

METAMORF KŐZETEK

A kőzetek ásványos összetételének, szerkezetének, szemcseméretének és kémiai összetételének szilárd fázisú megváltozása az eredeti kőzetképződési körülményektől eltérő fizikai és kémiai körülmények között.

A metamorfózis jelenségének osztályozása:

- földtani kiterjedés alapján,
- nyomás (p), hőmérséklet (T) és kémiai összetétel alapján.

Lokális metamorfózis

- termális (kontakt) metamorfózis, metasomatikus folyamatok,
- tektonikus (diszlokációs, kataklasztos) metamorfózis,
- sokk (impakt) metamorfózis.

Regionális metamorfózis

- betemetődési (buriális) metamorfózis,
- dinamotermális metamorfózis,
- óceánaljzati metamorfózis.

Fizikai körülmények a kéregben, a metamorfózis határai

A litoszférában a mélység növekedésével közel egyenletesen nő a litosztatikus nyomás. Mivel azonban a hőmérsékleti relaxáció a lemezek mozgásánál rendszerint lassabb folyamat, az *izotermák* számos esetben jelentősen torzult alakúak. Ezért a kéregben és a köpenyben változatos PT viszonyok alakulhatnak ki. A metamorf folyamatok tartományát a diagenezistől folyamatos határ választja el 150 ± 50 °C körül. A felső hőmérsékleti határt az olvadás definiálja. Magmás intrúziók környezetében már igen alacsony nyomáson metamorf átalakulás zajlik, míg gyors szubdukció során az alábukó lemez anyagának átalakulása akár 30-40 kbar nyomáson is történhet. A kéreg-köpeny határ kb. 10 kbar litosztatikus nyomással jellemezhető.

Metamorf reakciók

A litoszféra intenzív vertikális és horizontális mozgásai eredményeként a kőzetek a kéregben időről időre megváltozott mélységbe, azaz új PT viszonyok közé kerülhetnek. Kémiai anyaguk ekkor nem az új körülményeknek megfelelő (minimális energiájú) ásvány társaságban van, ezért át kell alakuljanak.

Fő típusai a

- polimorf (pl. andalúzit = szillimanit, kalcit = aragonit),
- az ioncsere (pl. biotit-gránát Fe-Mg),
- és a „net-transfer” (pl. albit = jadeit + kvarc) reakciók.

A reakciók között külön figyelmet érdemelnek a fluidum tartalmú reakciók pl.

- dehidratáció: muszkovit + kvarc = ortoklász + szillimanit + H₂O;
dolomit + 2 kvarc = diopszid + 2 CO₂)

Metamorf kőzetek szerkezete, szövete

A metamorf kőzetekben a nyomás és hőmérséklet-változás hatására kialakuló új ásványok geometria viszonyait elsősorban a tektonikai környezet által determinált irányított nyomási tér szabályozza. A metamorf kőzeteket ezért a jellemző ásványi összetétel mellett jellegzetes, rendszerint irányított szerkezet és szövet is jellemzi. Megnyúlt habitusú, egy irányba rendeződött ásványok (pl. amfibolok) határozzák meg a kőzet lineációját, míg a foliációt a táblás, lemezes megjelenésű szemcsék (pl. csillámok) definiálják. A jelentős csillámtartalmú csillámpala palás, míg – az alacsony csillámtartalom miatt – gyengén foliált gneisz gneiszes szerkezetű. A nem teljes mértékű rekristallizáció miatt a metamorf kőzetekben rendszerint együtt található az egymást követő deformációs fázisokra jellemző ásvány együtteseket, melyeket pre-, szin-, és poszt-kinematikus jelzővel illetünk.

Metamorf kőzetek kémiai osztályozása

Azt, hogy adott PT viszonyok mellett milyen ásványok, és ezen keresztül milyen metamorfitok keletkezhetnek, lényegében az eredeti kőzet (protolit) kémiai és ásványos összetétele határozza meg. A legfontosabb kémiai csoportok a kvarc-földpát kőzetek (savanyú magmatitok, törmelékes üledékek), a karbonátok, az agyagkőzetek, a metabázikus kőzetek, az ultrabázikus kőzetek, a mészsilikátok (márgák) és az egyéb, kisebb jelentőségű kőzet típusok.

