

A BALATONVIDÉKI BAZALTOK ZEOLITJAINAK KÉPZŐDÉSÉRŐL

SZÁDECZKY-KARDOSS ELEMÉR—ERDÉLYI JÁNOS*

Összefoglalás: A balatoni bazaltok hólyagüregei zeolitos ásványtársaságának közelítő kristályosodási sorrendje a következő: kalcit I, gmelinit, klorit, phillipsit, chabasit, analcim (?), dezmin és thomsonit, nátrólit, mezoilit, skolecit, (apofillit?), kalcit II, aragonit. Ez a kristályosodási sorrend hasonló más előfordulásokon, többek közt hazai és külföldi andezites, gránitos előfordulásokon és az alpi kristályospalak hasadékaiban megfigyelhető sorrendhez. Általában először a kockás és leveles, utána a rostos zeolitok kristályosodnak. Előbbiekben az $Al_2O_3 : SiO_2$ arány nagyobb, utóbbiakban egyenlő vagy kisebb 1,5-nél. Ez a vegyületpotenciál csökkenésére utal a kristályosodás folyamán. (A zeolitok vegyületpotenciáljai pontosan nem számíthatók, hozzávetőleg 1,2–1,3 körül ingadoznak.) A balatoni bazaltok hólyagüregei zeolitjainak képződési hőmérséklete túlnyomórészt 100–70 °C körülnek adódik. A zeolitok itt nem aszcendens magmás hidrotermális oldatokból képződnek, hanem a bazalt lávaomlás idején még nagy víztartalmú agyagokból az izzón folyó láva által felszabadított vízgőz hatására keletkeztek. Ezért legintenzívebb a zeolitosodás a bazaltban levő (kontaktosodott) agyagásványok mellett, viszont a nedvességben szegény aljzatra ráfolyt bazaltokban (Kabhegy, Dabas, Nógrádi bazaltok) nem, vagy alig van zeolitképződés. E képződési mechanizmusnak az agyagásványok képződése és az elemigráció irányának meghatározása szempontjából is következményei vannak.

A hazai bazaltok zeolitos ásványtársasága genetikájáról kevés adatunk van. Nem tisztázott, hogy milyen hatás teszi lehetővé a tömör lávatakaró zárt üregeiben a zeolitos ásványtársaság kristályosodását. Nem tudjuk, miért van egyik bazaltban sok, a másokban kevés zeolitos ásványfajta. K o c h S. [1] utalt arra, hogy a zeolitok elemei szoros kapcsolatban állnak a bazaltos anyagok kémiai összetételével. Ez kitűnik már M a u r i t z B. közetani vizsgálataiból [3], mely szerint a Tátika-csoport bazaltjaiban a zeolitok már közetalkotóként is megjelennek. De hogyan történik az üregek zeolitjait alkotó elemeknek a kioldódása a kőzetből? Elképzelhető-e egy a nagy mélységből jövő felszálló oldatrendszer hatása, amikor a láva kiterjedésének nagyrésze alatt nincs is folytatása a magmának? Fenntartható-e ily körülmények között az az elképzelés, hogy „a vulkáni tevékenység legvégén a láva részbeni megszilárdulása után visszamaradt anyalúg a hévizek alakjában feltörő forró oldatok... hidrotermális folyamatokat, metasomatózist hoztak létre”? Vagy talán közvetlenül a bazalt kristályosodása előtt lerakódott, még nagy víztartalmú üledékekből felszálló magmás, esetleg kristályosodás közben és közvetlenül utána ráarakódó üledékekből, illetve a lerakódó közegekből leszálló víznek hatásával állunk szemben?

1. Első és a továbbiakat is némileg megvilágító kérdés a balatonvidéki bazaltok zeolitos ásványtársaságának képződési sorrendje, amelyet nagyrészt M a u r i t z t ó l [2] származó — K o c h által is közölt — adatok alapján vizsgálunk.

