számos tényezőtől függ.



TOVÁBBI INFORMÁCIÓK

Elemek eloszlása a földkéregben és felhasználásuk:
<http://www.geokem.com/global-element-dist1.html>

Részletes információk az egyes kémiai elemekről:
<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/>

3. TELEPKÉPZŐ FÖLDTANI FOLYAMATOK KIALAKULÁSI FELTÉTELEI

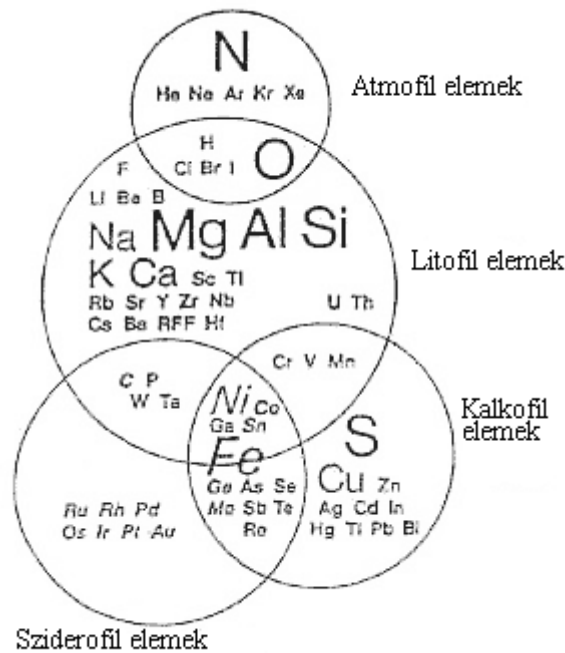
A dúsulási folyamatokban a kémiai elemek nem véletlenszerűen, hanem a hordozó ásványok **fizikai-kémiai**

stabilitásától, illetve az egyes kémiai elemek **atomszerkezeti tulajdonságaitól** függően társulásokban vesznek részt. Az alábbi **geokémiai elemcsoportok** az azonos földtani környezetben nagyobb valószínűséggel megjelenő elemeket foglalják magukba.

Teleptani szempontból ez azért is lényeges, mert egy-egy teleptípus egy eleme arra mutat, hogy potenciálisan még milyen elemek dúsulhatnak az adott telepben. A geokémiai elemcsoportok átfedésben vannak, vagyis bizonyos elemek több csoporthoz is tartozhatnak.

A fő geokémiai elemcsoportok:

- **sziderofil**;
- **kalkofil**;
- **litofil**;
- **atmofil**.



2.1 ábra: A Goldschmidt-féle geokémiai elemcsoportok
A vegyjelek méretei a hozzávetőleges mennyiségi arányokat tükrözik.

Ahhoz, hogy a kőzetképződési folyamatok során ne csupán egy átlagos kémiai összetételt hordozó kőzet, hanem valamelyik komponenst tekintve jelentős dúsulást (és ezért a többi komponens vonatkozásában hasonlóan jelentős kiszegényedést) mutató kőzet szülessen, az általánosan ható kőzetképződési folyamatokkal szemben speciális feltételek kialakulása és tartós fennállása szükséges.

Ilyen feltételek lehetnek például:

- tartós kémiai vagy fizikai egyensúlyhiány fennmaradását biztosító folyamatok – oldhatóság változás, oldott komponensek eltávoztása, illetve kiválása és migrációja, sűrűség szerinti szétválasztódás és migráció
- földtani elemekből felépülő fizikai vagy kémiai gátak, illetve vezető csatornák kialakulása és fennmaradása
- **fluidumok** mozgását biztosító **porozitás** és **permeabilitás** időleges fennállása, majd bezárulása.
- felszínalatti környezetekben fázisátalakuláshoz, szerkezetalakuláshoz vezető, vagy azok következményeként létrejövő **hőmérséklet- és nyomásgradiensek** kialakulása

Ilyen telepképző folyamatokat kialakíthatnak:

- belső erők – magmás működés, metamorfózis stb.;
- külső erők – mállás, szállítás, üledékképződés, stb.

A befogadó kőzethez képest a kialakult nyersanyagtest lehet **szingenetikus** vagy **epigenetikus**. Amikor az ércképződési folyamatokat belső, vagyis litoszférabeli, és külső, vagyis felszíni csoportosításban tárgyaljuk, nehézségekbe ütközünk, mivel egy ércetest kialakulása általában számos folyamat eredménye. A külső és belső folyamatok között lehetnek határesetek is, hiszen egy adott felszálló, forró vizes oldat létrehozhat hálózatos telepeket a feláramlási pálya mentén, ahol ezek a befogadó kőzethez képest **epigenetikusak**, a felszínre kerülve pedig tengeri üledékképződési környezetben **szingenetikus**, vagyis az üledékképződéssel egy időben kialakult üledékes érctelepet képez. Ennek ellenére, az egyszerű áttekinthetőség miatt az alábbiakban a folyamatokra ezt a csoportosítási elvet alkalmazzuk.

