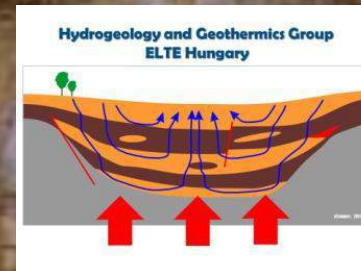


Vizek kutatása izotópos módszerekkel az ATOMKI-ban
Debrecen, 2013. május 17.



Termálvíz forrásokhoz köthető biokorrózió

Mádlné Szőnyi Judit

Hidrogeológia és Geotermia Műhely
Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK, FFI,
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Kutatási háttér és inspiráció

- ▶ A tudományban egy új szemlélet, új perspektívákat nyit.
- ▶ A korrozív biofilmek felismerésének története ezt példázza.
 - ▶ Rámutat arra, hogy egy *biológiailag befolyásolt* jelenség megértésében hogyan segített a felszín alatti vízáramlások ismerete.
 - ▶ Példázza, hogy a felszín alatti vizek mozgása *átalakítja a földtani környezetet*.

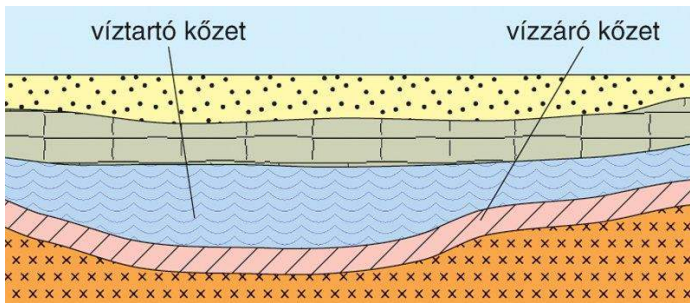


Szemlélteti a tudományban a *lépték kérdés* jelentőségét: egy *regionális* léptékben működő folyamat tette lehetővé egy *lokális* jelenség felismerését, amely már *nano-skálán* is tanulmányozható.

- ▶ Ismerjük meg ezt az izgalmas történetet!

1. Szemléletváltás a hidrogeológiában

9. osztályos földrajz: talajvíz



<http://www.mozaweb.hu/index.php>

Egy hidrológiai egyetemi jegyzet fejezetcímei:

1.5. FELSZÍN ALATTI VIZEK

1.5.1. A talajvíz

1.5.2. A karsztvíz

1.5.3. A mélységi vizek

W Rétegvíz - Wikipédia x

hu.wikipedia.org/wiki/Rétegvíz

szócikkek vitalap

Rétegvíz [bevezető szerkesztése]

A Wikipédiából, a szabad enciklopédiából

A **rétegvíz** a kőzetek pórusaiban helyezkedik el két **vízzáró réteg** között, az első vízáradó rétegtől legalább egy vízzáró rétegek (litosztatikus nyomás), a vízszlop (hidrosztatikus nyomás), a rétegek gáztartalma és a (tömörödő) kő kialakulásához legkedvezőbb szerkezet a **redőlőknő** (szinklinális). A vízutánpótlás ilyen esetekben leggyakrabban a felületi víz forrása. Az artézi vizek jelentőségét egyrészt a tárolt vízkészlet nagysága, másrészt - nagyobb mélységük és a felszínnel való kapcsolatuk miatt - a felületi vízszinttel szembeni viszonyuk. Az artézi medencék másik típusa a felületalasan kiemelt, csupán egyik irányból táplált medence. Sajátos az Alföld artézi víz készlete, ugyanis ez nem utánpótlódó, statikus víz, teljesen körülzárt vízlencsékkel (fosszília) (1,8 km²).

Felhasznált irodalom [szerkesztés]

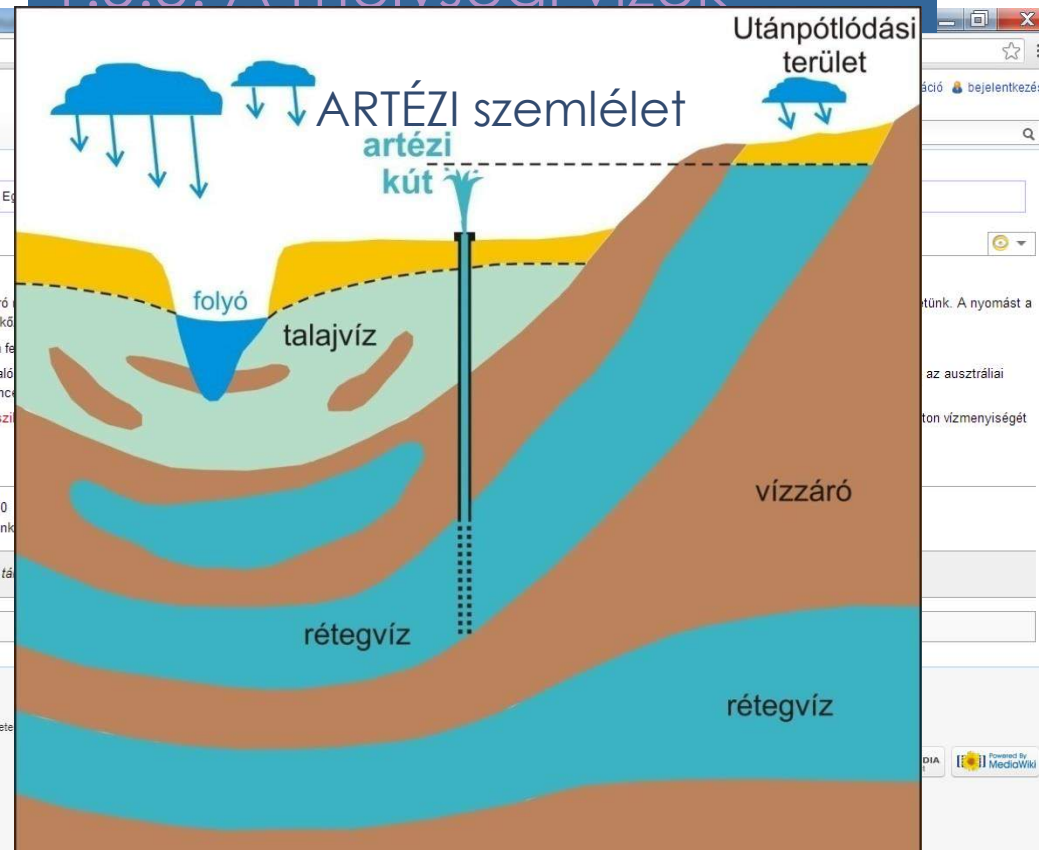
- Jakucs László: Természetföldrajz II. A Föld külső erői. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1995. 175-178. MS-3110
- Borsy Zoltán (szerk.): Általános természetföldrajz. Fejezetek az általános természetföldrajz köréből. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.

Kategória: Hidrogeográfia

A lap utolsó módosítása: 2012. október 26., 14:02

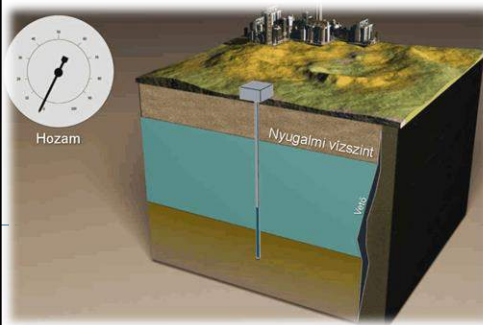
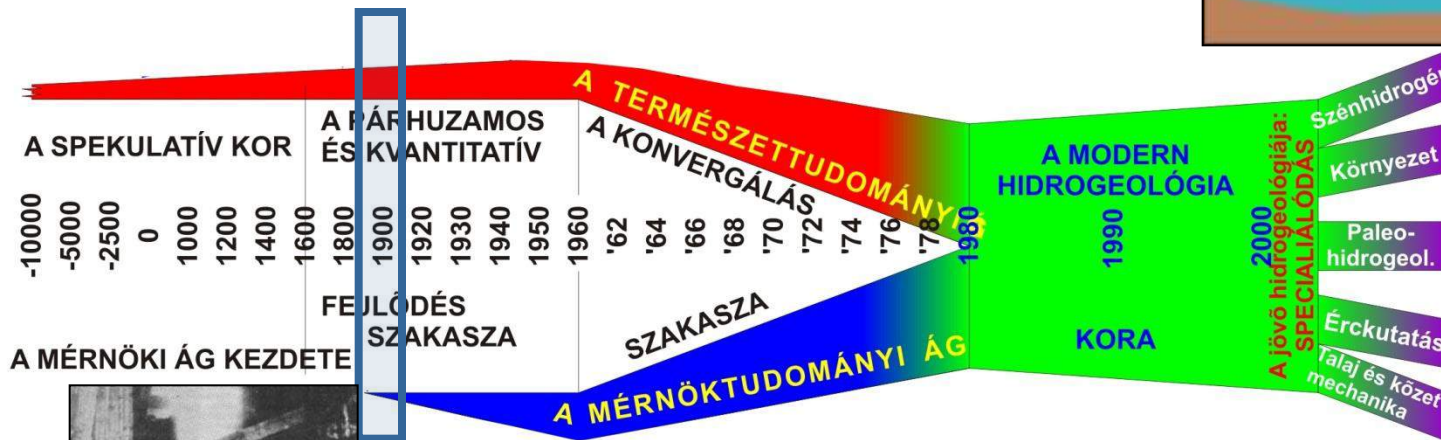
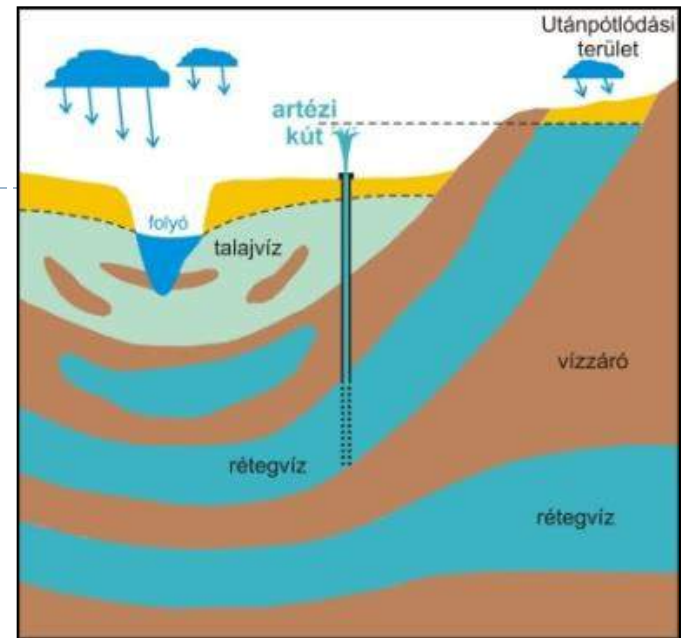
A lap szövege Creative Commons Nevezd meg! - Így add tovább! 3.0 licenc alatt van; egyes esetekben más módon is felhasználható. Részletek a Creative Commons licenccel kapcsolatban.