Kvarc-földpát kőzetek (gneisz), karbonátok (márvány) metamorfózisa

A kvarc, és földpát dominanciájú kőzetek közé tartozik a gránit, a riolit és a legtöbb törmelékes üledékes kőzettípus (homokkő). Kémiaileg igen egyszerű rendszerek, a K, Al és a Si a legfontosabb kationok. Mivel ebben a rendszerben széles PT tartományban a kvarc, földpát és a csillámok a stabil ásványok, a fenti kiinduló kőzetek metamorfózisával keletkező gneisz is ezen fázisokat tartalmazza. Magmás protolit esetén ortogneiszről, üledékes protolit esetén paragneiszről beszélünk.

Hasonlóan egyszerű kémiai rendszer jellemzi a karbonátos kőzeteket (mészkő, dolomit – Ca, Mg, C), amelyek metamorf megfelelői a márványok szintén kalcit és dolomit ásványokból állnak.

Pelitek (csillámpala) metamorfózisa – Barrow zonáció

A pelites kőzetek kémiai összetétele (Si, Al, Mg, Fe, K, H) megfelelően komplex ahhoz, hogy eltérő PT viszonyok között (eltérő metamorf fokon) más-más ásványok jellemezzék az e protolitból kialakuló agyagpalát, fillitet és csillámpalákat. Széles PT ablakban fontos összetevők a kvarc, a földpátok és a csillámok (biotit, muszkovit), melyek mellett index ásványok jelzik a metamorf fok növekedését

klorit → biotit → gránát → staurolit → kianit → szillimanit

A metamorf fok növekedését követő ásvány zonációt Barrow ismerte fel. A metapelitekben meghatározók a Fe-Mg ioncserével járó folytonos reakciók is, melynek eredményeként új ásvány nem keletkezik, csak az egyes FeMg fázisok (pl. klorit, biotit, gránát) összetétele változik meg.

Metabázitok

Az andezit (diorit), bazalt (gabbró) metamorfózisával keletkezett kőzetek összetételére a Fe, Mg, Ca szilikátok dominanciája jellemző.

Mivel az eredeti magmás kőzetek H_2O -t lényegében nem tartalmaznak, és nagyon magas hőmérsékleten keletkeztek, alacsony hőmérsékletű metamorfózis során ásványai instabillá válnak, és OH-tartalmú fázisokká (zeolitok, prehnit, pumpellyit, epidot, klorit, aktinolit) alakulnak át (metabazalt, zöldpala).

További hőmérséklet emelkedés hatására fokozatos dehidratáció eredményeként alakul ki az amfibol, plagioklász (gránát) tartalmú amfibolit. Magas nyomáson a plagioklász földpátok hiánya és az alkáli amfibolok (kékpala), illetve gránát és omfacit megjelenése (eklogit) jellemző.

Mészsilikátok metamorfózisa

A karbonát és sziliciklasztos üledékek keveredésével kialakult márgák metamorf megfelelői a mészsilikátok.

Rendkívül bonyolult kémiai összetételüket (Si, Al, Fe, Mg, K, Ca, H, C) tovább bonyolítja, hogy a protolitot rendszerint H_2O és CO_2 tartalmú ásványok (pl. kaolinit, kalcit) alkotják. Ezért a márgák metamorfózisa komplex fluidum tartalmú reakciók sorozatán keresztül zajlik, amit – a megszokott PT változók helyett – rendszerint a $T-X_{CO_2}$ térben vizsgálunk. A legegyszerűbb kvarc – kalcit – dolomit rendszer metamorfózisa eredményeként tremolit és diopszid (esetleg forsterit) tartalmú márvány alakul ki.

Migmatit, anatexis

Megfelelően magas hőmérsékleten a kőzetek parciálisan olvadni kezdenek. Legjellemzőbb folyamat a csillámpalák és gneiszek esetében végbemenő dehidratáció, amely H_2O -telített rendszerben eutektikushoz közeli összetételű gránit olvadékot eredményez. A kismennyiségű olvadék rendszerint nem tudja elhagyni a kiinduló kőzetet, így jellegzetes kevert kőzet, migmatit keletkezik.