* Egyikünk (Sz. K. E.) K o c h Sándor professzor Magyarországi ásványai c. akadémiai doktori értekezésének opponensi véleményében 1956. október 11-én az irodalmi adatok kritikai mérlegelése alapján fejtegette ki az alábbi feltevéseket a Balaton vidéki zeolitok képződési sorrendjéről és azok üledékesen meghatározott eredetéről. Másikünk (E. J.) az előfordulásokra vonatkozó megfigyelési alapján új adatokkal fejlesztette tovább és helyezte szilárd alapokra e felfogást.

A balatonvidéki bazaltok üregeinek leggyakoribb zeolitja, a phillipsit, túlnyomóan kétségtelenül viszonylag korai ásványa az üregeknek. Korai kristályosodását mutatja az, hogy többnyire közvetlenül az üreg falaira települ és hogy közvetlen kapcsolatban áll a „pneumatolitos szakaszba” sorolt bazaltos augit kristályosodásával (Kovácsi hegy), valamint az is, hogy apatit-zárványkákat is tartalmaz. A phillipsitnél idősebb ásvány jelentkezik a Halyagoson szkalenóederes kalcit alakjában, a Gulácson sárga romboéderes kalcit, a Sághegyen — ahol főleg csak a pneumatolitosnak tekintett ásványok jelentkeznek ez üregekben — a gmelinit és klorit alakjában. A gmelinit viszont némelykor az idős kalcitnál fiatalabbnak mutatkozik (Halyagos). Az eddigi irodalmi közlésektől eltérően az aragonitnak a phillipsitnél idősebb volta nem állapítható meg, mert az aragonitot tartalmazó üregekben zeolitok nem észlelhetők.

Másrészt a phillipsitre legtöbbször közvetlenül chabasit, máskor thomsonit, vagy pedig nátrólit (Nagylázhegy) és vele skolecit települ. Máskor a phillipsitre közvetlenül dezmin nő rá, melynek kristályosodása azután nátrólitban (Haláp), majd a mezolítban folytatódhat (Haláp, Gulács), sőt néha skolecitben végződik (Gulács). A dezmin a chabasitnál mindig fiatalabb. A kalcitnak van fiatalabb (és úgylátszik gyakoribb) generációja is, mert kalcit gyakran rátelepül a zeolitokra. Ezen a kalciton megjelenhetnek aragonit-tűk (Sarvallyhegy). A Sarvallyhegyen a phillipsit kíséretében jelenik meg az apofillit, amelynek ezek alapján szukcesszióbeli sorrendje bizonytalan, de egyéb alább felsorolt analógiák alapján a sorozat legkésőbbi tagjai közé sorolható. Ugyancsak pontosabban nem határozható meg az eddigi adatok alapján a Halyagosról és Halápról kimutatott gismondin, valamint a Sarvallyon megjelenő thaumasitnak a képződési sorrendi viszonylata. Mínt hogy a gismondin álkockás zeolit, ezeket pedig az alább ismertetendő megfontolások szerint korai tagoknak tekinthetjük, valószínű, hogy ez ásvány is a sorozat elején keletkezik. A ritka analcím a Gulácson phillipsitre települ és mint-hogy kockás zeolit, viszonylag korai ásványnak tartjuk.

Míndezek és itt fel nem sorolt adatok alapján — több bizonytalanság mellett is — végeredményben a következő hozzávetőleges kristályosodási sorrendet tételezhetjük fel a balatoni bazaltok üregeinek zeolitos ásványtársaságára nézve:

Előszakasz kalcit^I — gmelinit — klorit

Főszakasz phillipsit — chabasit — analcím (?) — dezmin és thomsonit — nátrólit — mezolit — skolecit — (apofillit?)

Utószakasz kalcit^{II} — aragonit

Természetesen ez ásványok kristályosodása nemcsak egymást felváltja, hanem részben egymást fedi és így sok esetben lehetségesek kisebbmértvű helycserék.

Ez a sorrend indokolhatja részben azt a jelenséget is, hogy a phillipsit rendszerint a kőzetüreg teljesen friss megtartású falára települ, a nátrólit viszont mindig megbontott, kilúgzottnak látszó kőzetfalakra nő rá. A phillipsit ui. a zeolitosodás kezdetén a részben mélyebbről, nevezetesen az alább kifejtendők szerint az agyagos feküből kioldott anyagból kristályosodik, amikor a kőzet még alig bontott. Viszont a nátrólit később kristályosodik, inkább a hólyagüregekben mindinkább megrekedő oldatokból, amelyek a kőzetüreg falait már jelentékeny mértékben megbontották.