Adatvédelmi irányelvek: A Wikipédiáról Jogi nyilatkozat Mobil nézet



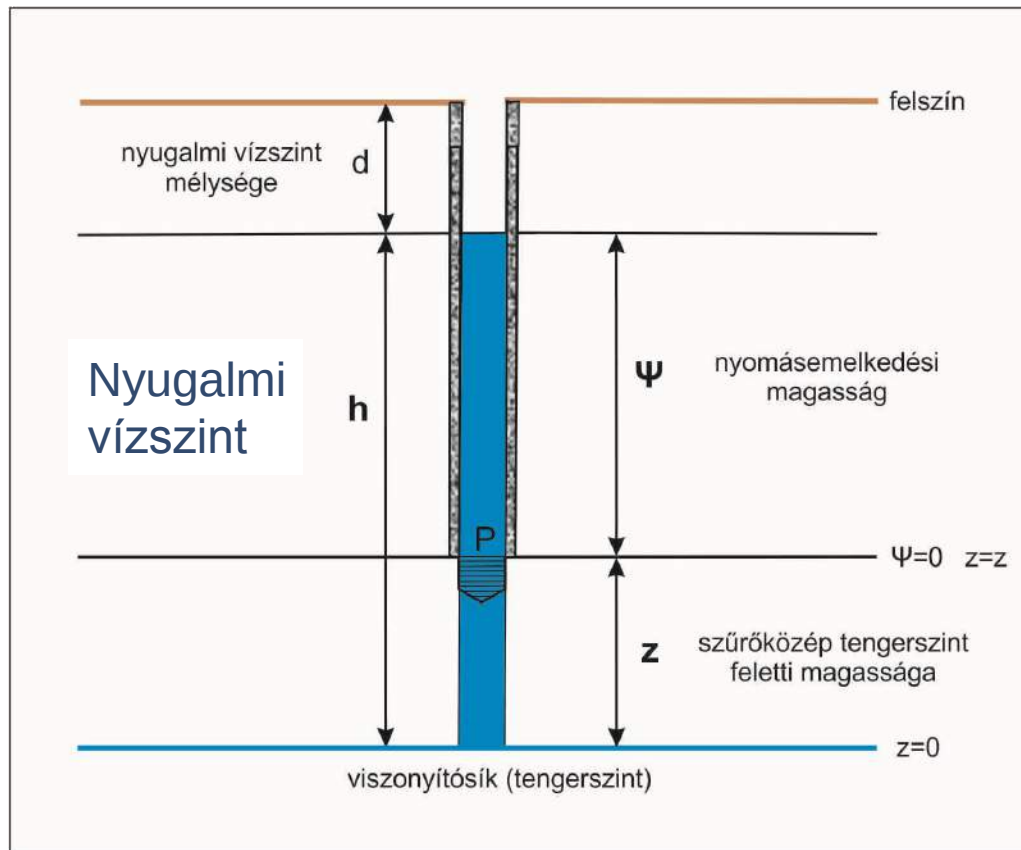
Az artézi szemlélet a hidrogeológia fejlődéstörténetében

A XIX. századra kialakult első koherens nézetrendszer. Hipotézisként értékelhető, ugyanis **nincsen matematikailag levezetett fizikai alapja**, csupán tapasztalati igazolása.



Fordulat a hidrogeológiában: a felszín alatti víz mozgás megértése fizikai alapokra helyeződött

(1940: King Hubbert)



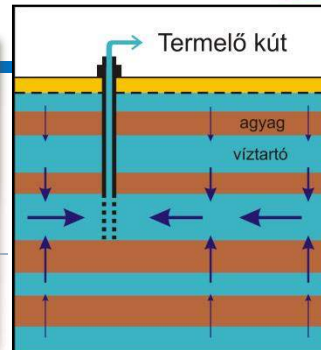
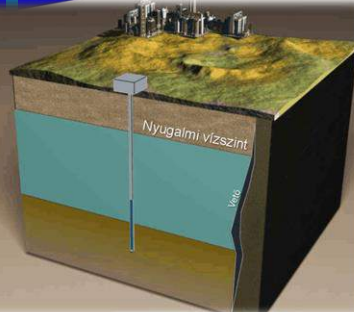
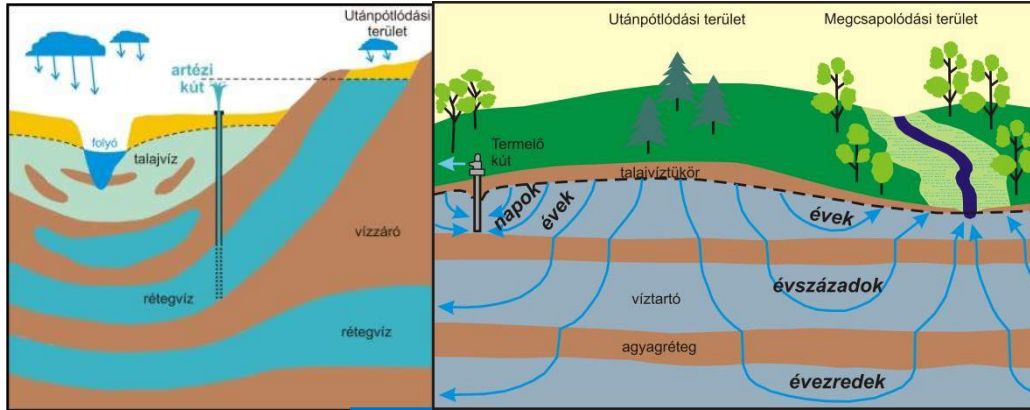
Felszín alatti fluidum
dinamikát, a **folyadék-
potenciál eloszlás**
határozza meg!

A folyadékpotenciál (Φ)
a kutakban mérhető és
egyenesen arányos
a tengerszinthez
viszonyítva mért
nyugalmi vízszintekkel (h)
és kifejezhető a (h)
és a (g) szorzatával.

Terepi potenciométer, kút
(Freeze & Cherry, 1979)

$$\Phi = gh \left[\frac{L}{T^2} L \right]$$

A modern hidrogeológia kialakulása

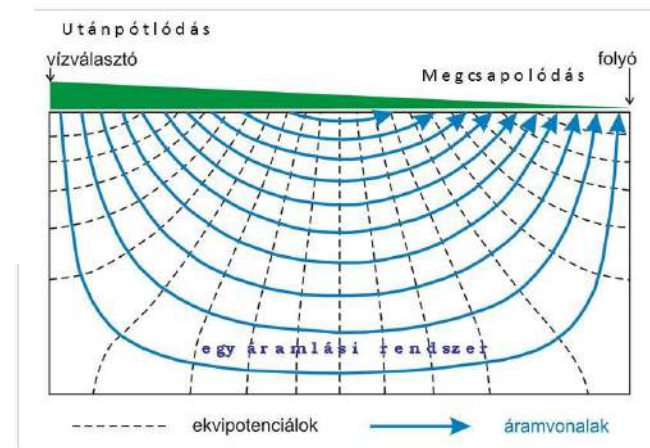
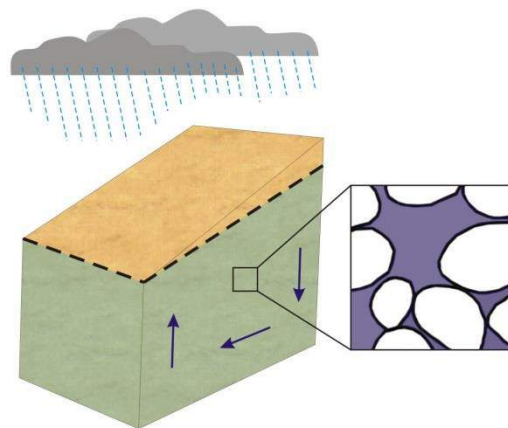


2. Felszín alatti vízáramlások és a mélységi vizekhez köthető karsztkorrózió

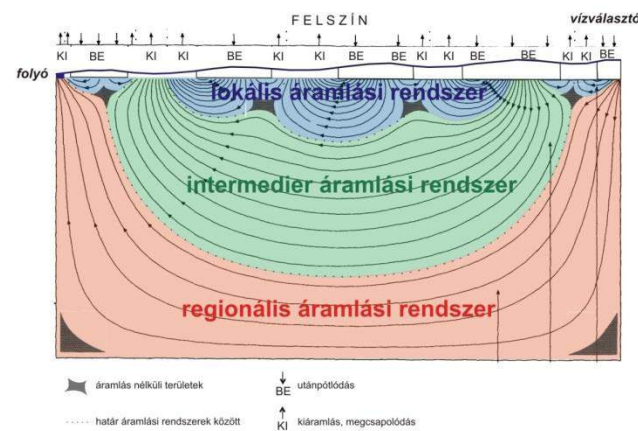
Felszín alatti vízáramlások

► A talajvíztükör magasság-különbségei (gravitáció) vagy egyéb hajtóerő

által **energetikailag vezérelt, geometriailag** is leírható vízmozgás zajlik a felszín alatt
(Tóth 2009)