Nyersanyagtestek formai elemei

A **nyersanyagtest** formai elemeire hagyományos bányászati kifejezések váltak használatossá, amelyek inkább *leíró jellegűek*, mint tudományosan is indokolható és meghatározható fogalmak.

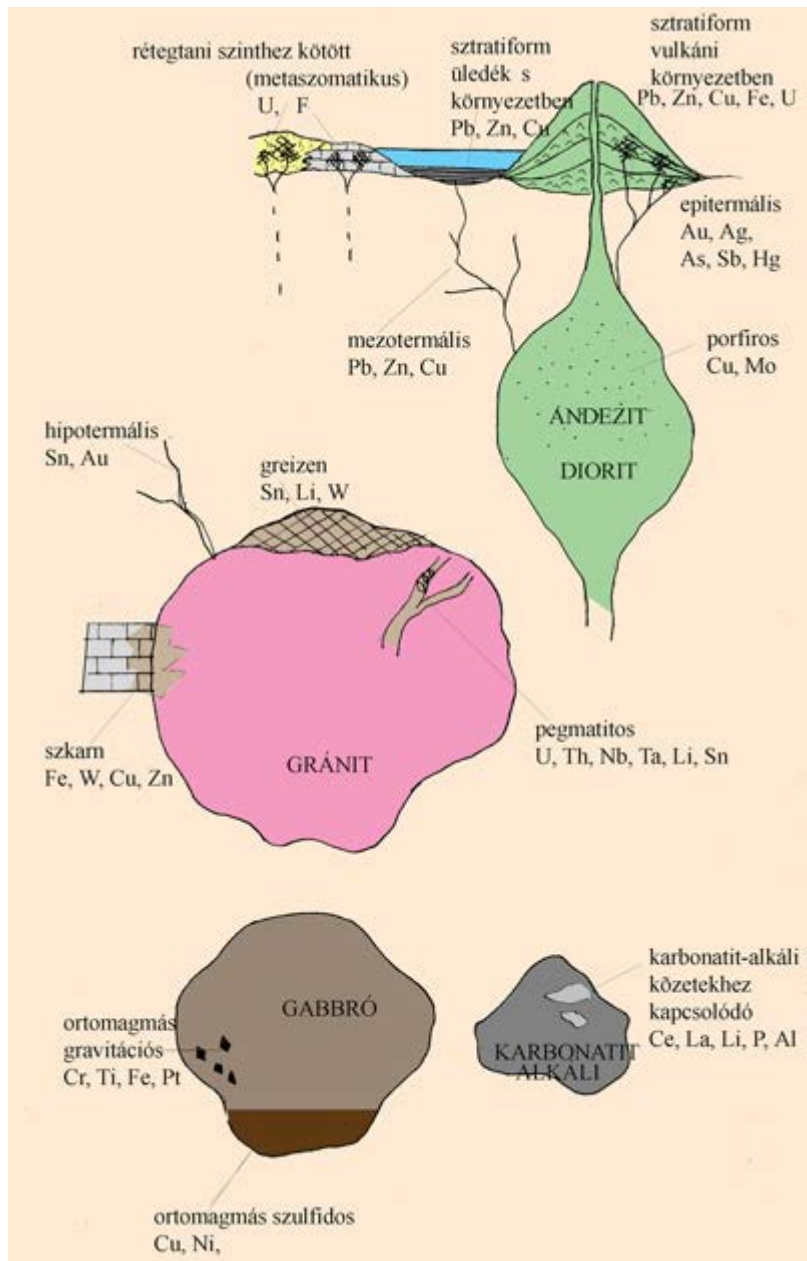
A nyersanyagtestnek van *természetes* (pl. rétegfelület, diszkordancia, szerkezeti zóna) vagy *mesterségesen kijelölt* (pl. a fokozatosan változó dúsultságú zónában egy kiválasztott határminőség szerint megvont, **cut-off**) körbezáródó **határfelülete**.

