

3.1.1. Az üledékes ciklus (mállás – szállítás – lerakódás – diagenezis)

Felszíni, felszín közeli fizikai és kémiai viszonyok között (O_2 , H_2O jelenléte, alacsony P, T, változatos pH) a kőzetek egyensúlyi ásványtársulásai, jellemző szerkezetei lényegesen eltérnek akár a magmás, akár a metamorf kőzetekéitől. Az üledékes kőzetek kialakulása az *üledékes ciklus* eredménye, melynek állomásai a fizikai és kémiai mállás során keletkezett üledék szállítás, majd megfelelő csapdázódási feltételek mellett történő lerakódása, és végül az üledék kőzetté válása (diagenezise).

3.1.2. Fizikai és kémiai mállás

A felszínközeli jutott kőzetek a külső erők (hőmérsékletingás, szél, jég, víz mechanikai hatása stb.) hatására apróbb darabokra törnek, aprózódnak. Az aprózódás (*fizikai mállás*) csak vékony rétegben érvényesül a Föld felszínén, kémiai, ásványtani változással nem jár. A kémiai egyensúlyra törekvő kőzetek alapvetően vizes közegben történő átalakulása a *kémiai mállás*, amely eredményeként akár több száz méter mélységig új ásványi összetétellel jellemezhető kőzetek alakulnak ki. A kémiai mállás rendszerint kétlépcsős folyamat, *oldódás*, majd *kicsapódás* egymásutánját jelenti. Jelentős mennyiségű víz (víz/kőzet arány nagy) esetén a mállás során oldatba kerülő komponensek egy része eltávozik (nyílt rendszer), másik része viszont helyben marad, s új ásványokat alkot. Ekkor *reziduális* mállási típusról beszélünk. Ha a mállás mélyreható törések mentén, beszivárgással játszódik le (víz/kőzet arány alacsony), *infiltrációs* típusú a mállás.

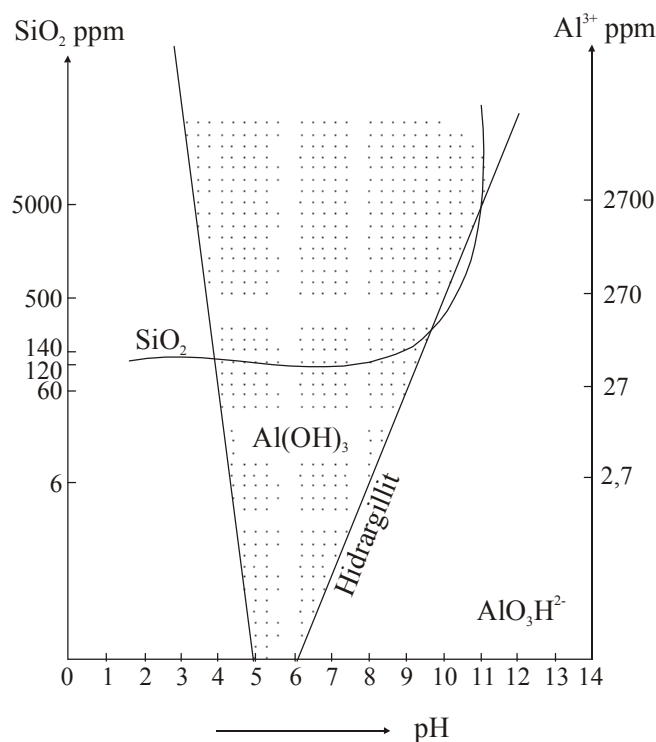
3.1.3. Kémiai mállás feltételrendszere (ásványok stabilitása, ionok oldhatósága, pH – Eh diagramok)

Valamely ásvány kémiai mállással szembeni ellenálló képessége a *hidratációja* során felszabaduló energiamennyiségtől függ. Minél nagyobb ez az energiamennyiség, annál intenzívebb a mállás. A mállás során keletkező oldatból kristályosodó új ásványok minőségét a rendelkezésre álló elemtartalom mellett az egyes ionoknak a pH-tól függő oldhatósága, valamint az adott környezet Eh – pH viszonyai határozzák meg.