Egy áramlási rendszer

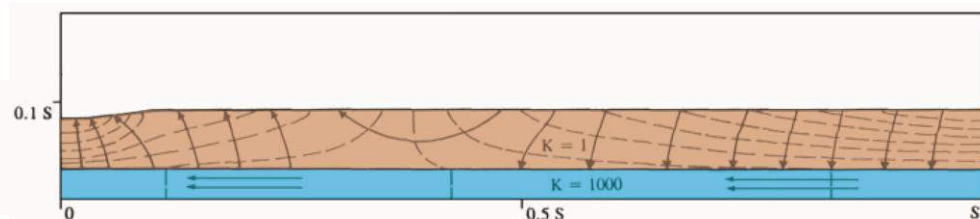


© Elsevier Academic Publishers 1998

Hierarchikusan egymásba épülő áramlási rendszerek

Áramlások a kis vízvezető-képességű kőzeteken át

kis hidraulikus vezetőképességű egység
 nagy hidraulikus vezetőképességű egység

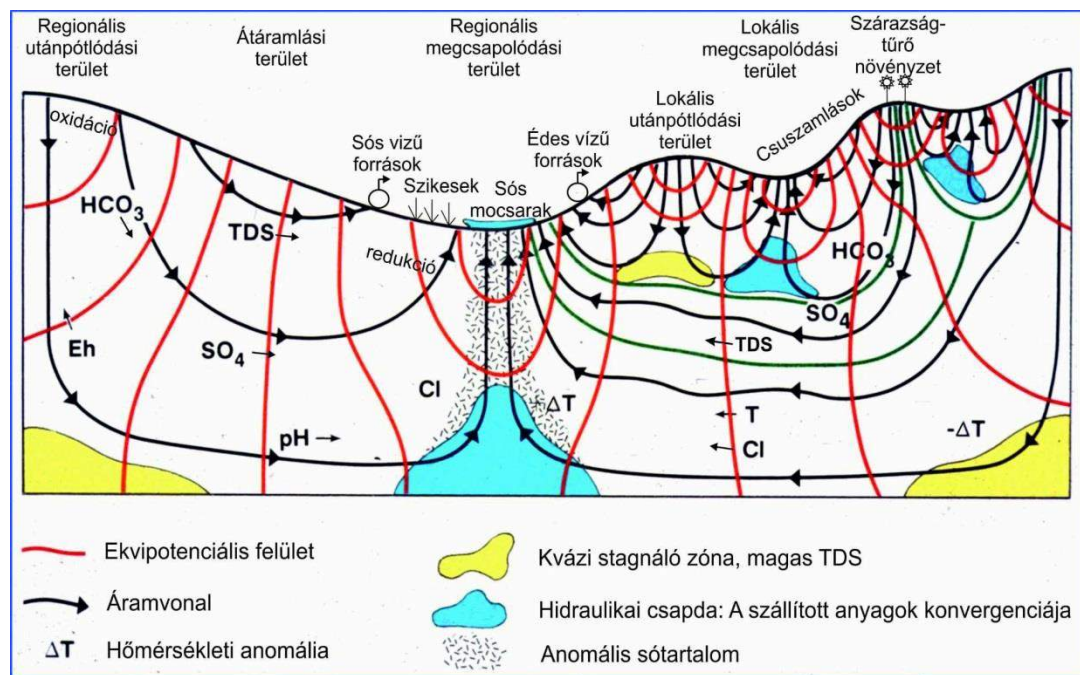


Felszín alatti vízáramlások hatásai

- ▶ **A mozgó felszín alatti víz** geológiai időskálán működve szisztematikusan átalakítja környezetét, **földtani hatótényező**
(Tóth 1984,1999; Ingebritsen et al. 2006)

Ezek a folyamatok meghatározzák az áramló víz által előidézett jelenségeket. Esetünkben a **karsztosodási jelenségeket.**

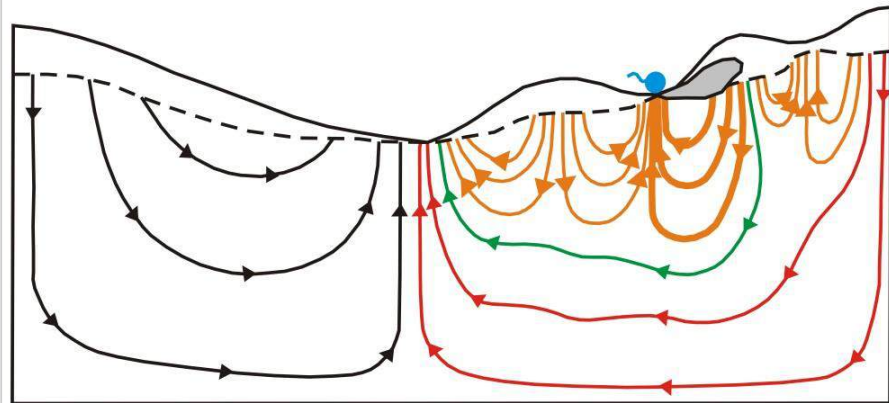
BE: oldás – ÁT: anyagtranszport –
KI: anyag és energia felhalmozódás a medencén belül, szisztematikus módon



(TÓTH 1999, FIG. 1,
MODIFIED AFTER TÓTH
1980, FIG. 10)

- ▶ A felszín alatt szisztematikusan zajló fluidum áramlások egymástól eltérő **kémiai és fizikai paraméterű** folyadékokkal jellemezhetők.
- ▶ Az **epigén**, csapadék beszivárgásból származó karsztosodás mellett, a mélyben található fluidumok is okozhatnak ún. **hipogén karsztkorróziót**.
- Két geokémiai folyamat: **Különböző telítettségű** vizek keveredése.
Kénsavas oldás a hipogén karsztokon **mikrobák** közvetítésével is.

Epigén, a felszínről leszivárgó oldatok által kiváltott karsztosodás



áramvonal

———> lokális
 ———> intermedier
 ———> regionális



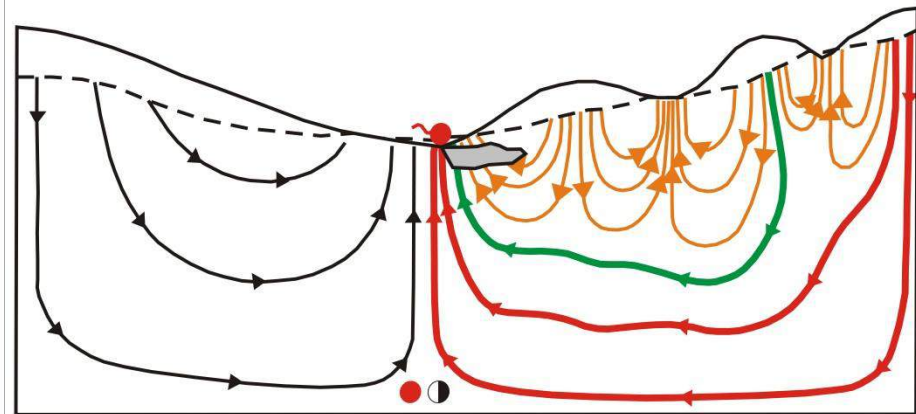
forrás



barlangüreg

© Tóth, 1980 nyomán

Hipogén, a mélyből feláramló oldatok által kiváltott karsztosodás



áramvonal

———> lokális
 ———> intermedier
 ———> regionális



termálforrás



termálvíz



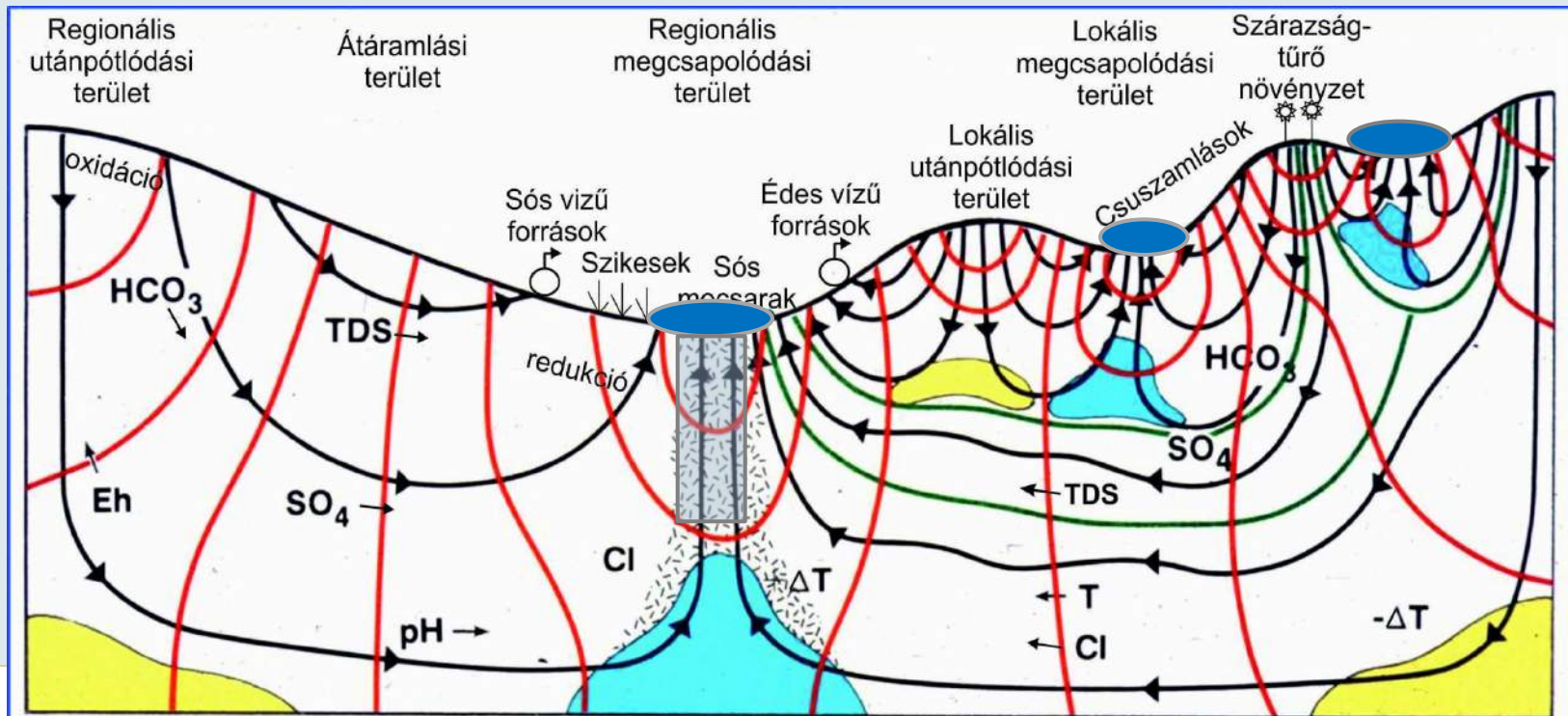
szénhidrogén felhalmozódás



barlangüreg

© Tóth, 1980 nyomán

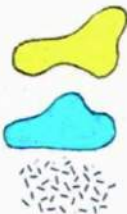
- A különböző áramlások határfelületi zónáiban (diffúzió) és ott, ahol vizük ismét a felszínre kerül (megcsapolódás), olyan „**különleges geokémiai környezetet**” teremtenek, melyek a **mikrobiális közösség sajátos környezeti adaptációjához** vezethetnek.



