

# BARLANGFÖLDTAN (Molnár Péter)

## Bevezetés

A barlang a **Föld szilárd kérgében természetes úton keletkezett, ember számára járható méretű üreg**. Haladjunk visszafelé a fogalmak meghatározásával:

- **üreg** – azaz találhatunk olyan metszősíkot, amely zárt szelvényű, és a síkra merőleges irányban a képződmény legalább kétszer akkora kiterjedésű, mint ez a zárt szelvény. Tehát nem számít barlangnak a sziklaeresz, a kőfülke, a tágas beszakadás és a sziklakapu sem.
- **ember számára járható méretű** – azaz legalább 2 m kiterjedésű.
- **természetes úton keletkezett** – azaz nem az ember alakította ki. Tehát nem barlang a pince, a táró, a bánya, de barlangnak tekintjük a vízzel vagy törmelékkel kitöltött, egykori járatot. Két különálló barlangrész csak akkor nevezhető egységes barlangrendszernek, ha azokat nem mesterséges táróval, hanem feltöltődött, beomlott járatok kibontásával vagy szűkületek kitágításával kötötték össze.
- **a Föld szilárd kérgében képződött** – tehát nem barlang a faodú vagy a rókalyuk. A legtöbb szakember a jégtakarót nem sorolja a szilárd földkéreghez, ezért a jégben képződött üregeket sem tekintjük barlangnak.

A Földdel, annak felépítésével, fejlődéstörténetével, a Földön lejátszódó és azt alakító folyamatokkal a földtan foglalkozik.

## A Föld szerkezete, ásványok, kőzetek

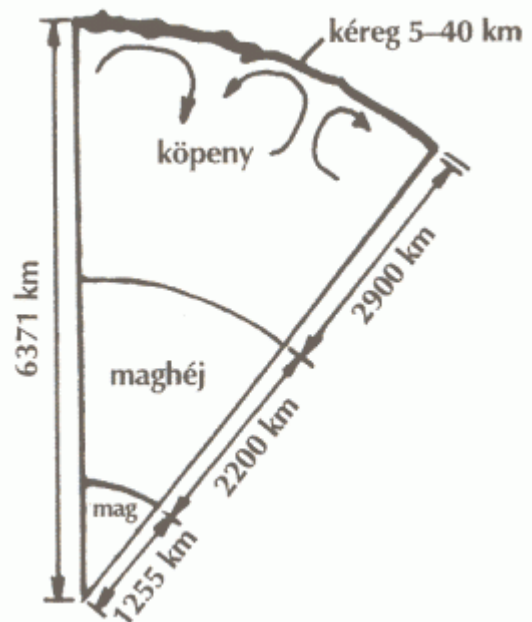
A Föld nagyjából gömb alakú, sugara 6371 km. Belső felépítését a földrengéshullámok segítségével tanulmányozhatjuk.

A Földnek gömbhéjas szerkezete van (56. ábra). Legkülső része a szilárd halmazállapotú kéreg, amelynek vastagsága az óceánok alatt 5-10 km, a szárazföldek alatt pedig többnyire 30-50 km. A kéreg alatt található a köpeny, amelynek külső részét sűrű, izzón folyós kőzetolvadék, a magma alkotja. A magmában fellépő áramlások hatására a kéreg hatalmas darabjai, lemezei távolodnak, elcsúsznak egymás mellett, vagy éppen összeütköznek, egymás alá buknak.

A földkéreg felépítésében résztvevő elemi részek az *ásványok*. Az ásványok szilárd halmazállapotúak, természetes folyamatok révén jönnek létre. Szigorúan megszabott, többnyire kristályos belső szerkezettel, valamint meghatározott vegyi összetétellel rendelkeznek. Ennek következtében meghatározott alakuk, fizikai és kémiai tulajdonságaik (pl. szín, keménység, oldékonyság) vannak. Összesen mintegy 2500 féle ásványt ismerünk, közülük azonban csak néhány száz fordul elő gyakrabban.

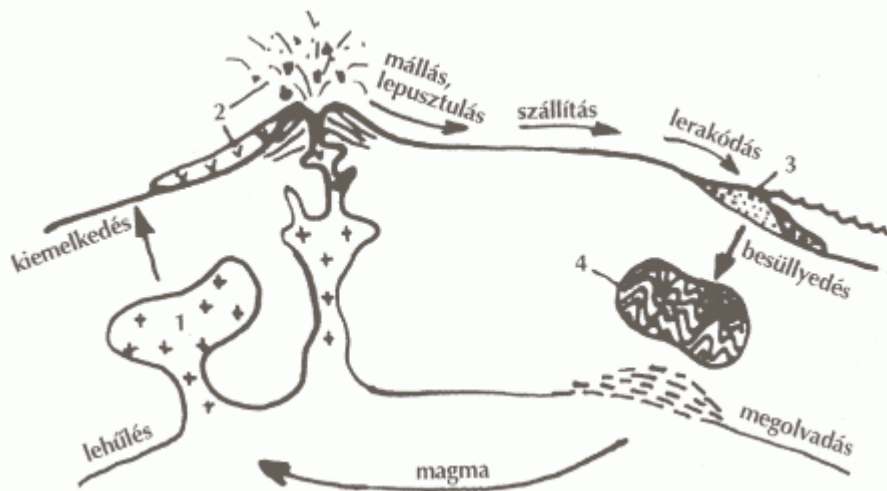
A földkéreg nagy kiterjedésű és nagy tömegű alkotórészei a *kőzetek*, amelyek szintén természetes úton keletkeztek. A kőzet ásványok összessége. Vannak olyan kőzetek, amelyek nagyrészt csak egyféle ásványból állnak, de a kőzetek többsége az ásványok meghatározott társulása, amelyet az ásványos összetétel, az ásványok alakja, mérete, illeszkedése jellemez. A változatos összetétel miatt az egyes kőzetek fizikai és kémiai tulajdonságai is sokkal változékonyabbak.

A Föld kérgét felépítő kőzetek sem örök életűek: a köpeny izzón folyós anyagából megszületve a felszínre emelkednek, ahol a külső erők (hőmérsékletingadozás, szél, víz, növényzet) hatására szétmállanak, lepusztulnak és a tengerekbe szállítódva lerakódnak, majd pedig a mélybe süllyedve fokozatosan átalakulnak és végül újból megolvadnak (57. ábra). Keletkezésük szerint megkülönböztethetünk magmás, üledékes és átalakult kőzeteket.



56. ábra A Föld szerkezete

## KÜLSŐ ERŐK: hőmérsékletingadozás, szél, víz



## BELSŐ ERŐK: nyomás, hőmérséklet, tektonikus mozgások

57. ábra: A kőzetképződés körfolyamata (Juhász Á. nyomán)

1. mélyégi magmás kőzetek  
3. üledékes kőzetek

2. kiemelési (vulkáni) kőzetek  
4. átalakult (metamorf) kőzetek

A **magmás kőzetek** a köpeny kőzetolvadékának lehülése, kikristályosodása során keletkeznek. Ha a kőzetolvadék a kéregben több ezer méter mélységben megreked, akkor csak lassan, évmilliók alatt hűl ki, és ezért teljesen kristályos, nagyméretű ásványokból álló kőzet képződik, amelyet *mélyégi magmás kőzetnek* nevezünk (pl. gránit, diorit, gabbró). A Föld felszínére ömlő kőzetolvadékból, a lávából *vulkáni kőzetek* képződnek. A gyors lehülés miatt a lávakőzetekben csak apró kristályok találhatóak, amelyeket üvegszerű alapanyag vesz körül (pl. riolit, andezit, bazalt). Ugyancsak vulkáni kőzet a vulkán működése során szerteszórt porszerű tufa, valamint a durvább törmelékből álló agglomerátum.

Az **üledékes kőzetek** más kőzetek lepusztulása, áthalmazódása és lerakódása során jönnek létre. A törmelékanyag áthalmazását a szél, a jég, a víz és a gravitációs tömegmozgások végzik, de a szállítás történhet vízben oldott formában is. A *törmelékes üledékes kőzetek* szinte mindenütt megtalálhatók. Lazább változataik (pl. kavics, homok, lösz, agyag) cementálódása, közzé válása során keményebb kőzetek keletkeznek (pl. konglomerátum, homokkő, agyagpala). A *vegyi eredetű üledékes kőzetek* a vízben oldott anyagból válnak ki, elsősorban a tengerek medencéiben. Ilyen kőzet például a mészkő, dolomit, kősó, gipsz, anhidrit, hidrokvarcit. Az üledékes kőzetek harmadik típusa a *szerves eredetű (biogén) üledékes kőzetek*. Ezek növényi és állati szervezetek életműködésének termékei, illetve az élőlények pusztulása következtében jönnek létre. Ide sorolható a mészkövek egy része, valamint a tőzeg, lignit, kőszén, kőolaj és földgáz. Az üledékes kőzetek rendszerint rétegzettek, gyakran tartalmaznak növényi és állati maradványokat. A földkéregnek kevesebb, mint 5%-át teszik ki, a Föld felszínének viszont háromnegyedét üledékes kőzetek borítják.

Az **átalakult (metamorf) kőzetek** a földkéreg mélyebb régióiban keletkeznek, ahol a nagy nyomás és magas hőmérséklet hatására a már korábban létrejött kőzetek átkristályosodnak, anyaguk differenciálódik, esetleg részben megolvadnak. Az átalakult kőzetek szerkezetét rendszerint a jól látható irányítottság, palásság jellemzi. Az átalakult kőzet összetétele elsősorban az eredeti kőzet anyagától és az átalakulás mértékétől függ. Például a gránitból fokozatosan gneisz, majd granulit, a gabbróból kloritpala, amfibolit, szerpentin, a homokkőből kvarcit, az agyagpalából fillit, csillámpala, a mészkőből márvány, a kőszénből pedig antracit keletkezik.

### Tektonikus mozgások

A Föld kérgé állandó, differenciált mozgásban van. Tengeri üledékek előfordulnak több ezer méter magasságban is, másutt jelentős szárazföldi kéregdarabok találhatóak mélyen az óceán felszíne alatt. Egyes helyeken a korábban vízszintesen települt rétegek kibillentek eredeti helyzetükből vagy meggyűrődtek, máshol pedig meredek törések mentén hatalmas tömbök mozdultak el függőlegesen akár ezer méterre vagy csúsztak el több száz kilométerre egymás mentén. Mindezeket a Föld belső erői által előidézett mozgásokat (kiemelkedéseket és süllyedéseket, gyűrődéseket, vetődéseket) *tektonikus mozgásoknak* nevezzük.

A földkéregben felhalmozódó feszültségek következtében a kőzeteket számtalan repedés járja át, amelyek mentén forró oldatok, gőzök és gázok áramlanak. A földkéreg belső feszültségei okozzák a földrengések kipattanását is.

A tektonikus mozgások igen lassúak, csupán évi pár milliméteres vagy annál is kisebb nagyságrendűek. Ezek a lassú változások azonban a Földtörténet évmilliói során hatalmas átalakulásokhoz vezettek.

### Földtörténeti korbeosztás

A Föld fejlődéstörténete során változott a Föld mérete, vándoroltak a földkéreg egyes lemezei és rajtuk a szárazföldek, szüntelenül változott a légkör, az éghajlat, a növény- és állatvilág, így érthető, hogy mindig más és más kőzetek képződtek. Hogy eligazodhassunk ebben a szüntelen változásban, a földtan kutatói, a geológusok létrehozták a földtörténeti korbeosztást (1. táblázat).

A Föld 4,6 milliárd évvel ezelőtt keletkezett. A kezdetben izzó bolygó lehűlésével fokozatosan alakult ki a földkéreg. A ma ismert legidősebb kőzetek 4,2 milliárd évesek, az első üledékes kőzetek pedig 3,7 milliárd évvel ezelőtt képződtek. A legidősebb hazai kőzetek kora kb. 1 milliárd év. Az első életmaradványok a Földön 3,5 milliárd évesek, de az élőlények szilárd külső váza csak 580 millió éve jelent meg.

### Magyarország felszíni földtani képződményei

KOR mill. évvel ezelőtt	IDŐSZAKOK ill. KOROK	FŐBB KŐZETEK	HOL TALÁLHATÓK?		
ÚJKOR (KAINOZOIKUM)	2.4	Holocén Pleisztocén	folyóvízi homok, kavics, agyag, <b>édesvízi mészkő</b> , lösz, futóhomok	Ny- és Dél Dunántúl, Kisalföld, Alföld	
	9	Pliocén	<b>édesvízi mészkő</b> bazalt, gejzirit kavics, homok, agyag, lignit	<b>Bakony, Gerecse, Budai-hg.</b> Balaton-felvidék, Ny-Bakony, Nógrád Ny- és D-Dunántúl, hegyvidékek pereme	
	25	Miocén	riolit, andezit, dácit, vulkáni tufák kavics, homok, homokkő, kőszén, <b>mészkő</b> , agyagmárga	Mecsek, Visegrádi-hg, Börzsöny, Cserhát Mátra, Bükkalja, Zempléni-hg. <b>Fertő-tó-melléke, Mecsek, Tapolcai-medence,</b> Bakony, Vértes, <b>Zsámbéki-medence, Pesti-síkság,</b> <b>Visegrádi-hg, Börzsöny</b> , Cserhát, Bükkalja, Heves-Borsodi dombság	
	37	Oligocén	kavics, homok, homokkő, agyag, agyagmárga, kőszén	Bakony, Vértes, Gerecse, Pilis, Budai-hg, Cserhát, Heves-Borsodi-dombság	
	65	Eocén Paleocén	<b>mészkő</b> , márga, homokkő andezit agyag, homok, kőszén	<b>Bakony, Vértes, Gerecse, Budai-hg,</b> Velencei-hg, Mátra (Recsk) Bakony, Vértes, Gerecse, Bükk	
	KÖZÉPKOR (MEZOZOIKUM)	135	Kréta	<b>mészkő, márga, agyag</b> bazalt, homokkő, konglomerátum, márga zöldpala, szerpentinit	<b>Villányi-hg, Bakony, Vértes</b> Mecsek, Gerecse Kőszegi-hg.
		195	Júra	<b>vörös mészkő, tűzköves mészkő</b> márga, homokkő, kőszén agyagpala, homokkő, konglomerátum fillit, mészfilit	<b>Villányi-hg, Mecsek, Bakony, Gerecse</b> Mecsek Bükk, É-Borsodi-karszt Kőszegi-hg.
240		Triász	mészkő, dolomit, kovapala, diabáz, homokkő, konglomerátum, márga, lemezes mészkő, dolomit	<b>Villányi-hg, Mecsek, Keszthelyi-hg, Balaton-felvidék,</b> <b>Bakony, Vértes, Gerecse, Budai-hg,</b> <b>Pilis, Cserhádi-rögök, Bükk, É-Borsodi-karszt</b> Mecsek, Balaton-felvidék, Bükk	
ÓKOR (PALEOZOIKUM)		285	Perm	<b>mészkő</b> , dolomit homokkő, anhidrit vörös homokkő, konglomerátum, agyagpala, vulkáni kőzetek (kvarcporfís)	<b>Bükk</b> Villányi-hg, Mecsek, Balaton-felvidék
	375	Karbon	agyagpala, homokkő, konglomerátum gránit <b>kristályos mészkő</b> , agyagpala, homokkő	Balatonfő, Zempléni-hg. (Vilyvitány) Velencei-hg. Bükk, <b>Upponyi-hg, Szendrői-hg.</b>	
	420	Devon	<b>kristályos mészkő</b> , agyagpala palás dolomit, agyagpala, diabáz	<b>Balatonfő, Upponyi-hg, Szendrői-hg.</b> Balaton-felvidék	
	450	Szilur	fillit agyagpala, kovapala	Mecsek, Balaton-felvidék, Velencei.hg, Upponyi-hg.	
	520	Ordovicium			
	580	Kambrium			
	ŐSKOR	2600	Proterozoikum	gneisz, amfibolit, csillámpala gránit, csillámpala, fillit	Soproni-hg, Zempléni-hg. (Vilyvitány) Mecsek (Mórág)
4600		Archaikum			

1. táblázat

## Karbonátos kőzetek

Jóformán mindenféle kőzetben képződhetnek barlangok. A kőzetek anyagi és szerkezeti különbségei miatt azonban egyesekben könnyebben, másokban nehezebben alakulnak ki és maradnak fenn az üregek. Barlangképződés szempontjából a karbonátos kőzetek a legkedvezőbbek: habár a földkéregnek csak 1 %-át teszik ki, a barlangok 95%-a mégis karbonátos kőzetben található. A karbonátos kőzetek anyagának több mint a fele karbonát ásvány: aragonit, ill. kalcit  $\text{CaCO}_3$ , dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , magnézit  $\text{MgCO}_3$  vagy sziderit  $\text{FeCO}_3$ . A legfontosabb karbonátos kőzetek a mészkő, dolomit, márga és a márvány.