Fő részei az olvadékból kristályosodott, főleg világos alkotókból álló leukoszom, és a meg nem olvadt ásványokat tartalmazó melanoszom.

Lokális metamorfózis

- termális (kontakt) metamorfózis, metasomatikus folyamatok

Sekély mélységű magmás intrúziók környezetében a lokálisan megemelkedett hőmérséklet hatására a mellékkőzet metamorf átalakulást szenvedhet. A kialakuló kontakt udvar mérete néhány métertől 1-2 km-ig terjed, s a mellékkőzet anyaga mellett függ a mélységtől, a magmás test méretétől, anyagától, a fluidum mennyiségétől is. A térben és időben folyamatosan lecsengő hőhatás horizontálisan akár $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ gradienst is elérhet. Különösen jellemző agyagkőzetek és karbonát kőzetek kontakt átalakulása, mely **szaruszirt**, illetve **szkarn** kőzetek képződésével jár, melyek jellegzetesen aprószemcsés, nem palás képződmények. A kontakt metamorf folyamatokat a posztmágmás fluidumok pneumatolitos és hidrotermális metasomatikus hatása bonyolítja.

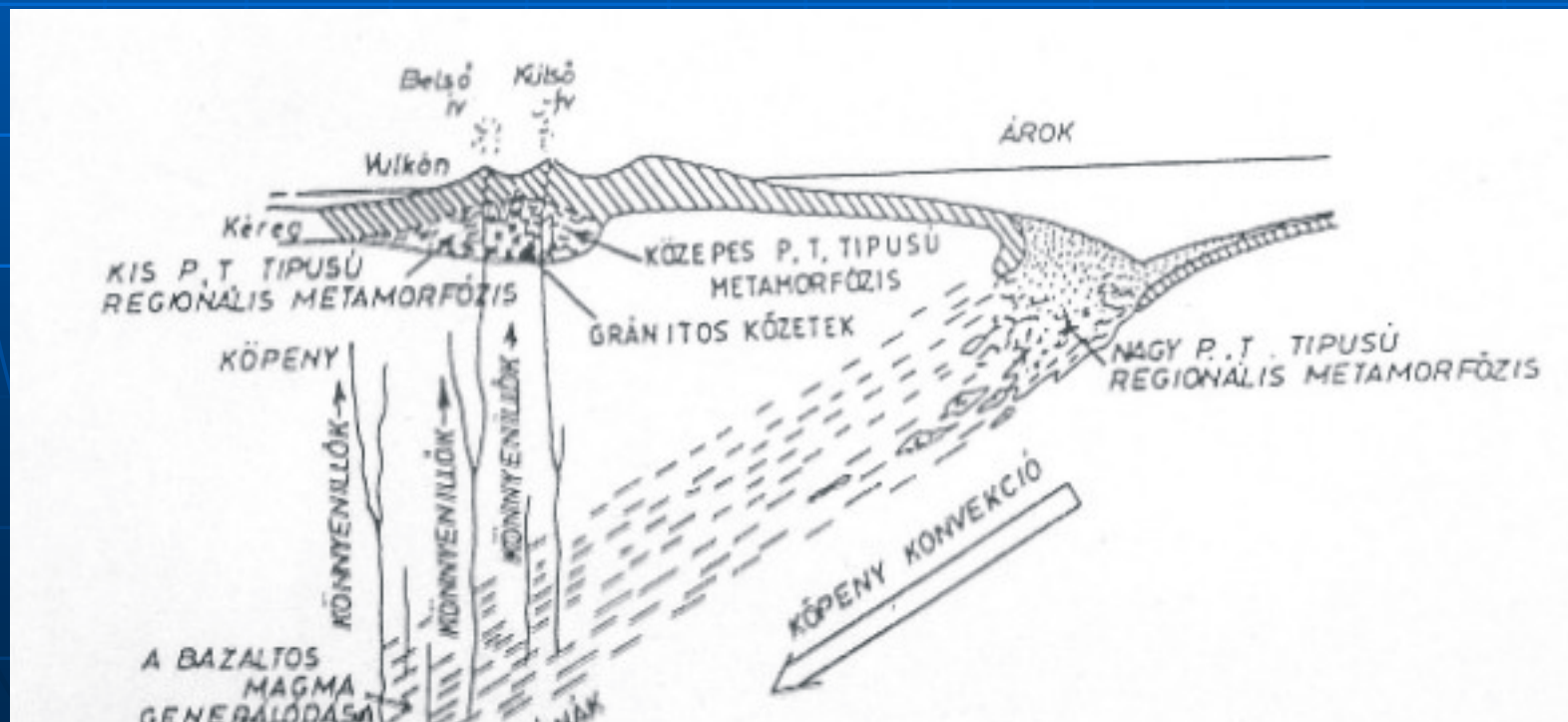
- tektonikus (diszlokációs, kataklasztos) metamorfózis