— Ekvipotenciális felület

→ Áramvonal

ΔT Hőmérsékleti anomália



Kvazi stagnáló zóna, magas TDS

Hidraulikai csapda: A szállított anyagok konvergenciája

Anomális sótartalom

(MÓDOSÍTVATÓTH, 1980, TÓTH 2009)

► 3. Termálvíz megcsapolódáshoz köthető biofilm kiválás és karsztkorrózió a Budai Termálkarszt forrásbarlangjaiban

- Hipotézis: A **felszín alatti vízáramlások megértése** új megvilágításba helyezheti a hipogén karsztosodásra vonatkozó ismereteinket.
- Kutatási forrás: NK OTKA 101356

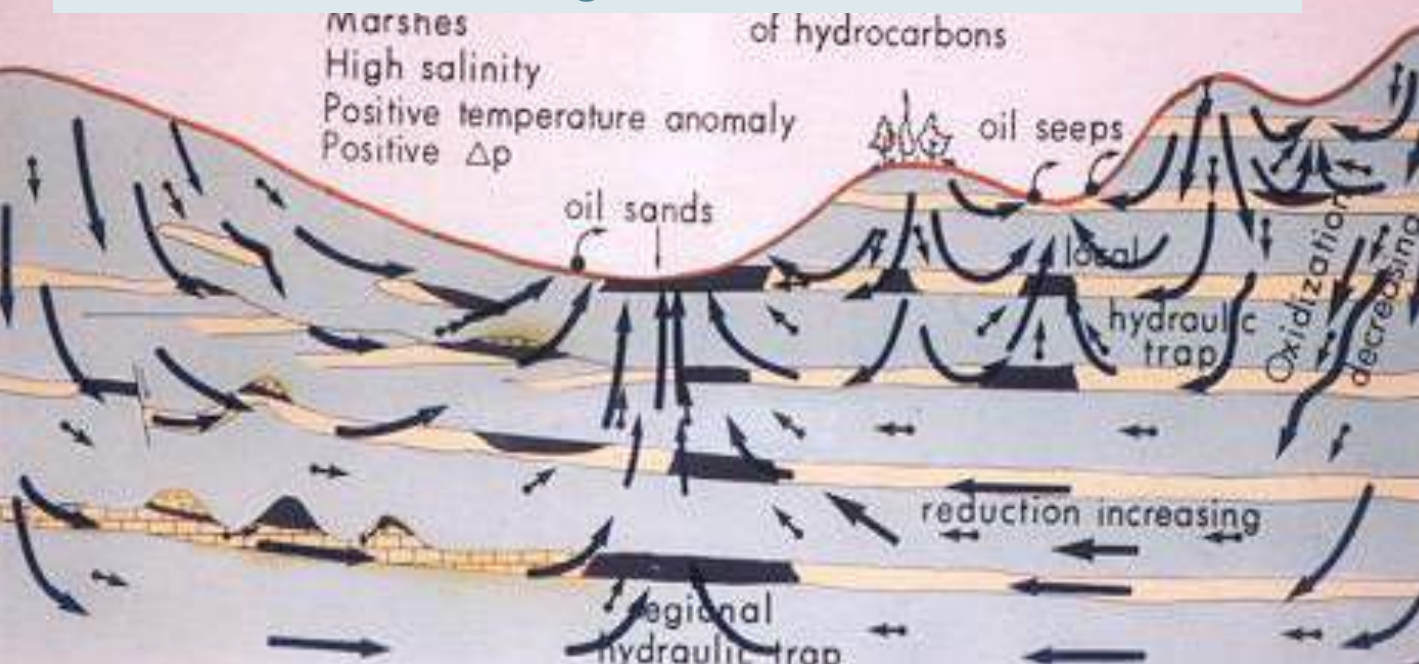


Budai Termálkarszt

Cover of USGS Episodes, Vol. 17, No. 4, 1994:



A sikeres kutatás záloga az érdemi kérdésfeltevés!!!

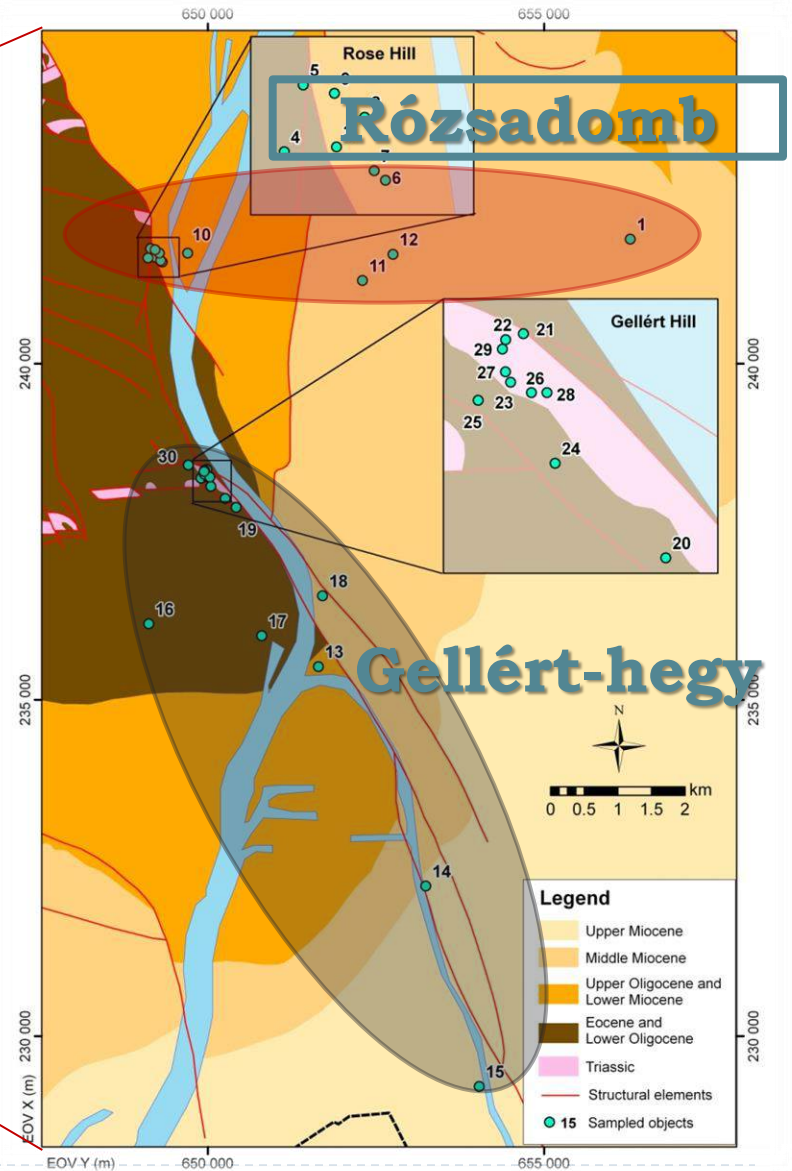
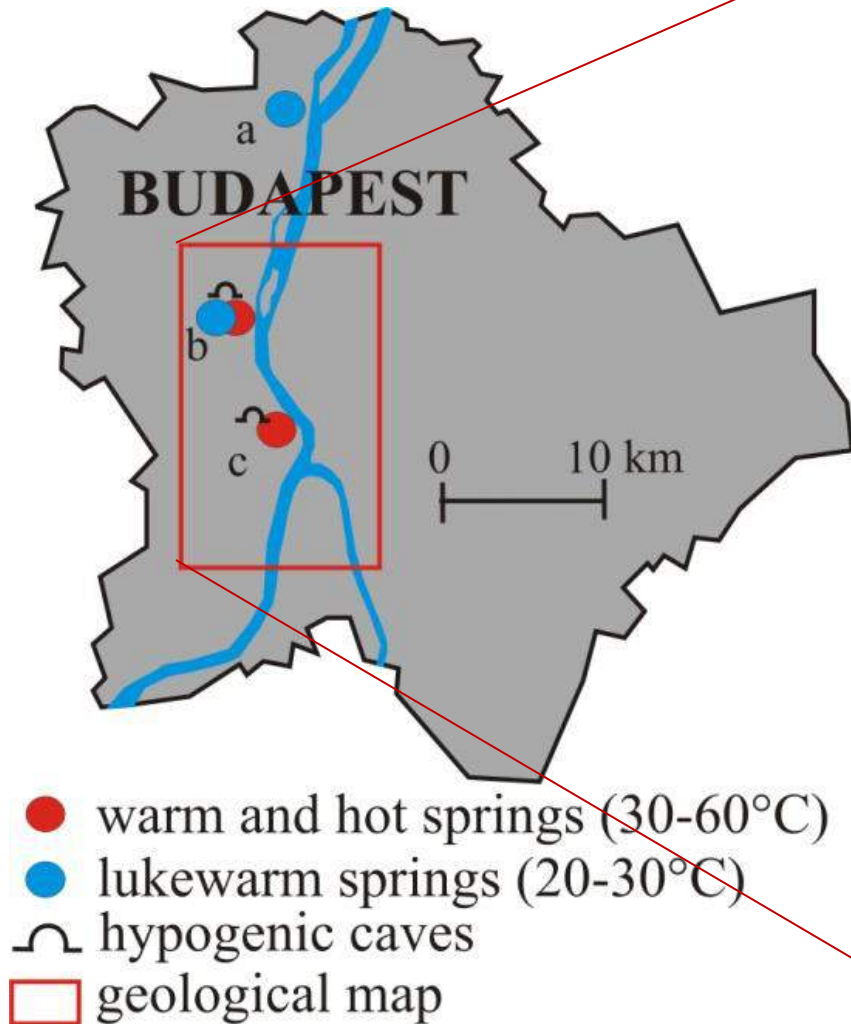


Kutatási
előzmények:
Erőss A
PhD kutatásai
(Shell-ELTE Projekt
2007-2010, téma
felelős MSZJ)

Paralell kutatás:
Poros Zs PhD
(Eni –ELTE
Projekt
tf: Mindszenty A)