**Mészkőnek** nevezzük azt a kőzetet, aminek legalább 90%-át kalcit és aragonit alkotja. A fennmaradó rész főleg más karbonát ásvány, kvarc vagy kova, agyag és szerves anyag. A mészkő színe nagyon változatos, elsősorban anyagi összetételétől függ. A magas karbonáttartalmú, tiszta mészkövek fehér színűek. A szürkés árnyalatot az agyag vagy a szerves anyag okozza. Előfordulnak magas szervesanyag-tartalmú, fekete színű mészkövek is. Az ugyancsak gyakori sárga, vörös, barna színű mészköveket a vas-III-ion színezi ilyenre.

A mészkő anyagának eredeti forrása a magmás kőzetek ásványaiból származó  $\text{Ca}^{++}$  és a vulkáni működés során a légkörbe kerülő  $\text{CO}_2$ . A földtörténeti fejlődés során az anyag egyre nagyobb hányada származott a régebbi karbonátos kőzetek lepusztulásából. A  $\text{CaCO}_3$  elsősorban a folyók által, vízben oldott formában szállítódik a tengerekbe. A földtörténet korábbi időszakában lehetőség volt a karbonátok közvetlen, vegyi úton történő kicsapódására a tengervízből. Jelenleg azonban – a tengervíz megnövekedett magnéziumtartalma miatt – csupán a trópusi tengerek erősen besűrűsödő vizében figyelhető meg az aragonit kismértékű kiválása.

A tengervízben oldott  $\text{CaCO}_3$  túlnyomó részét az élőlények választják ki, mégpedig kétféle módon: egyrészt egyes növények (pl. a zöld algák) a számukra szükséges  $\text{CO}_2$ -ot a vízből vonják ki, és ezzel  $\text{CaCO}_3$ -kicsapódást idéznek elő, másrészt számos tengeri állat (pl. az egysejtűek, csigák, kagylók, tengeri sünök és lilomok, korallak) szilárd mészvázat épít magának. Különösen a korallak szerepe jelentős, amelyek a sekély, jól átvilágított tengervízben hatalmas zátonyrendszereket alkotnak. A hullámverés és a zátonyon élő állatok (fűrőkagylók, rákok stb.) pusztító hatása következtében a zátony kőzetanyaga fölaprózódik, és részben a zátonyról a mélyebb tengerrészbe, részben pedig a zátony és a part közötti lagúnába szállítódik. A lerakódott törmelékét, mészszipot az iszapfaló állatok alaposan átdolgozzák, ezért az eredeti váz maradványok sokszor teljesen megsemmisülnek. A folytonos üledék-felhalmozódás miatt egyre mélyebbre kerülő mészszipot pedig fokozatosan mészkővé cementálódik. A lerakódó meszes üledékek vastagsága elérheti a több száz, sőt helyenként a több ezer métert!

Az összes kőzetfeleség közül a mészkőben alakulnak ki a legkönnyebben barlangok. A mészkőnek a barlangképződés szempontjából kedvező tulajdonságai a következők:

- *viszonylag rideg, merev kőzet*, ezért gyakoriak benne a törések, rendszerint sűrű tektonikus repedés hálózat járja át;
- *igen jól oldódik gyengén szénsavas vízben*, ezért a repedéshálózatba jutó víz a hasadékokat oldással tágítja;
- *szilárd oldási maradéka igen csekély*, így az oldási maradék nem tömi el a repedéseket, a nyílt hasadékokban szabad vízáramlás alakul ki;
- *viszonylag szilárd, állékony kőzet*, ezért a mészkőben kialakult üregek hosszabb ideig is fennmaradhatnak, nem rognak be.

Magyarország hegyvidékeiben sok helyen fordulnak elő különböző korú mészkövek a felszínen (1. táblázat), felszín alatti elterjedésük pedig még jelentősebb. A barlangképződés szempontjából triász és eocén korú mészköveink a legkedvezőbbek.

A **dolomit** ránézésre nagyon hasonlít a mészkőre, de annál ridegebb, töredezetebb. A karbonátos anyag zömét dolomit ásvány –  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  – alkotja. Habár a tengervízben sokkal több a magnézium, mint a kalcium, a dolomit sem közvetlenül, vegyi úton csapódik ki a tengervízből, hanem rendszerint a mészkövek dolomitosodnak. Ez a folyamat különösen a lapos, meleg és száraz éghajlatú tengerpartokon következik be. A mészkövek utólagos dolomitosodását magas Mg-tartalmú vulkáni oldatok is okozhatják a földkéreg mélyén. A dolomit- és mészkőrétegek gyakran egymással váltakozva fordulnak elő.

A külső hasonlóság ellenére a dolomitban sokkal ritkábban alakulnak ki barlangok, mint a mészkövekben. Ennek az az oka, hogy a dolomit-ásvány szabályosabb kristályos szerkezete miatt sokkal kevésbé oldódik a szénsavas vízben, mint a kalcit vagy az aragonit. Ezért a dolomit repedéshálózatát a hideg víz csak kis mértékben képes oldással tágítani. Hazánkban különösen a triász korú dolomitok fordulnak elő nagyobb mennyiségben, vastagságuk helyenként a 2000 m-t is meghaladja. Legnagyobb dolomitban képződött barlangunk a Fekete-barlang (Bükk-hegység).

A **márga** többnyire sárga, barna vagy világosszürke színű, gyakran vékony réteges, földes tapintású kőzet. Anyagának 50-75%-át alkotják karbonát ásványok, a fennmaradó 25-50% főleg szénsavas vízben nem oldódó agyag ásványokból áll. A márga elsősorban a tengerpartok közelében, a lagúnákban képződik, ahol a lerakódó mészsziphoz jelentősebb mennyiségű lebegtetett hordalék keveredik, amit a folyók szállítanak a tengerbe. Előfordulnak homokos változatai is.

Márgában ritkán alakulnak ki nagyobb barlangok, mivel az oldódás után visszamaradó agyagok eltömik a repedéshálózatot, és így nem jöhet létre szabad vízáramlás. Jelentősebb üregek csak ott képződnek, ahol a márgák mészkövekkel érintkeznek, és az oldási maradék a mészkő üregein át kimosódhat. A Budai-hegységben és a Pilisben sok helyen alakultak ki ilyen üregek az eocén korú márgák és mészkövek határán (1. táblázat).

A **márvány** a mészkövekből és a dolomitokból képződik a földkéreg mélyén uralkodó nagy nyomás és magas hőmérséklet hatására – tehát metamorf kőzet. Az átalakulás során az eredeti karbonátos kőzet átkristályosodik, a benne lévő kalcium, magnézium és az agyagásványok alkotói elkülönülnek. Így egy vegyileg sokkal tisztább, többnyire fehér, halvány rózsaszín vagy barnás, meglehetősen kemény, rideg kőzet jön létre. A nyomás és a hőmérséklet növekedésével egyre kristályosabb és tisztább márvány képződik, amely jól faragható, és ellenáll az időjárás viszontagságainak, ezért kedvelt szobrászati és építészeti burkolóanyag. Minél tisztább és kristályosabb a márvány, annál kevésbé oldódik, így annál nehezebben képződhetnek benne barlangok. Magyarországon a felszínen csak a Balatontól keletre, Szabadbattyán környékén, valamint az Upponyi- és a Szendrői-hegységben fordulnak elő az átalakulás alacsony fokán álló, márványnak alig nevezhető kristályos mészkövek. Ezekben nem keletkeztek nagyobb barlangok.

## A mészkő oldódása

A karbonát ásványok kismértékben már tiszta vízben is oldódnak. A víz hőmérsékletétől és a karbonát kristályszerkezetétől függően 1 l desztillált víz 10-20 mg aragonitot vagy kalcitot képes feloldani. A természetben a víz azonban számos olyan anyagot tartalmazhat, amely jelentősen megnöveli oldóképességét. Már az esővíz magával ragadja a levegő gázait, majd elfolyása és beszivárgása közben ammóniát, salétrom- és kénsavat, sósavat és humuszanyagokat vesz föl a talajból. Különösen a vízben oldott szén-dioxidnak van nagy szerepe, ugyanis CO<sub>2</sub>-tartalmú vízben a karbonátok akár 40-100-szor jobban oldódnak, mint a tiszta vízben.

A mészkő oldódása az alábbi kémiai egyenlet szerint történik:



Ez egyensúlyra törekvő, megfordítható kémiai reakció. A jobbra mutató nyíl irányában oldódás, a balra mutatóéban pedig kicsapódás, mészkiválás történik. A mészkiválás legfontosabb esetei a következők:

- *ha az oldat hőmérséklete növekszik*, a melegebb víz ugyanis kevesebb CO<sub>2</sub>-ot képes feloldani, mint a hűvösebb. Ez a folyamat eredményezi a főzőedények falán és a mosógépek fűtőszálán a vízkő kiválását is, a természetben azonban nincs túl nagy jelentősége.
- *ha csökken az oldatra ható hidrosztatikai nyomás*. E folyamatnak a mészkő képződésénél van nagy szerepe, ugyanis a tengerekben egy bizonyos mélységszint alatt a nagy nyomás miatt a mészvázak feloldódnak.
- *ha az oldattal érintkező levegőben a CO<sub>2</sub> parciális nyomása csökken*. Elsősorban ez okozza a cseppkőképződést. Mivel a barlangi levegőben kevesebb CO<sub>2</sub> van, mint a beszivárgó oldatban, ezért a barlang légterébe jutó vízcseppből a szén-dioxid egy része elillan, a vízben oldott mész pedig kicsapódik. Ugyan ez a folyamat játszódik le a vízeséseknél, karsztforrásoknál, ahol mésztufa-lerakódások képződnek.
- *ha a vízönvények fotoszintézisük során a CO<sub>2</sub>-ot az oldatból elvonják*. Különösen az algák és a mohák szerepe jelentős ebben a folyamatban.
- *ha a víz bepárolódik, sótartalma megnő*. A mészkiválásnak ez a módja elsősorban a sekély trópusi tengerpartok erősen besűrűsödő vizében megy végbe, amikor aragonit képződik.

A mészkőfelszínek oldásában résztvevő hatóanyagokat öt csoportra bonthatjuk:

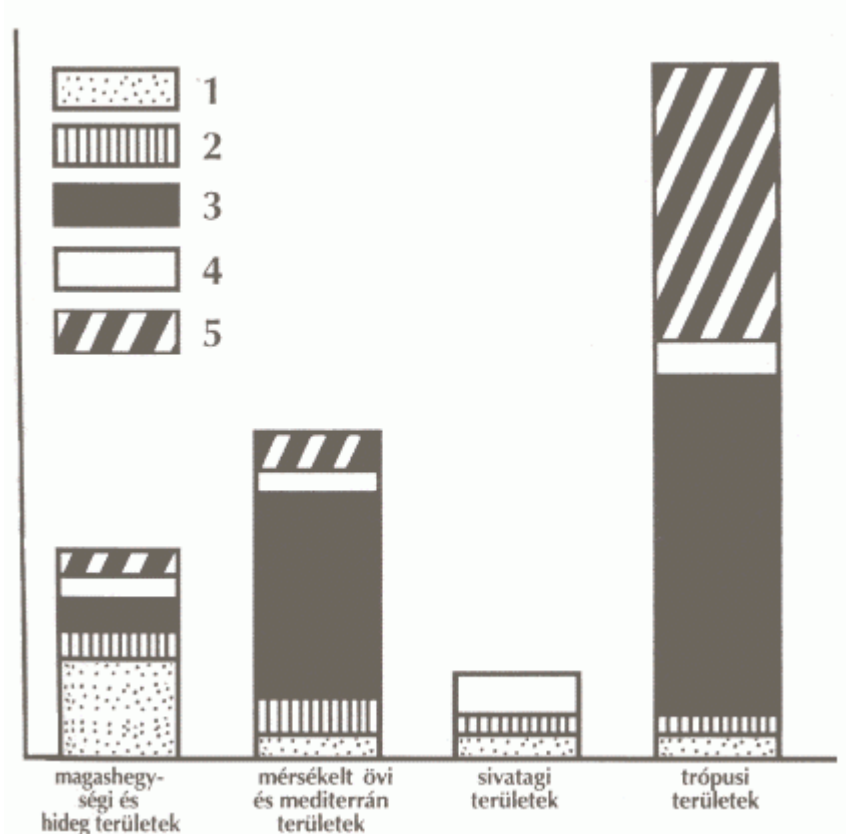
1. légköri eredetű CO<sub>2</sub>,
2. kőzetek mállásából származó CO<sub>2</sub>,
3. talajfolyamatokból származó (biogén eredetű) CO<sub>2</sub>,
4. egyéb szerves savak (sósav, kénsav, salétromsav stb.),
5. szerves savak (humusz- és huminsavak).

A normál légköri levegőben 0,03% széndioxid van, az esővízben oldott levegőben azonban a CO<sub>2</sub> 2,1-2,9%-ra dúsul. A talajban élő korhadéklebontó élőlények nagy mennyiségű széndioxidot termelnek, ezért a talaj levegőjének CO<sub>2</sub>- tartalma 0,2-0,7%. A talajon átszivárgó esővíz tovább dúsul, CO<sub>2</sub>- tartalma elérheti a 3,2-4,5%-ot. A beszivárgó víz szénsavtartalmát tovább növeli a kőzetek mállása során felszabaduló CO<sub>2</sub>. A mészkő oldásában szerepet játszanak a mállás során képződő egyéb szerves savak is. A növényzet ezen kívül gyökérsavakat is termel, amelyek közvetlenül marják a mészkövet.

A különböző éghajlati övekben az egyes hatóanyagok szerepe más és más (58. ábra). Mivel a szén-dioxid a hideg vízben jobban oldódik, ezért a légköri eredetű CO<sub>2</sub>-nak nagyobb a jelentősége a magashegységi, hideg területeken, mint a melegebb vidékeken.

