

Mihez lehet kezdeni a termálvizekben található (oldott) anyagokkal?

A geotermikus energiatermelés geokémikus szemmel

Dr. Bozsó Gábor PhD – műszaki igazgató, egyetemi adjunktus

2026.03.11.

„A BKV Vasúti Járműjavító Kft. Fehér úti telephelyén létesített geotermikus kút kihasználtságának növelése a zuglói távhőköri körzetben történő hőhasznosítással” című, SM06-GEO-PC7 számú programkomponens

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.





-  Hot temperature zones
-  Existing geothermal power plant locations





szetav.vercel.app

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



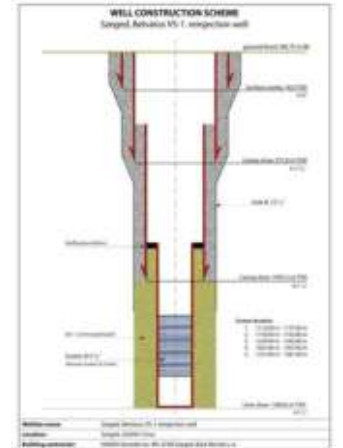
@svajcialap





Problémás oldott anyagok

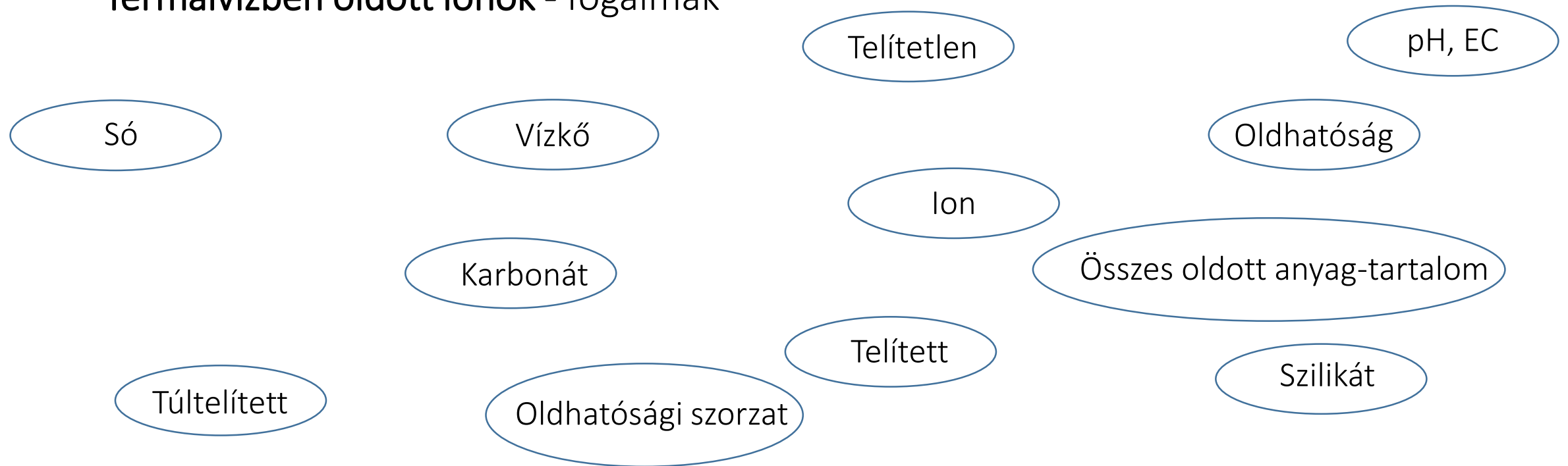
- Szilárd fázisú → Kút homokolás
- Oldott ionok → Vízkőképződés, korrózió
- Oldott gázok → Robbanásveszély, korrózió
- Bakteriális aktivitás → Nyomáskereső, problémás visszasajtolás



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



Termálvízben oldott ionok - fogalmak

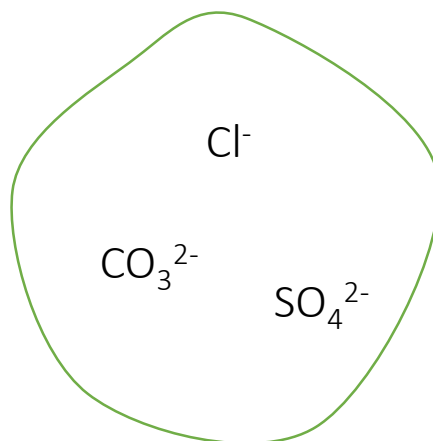
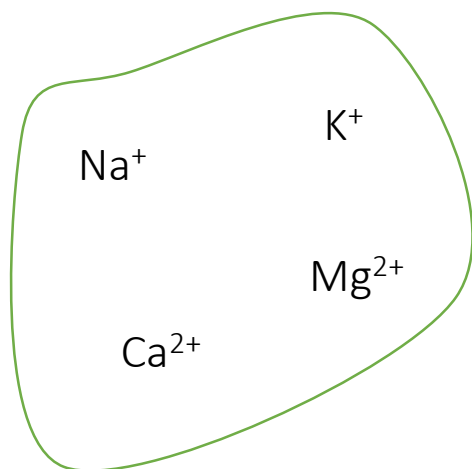