A testek alakja a leggyakrabban használt hagyományos bányászati elnevezések szerint lehet:

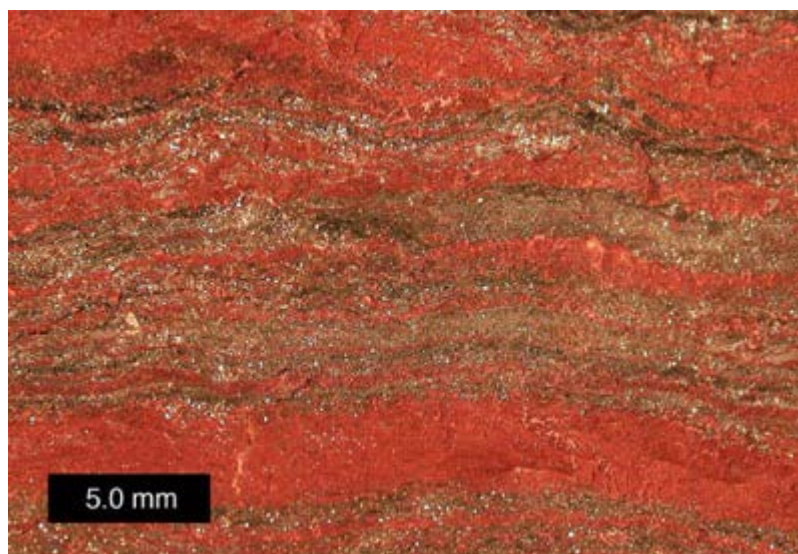
- **tömzs**: szabálytalan vagy hengeres, kúpos formával közelíthető, leginkább függőlegeshez közeli irányban megnyúlt alakzat; a mellékkőzetétől eltérő anyagú kőzettest. (pl. wehrlit ultrabázitban (Szarvaskő), kvarc-enargit-pirit andezitben (Recsk-Lahóca))
- **telep, teleptelér, lencse**: lemezszerű, vízszinteshez közeli irányokban elnyúlt, rétegszerű dúsulás; a mellékkőzetétől eltérő anyagú kőzettest. (pl. borsodi kőszénmedence telepei (Lükő, Putnok), áthalmazott bentonittelepek limnikus összletben (Mád))
- **telér**: lemezszerű, függőleges és vízszintes irányban megnyúlt alakzat; a mellékkőzetétől eltérő anyagú kőzettest. (pl. Au-Ag telérek (Telkibányán), illit (Füzérradványban))
- **stockwerk**: önálló testként el nem különíthető eres és hintett dúsulások alkotta hálózat a befogadó kőzetben (pl. porfíros rézérc Recskben, mélyszint)

Kiékéldésnek nevezzük azt a részt, ahol a határoló felületek oldalirányban elvégződnek, a test elkeskenyedve a mellékkőzet felé megszűnik.

A nyersanyagtest feletti mellékkőzetzóna a **fedőoldal**, a nyersanyagtest alatti zóna a **feküoldal** (rétegtani helyzettől függetlenül).



2.2 ábra: Nyersanyagtestek alakja, helyzete és időbelisége a befogadó kőzetekhez képest



2.3 ábra: Callinan Cu-Zn-(Pb, Au) telepszerű sztratiiform érc vágott felületű mintájának képe Hematit- és kvarcítűs sávok váltakozása, Michigan, USA.



2.4 ábra: Hintett-eres stockwerk érc típus, Lake Zn-Cu-Au telep – szfalerit, pirit, kalkopirit [i]



2.5 ábra: Fluorit telérkitöltő anyaga (Rampgill Mine, Cumbria, Anglia) [ii]

4. MAGMÁS FOLYAMATOKBAN KELETKEZŐ TELEPEK

A magma képződése, áramlása, kitörése vagy mélybeli megszilárdulása mind olyan folyamat, amely egyrészt *fluid állapotú*, a környezettől eltérő **kemizmusú** anyagokat szállít a működés helyére, illetve az ott lévő kőzetek és ásványos elegyrészeik átalakulását, *mobilitizálódását* idézi elő, s a keletkező termékeket egy másik földtani környezetbe juttatja el. *Hőtartalma* és az előidézett *mechanikai feszültségek* révén jelentős és nagy kiterjedésű **kontaktmetamorfózist** és olyan *mechanikai deformációt* is létrehozhat, amely elősegítheti a felszín alatti *víz-cirkulációt*.

A létrejövő bonyolult természeti rendszerekben a különféle ásványtársulások a mindenkori *nyomás, hőmérséklet, Eh- és pH-viszonyok* megszabta módon és helyeken **kristályosodnak** az oldatokból, ezzel megváltoztatva a maradék oldatok összetételét és a környezet mechanikai, kémiai állapotát is.