**Hipotézisünk alapja:
a „vízáramlási
rendszer
szemlélet”**

Tanulmányi területek





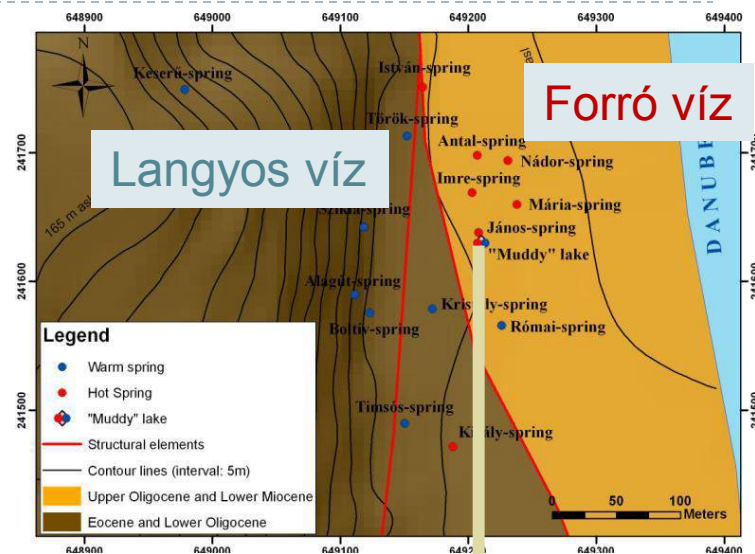
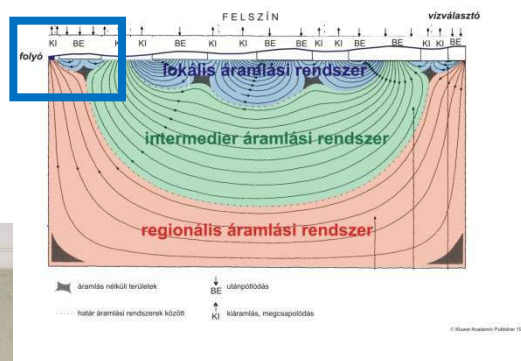
Gellért-hegy

Rózsadomb

(Virág M)

Források, az áramlási rendszerek végállomásai, elhelyezkedésük, megértésük kulcsfontosságú

Rózsadomb:
két komponens



Malom: langyos víz



Tojásfőzés: forró víz



BUDA

PEST

RÓZSADOMB

MEGCSAPOLÓDÁSI TERÜLET

langyos források

meleg források

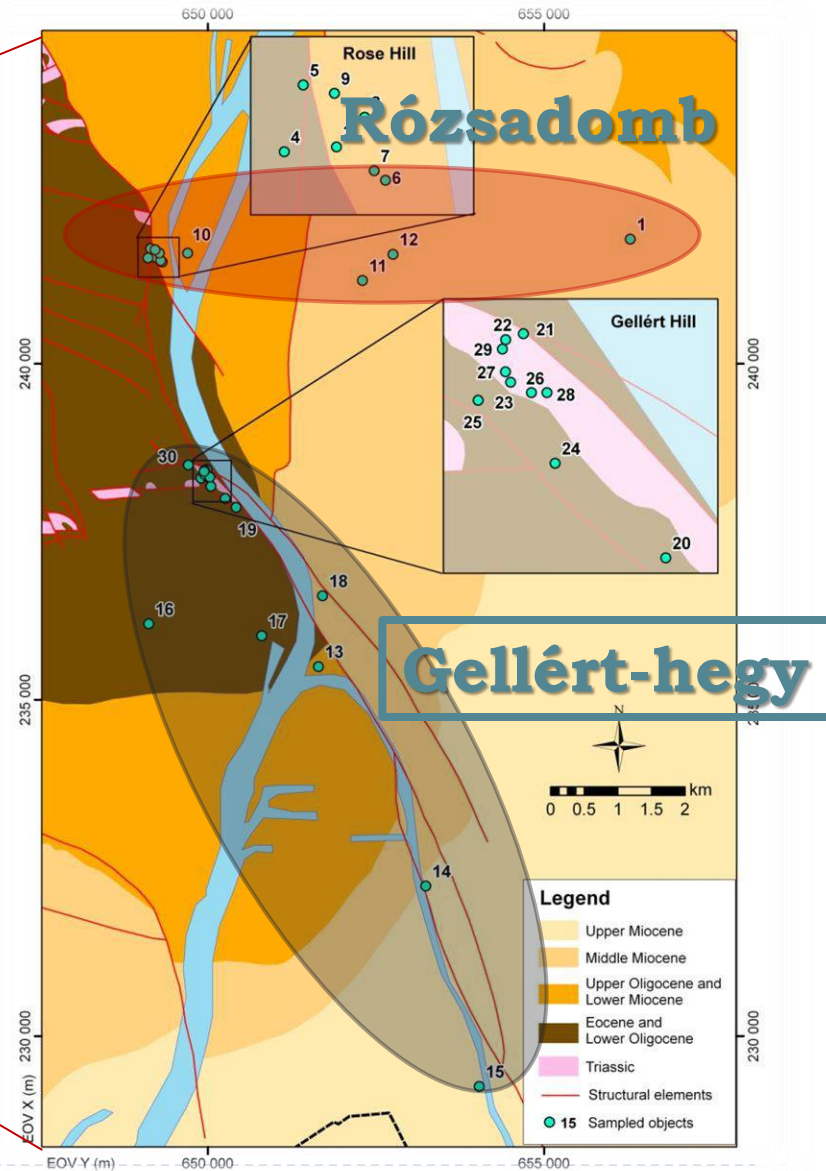
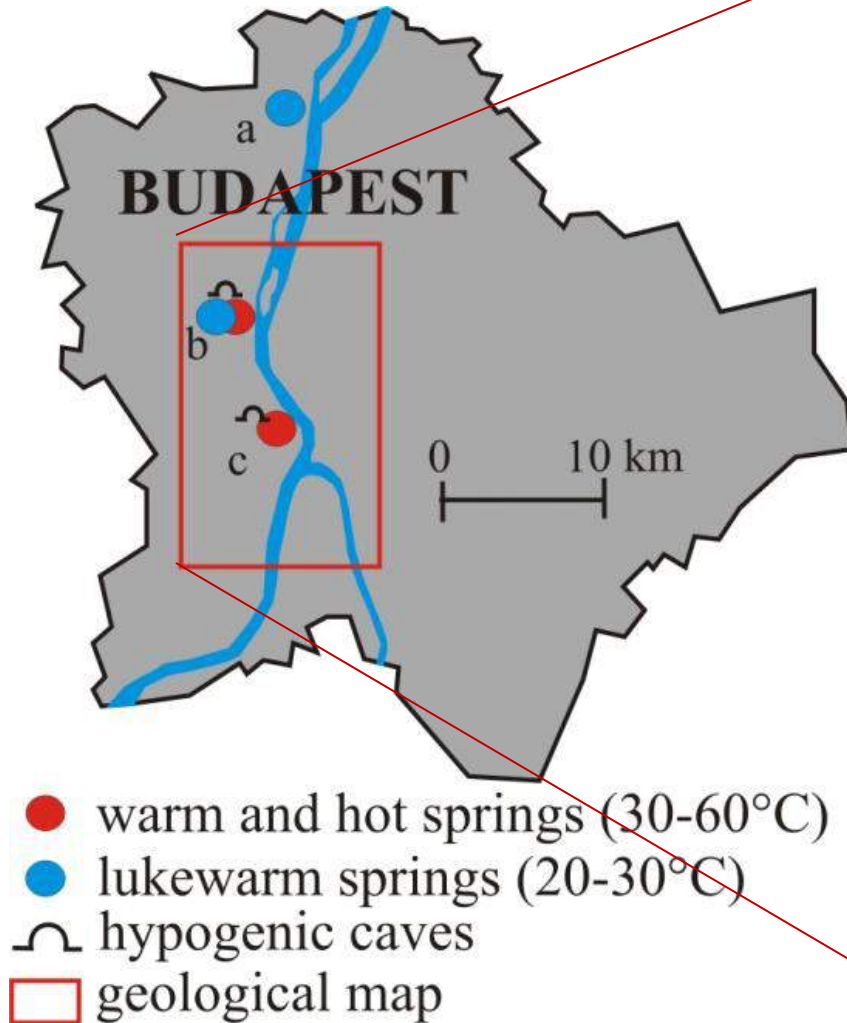


Fő barlangképző folyamat: keveredési korrózió,
erre utalnak a barlang hatalmas méretei

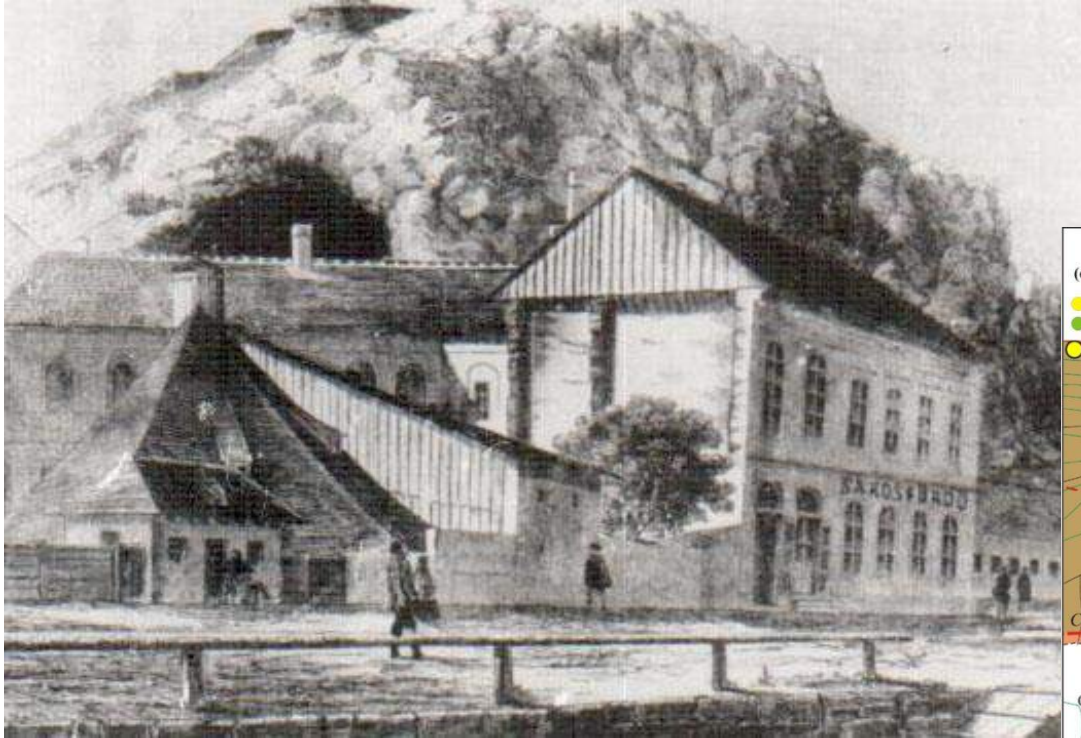
Másodlagos barlangképző folyamat:
biofilm mikrobaközössége által kiváltott korrózió