A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



Legjellemzőbb ionok, geokémiai csoportosítás

- Könnyen oldódnak
- Ionrácsos vegyületek
- Evaporációból



Usiglio-sor

1. Karbonátok (50%)
2. Szulfátok (80-90%)
3. Kloridok (90-95%)
4. Keserű-só (>95%)

1. Kalcit, aragonit (CaCO₃), dolomit
2. Gipsz (CaSO₄*2H₂O), anhidrit
3. Halit (NaCl)
4. Szilvin (KCl), epsomit (MgSO₄*7H₂O)



<https://www.terjhazavandor.ro/a-korondi-csigadomb/>



<https://www.otptravel.hu/inspiraciok/a-Holt-tenger-titkai>



<https://akovekmeselnek.hu/az-alsotelekesi-gipsz-foldtani-kornyeze-tes-banyaszata/>

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



Karbonát egyensúly



$$K_{\text{sp}} = [\text{Ca}^{2+}] * [\text{CO}_3^{2-}]$$

Kémiai aktivitás

Red-ox potenciál

Német keménységi fok

Állandó keménység

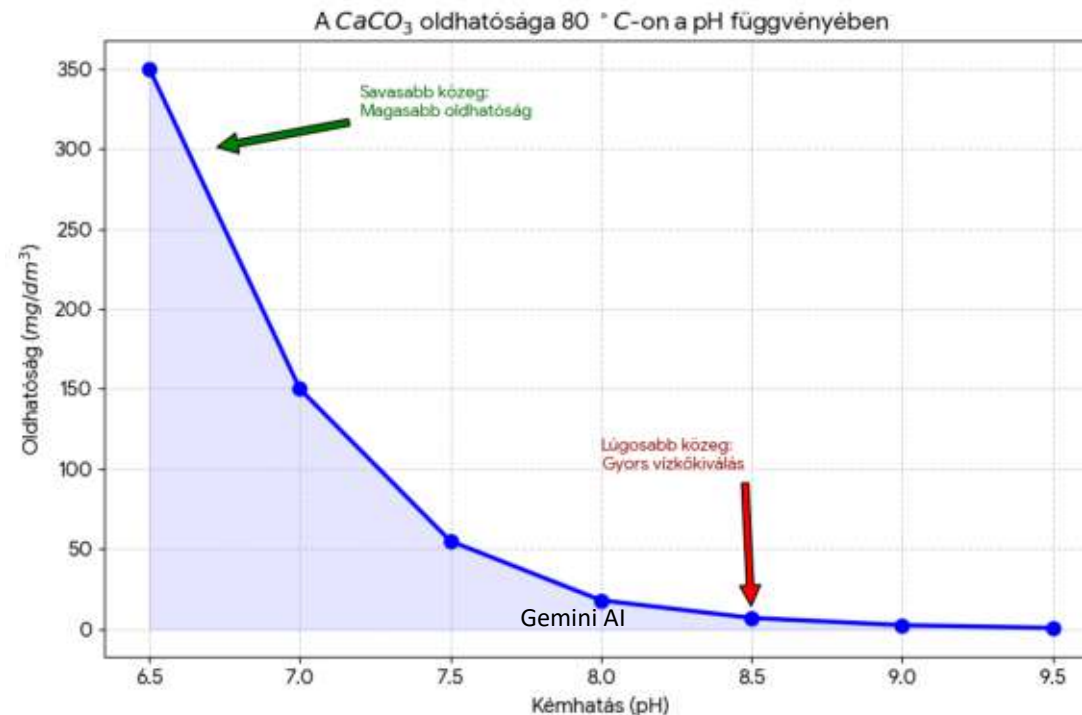
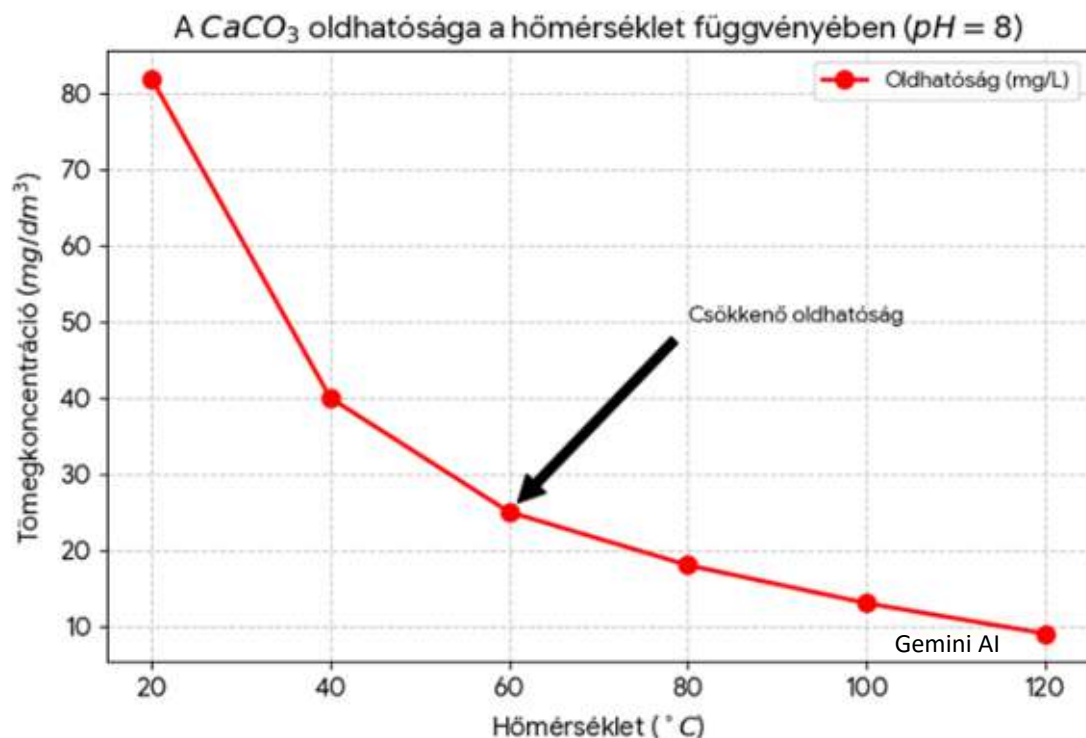
Változó keménység