Magmás folyamatok sokféle ásványi nyersanyag létrejöttében kaphatnak szerepet:

- Zúzottkő, idomkő formájában találkozunk bazalt, andezit, gránit anyagú termékekkel.

- Bentonit, kaolinit, perlit, zeolit stb. nyersanyagok keletkeznek a magmás kőzetek hidrotermális utóvulkáni elváltozásai során.
- Végül: ércek, azaz fémek kinyerésére alkalmas ásványi nyersanyagok keletkeznek a magmás folyamatok minden szakaszában, változatos környezetekben: felszínközeli vulkáni felépítményben, ilyen vulkáni szerkezetek gyökérszónáiban, tengeralatti vulkáni központok környezetében, valamint a *vulkanitok* alatti **intruzív** sekély- és nagymélységű környezetekben.

A magmás folyamatok során létrejövő érctelepek fő értékhordozó ásványa lehet *terméselem* (pl. Au), *oxid* (pl. magnetit, ilmenit), *szulfid* (szfalerit, galenit, kalkopirit, molibdenit, stb), vagy más kémiai összetételű ásvány (pl. wolframát, foszfát, fluorit, stb).



TOVÁBBI INFORMÁCIÓK

Magmás folyamatok:

<http://fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/foldal00.htm>

<http://www.eldey.de/Geologie/geologie.html>

5. ÜLEDÉKKÉPZŐDÉSI FOLYAMATOKBAN KELETKEZŐ TELEPEK

A felszint alkotó kőzetekre a külső erők hatnak. Ezek a külső erők különféle természetes dúsulási folyamatokat is előidéznek, az alábbi fő folyamatcsoportokban:

- **Mállás** során a felszínközeli zóna kőzetei részben fizikai átalakuláson (aprózódás), részben a szabad oxigén és rétegvíz, talajvíz, felszíni víz hatására kémiai átalakuláson esnek át. Ennek során az aprózódás, oldás hatására megmozdult összetevőket a szállító közeg (víz, szél, jég stb.) elszállítja, és létrejönnek a nem-mobilizált összetevők **reziduális dúsulásai** (pl. bauxit, nikkellaterit).
- **Szállítás** során a megmozdult összetevők ásványi szemcsék formájában lebegtetve, görgetve, vagy oldott állapotban, ionos vagy kolloidális formában szállítódnak a forrástól távolodva. Szétkülönüléseket részben a szemcseméretől és alaktól függően különböző mozgási sebességük, részben az eltérő oldhatóság, és a kiválásukat megszabó **Eh-pH** viszonyok eltérése miatt az oldat kémiaiösszetétel-változásától függően változó kémiai kiválási környezetük okozza.
- **Felhalmozódás, üledékképződés** során a szállítási energia csökkenése, a víz kémiai összetételének változása, az oldott anyag koncentrációjának megváltozása okozhatja a lebegtetett és oldott anyagok kiülepedését, kiválását. A szállítási energia csökkenése miatt a nagy sűrűségű (pl. arany, egyéb nehézásvány, Sn, Ti) vagy a kopásnak ellenálló, nagyméretű szemcsék (pl. kavics) szelektíven kiülepsznek (torlattelepek). A víz kémiai összetétel változása (pl. az oldott széndioxid távozása) okozhat például tömeges ásványkiválást (pl. az oldott széndioxid távozása nyomán kalcit, aragonit kiválása, édesvízi mészkő felhalmozódása). Az oldott anyagok koncentrációváltozása miatti szelektív üledékképződés jó példája az **evaporitok** kiválása. Ezek keletkezésük az oldószer (víz) mennyiségének csökkenése miatt az oldat telítettsége az egyes oldott sókra nő, és ezek oldhatóságuk sorrendjében kiválnak: karbonát, dolomit, gipsz, kősó, fedősók (bromid, jodid stb. keletkeznek).
- **Érctelepek mállása, oxidációja, másodlagos dúsulási folyamatok** során a felszínre került érctelepek szulfidásványai csapadékos mérsékelt vagy trópusi klímán az oxigén és a jellegű csapadékvíz hatására instabillá válnak, s az oxidáció, hidratáció útján átalakulnak, részlegesen mobilizálódnak savtermelés közben. A helyben maradt *vasoxi-hidroxidok* jellegzetes oxidációs sapkát alkotnak (vaskalap, gossan), az oldódó további fémek eltávoznak, vagy a cementációs zónában halmozódnak fel.

6. BIOSZFÉRA, KŐZETKÉPZŐDÉS, ÁSVÁNYI NYERSANYAGOK

A földi élet öve, a **bioszféra** a vízvív, a kőzetív és a légkör közötti zónában a bolygónk felszínének jellegzetes, s talán egyedi eleme.