Tektonikus övezetekben a mélység függvényében deformált kőzetek, tektonitok jönnek létre. A mélység felé haladva a jellemző kőzet típusok a vetőbreccsa, a kataklázit és a milonit. Utóbbi igen jól irányított, plasztikusan deformált kőzet.

Regionális metamorfózis

Dinamotermális metamorfózis

A nagy területen ható regionális metamorf folyamatok alaptípusai az orogén-, az óceánaljzati- és a betemetődéses metamorfózis. Szűk értelemben regionális metamorfózisnak az orogén metamorf átalakulásokat értjük, melyeket hosszú ideig fennálló dinamikus környezet, több egymást követő deformációs fázis, 150-1100 °C hőmérséklet, 2-30 kbar nyomás és 5-60 °C/km hőmérsékleti gradiens jellemez. A regionális metamorf kőzeteket rendszerint irányított szövet jellemzi.

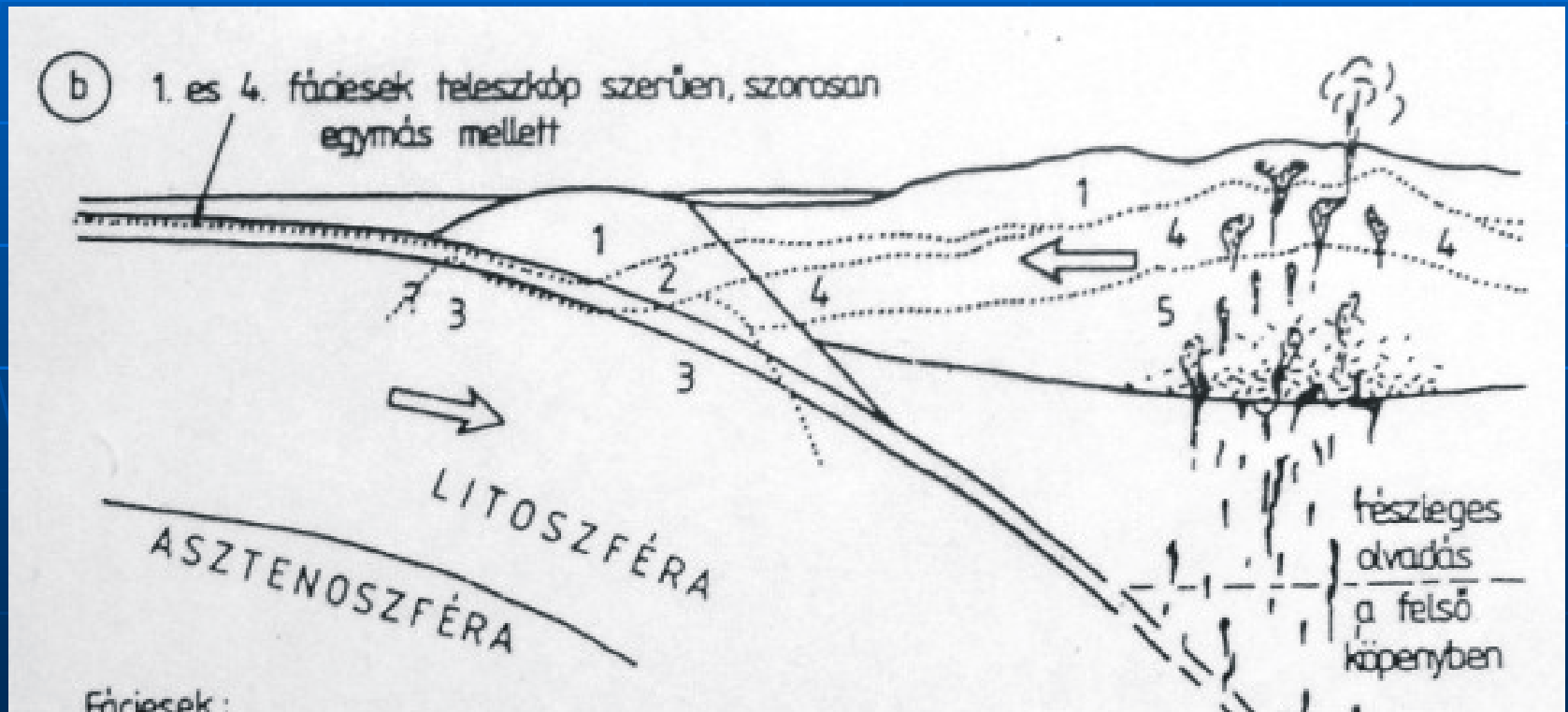


Betemetődési (buriális) metamorfózis

Süllyedő medencék üledékei és vulkáni kőzetei a diagenézist követően fokozatosan metamorf viszonyok közé kerülnek. A mélység miatt megemelkedett P T következtében a kémiai rendszernek megfelelő metamorf ásványok rendszerint megjelennek, de az izotróp nyomási térben irányított szövet (pl. paláság) nem alakul ki, a kőzetek eredeti szövete, szerkezete meg tud őrződni. Az óceáni lemezt alkotó bázikus és ultrabázikus kőzetek az óceánközépi hátság tágabb környezetében a megemelkedett hőmérsékleti gradiens ($50\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$) miatt közepes hőmérsékleten ($< 500\text{ }^{\circ}\text{C}$) és alacsony nyomáson ($< 3\text{ kbar}$) átalakulnak. A keletkezett metamorfitok az izotróp nyomási térnek megfelelően nem irányított szövetűek. Az óceánaljzati metamorfózis