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



CaCO₃ oldhatóság



pH 8 → 7 ~ 100-300 ml cc. HCl vagy 30-60 ml cc. H₂SO₄

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



@svajcialap



Főbb termálvíztípusok – geokémiai osztályozás

CaCO₃-típusú:

- Zömében kontinentális, közepes entalpiájú rendszerekben
- CO₂ távozása → pH nő → karbonát-kiválás



Szulfát-típus

- Kicsapódás
- tengervíz keveredéskor



<https://i2g.ca/general-knowledge-of-drilling-a-well/>

SiO₂-típusú:

- Amorf szilika
- Nagy entalpiájú rendszereknél
- Nagyon nehéz eltávolítani



Sarulla, Indonézia – 330 MW

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



@svajcialap





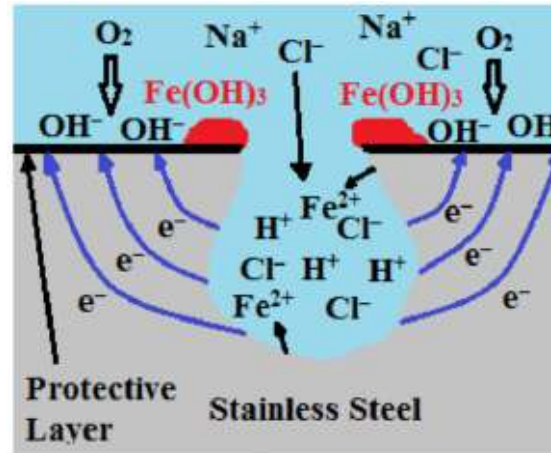
Főbb termálvíztípusok – geokémiai osztályozás

Cl⁻:

- Kis koncentrációban is rendkívül korrozív
- Pitting korrózió
- Rozsdamentes acélokat is



<https://www.assemblymag.com/articles/94878-corrosion-of-stainless-steel-test-methods-and-proper-expectations>



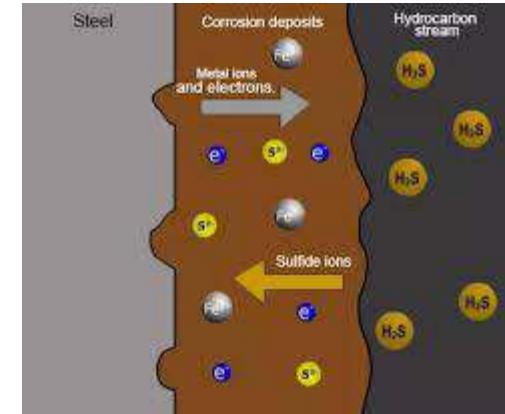
https://www.researchgate.net/figure/Pitting-corrosion-diagram-on-stainless-steel_fig1_324548688

CO₂:

- Szénsav → savasít
- Szénacél korrózió

H₂S:

- Erősen korrozív
- Réz és acél korrózió



<https://inspenet.com/en/articulo/wet-h2s-damage-mechanism>



<https://trenchlesspedia.com/controlling-hydrogen-sulfide-corrosion-in-sewer-pipelines/2/4599>

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.