3.1.4. Szilikátok mállása I.

A legfontosabb szilikát ásványok mállási sorozata lényegében megegyezik a Bowen-sorral, azaz a színes szilikátok növekvő ellenállás szerinti olivin – piroxének – amfibolok – biotitok sorozatával párhuzamosan a plagioklászok növekvő albit tartalommal mutatnak egyre

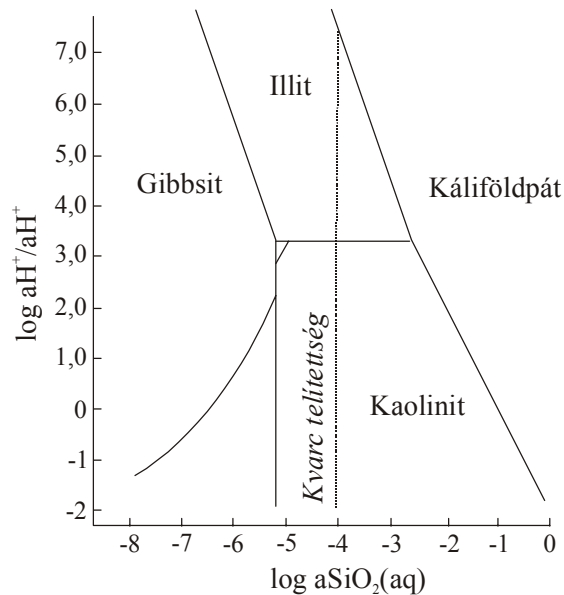
nagyobb mállással szembeni ellenállást. A legkevésbé mállékony szilikát fázisok a káliföldpátok, a muszkovit és a kvarc. Komplex szilikát rendszerekben a mállás során a különböző ionok rendszerint fokozatosan változó koncentrációban vannak jelen, változatos stabil ásvány konfigurációt eredményezve. Mivel *semleges* pH tartományban az Al és a Si hasonlóan rosszul oldódik, a leggyakoribb fázisok – a kémiai elemháztartástól nagymértékben függő – agyagásványok lesznek. *Savanyú* pH tartományban – az Al igen jó oldhatósága miatt – elsősorban SiO_2 ásványok keletkeznek, míg *lúgos* pH-n a Si oldódik jól, ami az $\text{AlO}(\text{OH})$ és $\text{Al}(\text{OH})_3$ ásványok keletkezésének kedvez.



3.1.5. Szilikátok mállása II.

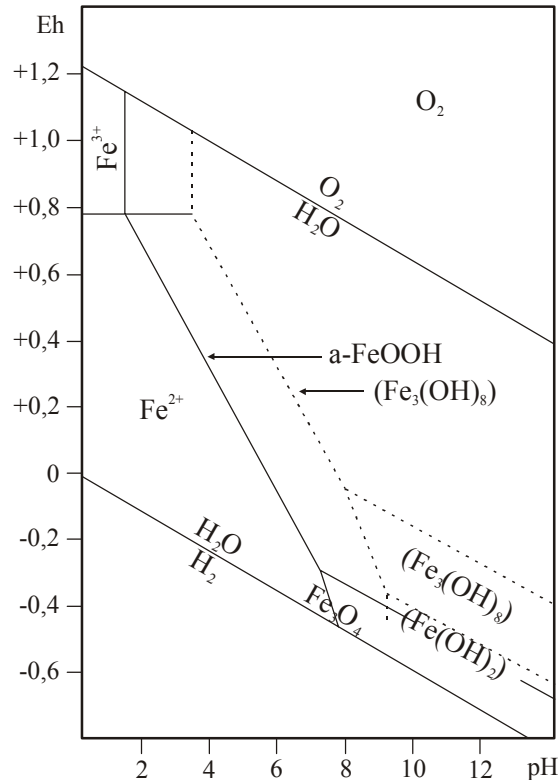
A legtöbb szilikát ásvány mállása inkongruens folyamat, azaz az oldódó és kicsapódó fázisok eltérnek egymástól. Például az igen gyakori káliföldpát oldódása során keletkező egyszerű és komplex ionok közül – semlegeshez közeli pH esetén – a legrosszabbul az $\text{Al}(\text{OH})_3$ oldható vízben, azaz a mállás eredménye gibbsit lesz. További földpátoldódást, és gibbsit kiválást feltételezve, az oldat SiO_2 tartalma fokozatosan nőni fog addig a pontig, amíg gibbsit és adott Si-aktivitású oldat egyensúlyban maradhat egymással. Ezután a Si beépül az ásványrácsba, és agyagásvány (kaolinit) keletkezik. Amennyiben a reziduálisan felhalmozódó

K^+ szintén el tudja érni a kritikus koncentrációt, lehetőség nyílik illit kristályosodására is. Ez utóbbit a nyílt rendszerben történő permanens vízáramlás akadályozhatja meg.