A bioszféra fejlődési lépcsőíhez az ásványi nyersanyagok kialakulásának fontos mérföldkövei kapcsolódnak.

A 3 milliárd év előtti időszak (Archaikum) őslégköre, és az óceánok vízének oldott fémekben gazdag összetétele igen kedvező volt szulfidos érctelepek kialakulásához. Ma a világ érctelepekben leggazdagabb területei az archaikus kontinensmagokon található (Ausztrália, USA, Kanada, Szibéria, Dél-Afrika).

Az algák elszaporodásához kapcsolatosan a **fotoszintézis** kialakulása, a *vízben oldott oxigén* megjelenése vezetett az óceánok vízében addig nagy mennyiségben, oldott állapotban lévő fémek kiválásához (pl. kovás sávós vasércek 3,8 – 1,8 Md évvel ezelőtt). Egyszeri folyamatként ennek során jöttek létre a világ legnagyobb vasérctelepei (Brazília, Dél-Afrika, Ausztrália, India).

A szárazföldi növények partra lépése teremtette meg a szárazulati talajképződés feltételeit. Az igen nagy tömegben

képződő és kedvező esetben gyorsan betemetődő növényi **biomassza** jelenti a *fosszilis energiahordozók* első jelentős kialakulási időszakát, a paleozoikum karbon időszakában (360 – 300 millió éve).



2.6 ábra: Kőszéntelepek felszíni kibúvása – Appalache hegység, USA

A légköri és vízben oldott oxigén mennyiségének növekedését több oxigénhiányos időszak szakította meg. Minthogy ezek az élővilágban is jelentős változásokat okoztak (pl. tömeges kihalásokhoz vezettek), ezeket a nagy földtörténeti időszakhatárokként tartjuk számon. Ilyen nagy jelentőségű **anoxikus** periódus a paleozoikum és a mezozoikum határa, a perm időszak végi nagy kihalás, amely az akkori élővilág fajainak 90%-át eltüntette.

Az ilyen időszakokban felszaporodó és felhalmozódó szerves anyagok igen jelentős érctelepek képződéséhez vezettek (pl. mansfeldi rézpala, Lengyelország, Németország).

Az **anoxikus** időszakokban az üledékes kőzetekben felhalmozódó szervesszén-tartalom révén képződő anyakőzetek (pl. bitumenes palák) jelentős szénhidrogén-képződési időszakok kiinduló pontjává váltak.

A bioszférában a természet az említett övek anyagait magába építve és felhasználva épít nagyszámú fajból és végtelen számú egyedből álló élővilágot, mely viszont a kőzet- és ásványképződést döntően befolyásolja a felszínközeli környezetben:

- **éghető biogén kőzetek képződése** – a felhalmozódott és oxigénszegény környezetben betemetődött szerves anyagokból fosszilis energiahordozók (éghető kőzetek, kausztobiolitok) kiindulási üledékei keletkeznek: tőzeg, alginit, stb., melyek a diagenezis során válnak kőzetté.
- **éghetetlen biogén kőzetek képződése** – a szerves anyag teljes oxidációja nyomán csak a szervesetlen vázanyagok maradnak az üledékben. Speciális környezeti körülmények között (pl. szervesetlen törmeléken anyag beszállításának hiánya) a szervesetlen vázanyag kőzetalkotó mennyiségűvé szaporodhat, s nagy tisztaságú formában értékes nyersanyag lehet (pl. kovaalgák – Diatomacea – vázának felszaporodásával kialakult kovaföld, mészvázú egyszéjtűek vázmaradványaiból létrejött mészszip, kréta).
- A kőzetekben felhalmozódott szerves anyag geokémiai csapdaként adszorbeálja a cirkuláló oldatokban fém ionokat, és dúsulásokat hoz létre (pl. urántartalmú homokkőben dúsult lencsék szerves maradványokon).



TÖVÁBBI INFORMÁCIÓK

Az evolúció kronológiája: http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_evolution (angol)

Sávos (szalagos) vasércformációk: http://en.wikipedia.org/wiki/Banded_iron_formation (angol)

A karbon kor: <http://en.wikipedia.org/wiki/Carboniferous> (angol)

7. DIAGENEZIS, A KŐZETEK SZERKEZETI DEFORMÁCIÓJA ÉS METAMORFÓZISA, TELEPKÉPZŐDÉS

A **kőzettéválás** első szakaszában a felszínen felhalmozódott anyag újabb üledékekkel fedődik le, elzáródik a felszín oxigén- és vízszállító körfolyamataitól. A folyamatos felhalmozódás és ezzel lépést tartó süllyedés nyomán egyre mélyebbre, a nyugalmi vízszint alá, egyre nagyobb **litosztatikai nyomású** és a **geotermikus gradiensnek** megfelelően megnövekedett hőmérsékletű környezetbe kerül. Ebben a folyamatban számos olyan elem van, amely az

ásványi nyersanyagok végső minőségének kialakulásában jelentős.