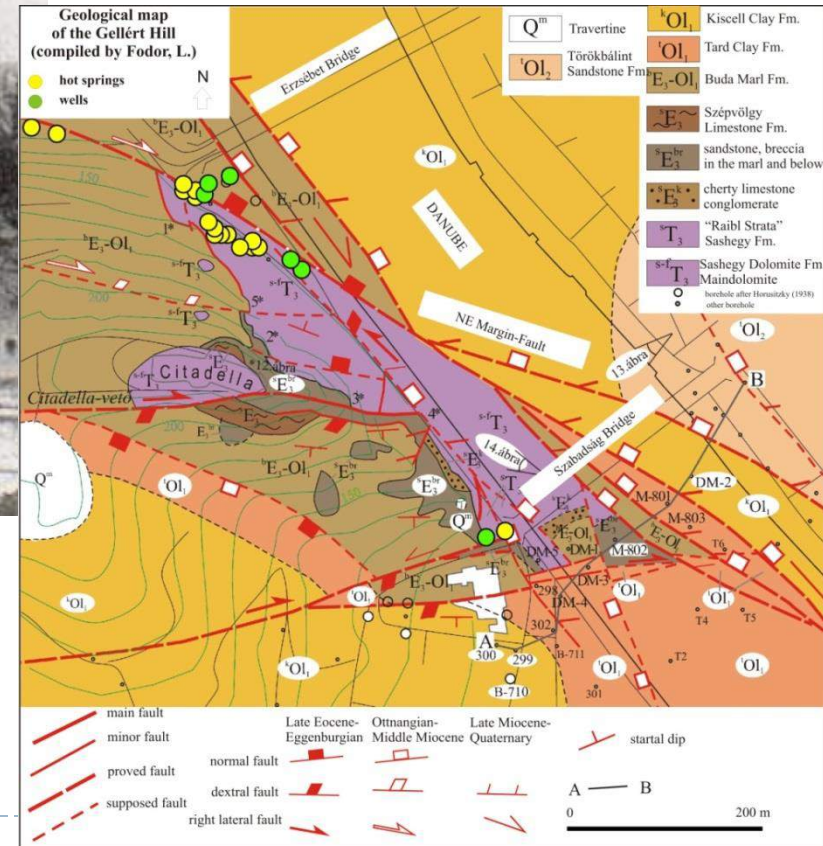
Tanulmányi területek



Gellért-hegy: egy komponensű megcsapolódás, csak termálvíz



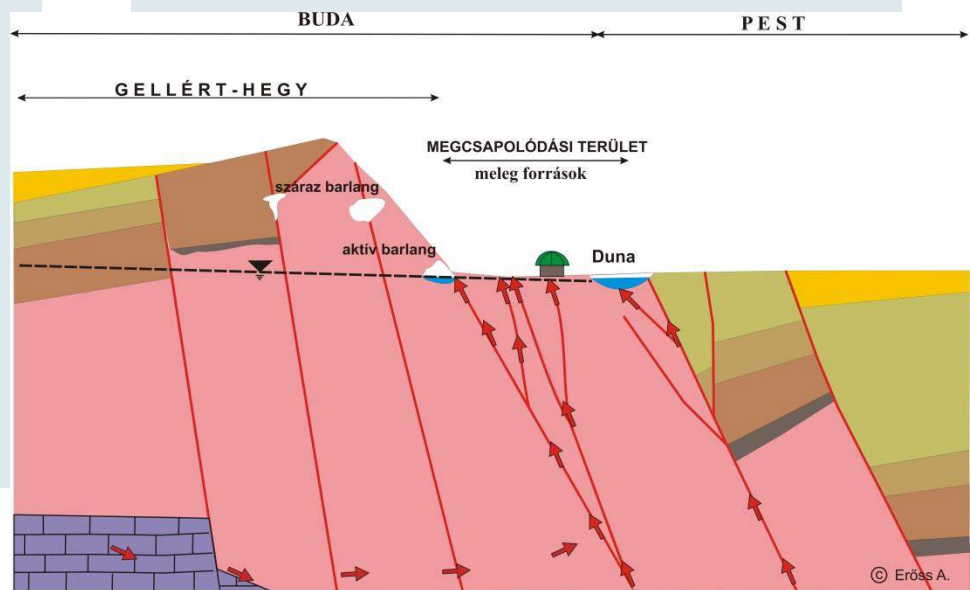
A budai Sáros fürdő a XIX. század végén (Dobos I. archívumából)



- Szerkezetekhez köthetően kizárólag **termálvíz** megcsapolódás zajlik (nincs befolyásoló langyos karsztvíz komponens)

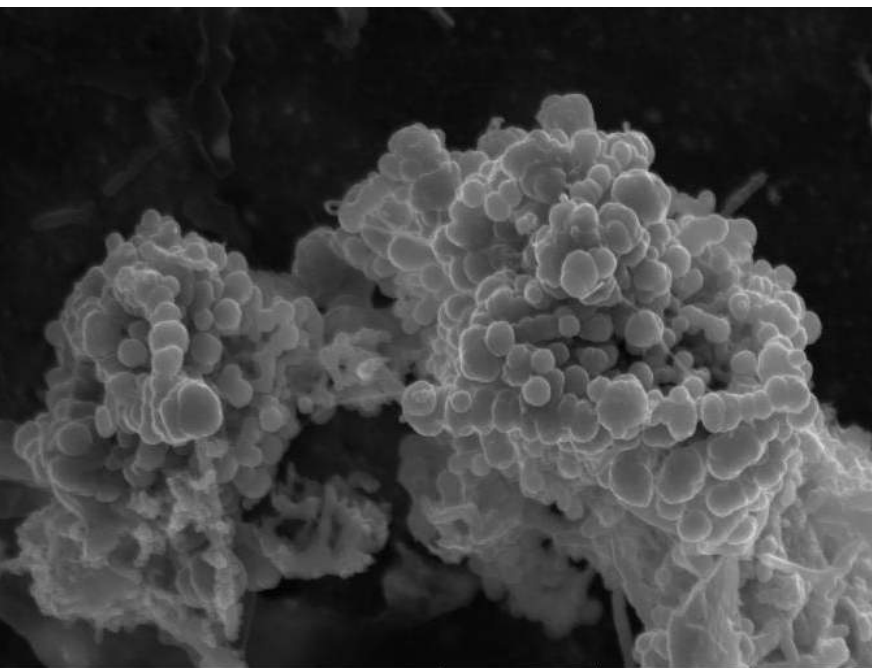
Intenzív
vasoxi-hidroxidos
biofilmképződés
a **karsztvíz szintjében**,
a megcsapolódó
termálvíz és a levegő
redox határfelületén.

Hipogén karsztosodási folyamatok:
- a karsztvíz szintben lencsés
recens forrásbarlangok **arra
utálnak, hogy a
mikrobiálisan segített kénsavas
oldás a döntő karsztosodást
előidéző folyamat.**



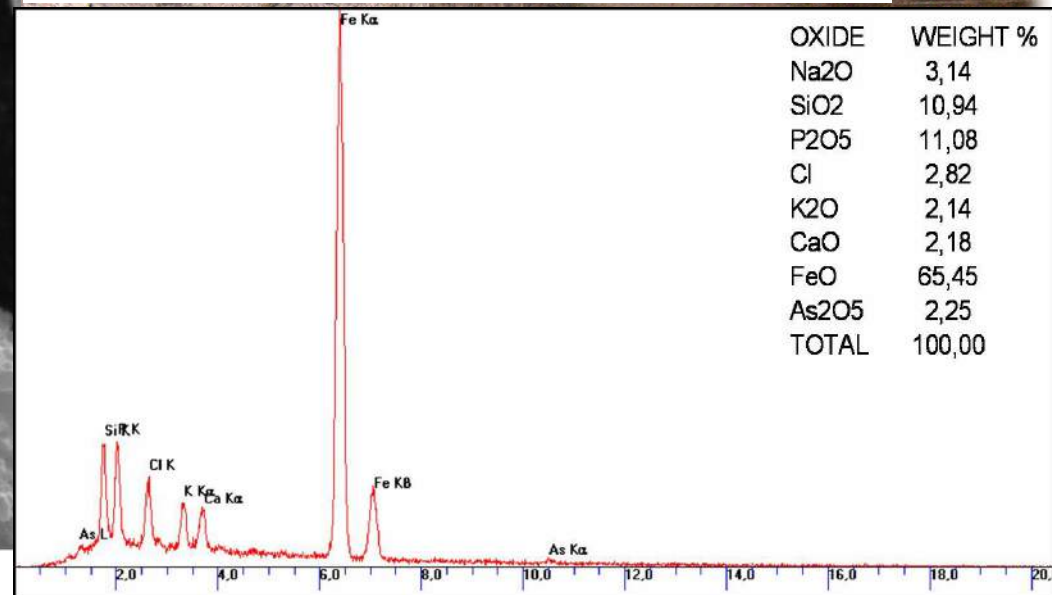
A termálvíz megcsapolódáshoz köthető: oldás és kiválás a karsztvízszintben

- A megcsapolódó víz a szállított anyagot lerakja: **kalcitlemez** és **gipszkéreg**
- A forrásbarlangokban a vízszintben gyengén kristályos **ferrihidrit** kiválás megfeleltethető volt a szakirodalomból termálforrásoknál leírt **biofilmnek**
- A biofilmek mikrobiológiai elemzése anaerob ferri(III), szulfát redukáló és aerob ferro (II) szulfid oxidáló metabolizmusú közösségeket mutatott ki (Borsodi et 2012)



HV: 20.0 kV
Satellite ©Tescan
DET: SE
DATE: 10/22/09
20 μm

A minta EDS spektruma, mutatja a vas dominanciát (Erőss 2010)



SEM –felvétel szőlőfürt megjelenésű baktérium kolóniákról (Erőss 2010)



(ERŐSS ET AL 2008)

E baktériumok magasabb taxonómiai szinten megfeleltethetők azoknak a baktérium közösségeknek, melyek a világ különböző területein a **mikrobiálisan segített kénsavas barlangképződésért** felelősek (Engel, 2007 nyomán)

Következtetés:

A karsztvízszintben
**ásványkiválás,
biofilm képződés
és
kénsavas
oldás,**
zajlik a termálvíz
megcsapolódás-
nak
köszönhetően.