www.svajcialap.hu

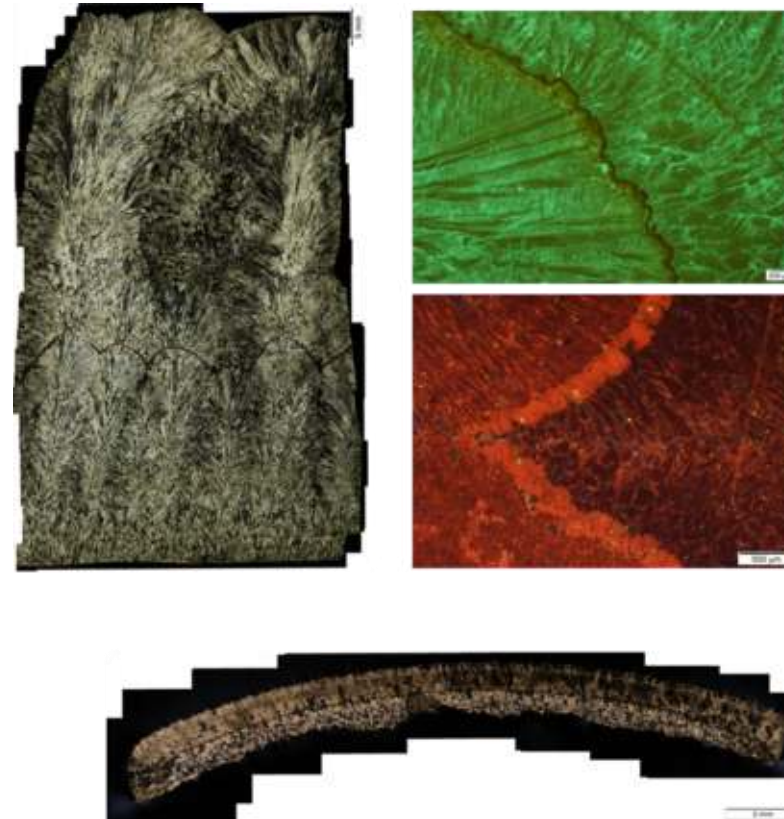


@svajcialap





Vízkő képződés (scaling) elemi szinten

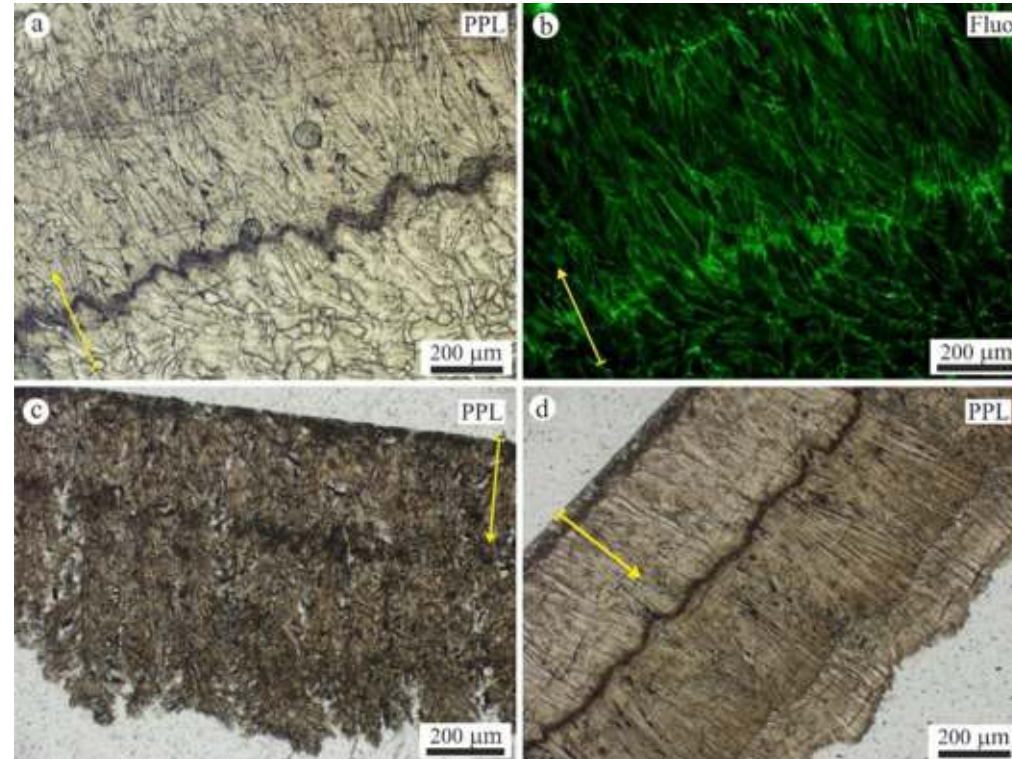
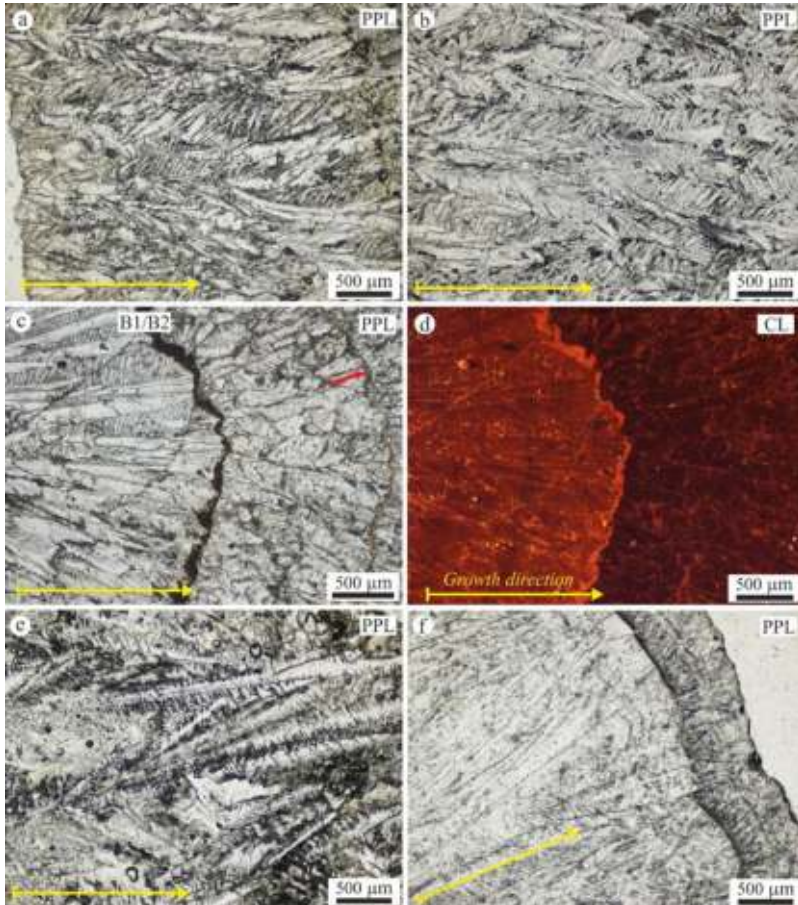