3.1.6. Oxidációs, cementációs folyamatok (szulfidok mállása)

Szulfidos érctelepek felszíni kibukkanása esetén a levegő oxigénje, a csapadékvíz, valamint a szulfidok reakciója révén a primer szulfidásványok alkotói oldatba kerülnek. Ez az *oxidációs zóna*. A fémionok oldhatóságuk függvényében eltávoznak a rendszerből, míg a vas oxidos, hidroxidos formában, helyben kicsapódik (ún. „vaskalap”). A szulfid ásványok oxidációja során keletkező kénsav hatására alacsony pH-jú oldatba kerülő elemek egy része ionos formában elszállítódik az üledékgyűjtőbe, míg másik része a mélybe szivárog. A talajvízszint határán a még érintetlen szulfidok redukáló hatására az oldott ionok vagy elemi állapotban, vagy új szulfidfázis képződése mellett kicsapódnak (*cementációs zóna*).



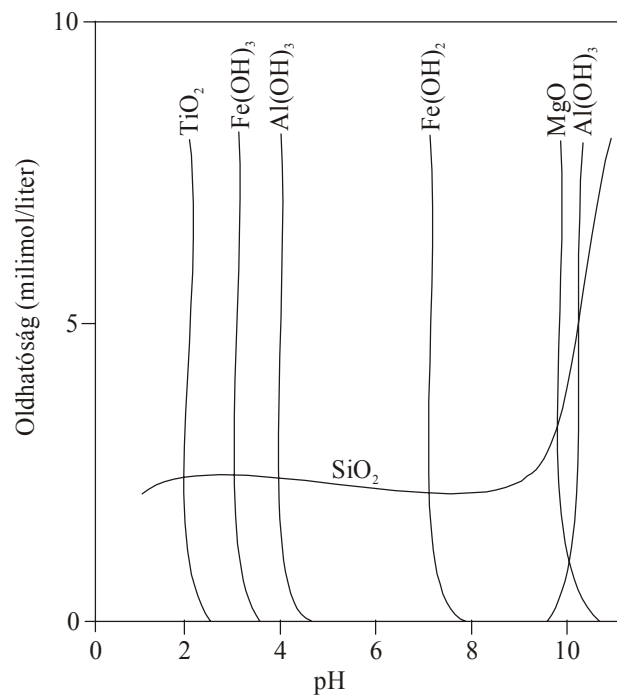
3.1.7. Az üledékanyag szállítása – gravitáció, szállító közeg (szél, víz, jég)

A fizikai és kémiai mállás eredményeként kialakult málladék vagy gravitációs hatásra (pl. lejtőtörmelék), vagy szállító közeg segítségével kerül az üledékgyűjtőbe. A legfontosabb *szállító közegek* a szél, a víz (álló, vagy folyóvíz) és a jég. Az általuk szállított üledék szemcsemérete, osztályozottsága alapvetően szállítási energiájuktól függ. Legnagyobb szállítási energiája miatt a jég rosszul osztályozott, széles mérettartományba eső szemcsét képes szállítani. A folyóvíz mérettől függően görgetve, ugráltatva, lebegtetve, vagy oldott állapotban szállít a szemcseméret és a víz energiájának függvényében. A szél szállító tevékenysége főleg arid klímán érvényesül, és kizárólag a legfinomabb, jól osztályozott szemcsetartományra terjed ki.