A korrózióért a
**biofilm mikrobiális
közössége** felelős

Major Taxonomic Affiliation	Mobile Cave (Romania) ^a	Frasassi Caves (Italy) ^b	Lower Kane Cave (Wyoming) ^c	Parker's Cave (Kentucky) ^d	Big Sulphur Cave (Kentucky) ^e	Cesspool Cave (Virginia) ^f	Glenwood Springs (Colorado) ^g
Bacteria							
Acidobacteria	.	.	.				
Actinobacteria			.				.
Bacteroidetes/Chlorobi	.	.	.	.	.	.	.
Chloroflexi		.	.				.
Deferribacteres		.					
Fibrobacter			.				
Firmicutes/ low G+C	.	.	.				.
Flexistipes							.
Nitrospirae	.		.				.
Proteobacteria			.				
<i>Alphaproteobacteria</i>	.		.				
<i>Betaproteobacteria</i>	.	.	.		.	.	
<i>Deltaproteobacteria</i>	.	.	.			.	.
<i>Gammaproteobacteria</i>	.	.	.	.	.	.	.
<i>Epsilonproteobacteria</i>	.	.	.	.	.	.	.
Planctomycetes	.		.		.		
Spirochaetes			.				
Termite Gut 1		.					
Verrucomicrobium	.	.	.				
Candidate Divisions	.	.	.	.			.
Archaea							
Euryarchaeota							
Thermoplasmata							.
Methanomicrobia	.	.	.				
Fungi							
	.			.			

^a 16S rRNA gene sequences from Vlasceanu et al. (1997), Vlasceanu (1999), Hutchens et al. (2004), and Engel and Porter (unpublished data).

^b 16S rRNA gene sequences from Vlasceanu et al. (2000) and Macalady et al. (2006).

^c 16S rRNA gene sequences from Engel et al. (2003a), Engel et al. (2004a), and Meisinger et al. (2005).

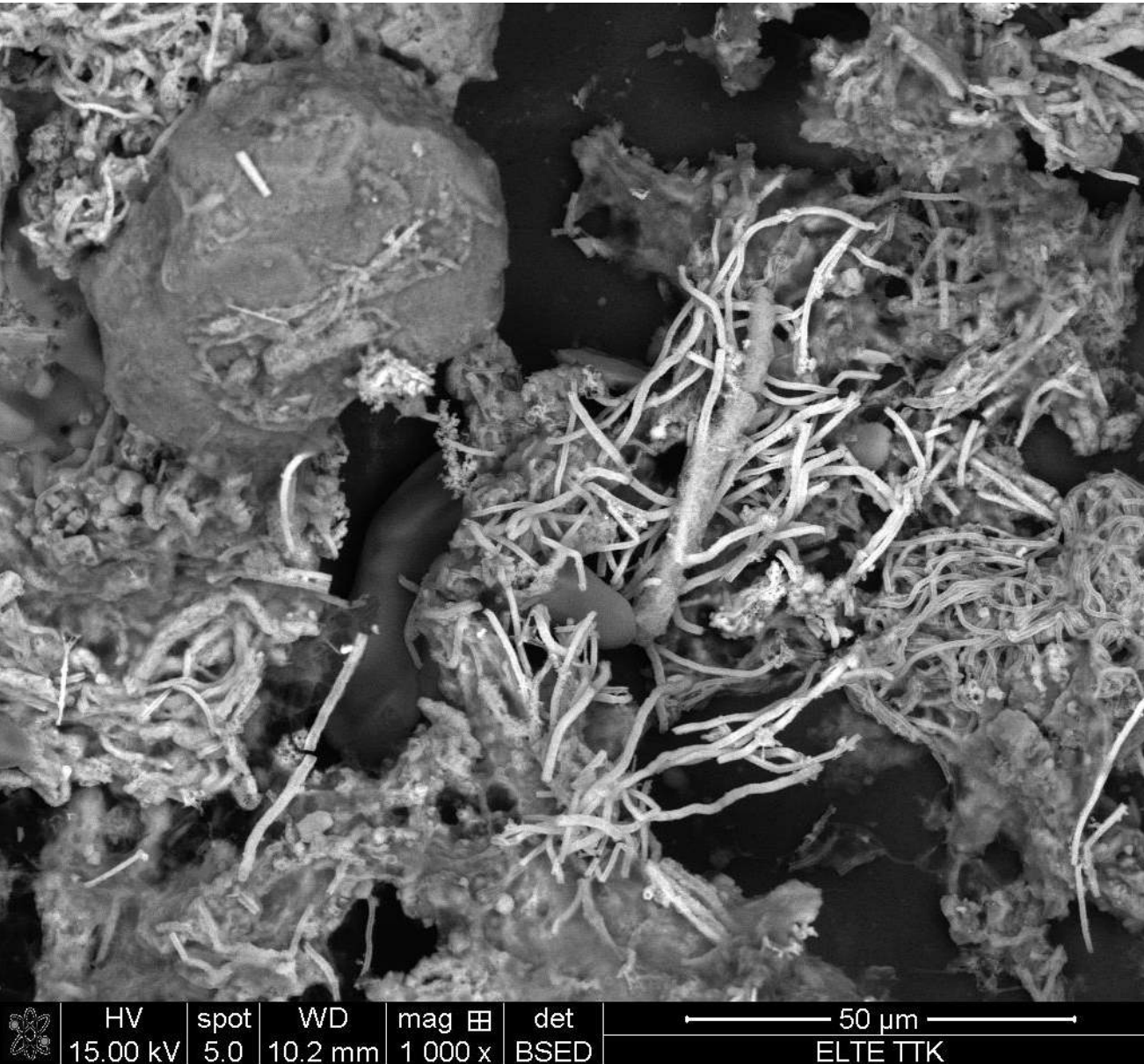
^d 16S rRNA gene sequences from Angert et al. (1998).

^e 16S rRNA gene sequences from Engel and Porter (unpublished data).

^f 16S rRNA gene sequences from Engel et al. (2001) and Engel and Porter (unpublished data).

^g 16S rRNA gene sequences from Barton and Luizer (2005), and Engel and Porter (unpublished data).

Biofilm: Ra és nyomelem akkumuláció



szilikát fázis a vasoxi-

lálódott ^{226}Ra tartalma
kor tapasztalható, ha
ben található.

Mo, U akkumuláció is

” geokémiai



HV 15.00 kV spot 5.0 WD 10.2 mm mag 1 000 x det BSED

50 μm
ELTE TTK

(Erőss A. TÁMOP, 2011) Vas a fonalas baktériumokhoz kötődően CaCO_3 -ot tartalmazó közegben visszaszórt elektronképen

Biofilm: megcsapolódási és karsztkorróziót bizonyító jellemző, megőrződhet-e geológiai időskálán?

Igen! Az Aragonit-barlang a jelenleg képződő forrásbarlangok fölötti első – a hegység kiemelkedése miatt már szárazra került - barlang a Gellért-hegyen



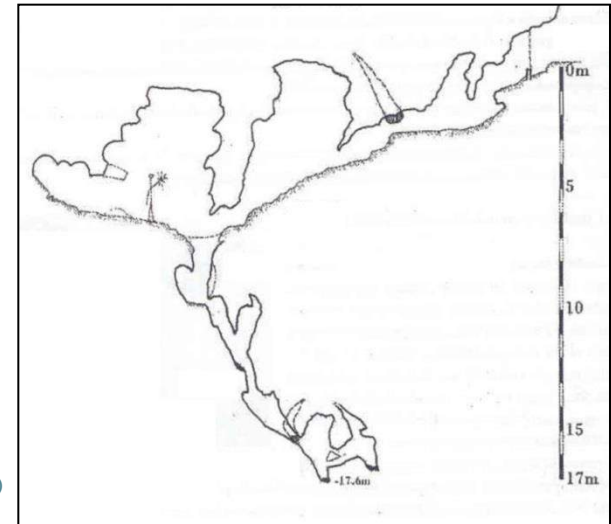
Bizonyítékok a fosszilizálódásra:

- az üreg jelenléte
- morfológiai hasonlóság a jelenlegi forrás barlangokhoz,
- ásványtani hasonlóság.

Mi történik a hegység emelkedésével? Szárazra került üregek és fosszilizálódott biofilm...

• Citadella-barlang

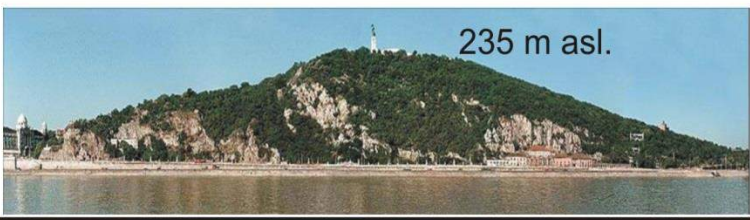
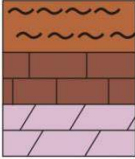
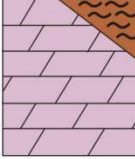
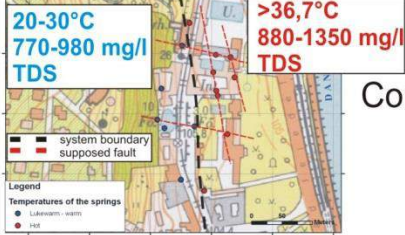
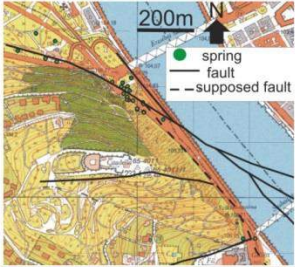
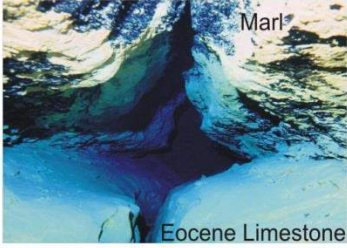
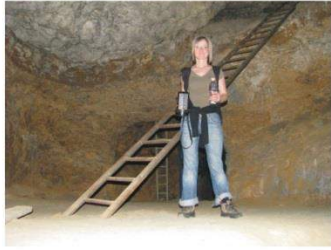
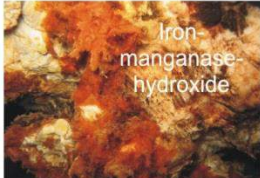
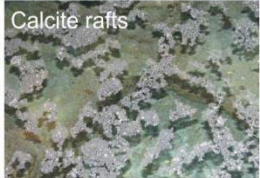
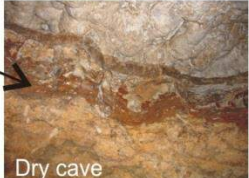
- A Gellért-hegy eróziós fala számos apró, a jelenlegi forrásbarlangokhoz hasonló lencsés megjelenésű kis száraz barlangot tár fel
- Legmagasabb szinten Citadella-barlang
- Amit ma látunk, az függ az eróziótól...