A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.





Vízke képződés elemi szinten



Andrea Varga,¹ Gábor Bozsó,¹ István Garaguly,¹ Béla Raucsik,¹ Attila Bencsik,^{1,2} and Balázs Kóbor¹

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



@svajcialap





Kiválási és/vagy korróziós indexek

Langelier Szaturációs Index (LSI):

$LSI > 0 \rightarrow$ telített vízkőkiválás

$LSI = 0 \rightarrow$ egyensúly

$LSI < 0 \rightarrow$ telítetlen, korrózió

$1 \text{ dH} \approx 17.8 \text{ ppm CaCO}_3$

- pH_{oldat} vs. $pH_{\text{sat. carb.}}$
- $LSI = pH - pH_s$
- $pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$
 - **A** (TDS faktor): $(\log_{10}(\text{TDS}) - 1) / 10$
 - **B** (Hőmérséklet faktor): $-13.12 * \log_{10}(^{\circ}\text{C} + 273) + 34.55$
 - **C** (Kalcium keménység faktor): $\log_{10}(\text{Ca CaCO}_3\text{-ként}) - 0.4$
 - **D** (Alkalitás faktor): $\log_{10}(\text{Alkalinitás CaCO}_3\text{-ként})$



Wilfred
Francois
Langelier
(1936)

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.





John Ryznar
(1944)

Kiválási és/vagy korróziós indexek

$$- \text{RSI} = 2 * \text{pHs} - \text{pH}$$

Állapot	Langelier (LSI)	Ryznar (RSI)
Vízkövesedő	Pozitív (> 0)	Alacsony (< 6)
Ideális	0 körüli	6 és 7 között
Korrózív	Negatív (< 0)	Magas (> 7)
Terület	Általános	Hőcserélők

Ryznar Stabilitási Index (RSI):

RSI < 6.0: Erős vízkőképző hajlam

RSI 6.0 – 7.0: Stabil, egyensúlyi állapot

RSI 7.0 – 7.5: Enyhén korrózív

RSI 7.5 – 8.5: Közepesen korrózív

RSI 8.5 – 9.0: Erősen korrózív

RSI > 9.0: Rendkívül agresszív/korrózív

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.





Puckorius Skálázási Index (PSI):

PSI < 4.5: Erős, masszív vízkőképződés

PSI 4.5 – 6.5: Vízkőképző hajlam (stabilizálást igényel)

PSI 6.5: Egyensúlyi pont (Ideális állapot)

PSI 6.5 – 7.5: Enyhén korrozív / Nincs jelentős lerakódás

PSI > 7.5: Korrozív, agresszív víz (nem alakul ki védőréteg)

Kiválási és/vagy korróziós indexek

- $PSI = 2 * pH_s - pH_e$
- A kialakuló vízkövesedés mértékét mutatja
- Általában alacsonyabb kémhatású közegekben

Paul Puckorius
(1983)



Te Mihi
Új-Zéland
166 MW

<https://contact.co.nz/about-us/our-story/our-powerstations>

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



@svajcialap



Kiválási és/vagy korróziós indexek

- $LR = (Cl^- + SO_4^{2-}) / (HCO_3^- + CO_3^{2-})$
- meq/l-ben kifejezett oldatkoncentráció
- Szénacél korrózióveszélyének előrejelzése

Larson-Skold Arány (LR):

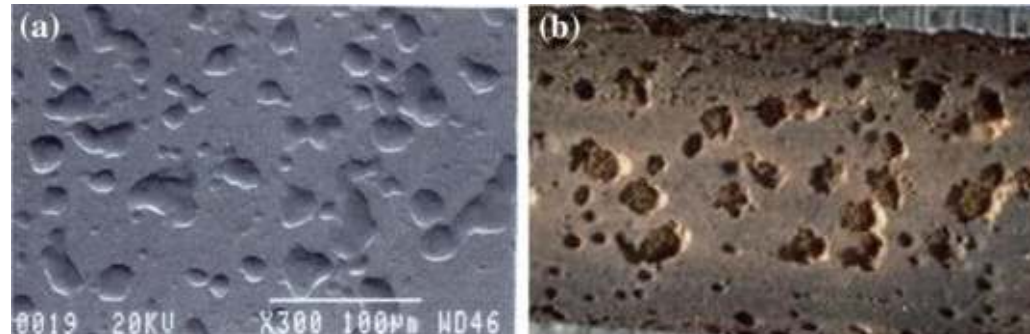
LR < 0.8: Alacsony korróziós hajlam (Védőréteg kialakul)