A talajfolyamatoknak viszont a melegebb klíma kedvez, ezért a biogén eredetű CO<sub>2</sub> és a szerves savak szerepe a mérsékelt, de főleg a trópusi éghajlatú területeken a nagyobb. A sivatagokban, ahol a vízhiány miatt csak gyér növényzet fejlődik, megnő a kőzetek mállásából származó CO<sub>2</sub> és a szerves savak jelentősége. A karbonátos kőzetek oldódása összességében a trópusokon a legintenzívebb, többszörösen felülmúlja a mérsékelt és a hideg, magashegységi területek mészköveinek oldódását. A mészkövek oldódása a sivatagi területeken a leglassabb.

A karbonátos kőzeteken túl ismerünk más kőzeteket is, amelyek a mállás során kisebb-nagyobb mértékben oldódnak. Ilyenek például a meszes cementálású homokkővek, a löszök, a só kőzetek (pl. a kősó) és a szulfátos kőzetek (gipsz, anhidrit). Barlangtani szempontból azonban ezek a kőzetek sokkal kisebb jelentőségűek, mivel egyrészt jóval ritkábban fordulnak elő, mint a karbonátos kőzetek, másrészt pedig az üregek kialakulására és fennmaradására sem nyújtanak olyan kedvező feltételeket, mint a mészkövek.



58. ábra: A mészkő oldásának nagyságrendje és az egyes hatótényezők részaránya a különböző éghajlati övekben (Jakucs L. nyomán)

- |   |   |
|---|---|
| 1. légköri eredetű CO <sub>2</sub>      | 2. mállásból származó CO <sub>2</sub>       |
| 3. talaj-biogén eredetű CO <sub>2</sub> | 4. egyéb szerves savak (sósav, kénsav stb.) |
| 5. szerves savak (humusz-, huminsavak)  |   |

## Karsztosodás, karsztjelenségek

A vízben oldódó kőzetekben a mállás és lepusztulás során igen sajátos képződmények, formák alakulnak ki. Mivel ezeket a lepusztulási formákat elsőként a szlovéniai Karszt-hegység mészkövein tanulmányozták alaposabban, ezért ezeket a képződményeket karszt jelenségeknek nevezzük, a folyamat pedig, amelynek során létrejönnek, a karsztosodás nevet kapta.

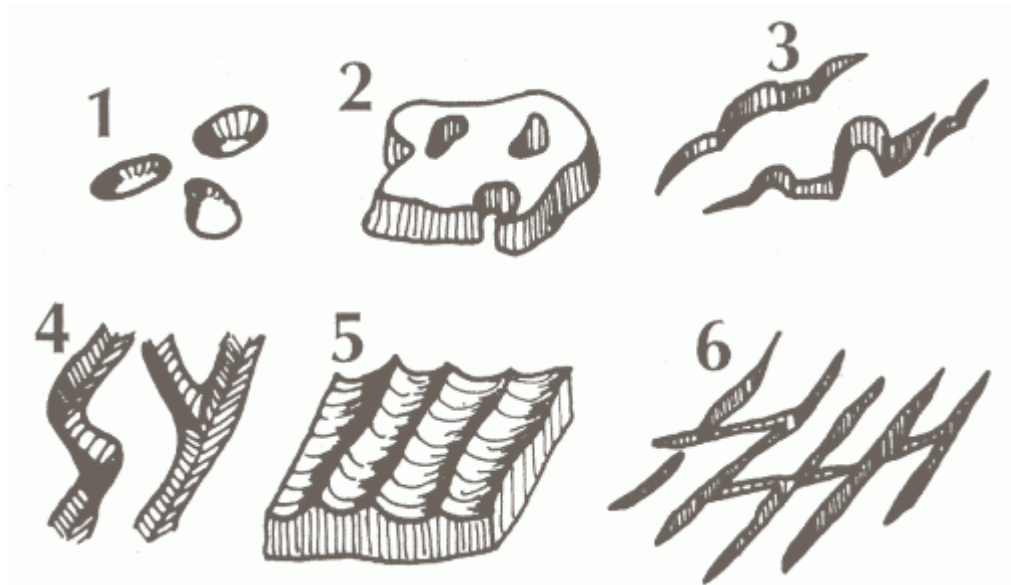
A karsztvidékeken általában nincsenek állandó felszíni vízfolyások, mert a lehulló csapadék a kőzet nyílt repedéshálózata mentén hamar a mélybe szívárog. A felszíni vízfolyások hiányában nem alakul ki összefüggő völgyhálózat sem, csak vakvölgyek, nagyméretű horpadások jönnek létre. Az aktív völgyhálózat hiánya miatt a felszíni lepusztulás is lassúbb, ezért – különösen a mészkőhegységekben – gyakran alakulnak ki fennsíkok, amelyek meredek peremekkel emelkednek a környező területek fölé. A beszivárgó víz magával viszi a föld alá a kőzetek mállástermékeit, a talajt, így sok helyen tűnik elő nagy, kopasz foltokban a mészkő. Maga a "karszt" szó is azt jelenti: csupasz, kopár.

A karszt jelenségek között megkülönböztetjük a felszíni és a felszín alatti karsztformákat.

### A karsztok felszíni formái

#### • felületi karsztképződmények, karrok

A karsztosodó kőzet felületén – részben a talaj alatt, részben pedig a talajtakaró nélküli, csupasz sziklákon – különféle oldási formák, úgynevezett *karrok* alakulnak ki (59. ábra). A kisebb mélyedések, üregek, a karéjos formák elsősorban a mérsékelt égvön, a talaj alatt fejlődnek ki. A hideg, magashegységi területeken, ahol vékony a talajtakaró, gyér a növényzet, és a légköri eredetű CO<sub>2</sub> a legfontosabb karsztosodási hatótényező, leginkább az árkos és barázdás karrok a jellemzőek ("ördögszántás"). A trópusi karszterületeken, ahol a leggyorsabb az oldódás, olykor több méter mélységű repedéshálózatos karrok alakulnak ki. A fás szárú növények gyökerei által termelt savak, gyökérnedvek közvetlenül marják a kőzetet, ezért a gyökerek helyén kisebb csövecskék, csőszerű üregek keletkeznek. Ilyen gyökérkarrok a mérsékelt égvön is létrejönnek, de igazán a trópusokon fejlődnek ki.



59. ábra: Felületi karsztformák, karrok (Grozgyeckij nyomán)

- 1. kis, kerekded mélyedések, üregek
- 3. karéjos formák
- 5. barázdás karrok

- 2. gyökérrakok
- 4. árkos karrok
- 6. repedéshálózatos karrok

• **töbör, töbör sor**

A *töbör* lapos, többnyire csésze vagy tál alakú bemélyedés, amelynek mélysége pár métertől néhányszor tíz méterig terjed, átmérője pedig akár több száz méter is lehet. A töbrök elsősorban a mérsékelt és szubtrópusi éghajlaton, az alacsonyabb hegységekben alakulnak ki.

A töbör talaj alatt fejlődő, oлдásos képződmény, amely keletkezését két fontos tényezőnek köszönheti. Egyrészt a kőzetfelszín mélyedéseiben mindig vastagabb a talajtakaró, ezért az itt beszivárgó víz szénsavtartalma és oldóképessége is magasabb. Másrészt záporok vagy hóolvadás után a víz a mélyebb térszíneken hosszabb-rövidebb időre összegyülekezik, és onnan szivárog el a kőzet repedésein. Tehát a kőzetfelszín kezdeti kisebb mélyedései fokozatosan egyre nagyobbá és mélyebbé válnak. A töbör növekedése, mélyülése szinte soha nem egyenletes: lejtőin más-más időpontban olvad meg a hó, eltérő mértékben vannak kitéve a szél szárító hatásának stb. Emiatt a töbör kialakulása során oldalirányban is "vándorol", valamelyik lejtője meredekebb a többinél.

Igen gyakran megfigyelhető, hogy a töbrök sorokba rendeződnek. A töbör sorok kialakulásának okát később, a karszterületek fejlődésének leírása során fogom ismertetni.



60. ábra: Karsztos mélyedések

1. *töbör*

2. *roggyás*

3. *víznyelő*

• **roggyás, beszakadás, szurdokvölgy**

Habár a mészkő meglehetősen szilárd, állékony kőzet, a benne kialakult üregek mégsem örök életűek, hanem mennyezetük előbb-utóbb felszakadozik. A mélyben bekövetkezett omlások hatására a felszínen lapos, egyenetlen aljú mélyedés, ún. *roggyás* jön létre (60. ábra). Előfordul, hogy az omlás egészen a felszínig felharapódzik. Ilyenkor meredek, esetleg aláhajló falú, omladékkal borított fenékű *beszakadás* jön létre. Hosszabb járatok beomlásakor *szurdokvölgyek* keletkeznek, amelyek egykori barlangfolyosó múltjáról csak a fennmaradt köhidak, sziklakapuk árulkodnak.

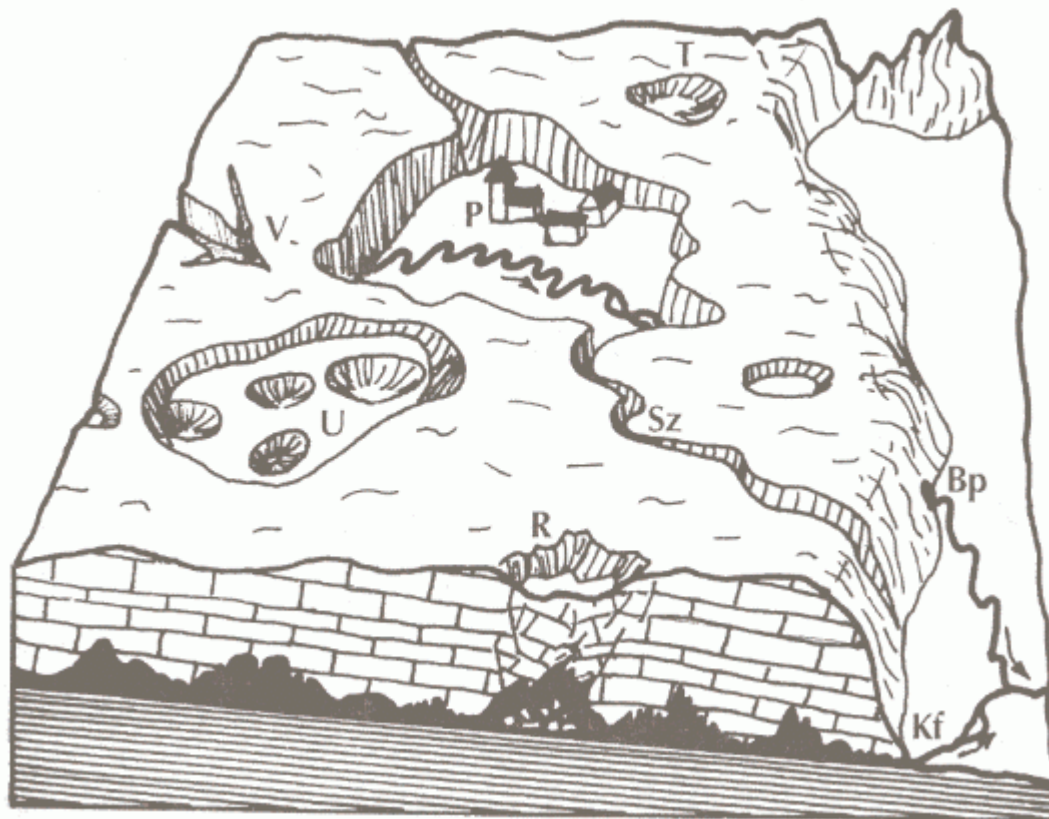
• **uvala, lápa, polje**

A karsztfennsíkokon nagy kiterjedésű, olykor több kilométer átmérőjű mélyedések is kialakulhatnak, amelyekben kisebb töbrök helyezkednek el. Ezeket a többszörösen egymásba ágyazott töbröket nevezzük *uvalának*, vagy másképpen *lápának*. A karsztvidékek sajátos képződményei a *poljék*. A polje nagyméretű, gyakran több négyzetkilométer kiterjedésű beszakadás,

amelynek nincsen felszíni lefolyása. A poljében összegyűlő vizek a felszín alatt, barlangjáratokon keresztül jutnak el a karsztvidék peremére. A kopár és száraz karsztfennsíkokon csak a poljékban van vízfolyás és a földműveléshez megfelelő talaj, ezért a falvak is a poljékba települtek (61. ábra). Időnként előfordul, hogy a hirtelen hóolvadás, zápor következtében összegyűlő nagy mennyiségű vizet a barlangjáratok nem győzik elvezetni, ezért a polje árvízveszélyes terület.

• **víznyelő (ponor)**

A karsztvidékek talán legérdekesebb jelenségei a víznyelők. A *víznyelő* rendszerint csésze vagy tölcser alakú, többnyire elnyújtott mélyedés, amelynek átmérője néhányszor tíz métertől pár száz méterig terjed. Míg a töbrök alja többnyire sík, egyenetlen, addig a víznyelő talpa határozottan lejt. A töbrökben a záporok után összegyűlő víz apró repedéseken keresztül lassan szivárog el, ezzel szemben a víznyelőkben rendszerint határozott vízmosás figyelhető meg, amely az időszakosan vagy állandóan folyó vizet a víznyelő legmélyebb pontjához vezeti. A nyelő szája még a nagyobb vízmennyiséget is hangos "szürcsöléssel, kortyolással" elnyeli, és csak ritkán fordul elő, hogy a nyelőszájánál megtorlódozó víz rövidebb ideig tóvá duzzad.



61. ábra

*T. töbör*  
*R. rogyás*  
*V. víznyelő*

*U. uvala*  
*Sz. szurdokvölgy*  
*Kf. karsztforrás*

*P. patak*  
*Bp. búvópatak*

A víznyelők általában a karsztos és a nem karsztosodó kőzetek határának közelében alakulnak ki. A víznyelő tulajdonképpen olyan váltópont, ahol a felszíni vízfolyás a karbonátos kőzetekben kialakult üregrendszerbe lép, és – hordalékát is magával szállítva – a föld alatt folytatja útját (61. ábra).

• **karsztforrás, búvópatak**

A *karsztforrás* bizonyos szempontból a víznyelő ellentéte: olyan váltópont, ahol a felszín alatti vízfolyás a karszterület peremén a felszínre lép. Más forrásoktól eltérően a karsztforrás általában egy meghatározott pontban, koncentráltan fakad. Többnyire bővizű, de vízjárása és a víz minősége szélsőségesen ingadozó. Szárazabb időszakokban kristálytiszta vize igen sok oldott meszet tartalmaz, amely a CO<sub>2</sub> elillanása miatt kicsapódik, és forrásmészke, mésztufa képződik. Csapadékos időszakokban vagy hirtelen hóolvadás után a karsztforrásból előtörő víz mennyisége akár a több százszorosára növekedhet. Ilyenkor a karsztos üregeken keresztül folyó zavaros, barna áradat oldottmész tartalma erősen lecsökken.

A karsztforrás vízhozamának és a víz vegyi összetételének változásából, a víz által szállított hordalékból következtetni lehet a forrás mögötti üregrendszer méretére, tágasságára is.