2. Igen figyelemreméltó, hogy ez a sorrend nem látszik esetlegesnek, hanem egészen más képződési körülmények közt, távoli előfordulásokban is sokszor hasonlóan jelentkezik. Lényegileg ezzel összemérhető sorrendet nyert többek közt S c h a f a r z i k F., ill. E r d é l y i J. és R e i c h e r t R. [5], akik szerint a dunabogdányi Csódihegyen a zeolitos ásványtársaság képződési sorrendje a következő: 1. idősebb kalcit, 2. chabasit

— fakolit, 3. analcim, 4. dezmin, 5. fiatalabb kalcit. Mauritz B. [6], majd részletesebben Erdélyi J. [7] a Velencei hegységi Nadap községi bányájában a következő sorrendet állapította meg: 1. α és β kvarc (részben ametiszt), 2. pirit-szفالerit-hematit-molibdenit, 3. epidot és fluorit, 4/a episztilbit, b. levyn, c. laumontit, d. heulandit, e. chabasit, f. dezmin (két generáció), g. skolecit mezolittal, 5. barit és kalcit. Hasonló sorrendeket állapítottak meg — egyéb példákat mellőzve — Schwantcke H. a striegauai gránitnak, továbbá Fenner C. N. a watchungi bazaltnak, Niggli P. Koenigsberger J. és Parker R. L. [8] pedig az alpi kristályospala hasadékoknak zeolitos ásványtársaságára nézve.

Az általános sorrend ezekben esetekben hozzávetőleg a következőleg adható meg, az alpi kristályospala hasadékok zeolitos ásványaira nyert képződési hőmérsékletekkel:

Ásványfajta	Optimum (C°)	Szélső érték (C°)
Kalcit	—	140—70
Prehnit	95	102—70
Chabasit (k)	90	105—70
Heulandit (l)	90	105—75
Dezmin (k)	80	85—65
Laumontit (k)	70	90—40
Skolecit (r)	85	98—80
Apofillit	73	80—60

3. E nagyjából általános érvényű sorrendet részben rácsszerkezeti sajátságokban is kifejezést nyerő geoenergetikai okok határozzák meg. Először ui. a szemcsés („kockás”) és a leveles zeolitok: a gmelinit, a phillipsit, chabasit, analcim, episztilbit, heulandit, dezmin, majd a rostos zeolitok: a thomsonit, laumontit, nátrólit, skolecit, mezolit kristályosodnak. Ezek után következnek az egyéb könnyen illókat is tartalmazó nem zeolitos ásványok: az apofillit, talán a thaumasit és a kalcit.

A zeolitok két fő csoportjának ez a kristályosodási sorrendbeli elkülönülése geoenergetikailag indokolható. Ha összehasonlítjuk egyrészt a kockás és leveles, másrészt a rostos zeolitok $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ arányait, úgy azt találjuk, hogy előbbiekben ez nagyobb mint 1 : 1,5, többnyire 1 : 2, sőt a leveles zeolitoknál 1 : 3, viszont a rostos zeolitoknál 1 : 1,5, vagy annál kisebb (1 : 1). Minthogy a zeolitokban az alumínium is tetraederes kötésben jelentkezik, az (AlO_4) gyök komplex anionpotenciálja (1,59) pedig nagyobb mint az SiO_4 potenciál értéke (1,38), ezért az Si mennyiségének az Al-éhoz képesti csökkenése nyilván a vegyületpotenciál csökkentésének irányában hat (9—10). Így — noha a zeolitok vegyületpotenciáljainak pontos értéke az SiO_4 tetraéderek kapcsolódásának és a H_2O potenciál értékének bizonytalansága miatt egyelőre aligha számítható ki, hozzávetőlegesen 1,2—1,3 körüli értékek adódnak — mégis ezek általános csökkenése a kristályosodás sorrendjében valószínűnek látszik. A vegyületpotenciál csökkenése egyszersmind az ásvány oldhatóságának csökkenését is jelenti. A zeolitok esetében a kristálymorfológiai csoportok elkülönülése is összefüggésben állónak látszik a potenciál értékekkel.