(LEÉL-ÖSSY ET AL. 2007)

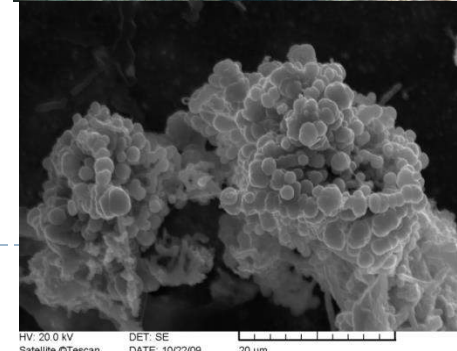
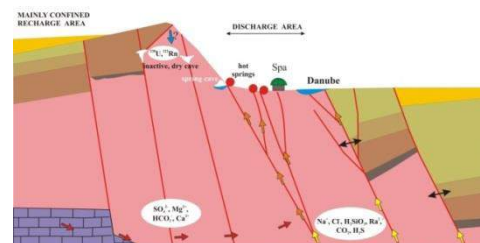
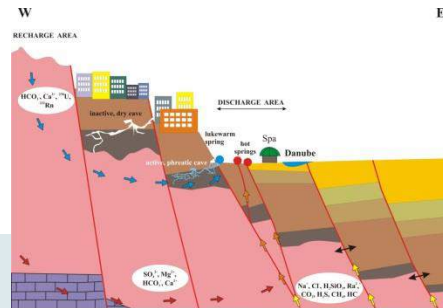


(VIRÁG ET AL IN KARDOS, 2011)

Study areas Characteristics	Rózsadomb	Gellért-hegy (Erőss et al 2010)
Topography	 195 m asl.	 235 m asl.
Lithology	 Eocen-Oligocene Marl Eocene Limestone Triassic carbonates Covered karst with heterogeneous lithologies	 Eocen-Oligocene Marl Triassic dolomite Bare, partly covered karst with homogeneous lithology
Water chemistry and temperature distribution	 20-30°C 770-980 mg/l TDS >36,7°C 880-1350 mg/l TDS Compartmentalized distribution Ca-Na and HCO₃-Cl-SO₄ hydrogeochemical facies	 200m spring fault — supposed fault Uniform distribution 33-43 °C 1450-1700 mg/l TDS Ca-Na and Cl-SO₄-HCO₃ hydrogeochemical facies
Cave morphology	 Marl Eocene Limestone Bedding-parallel structurally-controlled multi-level cave systems	 Isolated, fault related, chamber-like caves
Precipitates	 Calcite mud  Iron-manganese-hydroxide	 Calcite rafts  Iron-manganese-hydroxide calcite mud Spring outlet  Dry cave

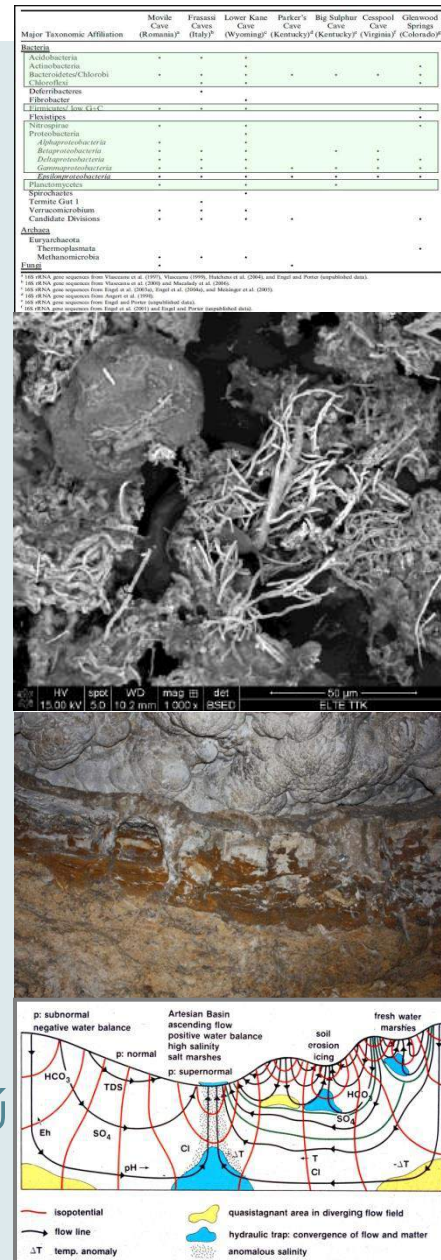
Mit tanultunk a történetből?

- ▶ A Budai Termálkarszt rózsadombi területén **langyos** és **termálvíz megcsapolódás** zajlik.
- ▶ A megcsapolódási terület közelében a karsztkorróziót elsődlegesen a kétféle hőmérsékletű és kémiai víz **keveredése okozza**. **Biofilmet** is találtunk, de alárendelten.
- ▶ A Gellért-hegy rész-megcsapolódási területén csak **termálvíz** megcsapolódás történik.
- ▶ A megcsapolódáshoz **ásványkiválások** (kalcitlemez, gipsz) köthető, de emellett a levegő és a karsztvíz redox határfelületén **biofilmkiválás** is történik.
- ▶ Bizonyítást nyert, hogy az aktív biofilmkiválás mellett és annak köszönhetően a karsztvízszinten mikrobiális **kénsavas karsztkorrózió** is zajlik egyidejűleg.



- ▶ A baktériumközösség megfeleltethető **más hipogén barlangok** kénsavas oldásért felelős közösségeinek.
- ▶ E biofilm adszorpciós képessége folytán környezetéhez képest **magas Ra és nyomelem-tartalommal** rendelkezik.
- ▶ E korrozív biofilm **földtani megőrződése** is fontos, mert segít az üregek képződése, eltömődése geológiai folyamatainak megértésében, mely **alkalmazott kutatási** jelentőségű (szénhidrogének felhalmozódása miatt).
- ▶ Az **eredmény** - az áramlási rendszer megközelítés révén - **általánosítható** egyéb hipogén karsztokra.

Lényeges alaptudományos és alkalmazott jelentőségű kérdés megfogalmazása: tudományterületek közötti átjárás + új szemlélet alkalmazása



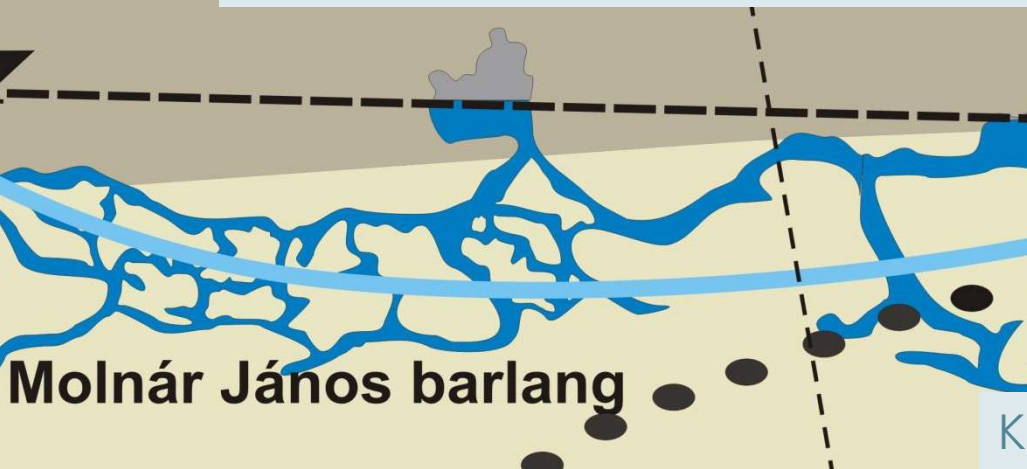
BUDA

RÓZSADOMB

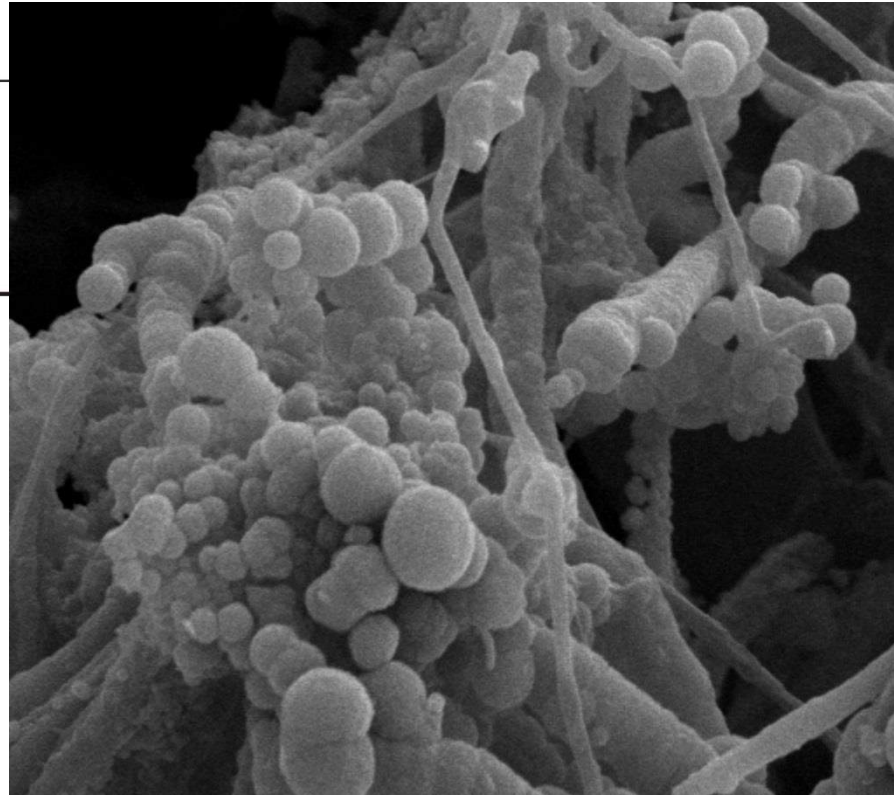


barlang

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!



Molnár János barlang



Kutatási támogatás: NK OTKA 101356