A karsztvidékek érdekes jelensége a *búvópatak*. Gyakran előfordul, hogy a nem karsztos kőzetből vagy a talajból fakadó kisebb forrás vize néhány száz méterrel odébb víznyelőben tűnik el. A poljékra is jellemző, hogy a polje egyik szélén feltörő karsztforrás vize a poljén keresztül folyva a másik szélén újból a föld alá bújlik. A búvópatak népi neve "visszafolyó". Erdélyben a karsztforrást vízkeletnek, a víznyelőt pedig víznyugatnak hívják.

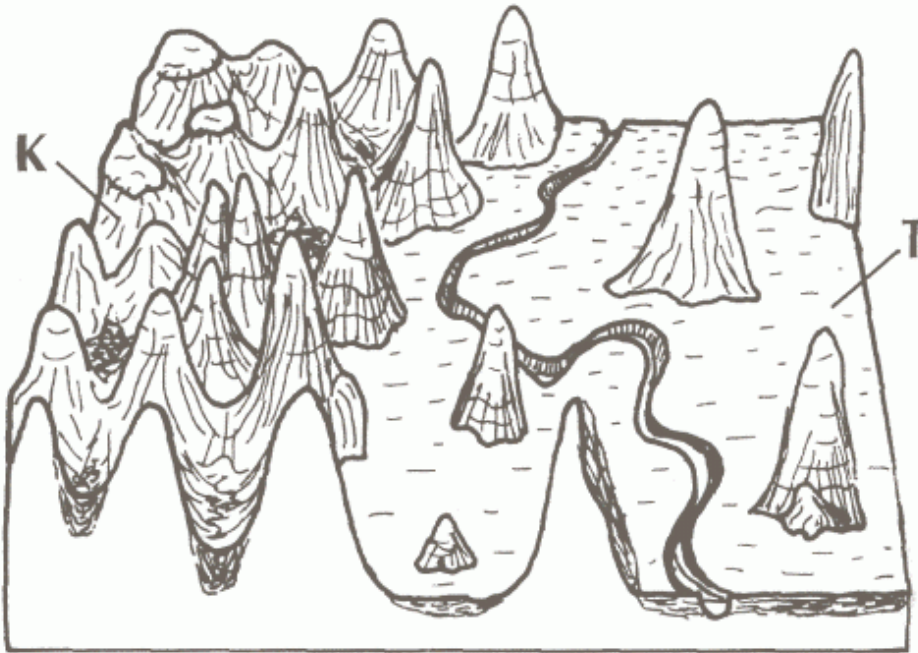


**• trópusi karsztformák**

A trópusi területeken a mérsékelt égövénél sokkal gyorsabb karsztosodás miatt sajátos karsztformák jönnek létre. Az intenzív karrosodás szinte járhatatlanná teszi a felszínt. Igen gyors az üregképződés, de az üregek rövid életűek, viszonylag hamar beomlanak, ezért sok a meredek falú beszakadás. A hirtelen, nagy esőzések miatt a mállás során feloldódó anyag nagyobb része a felszíni lefolyással szállítódik el, így nem a mérsékelt égövre jellemző egységes karsztfennsík, hanem egy erősen feldarabolt *kúp-karszt*, ún. mogote alakul ki (62. ábra). A karsztosodás előrehaladtával a mélyedések sík lapálya egyesülnek, amelyből magányos mészkőkúpok meredeznek (*toronykarszt*). A lapályt a mészkő oldódási maradékából kialakuló vasban dús talaj borítja, amely jellegzetes vörös színéről a *terra rossa* ("vörös föld") nevet kapta.

A környező területekről a karsztfelszínre mosódó, és ott a töbrökben és rogyásokban, mint csapdákbán felhalmozódó agyagok a trópusi éghajlaton sajátosan átalakulnak. Bizonyos kémiai elemek kioldódnak belőlük, mások feldúsulnak. Így jönnek létre az alumíniumban dús karsztbauxitok, illetve az oxidos mangánércsek.

A földkéreg lemezeinek vándorlása és a Föld éghajlatának változása miatt Magyarország területe sem mindig a mérsékelt égövhez tartozott. A kréta időszak során és a paleocén korban (1. táblázat) hazánkban trópusi éghajlat uralkodott, amikor felszínén lévő mészköveink intenzíven karsztosodtak. A trópusi karsztformák a Villányi-hegység és a Bakony külszíni bauxitfejtéseiben és mangánbányáiban figyelhetők meg, amelyek egy része ma természetvédelmi terület (nyirádi Darvas-tó és úrkúti Csárda-hegy).



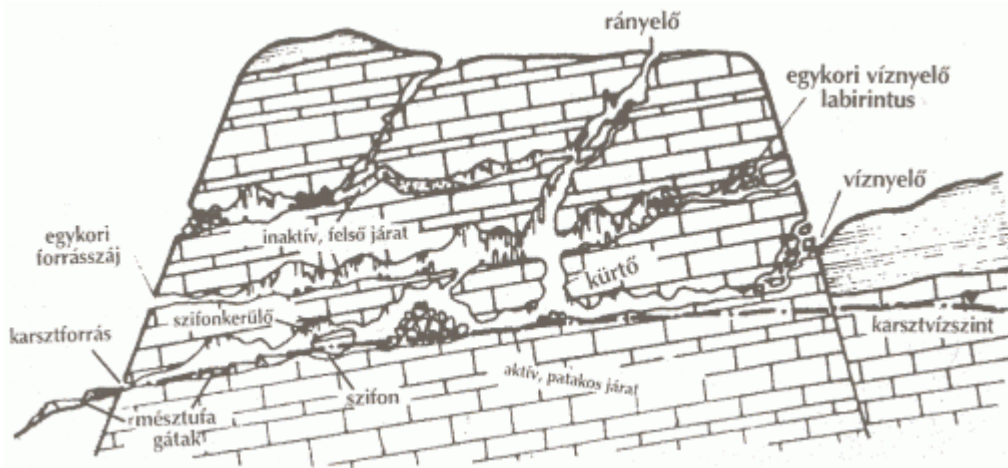
62. ábra: Trópusi karsztformák (Jakucs L. nyomán)

K. kúp-karszt

T. toronykarszt

**Felszín alatti karsztformák**

A legfontosabb felszín alatti karsztforma a repedéshálózat mentén oldódással táguló üreg, a *karsztbarlang*. A barlang többnyire folyosók és járatok rendszere, amelyek időnként termekké szélesednek. A járatok formája és mérete általában szélsőségesen változik a befoglaló kőzet repedezettségétől és oldhatóságától függően.



63. ábra: Emeletes barlangrendszer

A járatok igen gyakran egymás fölött több szintben húzódnak. A különböző szinteket aknák és kürtők kötik össze. Az ilyen *emeletes barlangrendszer* (63. ábra) kialakulásának részben közettani, részben éghajlati-tektonikai okai vannak. Közettani ok lehet például, ha a mészkőretek közé kevésbé oldódó dolomitos vagy márgás szintek települnek. Ilyenkor a kőzetpedések elsősorban a mészkövekben tágulnak, itt alakulnak ki a vízvezető járatok.

Az emeletes barlangrendszer kialakulása sok esetben az éghajlati változásokkal magyarázható. Az utóbbi 2 millió év, a pleisztocén kor során a hűvös és száraz jégkorszakok valamivel enyhébb és csapadékosabb időszakokkal váltakoztak. A csapadékosabb periódusokban a földfelszín lassan emelkedő területein hirtelen felgyorsult a lepusztulás, a völgyek kimélyültek, és a karsztvidék peremén a karsztforrások mélyebb szintre kerültek. Ezért a vízvezető barlangjáratok is mélyebb szinten kezdtek kialakulni. A hideg és száraz időszakokban viszont a felszíni lepusztulás és a karsztosodás is lelassult, a járatok részben kiszáradtak, a források elapadtak. Az újbóli felmelegedés nyomán a járatok képződése ismét mélyebb szintre helyeződik. Hazánkban a legtöbb patakos karsztbarlang kétemeletes, de a mérsékelt égöv más területein ismerünk 3-5 emeletes barlangrendszereket is.

Az emeletes barlangrendszer alsó szintjét, amelyben a barlangi patak folyik, *aktív járatnak* nevezzük. Ezt a szintet a patak hordalékával még ma is koptatja, tágítja – különösen áradások idején. Azt a szakaszt, ahol a járat mennyezete a barlangi patak szintje alá bukik, szifonnak hívjuk. A *szifon* rendszerint a kevésbé oldódó kőzetben alakul ki, és az aktív járat legfiatalabb része. A barlangászok szerencséjére a szifonon való túljutást számos esetben egy magasabb helyzetű *szifonkerülő járat* könnyíti meg.

A felső, *inaktív járatokba* már csak elvétele vagy egyáltalán nem emelkedik fel az árvizek szintje, ezért ezek a járatok sokkal agyagosabbak és dúsabbak cseppkőképződményekben. A felső járat az *egykori forrásszájhoz* vezet. Nagy esőzések után, amikor a barlangi árvíz szintje egészen a felső járatokig emelkedik, az akár több évtizedig is száraz árvízi forrásszáj hirtelen működni kezd. Számos barlangrendszerbe ilyen időszakosan megnyíló forrásszájon keresztül sikerült bejutni.

Mivel a térszín változása a karsztos terület peremén a leggyorsabb, ezért a víznyelők és a karsztforrások közelében gyakran alakulnak ki. szűkebb járatokból álló, bonyolult térbeli *labirintusok*. A víznyelőhöz közeli szakaszok magasan a karsztvízszint fölött húzódnak, ezért ezekben a többnyire omladékos járatokban csak a víznyelő működése idején folyik patak. Ilyenkor viszont szinte teljesen kitölti a járatokat a víz. A barlang alsó, a karsztforráshoz közeli szakasza viszont számos esetben a karsztvízszint alá mélyül, ezért ott állandó a vízborítás, amit csak súlyosbítanak a barlangi patakok visszaduzzasztó mésztufagátak (63. ábra).

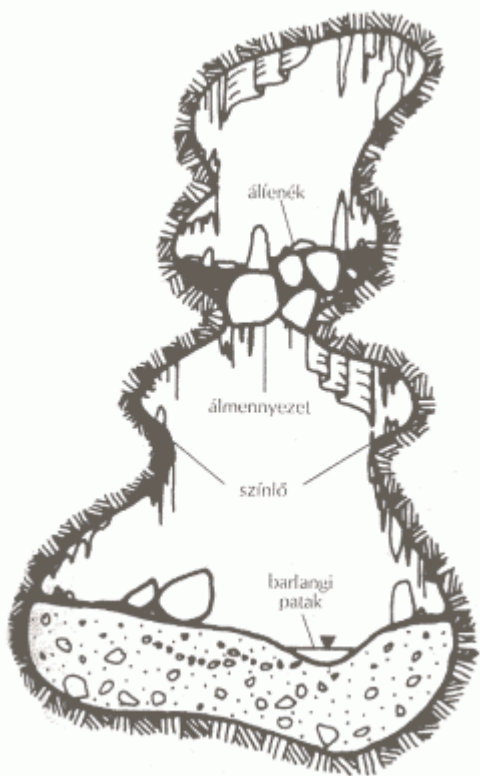
A karsztbarlang folyosója lehet egyenes vonalú különösen amikor valamilyen nagyobb közethasadék mentén alakul ki, és jelentős az esése. Jóval gyakoribb azonban a térbeli repedés hálózat mentén kifejlődő, szabálytalanul zezugos járat. Azonban rendszerint ilyenkor is felismerhetők a járatok irányát megszabó hasadérendszer. Ha a barlangi patak jelentős mennyiségű kavicsos hordalékot szállít magával, erősen kanyargó, *meanderező* barlangfolyosó alakulhat ki (Kecske-lyuk, Bükk-hg.).

A barlangfolyosóban számos helyen a falakon végigfutó hosszanti párkány, ún. *színlő* figyelhető meg (64. ábra). A színlő kialakulásának lehetnek közettani okai, mint például egy kevésbé oldható kőzetreteg, vagy egy keményebb, a koptatásnak jobban ellenálló kőzetpad kipreparálódása. A színlő kialakulása ennél gyakrabban vezethető vissza éghajlati okokra. A barlangfolyosó mélyülése, bevágódása során ugyanis a szárazabb időszakokban szűkebb járatszelvény alakul ki. Amikor több a csapadék és gyakoribbak az árhullámok, megnövekszik a barlangi patak hordalékának koptató hatása, és a patak meanderező jellege miatt szélesebb barlangfolyosó alakul ki. A vízhozam periodikus változása egymás fölött több szintben futó színlőket eredményezhet. A folyosó szűkebb részein, a színlők között megrekedhet az omladék, és cseppkővel cementált *álmennyezet*, ill. *álfenék* alakulhat ki (64. ábra).

Felületi oldásos képződmények, azaz karok a barlang falán is kialakulhatnak; főleg árkos és barázdás *barlangi karok* fordulnak elő. Számos helyen figyelhető meg a falakon az örvénylő víz által kialakított, pár centimétertől 20-50 cm-ig terjedő méretű homorú mélyedések, ún. *hullámfodrok*, valamint a járat talpán kimosott *örvényüstök*. Ugyancsak a felszín alatti karsztképződmények közé tartoznak a barlangi üledékek és a cseppkő képződmények, amelyeket a barlangi kitöltéseknél fogunk részletesen megismerni.

A barlangok különleges fajtája a *zsomboly* (64/a. ábra), azaz a nagy függőleges kiterjedésű aknabarlang. A zsomboly szó már az üreg keletkezésének módjára is utal, ezért a meredek víznyelőjáratokat, az omlással a felszínig felszakadó üregeket vagy a hévizes kürtöket helytelen így nevezni! A valódi zsomboly másképpen keletkezik.

A zsomboly rendszerint több aknából áll, amelyek egymással különböző magasságban, gyakran egészen kis nyílással érintkeznek. Az aknák felfelé vakon végződnek, lefelé tágulnak, és az aljukon sem lehet patakos járatra bukanni. Az aknák vízszintes metszete egy vagy több irányban elnyújtott, zabszem vagy csillag szelvényű, mindig jól felismerhetőek az akna kialakulásában fontos szerepet játszó tektonikus repedések. A legtöbb zsomboly bejárata egy töbör oldalában található, és a bejárati akna felső része általában beszakadással nyílik meg.