A földpátok zeolitosodásakor tehát kezdetben a földpátokra jellemző eredeti 1 : 2—1 : 6 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ arány megmarad, ill. csak kevéssel csökken, majd a rostos zeolitok képződésével az SiO_2 erősebben fog, s ezzel az $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ arány kb. 1 : 1,5—1 : 1-re áll be.

A vízmolekulák száma eleinte kb. megfelel a földpátok oxigénszámának, majd emelkedik, a rostos zeolitokban pedig a Si-tartalommal együtt ez is csökken. Tekintettel a vízmolekulák igen kis potenciáljára, a kezdeti vízmolekulaszám növekedés potenciálcsökkenést eredményez, a késői vízcsökkenés vegyületpotenciál csökkentő hatását viszont az Al-nak Si-mal helyettesítése ellensúlyozza.

A Cornu-féle „szabály”, mely szerint a később keletkező zeolitok nagyobb víztartalmúak, kevésbé érvényesül és inkább csak olyan alakban mutatkozik, hogy a kiválási sorrend első és utolsó ásványaiban, amikor az egyéb könnyen illók (CO_2 , F) uralkodnak, minimális a víztartalom, maximális viszont a középső fázisakaszban.

Figyelemreméltó, hogy a balatonvidéki bazaltok zeolitjainak kémiai alkotásában a kalcium mellett kezdetben inkább a kálium (phillipsit), viszont a nagyobb ionpotenciálú nátrium főleg csak később (dezmin, nátrolit, mezolit) jut szerephez. A korai phillipsit káliumját részben a vízgőz szállíthatja a bazaltba káliumban rendszerint gazdag agyagos fekü kőzetből (l. alább), másrészt a korai káliumot a bazalt szanidinje is szolgáltatja, mert a szanidin itt a plagioklászot körülveszi és így előbb bomlik el a plagioklász zöménél. A Ca nagy túlsúlya az alkáliák felett a bezáró bazaltos kőzet kémizmusát tükrözi.

4. A zeolitok nagyrészenek optimális képződési hőmérséklete az alpi kristályos-palákon végzett sokirányú gondos vizsgálatok és a hőforrások zeolitjain végzett megfigyelések alapján nagyjából ismertnek tekinthető (lásd a 304. lap táblázatát). A skoleicit kivételes és részben ellenmondásos helyzetét mi is kiemeljük). A balatoni bazalt hólyag-üregek zeolitós ásványtársaságának átlagos kristályosodási hőmérséklete ezen az alapon — talán kissé meglepően — mindössze $100-70^\circ\text{C}$ körülnek adódik. Ez a kis képződési hőmérséklet magyarázza azt az eddig idegenül ható megfigyelést, hogy a Gulácson a bazalt breccsát is részben még phillipsit ragasztja össze.

Ez a csekély képződési hőmérséklet viszont látszólag ellentétben áll egyes zeolitoknak már az alapanyagban kőzetalkotóként történő kiválásával. A zeolitoknak kőzetalkotó alapanyagbeli kristályosodását azonban Muritz [3] szerint feltehetőleg közvetlenül megelőzi a gyenge szerpentinesedés, ezt az analcím, azután a phillipsit kristályosodása követi. Az üregek zeolitjainak kristályosodása még későbbi.

Két fő zeolitképződési szakaszt lehet tehát feltételezni, az ún. „folyósmagmás” kristályosodáshoz és a hólyagüregekhez kötöttet. A „folyósmagmás” állapotban részben zeolittá alakul át a földpát, amelyet mintegy metasomatikusán kiszorít. Azt, hogy ettől a zeolitgenerációtól a hólyagüregek zeolitgenerációja élesen, nagyobb hőmérsékleti hézaggal is elkülönül-e, az eddigi adatok alapján aligha állapíthatjuk meg. Minthogy „pneumatolitosan” a földpátok egyrésze elbomlik — nyilván a hiperkritikus víz és az egyéb agresszív könnyen illók hatására — így ebben a stádiumban még csak instabillá válik a földpát. Kiszorítása a képződő zeolitok által csak csekélyebb hőmérsékleten történhet. Valószínűbb tehát, hogy a két zeolitgeneráció közt nincs nagy hőmérsékleti különbség, mert a vízgőz a magma utolsó részletének kristályosodását és a magmatit metasomatikus átkristályosodását több száz fokkal lecsökkenti. Így számolni kell azzal a lehetőséggel is, hogy az „alapanyag” zeolitjai is esetleg csak 100°C közelében kristályosodtak.