3.1.8. Az üledékanyag lerakása – fizikai, kémiai gát (energia, pH, redox, oldhatóság, biokémia)

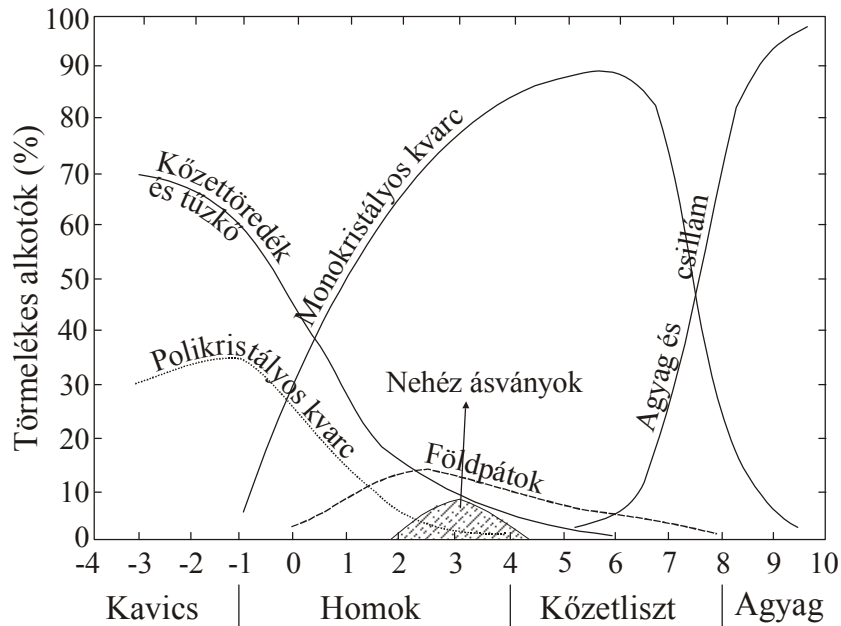
Szállítóközegtől függetlenül az üledékanyag lerakása valamilyen fizikai (energia), geokémiai (pH, redox, oldhatóság), esetleg *biogeokémiai gáton* történik egyszerű felhalmozódással, leülepedéssel (lebegtetett szemcsék esetén), vagy kicsapódással (oldott anyagok esetén). A kőzeteket alkotó *főelemek* (Si, Al, Fe, Mg, stb.) és számos *nehézfém* (Cu,

Zn, Pb, stb) oldhatósága jelentős mértékben *pH függő*. A redox viszonyok elsősorban a vegyértékváltó fémek (Fe, Cr, U, As, stb.) oldhatóságát, s így kicsapódását befolyásolják. Adott földtani gáton az üledékanyag egy része lerakódik, míg a többi rész tovább szállítódik. Az üledékes rendszerek ezért rendszerint *nyílt rendszerként* vizsgálhatók.



3.1.9. A szállítás hatása az üledékanyag összetételére (érettség, nehéz ásványok feldúsulása, stb.)

Szállítás közben az egyes szemcsék mérete csökken, így az egyes ásványok mennyisége fizikai és kémiai ellenállóságuknak megfelelően változik. A mállásnak ellenálló, kemény, rosszul hasadó szemcsék (közetszemcsék, majd ellenálló ásványok, mindenekelőtt a kvarc és a nehézásványok) relatív feldúsulnak, míg az intenzíven málló (pl. színes szilikátok), puha (pl. karbonátok), jól hasadó (pl. földpátok) fázisok fokozatosan eltűnnek az üledékből. Természetesen szintén nő a felszínen stabil állapotba jutott ásványok (agyagásványok) szerepe. Valamely üledék érettségét a különböző ellenálló képességű alkotók arányával (pl. kvarc/földpát) definiálhatjuk.



3.1.10. Diagenézis, cementáció

A *diagenézis* mindazon folyamatok összessége, amelyek az üledékekre hatnak a leülepedés után egészen a metamorfózis kezdetéig, s amely eredményeként a laza üledékből üledékes kőzet alakul ki. A süllyedő üledékgyűjtőkben az üledékek betemetődnek, a rájuk ható P és T növekedni kezd. A porózus üledékanyag pórus térfogata csökken, az üledék egyre tömörebb lesz, ez a *kompakció* jelensége. A kompakció mértéke függ a törmelékszemeség alakjától és osztályozottságától, valamint a szemcsék relatív helyzetétől. A diagenézis során kiemelkedő szerepe van a pórusokban tárolódó, onnét fokozatosan kipréselődő víznek, mely az üledékanyaggal reakcióba lépve hozza létre a *cement ásványokat*. A cementáció során a pórustérben a helyi fizikai, kémiai viszonyoknak (P , T , pH , Eh), valamint a pórusvíz összetételének függvényében leggyakrabban kvarc, kalcit, agyagásványok, hematit, ritkábban egyéb ásványok (zeolitok, barit, anhidrit, stb.) válnak ki. A cementációban jelentős lehet az *autigén fázisok* szerepe, melyek a rendelkezésre álló szemcsék közötti ásványreakciók során keletkeznek. Ilyen folyamat például a montmorillonit emelkedő hőmérséklet hatására történő fokozatos átalakulása illitté.