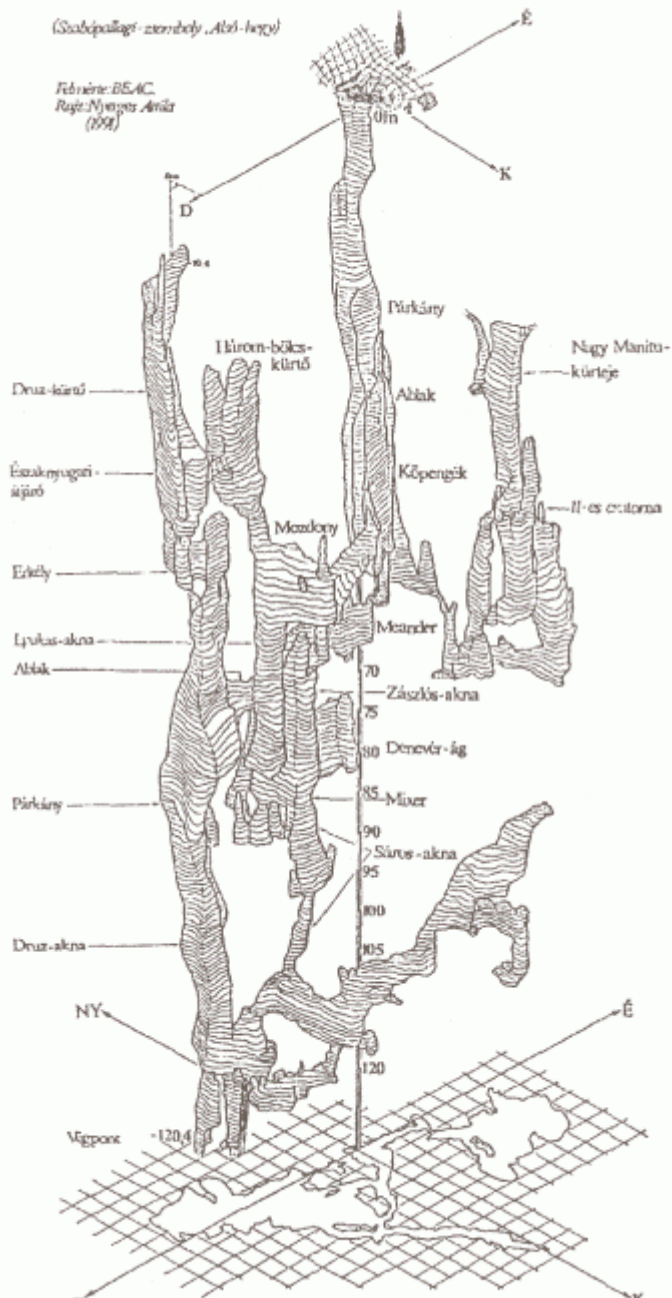
64. ábra

**Feltöltődő jellegű, időszakosan aktív eroziós barlangfolyosó keresztmetszete**

# BAGLYOK - SZAKADÉKA

(Szabópalásti zomboly „Alsó-hegy”)

Félméret: B.E.A.C.  
Rajta: Nyerges Árpád  
(1991)



64/a. ábra

A zombolyok oldódás útján keletkeznek. A zápornyelőként működő töbörök alján a csapadékvíz lefelé szivárog a karsztvízszint irányába. Főleg a hűvösebb éghajlatú területeken a víz oldóképességét nagyobb mélységig is megőrzi, és a táguló hasadék lefelé egyre több rés vizét csapolja meg. Az akna lefelé legfeljebb a karsztvízszint eléréséig mélyülhet. Mint korábban említettem, a töbör oldalirányban vándorolva mélyül, ezért a fő beszivárgási terület fokozatosan arrébb helyeződik. Így alakul ki az egymás mellett lépcsőzetesen elhelyezkedő aknasorozat. A töbör mélyülésével a legfelső akna a töbör oldalában a felszínre lyukadhat. Az aknák összeszűkülő részein megrekedő, cseppkövel cementált omladékból álfenék képződhet.

Hazánkban meglehetősen sok zomboly található, főleg az Aggteleki-karszthoz tartozó Alsó-hegyen, a Bükkben és a Bakonyban a Tési-fennsíkon. Bejárásuk a jelentős mélységek és az aláhajló falak miatt megfelelő felkészültséget és felszerelést igényel!

## A barlangok élete

Bátran állíthatjuk, hogy a barlangoknak is van életük: megszületnek, fejlődnek, majd elpusztulnak. Születésük az *üregesedéssel* kezdődik, halálukat pedig az üregek *kitöltődése*, beomlása jelenti. Életük emberi mértékkel mérve rendkívül hosszú, földtörténeti szempontból azonban meglehetősen rövid. A legtöbb barlang élete csupán néhány tízezer vagy pár százezer év, és csak elvétve fordulnak elő több millió éves barlangok. Előfordul viszont, hogy egy már teljesen feltöltődött üreg évmilliókkal később újra kipucolódik, a "halott feltámad". Számos hazai fiatal barlangunk esetében feltételezhető, hogy bizonyos üregei már a kréta-paleocén trópusi karsztosodás során kialakultak.

Léteznek olyan kőzetek, amelyek már képződésük során kisebb-nagyobb üregeket zárnak magukba. Ezeket a befoglaló kőzet képződésével egyidejűleg képződött üregeket *szingenetikus barlangoknak* nevezzük. Ezzel szemben a barlangok másik, jelentősen nagyobb és fontosabb csoportja utólagosan, a már kialakult kőzetben jön létre, a kőzet keletkezésétől független földtani erők munkájának hatására. A kőzet és az üreg képződése között akár több százmillió év is eltelhet. Az ilyen üregeket *posztgenetikus barlangoknak* hívjuk.

## Szingenetikus barlangok

### • lávabarlangok

Mint nevük is mutatja, a lávabarlangok kiömlési vulkáni kőzetben, a lávában keletkeznek. Két fő típusuk különböztethető meg:

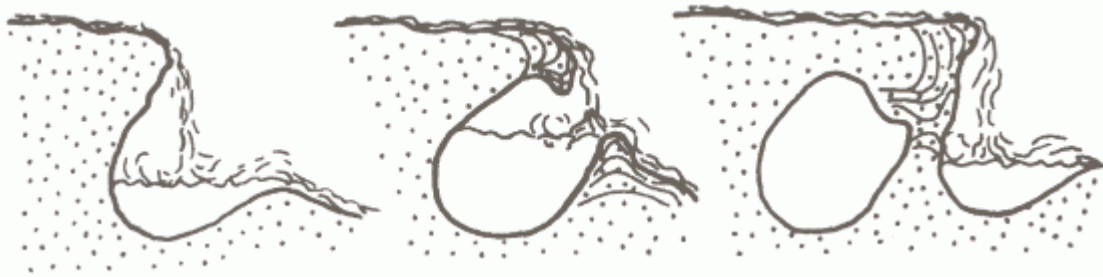
A *lávahólyag barlang* rendszerint gömb formájú üreg, amely nem más, mint a sűrűn folyós (főleg bazaltos) lávában képződött nagyméretű gázbuborék. A lava lehűlésekor a kőzetbe dermedő buborék falára a gázokból-gőzökből különleges kristályok válnak ki. A barlangra a felszínen semmi nem utal, rendszerint kőbányászás közben, véletlenül bukkannak ilyen üregekre. A lávahólyag barlangok általában csupán néhány méter átmérőjűek. Magyarországon ilyen üreg a Sámsonházi-hólyagbarlang (3 m) a Cserhát andezitjében.

A *láva kéreg barlang* főleg andezites lávában kialakuló, olykor több kilométer hosszú csatorna. A vulkán oldalán lefolyó lávaár felszíne és homloka fokozatosan kihűl, kéregszerűen megdermed. Ha a homlokot áttörve a kéreg alól kifolyik a még híg láva, hosszú alagút marad vissza. Mivel a mennyezetet alkotó vékony kéreg könnyen beomlik, ezért a lávakéreg barlangok nem hosszú életűek; főleg a jelenleg is aktív vulkáni területeken (pl. Hawaii-, Galapagos- és Kanári-szigetek) fordulnak elő.

### • mésztufabarlangok

A karsztforrások vize igen sok oldott meszet tartalmaz. Az olyan helyeken, ahol a víz áramlása felgyorsul, felülete megnövekszik, CO<sub>2</sub>-tartalmának egy része elillan. A vízben oldott mész egy része forrás mészkő, mésztufa formájában kicsapódik. Ez következik be a vízeséseknél is, ahol nagyméretű mésztufadombok épülhetnek. A lezúduló víz örvényüstöt váj

ki, a szertefröccsenő vízből viszont mésztufagát épül (65. ábra). Mivel a peremen megtelepedő növények (mohák, páfrányok) függőnye meggyorsítja a mészkiválást, ezért a vízesés pereme előrefele halad.



65. ábra

A mésztufagát beboltozódik, és a domb testében kisebb-nagyobb üregek maradnak vissza, melyek mérete pár métertől néhányszor tíz méterig terjed. Ezek az üregek nem alkotnak egybefüggő, kiterjedt barlanghálózatot, hanem rendszerint mesterséges tárókkal kötik őket össze. Hazánk legnagyobb mésztufabarlangja lillafüredi Anna-barlang.

- **korallbarlangok**

A sekély, jól átvilágított vízben gyorsan fejlődő korallzátonyokban a zátony épülése során a korallok olykor tekintélyes méretű üregeket zárnak közre. Ezek az igen változatos kiterjedésű, zezugos üreghálózatok számos tengeri élőlénynek nyújtanak búvóhelyet. A korallbarlangok még a víz alatt sem hosszú életűek, mivel a zátonyt pusztító élőlények munkája következtében gyorsan feltöltődnek. Szárazra kerülve azonban a hullámverés miatt még gyorsabban beomlanak.

- **gejzírbarlangok**

A vulkáni tevékenység végeztével a mélyben rekedt forró gőzök és gázok még évezredekig forró vizű források és gázkifúvások formájában törnek a felszínre. A gejzír is ilyen utóvulkáni tevékenységhez kapcsolódó, időszakosan működő hévforrás. A forró vízben oldott kovásva a felszínre ömölve hidrokvarcit formájában csapódik ki, amelyből olykor a 10-30 m-es magasságot is elérő gejzirkúp épül a forrás körül. A gejzírek sajátossága, hogy a kúpban mindig kialakul egy pár méter nagyságú üreg. Hazánkban a Zempléni-hegységben és a Tihanyi-félszigeten fordulnak elő gejzirkúpok. Ez utóbbi helyen mintegy 40 db gejzírbarlangot ismerünk, amelyek közül a legnagyobb 14 m hosszú.

- **telérben képződött barlangok**

A magmás és vulkáni tevékenységhez kapcsolódó forró vizes oldatok az oldott anyag egy részét már a föld mélyének tektonikus repedéseiben lerakják. Ezeket a hasadékkitöltéseket teléreknek nevezzük. A leggyakoribb teléralkotó ásvány a kvarc, amely a vízben oldott kovásva kicsapódásakor kristályosodik ki. A közethasadékot nem mindig töltik ki teljesen a kristályok; előfordul, hogy több méter átmérőjű üregek maradnak szabadon. Ilyen kvarctelérben képződött üreg a Likas- kő a Velencei-hegységben, amelyet 1295-ben említenek először, s amely valószínűleg hazánk legidősebb barlangja.

### Posztgenetikus barlangok

A posztgenetikus üregek a befoglaló kőzetben utólag alakulnak ki, a kőzet keletkezésétől független külső és belső erők munkájának következtében. A legfontosabb posztgenetikus üregeképző hatások a következők:

1. tektonikus mozgások,
2. gravitációs tömegmozgások,
3. a szél által szállított hordalék csiszoló hatása,
4. a víz oldó hatása (korrózió),
5. a víz által szállított hordalék koptató hatása (erózió).

Ezek az üregeképző hatások csak ritkán figyelhetők meg teljesen elkülönülten, tisztán. A legtöbb posztgenetikus barlang kialakulásában többféle hatótényező szerepe is kimutatható.

- **szerkezeti vagy közethasadék-barlangok**

Ilyen barlangok bármely merev, szilárd kőzetben (pl. gránit, andezit, mészkő) képződhetnek, de tartósan csak a mészkőben maradnak fenn. A *tektonikus mozgások* következtében a földkéregben olykor több méter szélességű, jelentős függőleges kiterjedésű hasadékok jönnek létre, amelyek szerencsés esetben nem tömődnek el kőzettörmelékkel. A jól rétegzett, pados elválású mészkövekben közel vízszintes, alacsony, de széles kiterjedésű, *réteglap menti kőzetelválásból* létrejött hasadékbarrangok is képződhetnek. A közethasadék-barlangokat párhuzamos, sík falfelületek jellemzik. A karsztosodó kőzetekben keletkezett hasadékok a bennük áramló víz hatására rendszerint oldódással tovább tágulnak. Hazánk legnagyobb nem karsztos kőzetben képződött ürege is közethasadék barlang, a Csörgő-lyuk (230 m) a Mátrában, amely riodácit-tufában alakult ki.

- **áltektonikus vagy suvadásos, rogyásos barlangok**

Meredek hegyoldalak, sziklafalak tövében a leváló vagy lecsúszó nagyméretű kőzettömbök néha jelentős kiterjedésű üregeket zárnak közre. Ezeket a *gravitációs tömegmozgások* által előidézett, rendszerint rövid életű és gyorsan feltöltődő üregeket nevezzük *suvadásos barlangoknak*. Az áltektonikus barlangok másik típusa a karsztosodó kőzetekhez kapcsolódik. A karsztos üregek beomlása révén a felettük lévő nem karsztos kőzetben is *rogyások, beszakadásos üregek* jöhetnek létre. Az ilyen üregek hosszabb ideig is fennmaradhatnak, mert a nagyobb kőzettömbök között beszivárgó víz a törmelékkel a karsztos

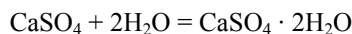
repedés hálózaton át elszállítja. Legnagyobb rogyásos barlangunk a Pulai-bazaltbarlang (215 m). Ugyancsak karsztos üregek beszakadásával képződött a Papp Ferenc-barlang (Budai-hg.) főlő, konglomerátum tömbök között húzódo szakasza.

#### • szélmarásos, deflációs barlangok

A sivatagi éghajlaton, ahol gyér a növényzet, a szél rengeteg hordalékot szállít. A szél által szállított homokszemcsék igen jelentős csiszoló munkát képesek végezni. Különösen a jól rétegzett, különböző keménységű rétegekből álló homokkövekben alakulhatnak ki a töredezettebb, puhább részekben kisebb-nagyobb odúk és üregek. A szélmarásos, deflációs barlangok mérete rendszerint nem túl jelentős. Legközelebb Spanyolországban található néhány szép példa rá.

#### • gipszduzzadásos barlangok

A földtörténet korábbi időszakaiban a meleg és száraz tengerpartok lagúnaiban a besűrűsödő tengervízből víztartalmú kalcium-szulfát, azaz gipsz vált ki. A betemetődés során a földkéreg mélyebb szintjein a gipsz víztartalmát elveszítette, és fokozatosan anhidritté alakult át. Ha azonban ezek az anhidritrétegek újból felszínközelpbe jutnak, érdekes folyamat játszódik le: az anhidrit vízfelvétellel újra gipsszé alakul, és térfogata közben a harmadával megnövekszik!



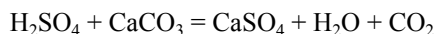
A duzzadás során a gipsz a fölötté lévő közetrétegeket is felpúpozza. Ha a szivárgó víz a felpúpozott rétegek alól a gipszet kioldja vagy kimossa, boltozatos üregek jönnek létre (pl. Németország, Harz-hg.). Ukrajnában, a Podóliai-hátságban a völgyek oldalában felszínre bukkanó gipszréteg fokozatosan kifelé türemkedik, a deformációtól sűrűn repedezett kőzetben pedig a víz szövevényes járatrendszerrel oldott ki. Ebben a gipszrétegben alakult ki a világ második leghosszabb barlangja, az Optimisztzyicseszka (183 km).

#### • korróziós, oldott barlangok

Korróziós üregek a vízben oldódó, azaz a karsztosodó kőzetekben jöhetnek létre. *Korróziós barlangok* a leggyakrabban mészkőben, ritkábban dolomitba márgában, kősóban vagy gipszben képződnek.