0.8 < LR < 1.2: Mérsékelt korróziós hajlam

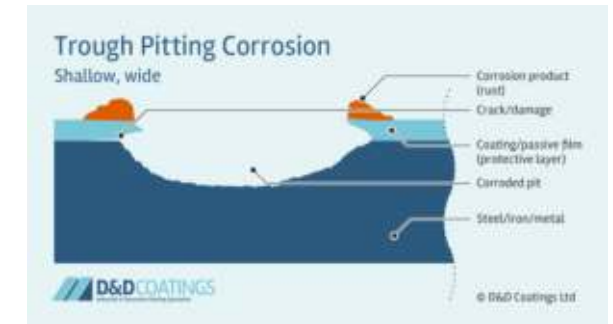
LR > 1.2: Magas korróziós hajlam (Acélfelületek roncsolódása)

Thurston E. Larson

Russell W. Skold
(1957-58)



https://www.researchgate.net/figure/a-Topographic-image-of-the-pitted-surface-of-304-austenitic-stainless-steel-b-Deep_fig2_340215411



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



Kiválási és/vagy korróziós indexek

- $\Omega = \text{IAP} / K_{sp}$
- Ion aktivitás alapján (IAP)
- Karbonát esetén az $\text{IAP} = \{\text{Ca}^{2+}\} \{\text{CO}_3^{2-}\}$
- K_{sp} : oldhatósági szorzat (T függő)
- $\text{LSI} = \log_{10}(\Omega) = \log_{10}(\text{IAP} / K_{sp})$
- Számol az ionerősséggel, ionpárokkal, extrém sós, nagy hőmérséklettel

Oldhatósági index (SI):

$\Omega > 1.0$: Túltelített (Vízkökiválás termodinamikailag kedvezett)

$\Omega = 1.0$: Egyensúlyi állapot (Telített oldat)

$\Omega < 1.0$: Telítetlen (Agresszív víz, ásványi anyagokat old ki)



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.

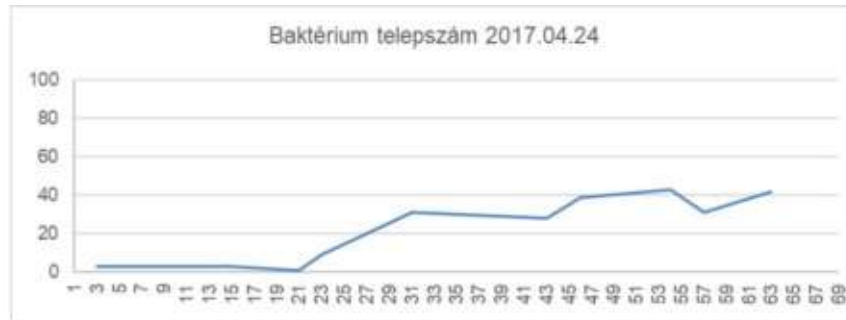
2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



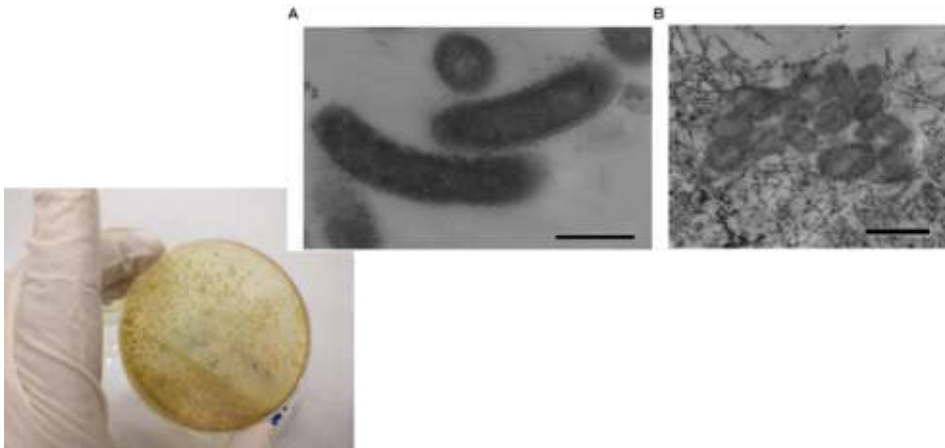
@svajcialap





Bakteriális aktivitás

- Szulfát-redukáló baktériumok
- Biofilm képződés



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



Megoldási lehetőségek - Homokolás



hdscreenpipes.com

Megfelelő kút kiképzés:

- Johnson szűrő
- Kavicsolás

Üzem közben:

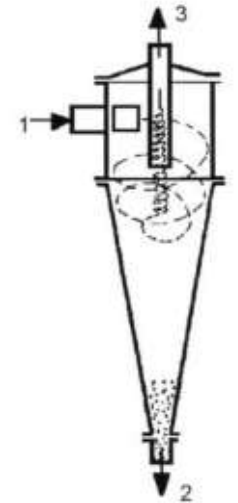
- Hidrociklonok
- Automata öblítésű szűrők
- Lágý indítás
- Lebegő járókerekes szivattyú

Utólagosan:

- Kompresszorozás
- Utószűrőzés
- Vegyszeres rétegstabilizálás (gyanták)

Biszfénol-A-diglicidil-éter (**DGEBA**).