5. A képződési sorrend és a kristályosodási hőmérséklet vizsgálata után felmerül a kérdés, hogy miért tartalmaznak egyes bazaltok sok, mások kevés, vagy semmi hólyag-üreget és zeolitós ásványt? Meg kell állapítanunk, hogy ez kevésbé függ az áttört kőzet összetételétől, mert ugyanazok a zeolitós ásványok jelennek meg a permi homokkő-sorozatot áttörő bazaltokban, mint a mezozoos mészkő és dolomit sorozaton is keresztülhatolóknak.

Ezzel szemben lényeges hatásának látjuk a bazalttakaró tengerszint feletti magasságát, ill. ezzel változó kora és üledékképződési viszonyait. Id. Lóczy [11] szerint a nagy takarókat alkotó bazaltelfordulások (Dabas, Lóczy szerint a Kab-hegy is) a legnagyobb viszonylagos magasságokban jelentkeznek; ezek közvetlenül a triász aljzaton ülnek. Ezekből nem, vagy alig ismerünk eddig zeolitós ásványokat. A Dabas kőzetében sok ugyan a hólyagüreg, de zeolit ezekben eddig egyáltalán nem

ismeretes. A Kabhegyen zeolitot eddig ugyancsak senki sem talált, jöllehet közete meglehetősen lukacsos.

Zeolitos üregekben leggazdagabbnak látszanak azok a bazaltok, amelyek mintegy 270—300 m magasságban, a pannóniai üledékek térszínére települnek. Ezekben néha 10—11 zeolitos ill. karbonátos ásványfaj is megkülönböztethető. Minthogy Vitális I., Szádeczky E. és Strausz L. szerint a kitorések a *Congeria balatonica* rétegek lerakódása idejében már megindultak és az *Unio wetzleri* szintben, azaz a dáciai emelet időszakában kulmináltak, nyilvánvaló, hogy a bazaltok közvetlenül nagy nedvességtartalmú üledékcsoportra települtek. (Esetleg helyenként még közvetlenül kitorésük után is újabb vízi üledékek rakódtak rájuk.)

A bazaltos kitoréseknek a harmadik csoportja ugyancsak a pannóniai rétegekre települt, de ezeknek egy mélyebbre lepusztult 250—140 m tengerszint feletti magasságú szintjére és így feltehetően a legfiatalabb kitoréseket képviseli. Kitorésük idejében a vízi üledékképződés már korlátozottabb volt e területen, s így feltehetőleg túlnyomóan száraz felületre települtek. Az eddigi adatokból azt látjuk, hogy ezek a bazaltok már csak kevesebb zeolitos ásványtársaságbeli fajtát tartalmaznak. Ilyen többek közt a Szigliget bazaltja, amely egyedül phillipsitet, továbbá a Zalaszántótól É-ra levő Hermántóvölgy bazaltja, amely mindössze phillipsitet és nátrólitot, valamint a Mindszentkállai Kopaszhegy bazaltja, amely csak aragonitot tartalmaz hólyagüregeiben, eddigi ismereteink szerint.