A víz oldóképessége különösen a mélyből feltörő magas hőmérsékletű **hévizek** esetében nagy. A hévizek üregképző hatásukat háromféle módon fejtik ki:

1. magas szénsavtartalmuknak köszönhetően *közvetlenül oldják* a kőzetet;
2. a hévizek gyakran tartalmaznak különböző erősségű savakat (pl. kénsav, salétromsav), amelyek *kémiailag bontják* a mészkövet:



3. a hévizek közvetett módon, *kőzetporlasztással* is bontják a kőzetet. A hajszálrepedések mentén beszivárgó hévíz hatására az anhidrit gipsszé, az aragonit pedig kalcitá alakul át, miközben térfogatuk 33%-kal ill. 8,35%-kal növekszik. A kőzetporlasztás különösen a dolomitok esetében lehet jelentős, aminek következtében dolomitliszt keletkezik.

A tisztán hévízes oldással kialakuló barlangok viszonylag ritkák, és legfeljebb közepes méretűek. Az ilyen üregekre a függőleges irányultság, a bonyolult térformák, sajtyszerűen kioldott részek, labirintusok jellemzők. Mivel a vízben az oldódás a gravitációtól függetlenül minden irányban egyforma, így gyakoriak a gömbfülkék és a lekerekített formák. A hévízes barlangok falait rendszerint dús ásványos kitöltés borítja (pl. Sátorkőpusztai-barlang).

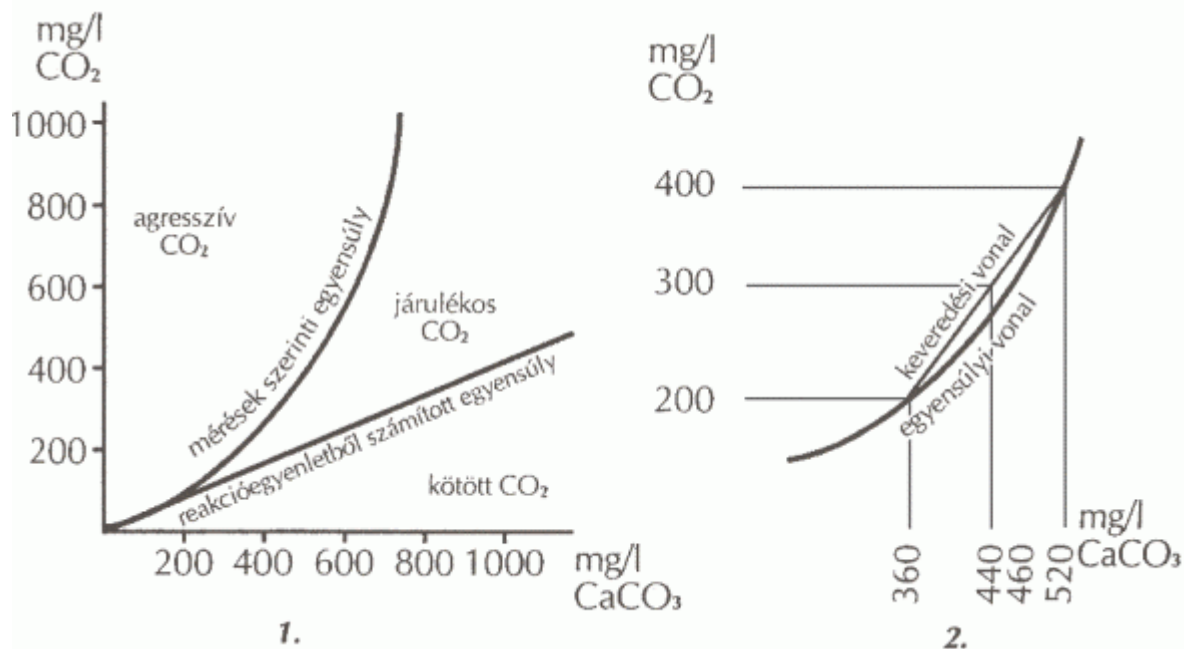
A mészkövet a felszínről beszivárgó hideg csapadékvíz is oldja. A trópusokon a magas szénsavtartalmú víz a meleg miatt gyorsan, még a felszín közelében telítődik, így elsősorban a felszíni karsztformák fejlődnek intenzíven. A hűvösebb; magashegységi éghajlaton a beszivárgó csapadék szénsavtartalma alacsonyabb, de a hideg miatt a víz nagyobb mélységig is megőrzi oldóképességét. Ezért a **hideg vizes korróziós üregképződés** elsősorban ez utóbbi területekre jellemző. Ilyen módon képződnek a jelentős függőleges kiterjedésű aknabarlangok, zsombolyok. Hideg vizes korróziós karsztbarlang tiszta formában azonban ritkán fordul elő, mert az üregekbe jutó felszíni víz hordalékával hamarosan megkezd a kőzet koptatását, a korróziós üregek tágítását.

A korróziós barlangok harmadik típusa a **keveredési korrózió**nak (66. ábra) köszönheti létrejöttét. Az oldódásos üregesedésnek ez a leghatékonyabb formája.

Mint korábban említettem, a mészkő annál gyorsabban oldódik, minél nagyobb az oldat  $\text{CO}_2$ -tartalma. A kémiai reakció egyenletéből az következne, hogy a  $\text{CO}_2$ -tartalom növekedésével egyenes arányban nő a feloldható  $\text{CaCO}_3$  mennyisége (66/1. ábra). A valóságban azonban ez nem így van! A mérések megmutatták, hogy a szén-dioxidnak csak egy része alakul át hidrogén-karbonáttá (*kötött  $\text{CO}_2$* ), a többi szabadon, oldott formában található meg az oldatban (*járulékos  $\text{CO}_2$* ). Mégpedig minél több  $\text{CO}_2$  van az oldatban, az egyensúlyi állapot fenntartásához annál nagyobb hányada marad járulékos formában. Ha a vízbe az egyensúlyi állapot fenntartásához szükségesnél több  $\text{CO}_2$  kerül, annak egy része újabb karbonátmennyiség feloldására fordítódik, más része pedig az új egyensúlynak megfelelő járulékos szén-dioxidá válik. Ezt a  $\text{CO}_2$ -többletet *agresszív  $\text{CO}_2$ -nak* nevezzük.

Az egyensúlyi állapot fenntartásához szükséges kötött és járulékos  $\text{CO}_2$  aránya függ a hőmérséklettől is. Minél melegebb az oldat, ugyanakkora karbonátmennyiség feloldásához annál több járulékos  $\text{CO}_2$ -ra van szükség.

Ha két különböző  $\text{CO}_2$ -tartalmú, telített oldatot összekeverünk, a keverék  $\text{CO}_2$ - tartalma a két érték számtani átlaga lesz. Például egyforma mennyiségű és hőmérsékletű, 200 mg/l, ill. 400 mg/l  $\text{CO}_2$ -tartalmú telített karsztvíz keveredésekor 300 mg/l  $\text{CO}_2$ -tartalmú oldat jön létre. Az egyensúlyi vonal görbesége miatt a feloldható  $\text{CaCO}_3$  mennyisége azonban nem a két kezdeti  $\text{CaCO}_3$ -tartalom számtani átlaga lesz, hanem annál valamivel több. Az egyensúly helyreállása érdekében a keveredéskor feleslegessé váló, agresszív  $\text{CO}_2$  egy része további  $\text{CaCO}_3$  feloldására fordítódik. Összességében elmondható, hogy minél nagyobb a keveredő telített oldatok kezdeti  $\text{CO}_2$ -tartalma és hőmérséklete közötti különbség, annál nagyobb mértékű lesz a létrejövő keverék oldóképessége (66/2. ábra).



66. ábra: A karsztvíz CO<sub>2</sub> tartalmának megoszlása 100 C°-on, és a keveredési korrózió magyarázata (Kraus S. nyomán)

A keveredési korrózió szerepe különösen abban a szintben jelentős, ahol a felülről beszivárgó, hűvösebb és alacsonyabb CO<sub>2</sub>-tartalmú csapadékvizek a felfelé áramló melegebb, szénsavdús hévizekkel találkoznak. Ebben a szintben akár több kilométer hosszú barlangrendszerek is kialakulhatnak. Mivel a keveredés elsősorban a közethasadékok mentén történik, így ezekre a barlangokra a párhuzamos és egymást metsző repedések mentén kioldódott, hálózatos alaprajzú üregrendszerek a jellemzőek. A kőzetek oldékonyságának és a keveredési intenzitásának különbségei miatt szélsőségesen változó méretű, bonyolult térbeli járatrendszerek jönnek létre. A keveredési korrózió eredményeként keletkeztek a Budai-hegység nagyméretű barlangjai is, amelyek elhelyezkedése az egykori keveredési szintet mutatja. A Duna bevágódásával a keveredési szint is mélyebbre szállt. Mai helyzetét a Molnár János-barlang jelzi, amelyben jelenleg is folyik az üregek korróziós tágulása.

• **eróziós barlangok**

A víz nemcsak oldás útján, hanem a magával szállított szilárd hordalék (kavics és homok) koptató, csiszoló hatása révén is képes üregeket kialakítani, ill. tágítani.

Az **abrázios barlangokat** a tenger hullámverése által mozgatott törmelékanyag véste ki a mai vagy a valamikori tengerek meredek, sziklás partjain. A hullámozgás által mozgatott törmelékanyag ereje olyan nagy, hogy még a legkeményebb kőzetekben is kialakulhatnak abrázios barlangok, sőt, állékonyságuk miatt éppen ezekben fordulnak elő leggyakrabban.

Kisebb **eróziós barlangokat, sziklaereszeket** a felszíni vízfolyások is kivésheetnek a szurdokok meredek sziklafalába. A vízfolyás kanyargása, meanderezése következtében létrejövő üregek mérete általában nem haladja meg a néhányszor tíz métert.

Az **eróziós karsztbarlangok** gyakoriságukat és méreteiket tekintve fölülmúlják az összes többi barlangtípust. Ezek karsztosodó kőzetben (főleg mészkőben) kialakult, igen gyakran több határozott emeletre elkülönülő járatrendszerek, amelyek kialakulásában a barlangon egykor vagy napjainkban végigfolyó patak által szállított hordalék koptató munkája játszott a fő szerepet.

Egyes kutatók szerint az eróziós karsztbarlangok fejlődésében is a korróziós folyamatok a döntő jelentőségűek. Valóban, minden eróziós karsztbarlang élete valamilyen hévizes, hideg vizes vagy keveredési korrózió által kialakított üregrendszerként kezdődik. Amint azonban az üregek megfelelő mértékben kitágulnak és kapcsolatba jutnak a felszínnel, a beáramló víz a magával hozott hordaléka megkezdíti a kezdeti korróziós üregek átalakítását. Az erózió a korróziónál sokkal gyorsabb, hatékonyabb folyamat. A víznyelőktől a karsztforrásig vezető, egyenesen csökkenő esésű járat kialakítása érdekében a mélyebb helyzetű üregeket, barlangi patak hordalékával feltölti, az egyenesen esésgörbénél magasabb helyzetű járatok talpát pedig folyamatosan mélyíti, koptatja.

Az eróziós karsztbarlangok kialakulásának ugyancsak fontos előfeltétele a megfelelő mennyiségű hordalék. A mészkő saját törmeléke és mállásterméke nem elegendő az eróziós üregesedéshez. Ilyen barlangok csak ott alakulhatnak ki, ahol a nem karsztos területen eredő felszíni vízfolyás megfelelő keménységű kavicsos-homokos hordalékot tud magával sodorni a karszt felszín alatti repedéshálózatába.

A lassan emelkedő, nem karsztosodó kőzetekkel borított területeken a felszíni vízfolyások folyamatosan mélyítik völgyüket. A völgybevágódás megfelelője a karsztvidékeken a föld alatti eróziós üregrendszer kialakulása. Az eróziós karsztbarlangok tulajdonképpen boltozott föld alatti patak völgyek, amelyek felszíni völgyképződményekből indulnak, és a barlang után felszíni völgyképződményekben folytatódnak tovább. A barlangokhoz kapcsolódó víznyelők és források sem mások, mint a felszíni és a felszín alatti völgyszakaszok váltópontjai.

Hazánk barlangjainak jelentős része eróziós karsztbarlang, azonban a legtöbb ilyen barlangunkban jól felismerhetők a kezdeti korróziós üregesedés nyomai. A föld alatti üregrendszerekbe a mai vagy az egykori víznyelőkön, karsztforrásokon keresztül lehet bejutni.

## Barlangi kitöltések

Míg a barlangok életében a születést az üregesedés folyamata jelenti, addig a halálukat a kitöltődés okozza. Az üregesedés és a kitöltődés folyamata időben nem különül el élesen – míg a barlang egyes részei, például az aktív járat napjainkban is tágul, addig a felső inaktív járatokra már a feltöltődés túlsúlya jellemző. A két folyamat aránya a barlang élete folyamán is többször megváltozhat. Előbb-utóbb azonban minden barlang vagy teljesen feltöltődik, vagy olyan nagy méretűvé válik, hogy beomlik.

A barlangi kitöltések halmazállapotuk szerint lehetnek légneműek, cseppfolyósak vagy szilárd halmazállapotúak. Ez utóbbiak között megkülönböztetjük a barlangban képződött, ún. *autochton kitöltéseket*, valamint a barlangba a felszínről bekerült *allochton kitöltéseket*.

A számunkra bejárható üregeket természetesen levegő tölti ki, azonban a barlangi levegő néha jelentősen különbözik a normál felszíni levegőtől. A barlangi levegőben rendszerint sokkal több a *szén-dioxid*, átlagosan 0,3%. Egyes barlangokban (pl. a gerecsei Lengyel-barlangban vagy a bakonyi Alba Regia-barlangban) a szén-dioxid mennyisége még ennél is jóval több. Ugyancsak megnövekedhet a szén-dioxid mennyisége a barlang rossz szellőzésű részein a barlangi túra következtében. Az ilyen üregek bejárása kellő óvatosságot igényel, mert a magas CO<sub>2</sub>-koncentráció légszomjat, fáradékonyságot okozhat, ami képességeink túlbecsüléséhez vezethet. A barlangi levegő másik sajátossága a magas *páratartalom*. Számos barlang levegőjének vízgőztartalma a telítettségi érték közelében van. Egyes barlangok levegőjében feldúsul a földkéreg mélyéről felszivárgó *kénhidrogén* és *metán*. A nyitott szájú aknabarlangokba hulló, ott elrothadó állati tetemek és növénymaradványok ugyancsak veszélyessé tehetik a barlangi levegő belélegzését. Szerencsére a legtöbb barlang levegője tiszta, pormentes, nem tartalmaz virágporokat, így tehát gyógyító hatású.

A barlangok cseppfolyós halmazállapotú kitöltése a víz. A víz számos formában fordul elő a barlangban: mint a hűvös falakon a párás levegőből kicsapódó kondenzvíz, a falakról és a mennyezetről csepegő-szivárgó vizek, a barlangi patak folyóvize, vagy a mésztufagáták által visszaduzzasztott medencék és a tavak állóvize. A karsztos kőzetek hasadékait, üregeit kitöltő vizet összefoglalóan karsztvíznek nevezzük. Azt a szintet, amely alatt minden hasadékot és üreget teljesen kitölt a karsztvíz, karsztvízszintnek nevezzük.