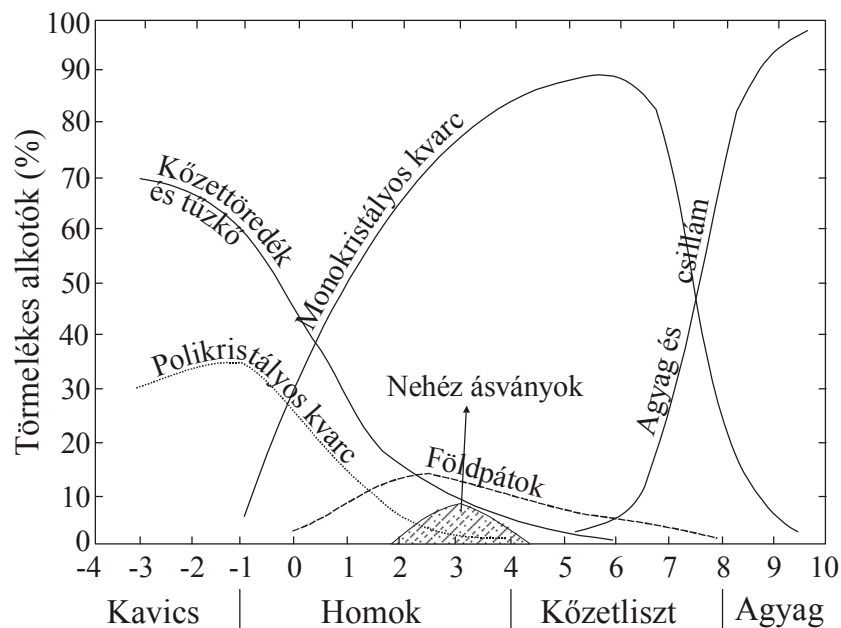
3.2.1. Az üledékes kőzetek rendszere

Az üledékes kőzetek osztályozásának számos megközelítése lehet. A genetikai jellegű osztályozási rendszerek az *üledékképződési környezet* jellegét (pl. ártér, folyó delta, sivatag, lagúna, stb.) veszik figyelembe. A kőzettani jellegű megközelítés során a *szemcsék*, a *mátrix*, illetve a *cementanyag* összetétele a döntő. Ez alapján az alábbi fő csoportokat különböztethetjük meg: törmelékes, allit-sziallit, kemogén, biogén és piroklasztikus üledékes kőzetek.