Üledékek cementálódása – a növekvő nyomás hatására bezárulnak az eredetileg laza üledékek pórusterei, s a felszínről származó nedvességtartalmuk kipréselődik, fokozatosan csökken. A távozó pórsvízben oldott sók a pórustérben kiválva a laza üledékeket cementált, nagy szilárdságú kőzetekké (pl. homokot homokkövekké) alakítják. Átkristályosodással válnak mészkővé a mésziszapok, s a mészkőből elemkicserélődés során Ca-Mg-karbonát képződmények (dolomitosodás) keletkezhetnek, megfelelő Mg forrás jelenlétében.

A szerves anyag átalakulása a bezáródott zsírok, szénhidrátok, fehérjék primitív *szénhidrogénné* (kerogénné) alakulásával kezdődik. Az átalakulás első szakasza **biológiai lebomlás**, az ezt követő szakasz a fokozódó nyomás és hőmérséklet hatására végbemenő ún. "**érés**". A szerves anyag érési folyamatában a komplex gyűrűs és láncmolekulák egyre kisebb szénatomszámú egységekre szakadnak. A tőzeg kiindulási anyagból a szerves ásványokká történő fokozatos átalakulással először *lignit*, majd *barnaszén*, *feketeszén*, végül *antracit* keletkezik. Ezen érési folyamat során az ún. **szénülési ugrásoknak** megfelelő környezeti viszonyok elérésekor az illó komponensek víz, kénhidrogén és metán gáz formájában szakadnak le és távoznak. Az algakőzetekből az eredetileg szilárd állapotú szerves anyagokból *kerogén*, majd ebből folyékony, végül gáz állapotú *szénhidrogének* keletkeznek.

A kőzetekben a rétegterhelésből származó **litosztatikus feszültség** mellett a litoszféra egységek mozgása révén keletkező dinamikus feszültség is ébredhet, mely a kőzetek elsődleges szerkezetét megváltoztathatja, képlékeny vagy rideg deformációt (gyűrődést, törést) idéz elő, fluidumáramlási pályákat zár el (csapdát hoz létre) és nyit meg. A vizes oldatokban, fluidumok formájában mozgó komponensek ezekre a mozgási pályákra koncentrálódva migrálnak kisebb nyomású térrészek felé, vagy csapdázódnak.

A nyersanyagkutatás egyik legjelentősebb előkészítő lépése ezért a regionális tektonikai és a lokális szerkezeti elemek megismerése, illetve az ezek meglétére és helyzetére utaló információk helyes értelmezése.

Az ércképző folyamat megnevezése	Az ércképző folyamat jellege	Példák
<i>Belső (litoszférabeli) eredetű ércképző folyamatok okozzák a dúsulást</i>		
Magmás szegregáció (differenciáció)	A magmából a főkristályosodás előtt kivált ércásványok elkülönülése; A szulfidos olvadásfázis elkülönülése a folyékony magmából	Bushveld Pt-Cr-Ni érckomplexum, Dél-Afrikai Köztársaság. Great Dyke Pt-Cr-Ni, Zimbabwe; Sudbury Cu-Ni ércesedés, Kanada Norilszk Pt (ÉNy-Szibéria)
Magmás főkristályosodás	Az ércásványok kiválása a magmás kőzetek alkotórészeként	Ritkaföldfémek karbonatitokban Palabora, Dél-Afrikai. Köztársaság, Li-Sn-Cs pegmatitok Bikita, Zimbabwe, U-pegmatitok Rössing, Namibia
Hidrotermális folyamatok	Az érc kiválás forró vizes oldatokból történik, amelyek lehetnek magmás, metamorf eredetűek, a felszínen szárazulaton, tengerfenéken, vagy felszín alatt	Szepes-Gömöri Érchegység Krompachy/Korompa Erdélyi Érchegység, Rosia Montana/Verespatak
Metamorf folyamatok	Metamorf eredetű oldatok által létrehozott laterálszekréción; Az ércképző folyamat a magma és a mellékkőzet között lejátszódó kontakt metasomatózis (szkarn); Az elsődlegesen kialakult érctelepek metamorfizálódnak	Zöldkő formáció Au, Kalgoorlie, Ausztrália; Szkarn vasérc: Iron Spring (USA), Bánság (Románia) Fe-érctelepei; Itabirit típusú vasérc, Minas Gerais, Brazília
Az ércképző folyamat megnevezése	Az ércképző folyamat jellege	Példák
<i>Külső (felszíni) eredetű ércképző folyamatok okozzák a magmás anyagok másodlagos dúsulását</i>		
Reziduális ércdúsulás	Az oldható elemek kioldása, az oldhatatlan maradék feldúsulása a mállási övben	Ni-laterit telepek, Új-Kaledónia; Bauxittelepek, Jamaica, Franciaország