lényeges eleme a kőzet és a konvektív áramlással mélybe jutó tengervíz közötti cserereakció is, aminek következtében a kőzet kémiai összetétele megváltozik (nyílt rendszer), ásványai hidratálódnak. Az eredeti magmás kőzetekből metabazalt, szerpentinit képződik.

Eskola-féle fácies rendszer

A metabázikus kőzetek stabil ásvány-paragenezisein alapuló osztályozási rendszer. Alapja a fácies (arcuat), amely azonos kémiai összetétel (bazalt) esetén kialakuló azonos ásványi összetételt jelent. Az egymást követő fáciesek eltérő PT viszonyokat jeleznek meglehetősen széles PT ablakban.



1. zeolit, 2. pumpellyit, 3. kékpala, 4. zöldpala, 5. amfibolit

Winkler, H. a regionális metamorfózist kritikus ásványok, ásvány-együttesek alapján négy fokozatba osztotta:

- 1. Nagyon kislefokú metamorfózis (anchimetamorf zóna):** zeolitok; palásság nem alakul ki. Makroszkóposan nem különböznek a premetamorf kőzettől.
- 2. Kislefokú metamorfózis:** zoizit, biotit, muszkovit, hornblende megjelenése, a zeolitok eltűnése. A kőzet palás.
 - agyagpala, fillit, kloritpala, metabazalt, serpentinit, csillámpala (biotit, muszkovit, kvarc, földpát), kristályos mészkő (dolomit).
- 3. Közepes fokú metamorfózis:** kordoerit, staurolit, szillimanit megjelenése, a kloritfélék eltűnése.
 - csillámpala (+gránát, staurolit, kianit, szillimanit, ± ortoklász, mikroklin), gneisz, amfibolit, kvarcit.
- 4. Nagylefokú metamorfózis:** káliföldpátok; parciális olvadás; regionális hipersztén öv: eklogit.
 - gneisz (káliföldpát porfiroblasztok), granulit, eklogit.

Irodalom

Pápay, L.

Kristályok, ásványok, kőzetek, 313-344

Szederkényi, T.

Ásvány-kőzettan, 97-109