Mindezek alapján feltehető, hogy a balatonvidéki bazaltok zeolitjai elsősorban a körülbelül egykorú, tehát még nagy nedvességtartalmú üledékképződéssel kapcsolatban keletkeztek. Ha a nagy hőmérsékletű, izzónfolyó láva ilyen nedvességben gazdag üledékes kőzetre ömlik, úgy az üledékes kőzetben vízgőz fejlődik, amely nagy nyomásának megfelelően a felette levő még folyós és így a gőzöket jól áteresztő lávába hatol. A láva ezáltal megnövekedett könnyen illó tartalma csökkenti az olvadáspontot, ami viszont meghosszabbítja a láva vízgőz általi befolyásolhatóságának időtartamát. A nedvességben gazdag üledékekből a bazaltlávába átvándorló nedvességtartalom egyrészt szükségképpen megbontja a földpátokat és részben zeolitok alakjában kiszorítja azokat; így keletkeznek a bazalt alapanyagának zeolitjai. Másrészt hólyagüregeket hoz létre, amelyek kitöltődnek a hidratált földpátanyagból keletkező zeolitos ásványtársasággal.

Ahol az agyagos üledék karbonát ásványokat is tartalmaz — már pedig a kisalföldi pannóniai agyakok átlagos CaCO_3 -tartalma 5—20% [12] — ott az izzónfolyó láva hőhatása széndioxidot is felszabadíthat, feltéve, hogy a hőmérséklet a kalcit (ill. aragonit) 900 °C körüli disszociációs hőmérsékletét eléri. Az üledékből felszabaduló széndioxid-tartalmúvá vált vízgőz azonban jóval kisebb hőmérsékleten is kiold jelentékenyebb mennyiségű CaCO_3 -at. Mindez az áteresztő lávába hatol és két fázisban lerakja a CaCO_3 ásványokat. Először a kristályosodás kezdetén, amikor a disszociációs szénsav részben elkülönülhet a vízgőztől és ezáltal csökken a vízgőz CaCO_3 oldóképessége. Ekkor a kalcit, inkongruens oldódásának megfelelően az oldószer összetételének változása következtében kristályosodik. A hőmérséklet ekkor még nyilván túl nagy ahhoz, hogy vízgőz jelenlétében aragonit is képződjék. A széndioxidban elszegényedett oldószerben visszamaradt CaCO_3 viszont később 100 °C körüli hőmérsékleten az oldószer bepárolgásakor az oldószer mennyiségének csökkenése következtében a zeolitok kiválása után újra kristályosodik, létrehozva a kalcit eltérő 2. generációját (ami a keletkezett kalcit kristály típusában is megmutatkozik) és azután — illetve vízgőzben szegény körülmények közt akár előbb is — aragonitot. Ha az oldat még elegendő kovasavat is tartalmaz, úgy létrejöhet a víztartalmú kalciumkarbonátszulfátszilikát: a thaumasit.

Nyilvánvaló, hogy a zeolitos ásványtársaság ilyen módon legintenzívebben a bazaltoknak az üledékekkel érintkező részein képződik. Valóban az egyetlen előfordulás,

melyben a zeolit függőleges elterjedésére vonatkozó adatok ezidőszerint rendelkezésre állnak: a sümegi bazaltbánya azt mutatja, hogy a bazalttakaró alja leggazdagabb zeolitokban [Ma ur i t z, 3].

Érdekes további alátámasztása e képződési mechanizmusnak, hogy a legszebb zeolit előfordulások a Halápon, a bazaltnak meszes agyagzárványai mellett jelentkeznek. Az agyag természetesen itt már kontaktosodott, spinellkristályokat tartalmaz. Innen való a halápi thaumasit eddigi egyetlen példánya is, valamint a gismondin is.

E feltevés értelmében a zeolitos hólyagüregeknek a kőzet térfogat egységre vonatkoztatott százalékos gyakorisága egy adott bazalt előforduláson belül csökken a bazalttakaró vastagságának növekedésével. Viszont egy bizonyos határ alatt a bazalttakaró hőenergiája túlságosan csekélylé válik jelentékenyebb zeolitosodás létrehozására.

A Nógrád-megyei bazaltok nagyrésze szárazföldre hullott. Az előbb kifejtett összefüggésnek megfelelően hólyagüregei zeolitos ásványokban szegények, főleg csak phillipsit tartalmaznak az aragoniton kívül.

E vizsgálatok további alátámasztására összehasonlítást végünk a lávával közvetlenül érintkező agyagos kőzetek és a mélyebben fekvő agyagos rétegek átlagának nedvességtartalmára vonatkozóan is. E kérdésre a kontaktmetamorfózissal foglalkozó külön tanulmányban szándékozunk visszatérni.