Metilén-difenil-diizocianát (**MDI**)



1. Szuszpenzió 2. Iszap
3. Tiszta folyadék



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu

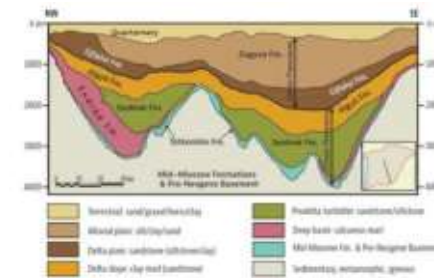
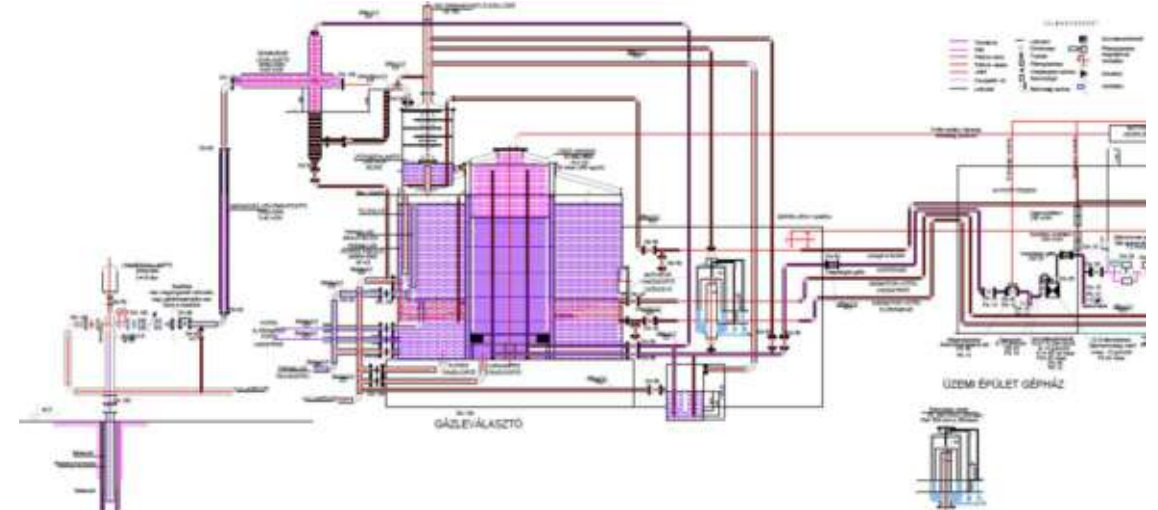


@svajcialap





Gázszeparáció



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.

2026. 03. 06.

www.svajcialap.hu



@svajcialap



Megoldási lehetőségek – Scaling/korrózió

Foszfónátok:

- Termikusan stabil
- Néhány mg/l
- Nukleáció gátlás, kristálytorzítás, kelátképzés
- Nehezen bomlik le, vas-oxidok jelenlétében könnyebben
- pH: 6-8

Hidroxi-etilidén-difoszfonsav (HEDP) - karbonátokra

Amino-trimetilén-foszfonsav (ATMP) – karbonát és szulfát

Dietilén-triamin-penta-metilén-foszfonsav (DTPMP) – BaSO_4

Kémiai inhibitorok

Szintetikus polimerek:

- Diszpergálnak
- Mikro kristályok töltéssel rendelkeznek
- Poliakrilsav, polimaleinsav
- Szulfonált kopolimerek (kovasavas lerakódás ellen)

Biopolimerek:

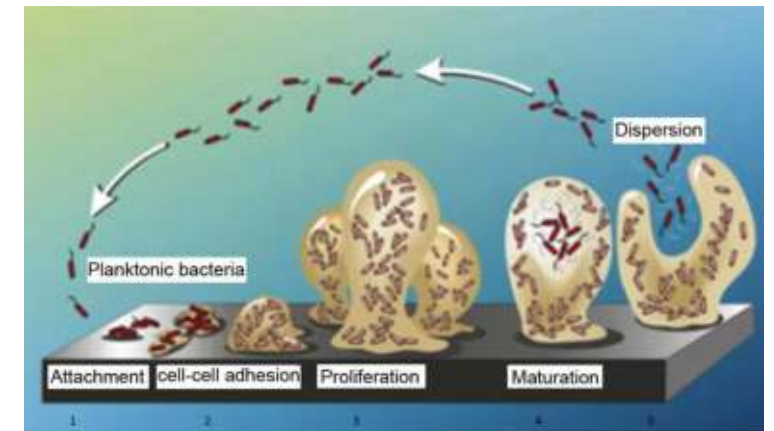
- Könnyen lebomlanak
- Poliaszparaginsav (DSDA)
- Karboxi-metil-inulin CMI)