## A karsztvíz

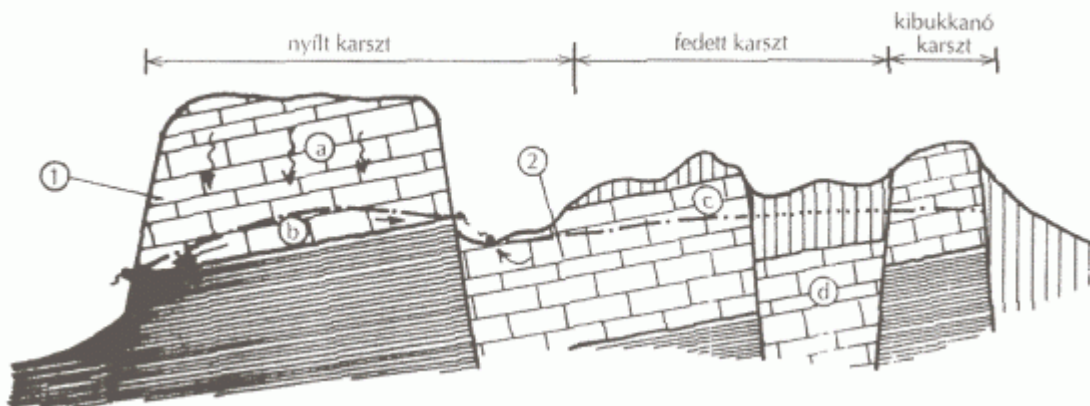
A karszterületeket a szerint csoportosítjuk, hogy a karsztosodó kőzet a felszínen található, vagy vízzáró képződmények fedik (67. ábra).

- **Nyílt karsztnak** hívjuk azt a területet, ahol a karsztos kőzet a felszínen található. A nyílt karszton a karsztvíz szabad tükörű, és közvetlenül a karsztra hulló csapadékból is táplálkozik. A nyílt karszt fokozott védelmet érdemel, mivel a felszíni szennyeződés a repedéshálózaton keresztül gyorsan és megakadályozhatatlanul lemosódik, elszennyezve a teljes karsztvízkészletet.

- A **fedett karszton** a felszín alatti karsztosodó kőzeteket vízzáró képződmények borítják, ezért kevésbé érzékeny a szennyeződésre. A fedett karszt karsztvize lehet *szabad vízszintű*, amikor a karsztvízszint a vízzáró képződmények talpánál mélyebben húzódik. Ha azonban a vízzáró fedőkőzetek alja a karsztvízszintnél mélyebben van, leszorított vízszintű karsztról beszélünk. Számos bauxit- és szénbányánk karsztvízveszélyes, mivel *leszorított vízszintű* karszt fedőjében található. Ha a vágatokkal karsztos üregeket vagy tektonikus hasadékokat kereszteznek, a karsztvíz betör a bányába. A karsztvízbetörés ellen a karsztvízszint csökkentésével, a karsztvíz szivattyúzásával védekeznek. Ez okozta számos karsztforrásunk elapadását a Dunántúli-középhegységben. A fedett karszton kis területen felszínre emelkedő karsztos kőzetet **kibukkanó karsztnak** nevezzük.

A karsztvíz típusait a karsztban való elhelyezkedésük és áramlási viszonyaik alapján szoktuk megkülönböztetni (67. ábra).

- **Sekélykarszt** esetében a karsztvidék peremén a völgyek a karsztosodó kőzetek alatt települő vízzáró képződmények felszíne alá mélyültek. A karsztforrások a völgyek oldalában, a vízzáró képződmények felszínre bukkanása mentén fakadnak. A sekélykarszton belül elkülönítjük a leszálló karsztvízövet, ahol a beszivárgó víz a nyílt hasadékokban főleg lefelé folytatja útját, valamint a közvetlenül a vízzáró képződmények fölött elhelyezkedő támaszkodó karsztvízövet, amelyben viszont az



67. ábra: Karsztvíztípusok (Hornsitzky F. nyomán)

1. sekélykarszt

2. mélykarszt

a. leszálló karsztvíz

c. szabad vízszintű fedett karszt

b. támaszkodó karsztvíz

d. leszorított vízszintű fedett karszt

üregrendszereket teljesen kitölti a víz, és főleg oldalirányba áramlik a karsztforrások irányába. Egyes vízzáró betelepülések fölött a leszálló karsztvízövben is kialakulhatnak kisebb helyi, összefüggő karsztvíztestek – ezeket függő karsztvízöveknek nevezzük.

Összefüggő karsztvízszintről csak a támaszkodó karsztvízöv esetén beszélhetünk. A leszálló karsztvízövben csak elkülönült vízszállító járatrendszerek léteznek, amelyek térben akár keresztezhetik is egymást.

• **Mélykarszt** esetében a karsztosodó kőzetek jelentős része a völgytalpak szintje alatt található. A mélykarszt üregrendszerét teljesen kitölti a karsztvíz, amely alig áramlik. A karsztforrások "túlfolyóként" működve a völgyek talpán fakadnak, vagy tektonikai repedések mentén törnek a felszínre.

A sekélykarszt és a mélykarszt karsztosodása jelentősen különbözik:

#### sekélykarszt

- a karsztvíz főleg csapadékból pótlódik
- víztároló képessége kicsi, a víz részlegesen kitöltött hasadékokon, üregeken keresztül rövid úton a felszínre jut
- a karsztforrások vízminősége és hozama szélsőségesen ingadozó, elsősorban a csapadéktól függ, a csapadék késleltetése kicsi
- a legfontosabb üregképző folyamat a hideg vizes korrózió és az erózió
- legjellemzőbbek a nagy függőleges kiterjedésű aknabarlangok, zsombolyok és a többemeletes patakos eróziós karsztbarlangok

#### mélykarszt

- a karsztvíz csapadékból és a mélység felől pótlódik
- víztároló képessége nagy, a víz teljesen kitöltött hasadékokban nyomás alatt lassan szivárog
- a karsztforrások vízminősége és hozama kevésbé ingadozik, vizük szinte mindig telített, a csapadék késleltetése nagy
- a legfontosabb üregképző folyamat a hévizes és a keveredési korrózió
- legjellemzőbbek a gyakran hálózatos alaprajzú, jelentős függőleges kiterjedésű bonyolult térbeli járatrendszerek, labirintusok, gyakoriak a gömbfülkék

#### A barlangban képződő (autochton) kitöltések

A barlangban képződő szilárd kitöltések közül legfontosabbak a *mész kiválások*, amelyek természetesen elsősorban a karbonátos kőzetekben képződött barlangokban fordulnak elő. A mész kiválások anyaga *kalcit*, azaz trigonális kristályrendszerben felépülő  $\text{CaCO}_3$ , ha a kiválás  $20-25\text{ }^\circ\text{C}$  alatti hőmérsékleten történik. Ennél magasabb hőmérséklet esetén – főleg a hévizekből – rombos rendszerben kristályosodó  $\text{CaCO}_3$ , azaz *aragonit* képződik. Az aragonit idővel kalcitá kristályosodik át, miközben térfogata 8,35%-kal növekszik. A mész kiválások létrejöhetnek csepegő-szivárgó vizekből, folyó- vagy állóvízből.

A szilárd autochton kitöltések további fajtái az egyéb ásványkiválások, az omladék, a valódi barlangi agyag, a guanó és a jég.

#### • csepegő-szivárgó vizek mész kiválásai

Ezeket a képződményeket összefoglalóan cseppköveknek nevezzük. A *cseppkőképződés legfontosabb oka*, hogy a barlangi levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma alacsonyabb, mint a talajban lévő levegőé. Ezért amikor a talajon keresztül szivárgott vízcsepp a barlang légtérébe ér, szén-dioxid-tartalmának egy részét leadja. A falon alá szivárgó, vagy a földre cseppenve szétfröccsenő víz megnövekedett felületén keresztül további  $\text{CO}_2$  illan el – egészen addig, amíg a víz  $\text{CO}_2$ -tartalma egyensúlyba nem kerül a barlangi levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmával. A szén-dioxid elillanása minden esetben az oldottmész tartalom egy részének kicsapódásával jár.

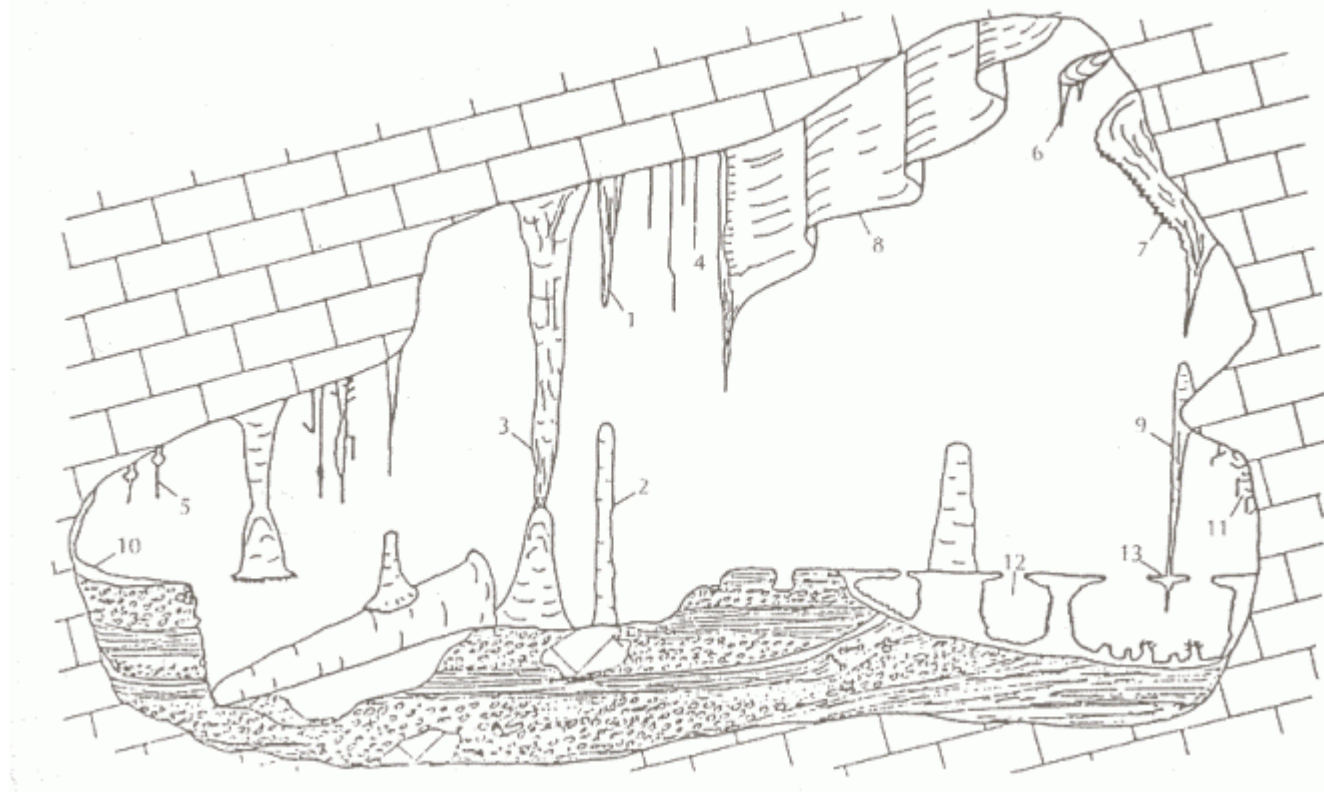
A *cseppkőképződés sebessége* nagyon kicsi: a cseppkövek éves növekedése 1-2 tized mm-től pár milliméterig terjed. Minél nagyobb a talajlevegő és a barlangi levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma közötti különbség, annál intenzívebb a cseppkőképződés. Ez az oka, hogy a trópusi barlangok legfeljebb néhány száz évesek, ugyanis igen gyorsan telecseppkővesednek. Ezzel szemben a magashegységi, hideg égővi barlangokban a cseppkőképződés jóval lassabb.

A *cseppkövek színe* anyagi összetételüktől függ. Az üvegszerűen tiszta, átlátszó cseppkövek tiszta kalcitból állnak. A tejszerűen fehér színt a cseppkőben rekedő gázzárványok okozzák. A sárga, narancssárga és barna színt a vas, a rózsaszín és vörös árnyalatokat a mangán adja. A cseppkövek zöldes színét a réz okozza. A sötétbarna és fekete cseppköveket agyagásványok, vas- és mangánbaktériumok, vagy pedig korom színezi. A különböző helyekről szivárgó vizek tarka cseppköveket eredményeznek.

A *cseppkövek formája* nagyon változatos (68. ábra). A mennyezeten belépő vízcsepp mésztartalmát már az üreg tetején lerakja, így lefelé növekvő *függőcseppkő*, *sztalaktit* keletkezik. Ha a beszivárgó vízcseppek mésztartalmukat gyűrű alakban mindig az előző kiválás peremén rakják le, akár méteres hosszúságú *szalmacseppkő* jöhet létre. Rendszerint azonban a függőcseppkő a mennyezet nagyobb részéről gyűjti össze a vizet, amely a cseppkő felszínén végigfolyva folyamatosan vastagítja azt. A sztalaktitok belsejében mindig felismerhető a kezdeti vízvezető cső. A túl nagyra növekedett sztalaktit saját súlya alatt leszakadhat.

A lecsapó és szétfröccsenő vízből is kicsapódik a mész, így felfelé növekedő *álló cseppkő*, *sztalagmit* épül. Az állócseppkő a függőcseppkőnél rendszerint jóval vastagabb, és sosincs a belsejében vízvezető cső. A sztalagmitok teteje általában lapos, amelybe a magasról hulló vízcsepp kis mélyedést is vájhat. A nem egyenletesen növekvő sztalagmit alól kipréselődhet a talaj, vagy alámosódhat, s ezért megbillen vagy fölborul. Az eldőlt sztalagmiton újabb állócseppkő növekedhet.





68. ábra Cseppkőképződmények és tavi mészkőkiválások (Kraus S. nyomán)

- |                               |                        |                              |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1. függőcseppkő (sztalaktit)  | 6. dobcseppkő          | 11. görbe cseppkő (heliktit) |
| 2. állócseppkő (sztalagmit)   | 7. farkasfogas cseppkő | 12. tetaróta medence         |
| 3. cseppkőoszlop (sztalagnát) | 8. cseppkő zászló      | 13. galléros cseppkő         |
| 4. szalmacseppkő              | 9. baldachin           |                              |
| 5. retekcséppkő               | 10. cseppkőkéreg       |                              |

A laza talajra csöppenő víz kisebb krátert váj ki, amelynek a falát bekérgezi a kicsapódó mész. Ilyen módon *cseppkőcsésze* képződik. A cseppkőcsészében lévő kavicsra, szemcsére is kiválik a mész. A lecsöppenő víz a szemcsét forgatja, így az teljesen szabályos gömb alakúvá növekszik. Ezeket a koncentrikus belső felépítésű kiválásokat *barlangi gyöngynek*, *pizolitnak* hívjuk.

Ha a függőcseppkő és az állócseppkő növekedésük során összeér, *cseppkőoszlop (sztalagnát)* képződik. Néha előfordul, hogy az oszlop alól kimosódik a talaj. Ilyenkor a mennyezetről lógó *cseppkőlámpáról* beszélünk.

A barlang falán vagy talaján végigszivárgó víz *cseppkőkérget* hozhat létre. Ha a kéreg alól kimosódik a talaj, és mindkét oldala szabaddá válik, *cseppkőbaldachin* keletkezik. Egyes esetekben a repedésből belépő víz mindig ugyanazon útvonal mentén szivárog végig, és így vékony, hullámos *cseppkőzászló (drapéria)* alakul ki. A cseppkőzászló peremén végigszivárgó víz nem egyenletes vastagságban folyik, hanem kisebb hullámokban. Ez eredményezi a cseppkőzászlók élén olykor megfigyelhető *farkasfogakat*.