A zeolitosodásnak itt kifejtett képződési feltevése sok más esetben is alkalmazhatóan látszik, de további kiépítése sokoldalú vizsgálatot igényel, tekintettel a folyamat bonyolult voltára.

6. Mindezek alapján az új feltevés értelmében, a földpátban gazdag kőzetekből zeolitok keletkezhetnek, ha azokat viszonylag nagy hőmérsékleten vízgőzös könnyen hlók egyszerű gyors folyamatként itatják át, nagy alkália-koncentráció és lúgos kémhatást biztosítva. (N o 11 [13] és F o 1 k [14] szerint tudvalevőleg a zeolit lúgos közegben nagy alkália-koncentráció esetében kristályosodik). Elsősorban tehát éppen a nagy hőenergiájú bázisosabb lávatakaróknak a fiatalabb üledékekre települése kedvező a zeolitosodás számára, ami indokolja a zeolitok gyakoriságát a bazaltos kőzetekben.

Hasonló hőmérsékleten földpátban gazdag kőzetekből ugyancsak hidrotermális bomlás útján csillám- és agyagásványok is keletkezhetnek. A kettő közti különbség abban áll, hogy az agyagképződés sokkal nagyobb mérvű, tartósabb kilúgzás hatására történik, ilyenkor tehát az alkália-koncentráció csekélyebbé válik. Ez elsősorban olyankor valószínű, ha a kőzetet hosszabb életű, oldatot vezető repedés szeli keresztül (hidrotermális telér), vagy pedig állandó felszíni kimosás éri (talajképződés), esetleg nagy-tömegű vízzel érintkezik (tengerelborítás, bentonitosodás). Ilyenkor a földpát eredeti $Al_2O_3 : SiO_2 = 1 : 6$ aránya a lúgos közegben lecsökken 1 : 4-re (montmorillonit-képződés), savanyú közegben pedig 1 : 2-re (kaolinosodás), míg az alkália-tartalom (csaknem) teljesen kimosódik.

7. A leírt zeolitosodás mechanizmusának általánosabb jelentősége is van a magmás közhathárokon végbemenő viszonylag gyorsabb elemigrációs folyamatok szempontjából. Általában az ilyen folyamatok irányának meghatározására eddig nem volt ugyan határozott szabály, de meglehetősen általános volt az az elképzelés, hogy azt a hőmérsékleti lejtő határozza meg oly módon, hogy az elemek a nagyobb hőmérsékletű közegből a kisebb hőmérsékletű felé vándorolnak. Itteni megfontolásaink viszont arra utalnak, hogy a döntő tényező nem a hőmérsékleti, hanem a nyomási lejtő, és pedig oly módon, hogy a mobilizált elem a nagyobb nyomású közegből a kisebb nyomásúba vándorol, még akkor is, ha ez az irány ellentétes a hőmérsékleti lejtővel. (Ez magyarázza meg a Kaposcsanak melletti Kecsehegy kristálytufájában előforduló aragonit gumókat is. Az agyagos kőzetnek bazalt lávával való érintkezése esetében a kisebb hőmérsékletű üledékes kőzetből a nagyobb hőmérsékletű lávába vándorol a vízgőz, mert maximális

nyomását az üledékes kőzetben éri el. Ez fizikai-kémiai módon fejezhető ki, hogy a nagyobb résznyomású, nagyobb koncentrációjú anyag abba a közegbe vándorol, amelyben résznyomása, ill. koncentrációja kisebb.

Azt, hogy adott körülmények közt melyik elem válik mobilizálhatóvá, a kötőerő, ill. végeredményben az olvadási- és forrásponttal, valamint az oldhatósággal kapcsolatban álló vegyületpotenciál határozza meg.