Torlatképződés	Nagy fajsúlyú és ellenálló ásványok szeparálódása a szállítás során	Rutil-cirkon homokok, Új D-Wales, Ausztrália, Ónkő torlatok, Malaysia, Witwatersrand konglomerátum, D-Afrikai Köztársaság
Szupergén ércdúsulás	A fémek kioldódása az érctelepek felső zónájából, majd kicsapódása az alsóbb zónákban, növelve az érckoncentrációt	Au, Ag, Cu telepek, porfirós rézérctelepek, Chile Peru
Exhaláció	Hidrotermális oldatok felszínre áramlása szárazulaton vagy tengerfenéken többnyire üledékképződési környezetbe, a fémek komponensek kicsapódása	Mansfeldi rézpala, Németország, Zn-Pb ércesedés, Navan, Írország

2.3 táblázat: A magmás ércképződési folyamatok rövid összefoglalása és példái



TOVÁBBI INFORMÁCIÓK

Bevezetés a szerkezeti földtanba (németül):

<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/view/eth:24456>

Ércetek várható alakja nyírózónákban:

http://eprints.jcu.edu.au/3545/1/3545_Blenkinsop_2004.pdf

8. FORRÁSGYŰJTEMÉNY

A TÉMÁVAL FOGLALKOZÓ SZAKFOLYÓIRATOK

Economic Geology (and the Bulletin of the Society of Economic Geologists):

<http://www.segweb.org/EG/eg.htm>

Földtani Kutatás: <http://www.foldtanikutatas.hu/foldtkut/index.html>

Geology of Ore Deposits (Geologija Rudnih Mesztorozsgyennij):

<http://www.maik.ru/cgi-perl/journal.pl?name=geolore&page=main>

Mineralium Deposita: <http://www.springerlink.com/content/100445/>

Ore Geology Reviews: Journal for Comprehensive Studies of Ore Genesis and Ore Exploration:

http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/503354/description

Resource Geology: <http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291751-3928>

SZEMELVÉNYES SZAKIRODALOM

Bateman, Alan M. 1951: The Formation of Mineral Deposits. *Wiley, New York – Chapman & Hall, London*, 371 p.

Dill, Harald G. 2010: The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews* **100/1-4**, pp. 1-420.

Evans, Anthony M. 1993: Ore Geology and Industrial Minerals. *Blackwell, Malden/Oxford/Carlton*, 389 p.

Kiss János 1982: Ércteleptan I. *Tankönyvkiadó, Bp.*, 254 p.

Kiss János 1982: Ércteleptan II. *Tankönyvkiadó, Bp.*, 731 p.

Misra, Kula C. 2000: Understanding Mineral Deposits. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London*, 845 p.

Niggli, Paul 1948: Gesteine und Minerallagerstätten I. *Birkhäuser, Basel*, 540 p.

Niggli, Paul 1948: Gesteine und Minerallagerstätten II. *Birkhäuser, Basel*, 557 p.

Turekian, Karl K. – Wedepohl, Hans 1961: Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin* **72/2**, pp. 175-192.

Végh Sándorné 1968: Nemércek földtana. *Tankönyvkiadó, Bp.*, 283 p.

9. FELADATOK



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
A feladat végső eredményének a mindenkori **legutolsó megoldás** számít.

Válassza ki a helyes megoldást!

1. Mely elemek nem tartoznak az ún. Földkéreg alkotó főelemek közé?

- | | |
|----|----|
| Ca | Si |
| Hg | Mo |
| Fe | |

Csoportosítsa az ásványi nyersanyagokat kémiai csoportokba!

2.

- | | |
|----------|--------------|
| Kréta | karbonát |
| Betonit | szerves szén |
| Barit | szulfát |
| Antracit | szilikát |
| Apatit | foszfát |

Egészítse ki a mondatot!