Erőtér	Fő folyamat	Kőzetcsalád	Fő típus	Típus	Szemcseméret (mm)	Fő ásványok		
Exogén	Fizikai mállás (aprózódás)	I. Törmelékes kőzetek (klasztitok)	1. Durvatörmelékes kőzetek (pszefitek=ruditok)	Breccsa, konglomerátum	>2,0	Kvarc, csillám földpát stb.		
			2. Homokkővek (pszammitok=arenitek)	Homokkő	2,0-0,06			
			3. Finomtörmelékes kőzetek (pélitek=lutitok)	Aleur(ol)it	0,06-0,002			
	Kémiai mállás kolloidokkal				Agyagkőzetek (argillitek, sziallitok)	<0,002	Agyagásványok	
					Márgák		+ karbonátok	
					Allitok		Bauxitásványok	
	Szin- vagy posztszedimentációs vegyi folyamatok valódi oldatokkal és/vagy biogén közvetítéssel	II. Vegyi és biogén kőzetek (kemolitok, akasztobiolitok)	4. Karbonátos kőzetek	Mészkö, dolomit			Aragonit, kalcit, dolomit, magnezit	
			5. Sókőzetek (evaporitok)	Kloridok, szulfátok, borátok, stb.			Kósó, szilvin, anhidrit gipsz, kálisók	
			6. Kovaüledékek	Tűzkő, kovapala, diatomit, radiolarit			Opál, kalcedon, kvarc	
			7. Üledékes vaskőzetek	Oxidos Karbonátos Szilikátos Szulfidos	} vas- ércsek			Hematit, goethit, Ankerit, sziderit Berthierin Pirit, markazit
			8. Mangános kőzetek					Mangánoxidok és Mn-hidroxidok, Mn-karbonátok
9. Foszforitok			Foszforit, guanó			Foszfátok		
Biogén anyagok átalakulása	III. Szerves kőzetek (klausztobiolitok)	10. Szénkőzetek	Lignit Barnakőszén Feketekőszén Antracit					
		11. Szénhidrogének	Földgáz Kőolaj Olajpala Kátrányhomok					
Endo- és exogén	Vulkáni működés, szállítás, mállás	Ia. Vulkano-klasztitok	Durvaszemű	Piro- klasztiku- mumok	Vulkáni breccsa, agglomerátum (konglomerátum)	>64	Kvarc, vulkáni üveg, különböző magmás és agyagásványok	
			Vegyese		Lapillis tufa, tufás agglomerátum	<2-64		
			Finomszemű		Vulkáni tufa és tufit	<2		

3.2.2. Törmelékes üledékes kőzetek

Alapvetően fizikai mállással keletkezett kőzettípusok, részletes elkülönítésük a szemcse méret, a diagenizáltság foka, és a szemcsék anyaga alapján történik. Amennyiben dominánsan egyféle szemcse alkotja *monomikt*, több jellemző szemcseanyag esetén *polimikt* az üledékes kőzet. A *pszefitek* (durva törmelékes kőzetek, vagy ruditok) esetében a szemcsék átmérője meghaladja a 2 mm-t (2-20 mm – finom kavics; 2-20 cm – durva kavics; > 20 cm – görgeteg). Jellegzetes képviselője a *breccsa*, mely szögletes szemcsékből áll, rendszerint nagyon rövid szállítási távolságra utalva. Ennek megfelelően reziduális üledékként, lejtőtörmelékként gyakori. A *konglomerátum* jól kerekített, folyóvízi, vagy tengeri kavics üledék diagenéziséből keletkezik. A *pszammitok* (finom törmelékes kőzetek, homokok) szemcsemérete 0.06-2 mm között változhat, megkülönböztetünk finom-, közép-, és durvaszemű homokot, illetve homokkövet. A kőzetliszt (*aleurit*) szemcsemérete 0.06-0.005 mm közötti érték, jellemzően kvarc szemcsék alkotják. Diagenizált változata az aleurolit. Speciális genetikai helyzetekben keletkező aleurolit típus a lösz, melynek szél által szállított polimikt szemcséit kalcit cementálja.



3.2.3. Allitok, sziallitok

Szilikátos kőzetek kémiai mállásának eredményeként keletkező üledék, illetve üledékes kőzet típusok. Semlegeshez közeli pH-tartományban a mállás végtermékei különböző agyagásványokból álló agyagkőzetek (*pelitek*). Lúgos pH-n, ahol a Si oldhatósága

nagyságrendekkel meghaladja az Al-ét *allitok* keletkeznek, laterit és bauxit jellegzetes üledékes kőzet típusokkal. Lúgos pH kialakulására egyrészt a trópusokon van lehetőség, ahol az intenzív mállás (humid éghajlat, magas hőmérséklet) miatt oldatba kerülő alkáli, és alkáli földfémek pH-növelő hatását a gyorsan elbomló szerves savak nem képesek kompenzálni. Mérsékelt égövön lúgos pH kialakulására karbonátos területek mállása során (*karsztosodás*) van lehetőség, mivel a kalcit bomlása gyenge sav ($H_2(CO_3)$) – erős bázis ($Ca(OH)_2$) típusú reakció. A laterit és a bauxit gyakori vörös színét az Al-hoz hasonlóan immobilis viselkedésű Fe^{3+} ásványok okozzák.