IRODALOM — LITERATUR

1. Koch S.: Magyarország ásványai, I. 1956 (akadémiai doktori értekezés).
2. Mauritz B.: Die Zeolithminerale der Basalte des Plattensegebietes in Ungarn, Neues Jahrb. Min. Geol. Pal. 64. (1931), 477.
3. Mauritz B.—Harwood, H. P.: Die basaltische Gesteine der Tátikagruppe im Plattensegebiet Ungarn. Min. Petr. Mitt. 84. (1936), 373.
4. Erdélyi J.: Balatoni bazalt-hegyek, Népműv. Minisztérium Múzeumi Főoszt. kiadványa, 1954.
5. Reichert R.—Erdélyi J.: Über die Minerale des Csódi-Berges bei Dunabogdány, Min. Petr. Mitt. 46. (1935), 237.
6. Mauritz B.: A nadapi zeolitok. Annal. Mus. Nat. Hung. 6. 1908. 537.
7. Erdélyi J.: Újabb adatok a nadapi községi bányá ásványtani ismeretéhez. Mat. Term. Tud. Ért. 59. (1940), 1039.
8. Niggli, P.—Koenigsberger, J.—Parker, R. L.: Die Mineralien der Schweizeralpen, Bd. I—II. 1940.
9. Szádeczky-Kardoss E.: Das Verbindungspotential und seine Beziehungen zum Schmelzpunkt und zur Härte, Acta Geol. III. (1955) 103.
10. Szádeczky-Kardoss E.: Über die Energetik d. magmatischen Gesteins u. Erzgebilde, Acta Geol. III. (1955), 116.
11. Lóczy L.: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. Bal. Tud. Tan. Eredm. 1913. I. — 12. Szádeczky-Kardoss E.: Geologie d. rumpfungarländischen kleinen Tiefebene, p. 55—56.
13. Noll, W.: Mineralbildung im System $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$. Neues Jahrb. Beil. Bd. 70. A. 1936. 65—115.
14. Folk, R. L.: The alteration of Feldspar and its Products as Studied in the Laboratory. Amer. Journ. of Science Vol. 425. No. 6. 1947. 388—394.

Über die Zeolithbildung der Basalte der Balatongegend

E. SZÁDECZKY-KARDOSS—J. ERDÉLYI

Die Kristallisationsfolge der zeolithischen Mineralgesellschaften in den Mandelhohlräumen der Basalte der Balatongegend ist etwa die folgende: Kalzit I, Gmelinit, Chlorit, Phillipsit, Chabasit, Analcim(?), Desmin und Thomsonit, Natrolith, Mesolith, Skolezit (Apophyllit?), Kalzit II, Aragonit. Diese Kristallisationsfolge ist auch in anderen zeolithischen Vorkommen die gleiche, u. a. auch in den alpinen Kluffmineralagerstätten. Im allgemeinen kristallisieren zuerst die Würfel- und Blattzeolithe, danach die Faserzeolithe. In den ersten ist das $Al_2O_3:SiO_2$ -Verhältnis grösser als 1,5, in den letzteren ist es gleich, oder kleiner als 1,5. Dies weist auf eine allmähliche Abnahme des Verbindungspotentials während der Kristallisation hin. (Die Verbindungspotentiale der Zeolithe schwanken um 1,2—1,3, sind jedoch nicht genau zu berechnen.) Die Kristallisationstemperatur der Zeolithe in den Mandelhohlräumen der Balatoner Basalte ergab sich für etwa 70—100°. Die zeolithische Mineralgesellschaft ist nicht aus ascendenten vulkanischen hydrothermalen Lösungen entstanden, sondern ist durch Einwirkung der aus den während des Lavaausbruches noch wasserreichen tonigen pannonischen Liegendgesteinen, durch die heissflüssigen Basaltlaven freigelegten Wasserdämpfe hervorgegangen. Dementsprechend ist die Intensität der Zeolithbildungen neben den (kontaktisierten) tonigen Einschlüssen in der Basaltlava am grössten, fehlt jedoch, oder tritt vollständig in Hintergrund in solchen Basalten, die auf feuchtigkeitsarmen Untergrund flossen (Kabhegy, Dabas, Nográder Basalte). Dieser Bildungsmechanismus der Zeolithe hat auch bezüglich der Bildung der Tonminerale und der Bestimmung der Migrationsrichtung der Elemente eine gewisse Folge.