3. Az egyes kémiai elemek földkéregbeli átlagos koncentrációértékeit értéknek nevezzük.

Adja meg a helyes választ!

4. A stockwerk önálló testként el nem különíthető...

- | | |
|--------------|-----------|
| testnyúlvány | érhálózat |
| vázrendszer | érclencse |

5. Válassza ki a bazalt lehetséges ásványos összetevőit a felsoroltak közül?

- | | |
|----------|-------------|
| Kvarc | Plagioklász |
| Szanidin | Piroxén |
| Olivin | |

Párosítsa az alábbi ércásványokat és a megfelelő kémiai ásvány-csoportokat!

6.

sziderit	karbonát
hermatit	wolframát
scheelit	szulfid
arany	terméselem
pirit	oxid

Egészítse ki az alábbi mondatot a dia- para-, szin-, epi- jelzőkkel!

Az ércelőfordulás ásványkiválásainak genetikai sorrendje a kiválások időbeli egymásutánosságát jelzi. A korábbi, üledékképződéssel egyidejű genetikusan képződött ércetesteket a genezis, azaz köztettéválás időszakát követően néhol átmetszik későbbi, genetikusan képződött ércásványok alkotta ércetestek.

Adja meg a helyes választ!

11. A Föld kőszénvagyonának többsége a karbon időszakban jött létre, azaz ...

450-400 millió éve

360-300 millió éve

300-150 millió éve

12. A szerves anyag átalakulása a bezáródott zsírok, szénhidrátok, fehérjék primitív szénhidrogénné (másnéven) alakulásával kezdődik.

mutagénné

kerogénné

petroleummá

kerozinná

SZÁMÍTÁSOS FELADAT - 2/1.



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
A feladat végső eredményének a mindenkor **legutolsó megoldás** számít.

Egy kitermelendő vasércetest tömegének pátvasérc tartalma 47,5%. Hány tömegszázalék a kinyerhető fémtartalom?

Az értékeket százados pontossággal adja meg!

ércásvány (t%)	fém tartalom (t%)
47,5	
62,5	
86	
76	
59	
38	
63	
78,5	
92,5	
50,5	

 SZÁMÍTÁSOS FELADAT - 2/2.



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
A feladat végső eredményének a mindenkor **legutolsó megoldás** számít.



Egy kitermelendő ólomérc test tömegének galenittartalma 7,8%. Hány tömegszázalék a kinyerhető fém tartalom?

Az értékeket százados pontossággal adja meg!

ércásvány (t%)	fém tartalom (t%)
7.8	
9.6	
17.5	
15.3	
22	

13.2	
18.5	
25.5	
8.2	
5.8	

SZÁMÍTÁSOS FELADAT - 2/3.



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
A feladat végső eredményének a mindenkori **legutolsó megoldás** számít.



Egy kitermelendő rézérc test tömegének kalkopirittartalma 1,9%. Hány tömegszázalék a kinyerhető fémtartalom?

Az értékeket százados pontossággal adja meg!

ércásvány (t%)	fém tartalom (t%)
1.9	
2.2	
1.4	
0.8	
3.3	
2.5	
1.7	
0.5	
0.95	
1.25	



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
 A feladat végső eredményének a mindenkori **legutolsó megoldás** számít.



Egy kitermelendő rézércetest tömegének kalkopirittartalma 0,9%, bornittartalma pedig 0,77%. Hány tömegszázalék a kinyerhető fémtartalom?

Az értékeket százados pontossággal adja meg!

ércásvány1 (t%)	ércásvány2 (t%)	fém tartalom (t%)
0.9	0.77	
1.2	0.5	
0.5	1.2	
0.77	0.9	
13	8	
0.1	0.8	
1.1	1.8	
7.5	2.3	
0.7	1.25	
1.8	0.1	



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
 A feladat végső eredményének a mindenkori **legutolsó megoldás** számít.



Egy kitermelendő rézércetestben pirit és kalkopirit fordul elő a szulfidásványok közül. Ha az érc szulfidtartalma 43%, és ennek 28%-a kalkopirit, mekkora az érc réz- és a vastartalma (tömegszázalékban)?

Az értékeket százados pontossággal adja meg!

szulfid tartalom (t%)	kalkopirit/szulfid (t%)	réz tartalom (t%)	vastartalom (t%)
43	28		

26	36.5		
33	59		
18	32		
58	13		
65	60		
68	12		
56	89		
85	5		
57	28		

BIBLIOGRÁFIA:

[i] Forrás: http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/photolib/vms/flinflon/index_e.php#rp

[ii] Forrás: <http://www.mindat.org/loc-29675.html>