3.2.4. Kemogén üledékes kőzetek I.

Valódi vizes oldatokból a megfelelő geokémiai/biokémiai gáton kicsapódó, majd lerakódó üledékek, illetve üledékes kőzetek csoportja. Legfontosabb képviselői a karbonátos üledékes kőzetek, mindenekelőtt a mészkő, mely biogén, esetleg abiogén eredetű kalcit, vagy aragonit szemcsék felhalmozódása, majd diagenézise révén keletkeznek. Legnagyobb mennyiségben tengeri mészvázú élőlények vázelemeiből jön létre, de szárazföldi környezetben is képződhet (pl. édesvízi mészkő, cseppkő). Mésziszap Mg-metaszomatózisával keletkezik a dolomit tengerparti, lagunáris környezetben. Mésziszap és agyag, mint szélső tagok közötti átmeneti kőzettípusok a *márgák* (mészmárga, agyagmárga).

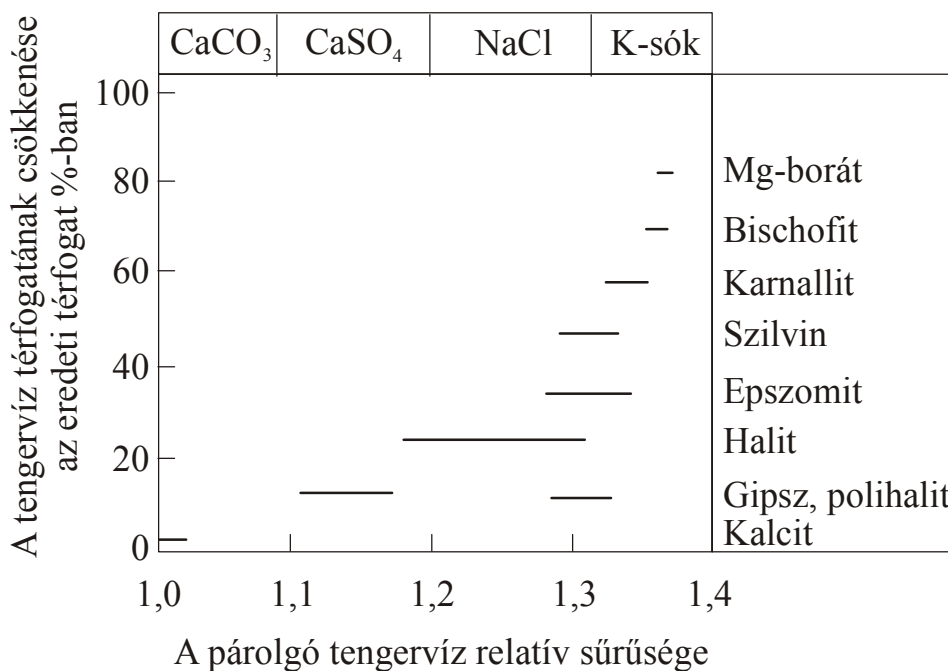
3.2.4. Kemogén üledékes kőzetek II.

A kovaüledékek a vízben oldott SiO_2 -tartalom rendszerint biogén közvetítésű (pl. sugárállatkák – radiolarit, kovamoszatok, kovaszivacsok, stb.) felhalmozódási formái, abiogén eredetű kovaüledék pl. a *gejzirit*. A vízben oldott kovatartalom háttérében általában vulkáni aktivitás áll. Mivel a kovavázú élőlények bioaktivitása – még ezeken a helyeken is – nagyságrendekkel a karbonát vázúak alatt marad, kovaüledékek jelentős mennyiségű felhalmozódásának feltétele a kalcit jó oldhatósága. Ez a feltétel mély tengerekben, a *karbonát kompenzációs szint* alatt adott, ahol – a helyi fizikai, kémiai viszonyoknak megfelelően – a karbonát üledékek nem tudnak felhalmozódni.