A cseppkővek különleges fajtái a *görbe cseppkővek*. Mindig olyan esetben képződnek, amikor a barlang légtérébe lépő vízcseppet valamilyen erő eltéríti függőleges pályájától. Ilyen lehet például a tartós egyirányú légáramlás, aminek következtében a huzat által elgörbített cseppkő, *anemolit* jön létre. Igen érdekesek az opálos színű, fogas, dugóhúzó stb. alakú, szabálytalanul görbülő szájak, a *heliktitek*. Ezek úgy keletkeznek, hogy a vízcsepp nagyon szűk vízvezető járatokból, kapillárisokból préselődik elő, és a vékony filmszerű vízbevonatból nem a gravitáció, hanem a kristálynövekedés szabályai szerint következik be a mészkiválás. A heliktitek egy másik típusa hosszú, tűszerű kristályokból álló pamacsok formájában jelenik meg. Ezeknél a mészkiválás az áramló párás barlangi levegőből történik, és a gravitáció helyett az elektromos töltéseloszlás, az ún. aeroszol-hatás befolyásolja a kristályok növekedését.

#### • folyó, áramló vizek mészkiválásai

A barlangon végigfolyó patak vizéből azokon a helyeken, ahol folyása meggyorsul, felszíne megnövekedik, a szén-dioxid egy része elillan. A patak vizéből kicsapódó mészből egyre magasodó *mésztufagát* épül. A mésztufagát peremén átbukó, domború hátán lefolyó vízből egyre intenzívebb a mészkiválás, így a gát magassága több méter is elérhet. A mésztufagátról a víz nem egyenletesen, hanem kisebb hullámokban folyik le. Emiatt a gátfelületén apró fodrok, *tetaróta medencék* alakulnak ki.

A víznyelőknél a barlangba lépő patak vize rendszerint még nem telített mésszel, csak fokozatosan válik azzá, ahogyan növekedik a csepegésből-szivárgásból hozzákeveredő vizek aránya. Emiatt a mésztufagátak inkább a patakos barlangok alsóbb szakaszán, vagy a főként szivárgó vízből táplálkozó oldalágakban épülnek. A barlangi mésztufagát rendszerint meglehetősen tömör. Ezzel szemben a karsztforrásoknál a növényzetre kicsapódó mésztufa erősen likacsos, üreges.

### • álló vizek mészkiválásai

A barlangüregeket kitöltő telített oldatból a mész nem egyenletesen válik ki a falakra, hanem egyes kristályosodási göcöknél alakul ki gyors növekedés. A víz alatt a mészkiválást nem befolyásolja a gravitáció, ezért néhány milliméter átmérőjű, gömbölyű kinövésekből álló, szőlőfürtyszerű képződmény, ún. *borsókő* jön létre. Tartós vízborítás esetén kisebb méretű, ritkás borsókövek hideg vízből is kiválhatnak, de az igazán szép ágas-bogas, nagyméretű kiválások, a *karfiolok* a hévizes kitöltésű üregek falán képződnek, ahol szinte nincsen vízáramlás.

Hideg vizes barlangokban is előfordulnak nagy töménységű csepegő vizekből összegyűlő cseppkömedencék, amelyek vízének felszínén a szén-dioxid elillanása miatt *kalcitkéreg* válik ki. Sokkal intenzívebb azonban ez a folyamat a hévizek esetében, ahol a kalcithártya vastagra hízhat, majd összetöredezve és a víz fenekére süllyedve egyre vastagodó, *kalcitlemezekből* álló kitöltés képződik. Különösen intenzív a kalcitkéreg képződése a medencében álló vagy abba felülről belógó cseppkövek körül. Ilyen módon keletkeznek a *galléros* és *nyakkendős cseppkövek*. A cseppkömedencék alján sok esetben figyelhetők meg szabályosan fejlődő, *tiszta kalcitkristályok*, amelyek kisebb csomókat, pamacsokat alkotnak.

A mészkiválások különleges fajtája a *hegyi tej vagy montmilch*. Ez szárazon lisztszerű, nedvesen pedig túró állagú anyag, amely a  $\text{CaCO}_3$  rendkívül megnyúlt 1-2 cm hosszú, de csak pár mikron vastagságú kristályjaiból, a lublinitből áll. Egyes helyeken megfigyelhető, hogy a barlang falai vagy a cseppkövek felpuhulnak, túrószerűvé válnak. A montmilch keletkezéséről még nem sokat tudunk – kialakulásában valószínűleg szerepet játszik a tartós vízborítás és a szén-dioxid különösen gyors eltávozása is.

### • egyéb ásványkiválások

A barlangok falait gyakran borítják különféle ásványkiválások. Különösen a lávahólyag barlangok és a telérekben kialakult barlangok rejtenek ritka és különleges ásványokat, amelyek a magmás és vulkáni működéshez kapcsolódó forró oldatokból, gőzökből és gázokból válnak ki. A karsztbarlangokban kevesebbféle ásványkiválással találkozhatunk, de ezek formakincse, megjelenése így is csodálatosan gazdag. Közülük a legfontosabbak a karbonátok (a már tárgyalt kalciton és aragoniton kívül a dolomit, sziderit és a magnezit), a szulfátok (anhidrit, gipsz, barit), a hematit, pirit és a fluorit. Utóbbiak elsősorban a meleg vizes hatásokat is mutató hévizes, ill. keveredési korróziós barlangokban fordulnak elő.

### • omladék

A vékonyan rétegzett vagy erősen repedezett kőzetekben gyakran előfordul, hogy a kialakult üreg mennyezete felszakadozik, kisebb-nagyobb kőzetdarabok válnak le és töltik ki alulról az üregeket. A lazább térkitöltés miatt a leesett kőtömbök mindig több helyet foglalnak el, mint eredeti helyzetükben, ezért az omladék az egész üreget is elfoglalhatja. Előfordul, hogy az omladék a folyosó vagy a zomboly szűkebb részén megreked, és álmennezzet, ill. álfenék alakul ki, amelyet gyakran cseppkő cementál össze. A laza barlangi omladék meglehetősen veszélyes, könnyen mozgásba jön. Új barlangok feltárásánál leggyakrabban az omlások szoktak balesetet okozni!

### • valódi barlangi agyag

A valódi barlangi agyag a karsztosodó kőzetek oldási maradéka, amely a kőzet kioldódása után visszamarad és az, üregek alján összegyűlik. Főleg a kőzetbe annak képződése során bekerült agyag ásványokból áll, rendszerint sárgásbarna vagy vöröses színű a benne feldúsuló vastól. Ez a kitöltés nemcsak az eredetileg az üregek helyén lévő kőzet kioldásából maradt vissza, hanem a repedéseken beszivárgó vizek is hoznak magukkal egy kevés oldási maradékot. A valódi barlangi agyag nagyobb mennyiségben csak a korróziós barlangokban és az eróziós karsztbarlangok felső, inaktív járataiban tud felhalmozódni, mert a barlangi patak az oldási maradékot könnyedén elszállítja.

### • guanó

A guanó egyes barlangkedvelő, hosszabb ideig az üregekben tartózkodó állatok – denevérek, madarak – ürüléke. Az évszázadok alatt meglehetősen nagy mennyiségben gyűlhet össze, egyes helyeken több méter vastagságban boríthatja az üregek alját. A guanót korábban bányászták, magas foszfáttartalma miatt puszkapor gyártásához használták fel alapanyagként.

### • jég

A mérsékelt és hideg éghajlaton a téli időszakban majd minden barlang bejárati szakaszában kialakulnak jégcseppkövek, jégfelhalmozódások. A télen befelé tartó huzat ugyanis lehűti a barlang falait, és az üregekbe szivárgó víz megfagy. A nyáron kifelé tartó huzat azonban a jégképződményeket rendszerint elolvasztja. Egyes zsákszerű aknabarlangokban a jégfelhalmozódás egész éven át megmaradhat, ugyanis a télen befolyó hideg levegő erősen lehűti az üregek falát, a hűvös barlangi levegő pedig nyáron nem tud a kinti melegebb levegő helyébe felemelkedni. A barlangot körülvevő kőzetek hőmérséklete tartósan fagypontra alá süllyed. Az ilyen barlangok mikroklimája azonban nagyon érzékeny: újabb járatok megnyitása, a huzat megváltozása a jégképződmények megolvadásához vezethet.

## A barlangba a felszínről bekerült (allochton) kitöltések

A felszíni eredetű anyagok beeshetnek, behullhatnak a felszínre nyíló aknába, zombolyokba, azokat beszállíthatja a víz, a huzat vagy az élőlények (köztük a barlangászok).

A legnagyobb tömegű allochton kitöltés rendszerint a *kavics, homok* és *áradmányos iszap*, amelyet a felszínről a víznyelőkön át befolyó víz szállít magával és rak le a járatokban. A víz kisebb állatokat, *növényi maradványokat* is magával sodor, amelyek a barlangban rekednek. Egyes állatok (pl. a békák, rágsálók, rókák, korábban a barlangi medve) téli időszakban rendszeresen felkeresik a barlangot, és gyakran ott pusztulnak el. Ezek a *csontmaradványok* jó tájékoztatást adnak a barlang környezetének korábbi éghajlatáról. Az ősember is gyakran talált menedéket a barlangokban, de még századunkban is háborúk idején az emberek sok helyen a barlangokba húzódtak. A magukkal vitt *eszközök, szerszámok maradványai* jól megőrződnek a barlangi üledékekben.

Az allochton kitöltések között sajnos meg kell említeni azt a *szemetet* (konzervdobozt, zacskót, mindenféle táblát, karbid meszet) is, amelyet a "barlangászok" hagynak maguk után. Ne feledjük, hogy mindez a kívülről behordott és sokszor nagyon

lassan elbomló hulladék – amellet, hogy elcsúfítja a barlangot – megzavarja és tönkreteszi a barlangok különleges, a külső hatásokra fokozottan érzékeny növény- és állatvilágát!

### A karszt vízvezető rendszerének kialakulása

A kifejlett nyílt karszt vízvezető rendszerét az alábbi tulajdonságok jellemzik:

1. *nincsenek állandó jellegű felszíni vízfolyások*, ilyenek csak a karszterülettel szomszédos táplálási és megcsapolási övezetekben található, és víznyelőkkel, ill. karsztforrásokkal kapcsolódnak a karszterülethez;
2. a karszt felszínén a záporok, hóolvadás utáni vízgyülekezés és beszivárgás területei elsősorban a *nyelőfelszínnek*, azaz a völgyformában található, sorokba rendeződő töbrök;
3. a karszt közethasadékaiban tározódó, szivárgó víztömeg a földfelszíntől jelentősebb mélységben helyezkedik el, e fölött vízzel kitöltetlen hasadérendszer, a *leszálló karsztvízöv* található;
4. a felszín alatti víztározó-vízvezető kőzetekben a vízvezető-képesség mértéke az egyes térrészek között több nagyságrenddel is változhat, ezért az általános vízvezető rendszeren belül fő vízvezető vonulatok, *helyi karsztvízáramlási rendszerek* alakulnak ki;
5. a legjobb vízvezetésű környezetekben a fő vízvezető vonulatok csatornajáratokká tágulnak, *felszín alatti nyílt víztükrű, medres, állandó vízfolyások* fejlődnek ki, amelyek képesek árhullámok levezetésére is.

A karszt vízvezető rendszerének kialakulása fokozatosan megy végbe. Minden karszterület fejlődése fedett karsztként kezdődik: a karbonátos kőzeteket vízzáró fedőképződmények borítják, amelyeken fejlett völgyhálózat és állandó jellegű felszíni vízfolyások található. A terület kiemelkedése során a völgyek mélyülnek, a vízzáró fedőképződmények fokozatosan lepusztulnak, és egyes helyeken a karsztos kőzetek a felszínre bukkannak. A felszíni víz egyre nagyobb része szivárog be a karsztos repedéshálózatba, csökken a felszíni lefolyás aránya, lelassul a völgyek mélyülése, ezért a karszterület egyre kevésbé tud lépést tartani a környező területek völgybevágódásával – környezetéhez képest egyre magasabbra kerül.

A karszterület viszonylagos kiemelkedése miatt lesüllyed a karsztvízszint, fölötte kifejlődik a leszálló karsztvízöv. A felszíni vízfolyások időszakossá válnak, már csak a repedés hálózat által elnyelni nem képes vizet szállítják a karszterület peremére. A mélyben a legjobban karsztosodó részekben megkezdődik a repedéshálózat tágulása.

Ha a repedéshálózat tágulása elér egy bizonyos mértéket, a felszínen teljesen megszűnik a vízfolyás és a felszíni eróziós völgymélyülés. A völgytalp formálását az erózió helyett a vízgyülekezés és a víznyelődés hatásai veszik át. A völgyformákban felhalmozódik a talaj és fokozódik a korrózió. Mivel az egykori meder víznyelő képessége nem mindenütt egyforma, az eddig egységes völgytalp önálló mélyedések sorozatára bomlik. Kifejlődnek a nyelőfelszínnek, a töbrös völgy talpak. A töbörök tulajdonképpen az egykori fedett karsztos állapot völgyeinek maradványai, gyakran keresztülhaladnak a karsztos felszínrészekben, és peremi víznyelő csoportokat kötnek össze a karsztforrással.

Az egykori medrek alatti leszálló hasadékövezet tágítását a völgy talpon elnyelődő, változó hozammal csepegő-szivárgó víz végzi. Az összefüggő szűk csatornák a kialakulásukat meghatározó tektonikai repedések alakját és elrendeződését követik. A töbrök, mint zápornyelők alatti koncentrált beszivárgás miatt kialakulnak a zombolyok.

A mélyben a legkedvezőbb vízvezető képességű környezetben kifejlődött csatornajáratok fokozatosan átalakulnak (69. ábra). A kezdeti korróziós állapotot szűk keresztmetszű, nagy falfelület jellemzi.



69. ábra: Karsztos barlangfolyosó fejlődése (Veres J. nyomán)

1. korróziós állapot  
3. kezdeti eróziós állapot

2. eróziós állapot  
4. fejlett eróziós állapot

Amikor a repedés hálózat elég szélessé tágu, helyenként a felszínről szilárd hordalék is a hasadékokba mosódhat, és az örvénylő részeken hirtelen felgyorsul az üregek kialakulása. Az egyre jelentősebb hordalékszállítás miatt a korrózió helyett a sokkal hatékonyabb erózió veszi át a járatok alakításának szerepét. A kifejlődő karsztos barlangfolyosó az eróziós vízfolyások törvényei szerinti jellegzetesen homorú esésgörbe szerint mélyül tovább. Az esésgörbe fölötti szakaszokon a barlangfolyosó alja .intenzíven bevágódik, nagy függőleges kiterjedésű járatok alakulnak ki, felső részükön cseppkőképződéssel. Az esésgörbe alatti üregek fokozatosan feltöltődnek, és a járat a mennyezet koptatásával fölfelé tágu. A kőzetminőség-változások, az eltérő mértékű repedezettség miatt a barlangfolyosó különleges formakincsekkel gazdagodik (szifonok, vízesések). Kialakul a karszt vízvezető rendszerének számunkra legizgalmasabb része, az eróziós karsztbarlang.