3.2.6. Kemogén üledékes kőzetek III.

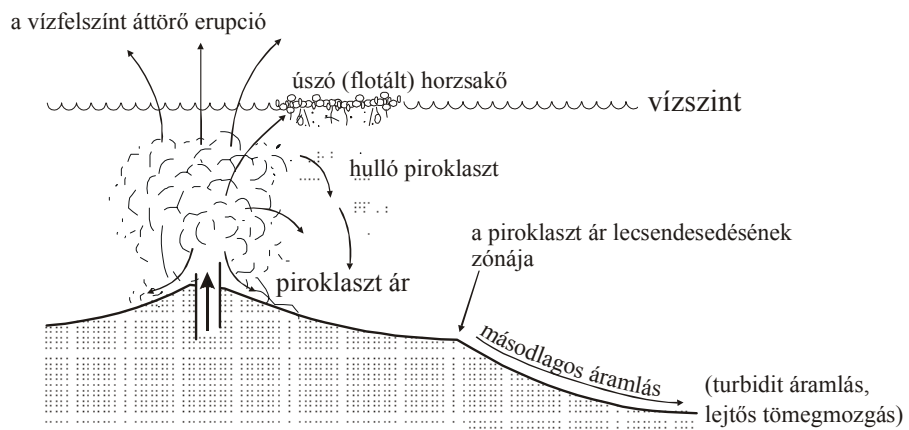
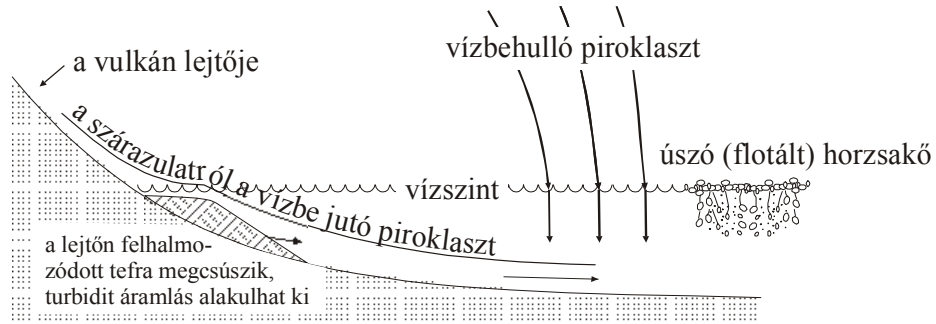
Bepárlódó tengeröblökben, szárazföldi lefolyástalan sós tavakban, a vízben oldott sók oldhatósági sorozatának megfelelően kicsapódnak a kalcit, anhidrit, gipsz, halit, és esetenként a különböző K-, és Mg-sók (pl. szilvin, epszomit), valamint a borátok (12. ábra). Amennyiben

az így kialakuló *evapori* telepet pl. agyagréteg befedi, az megőrződhet a visszaoldódástól. Mind szárazföldi, mind tengeri környezetben megfelelő összetételű oldatok és Eh, pH viszonyok esetén lehetőség van Fe-, Mn-tartalmú üledékek kialakulására. A foszfát üledékek általában szerves eredetűek (pl. guanó, foszforit).



3.2.7. Piroklasztitok, hidroklasztitok

A magmás és az üledékes kőzetek között képeznek átmenetet a különböző *piroklasztikus* és *hidroklasztikus* kőzetek, melyek a vulkáni működés eredményeként keletkezett por, lapilli, tömb méretű vulkanit anyag és különböző üledékek (pl. homok, agyag, stb.) keveredésével keletkeznek. A piroklasztitok szubaerális, míg a hidroklasztitok szubakvatikus vulkáni működéshez kapcsolódnak. Utóbbi esetben gyakori a gyors lehűlés következtében kialakuló kőzetüveg (*hialoklasztit*) jelenléte, jelentős az intenzív mállás (*halmirolízis*) szerepe. Mindkét alcsoport fő kőzettípusai a vulkanit részarányának megfelelően a *tufa* (> 75%, pl. riolittufa), a *tufit* (> 25%, pl. andezit tufit) és a tufás kőzet (< 25%, pl. dácit tufás homokkő).



Uralkodó szemcseméret (mm)	Piroklasztitok	Tufitok	Vulkáni és/vagy nem-vulkáni epiklasztitok
64,0	Agglomerátum Piroklasztos breccsa	Tufás konglomerátum, ill. breccsa	Konglomerátum, breccsa
2,0	Lappillis tufa	Tufás homokkő	Homokkő
0,625	Durva portufa	Tufás aleur(ol)it	Aleur(ol)it
0,004	Finom portufa	Tufás agyagkő és agyagpala	Agyagkő, agyagpala

Piroklaszt: 100% ← 75% ← 25% ← 0%

Epiklaszt: 0% → 25% → 75% → 100%