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult



Biofilm megszüntetése

- Nagy hőmérséklet $\leftrightarrow$ visszajuttatásnál nem opció
- Oxidáció (Na-hipoklorit, O_3) $\leftrightarrow$ környezetvédelem, ár/érték arány
- Biocidok
 - Glutáraldehid ($C_5H_8O_2$): Legelterjedtebb, gyors, lebomlik
 - Kvaterner ammóniumvegyületek (QUAT): felületaktív, sejtmembránt bont $\leftrightarrow$ inhibitorokkal inkompatibilis
- Savasítás $\leftrightarrow$ korrózió
- UV $\leftrightarrow$ drága
- Mechanikai tisztítás + szűrés $\leftrightarrow$ Drága, időigényes
- Hatékony kombinációk:
 - THPS (Tetrakisz-hidroximetil-foszfónium-szulfát) + foszfonátok
 - Glutáraldehid + Poliakrilátok
 - Térben és időben szétválasztani a két csoport adagolását



https://www.researchgate.net/figure/Five-stages-of-biofilm-development-1-initial-attachment-2-irreversible-attachment_fig1_314257428

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.

Savazás

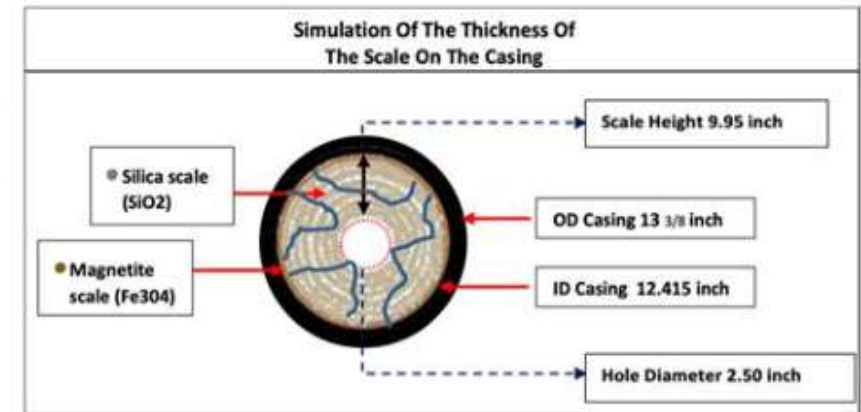
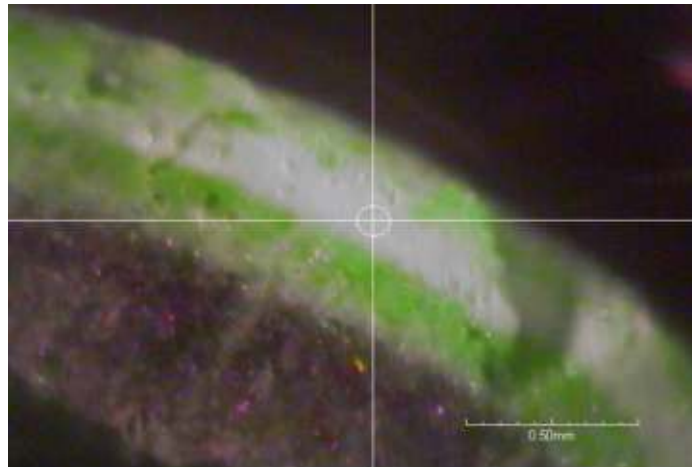
Szempont	Sósav (HCl)	Kénsav (H ₂ SO ₄)
Aktív ion	Klorid (Cl ⁻)	Szulfát (SO ₄ ²⁻)
Pitting kockázat	Rendkívül magas (áttöri a védőréteget)	Alacsony (nem hatol be a fémbe)
Korrózió típusa	Lokális lyukadás (gyors átlyukadás)	Lassú, egyenletes felületi kopás
Hőmérséklet (60°C+)	Exponenciálisan agresszívebbé válik	Kevésbé érzékeny a melegre
Melléktermék	Kalcium-klorid (jól oldódik)	Kalcium-szulfát (Gipsz - lerakódhat)
Fő alkalmazás	Rövid idejű, intenzív vízkőoldás	Folyamatos, üzemi pH-beállítás

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult

meg.



Vízkő és kovakiválások mechanikai eltávolítása



Stimulation Method	Cost
Drilling equipment	US\$. 1,195,339
Coiled Tubing Hole cleaning	US\$. 866,181
Bull heading	US\$. 628 147
Broaching	US\$. 42,690

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.



Összefoglalás

- Minden termálrendszer egyedi → egyedileg meghatározott megoldások
- A szilárd fázisok problémái elkerülhetők a gondos kivitelezéssel
- Mindig szükséges az alapos szilárd fázis-, oldottanyag-tartalom és gázvizsgálat
- A gázok szeparálásával eliminálható az oldott gázok legtöbb problémája
- A legtöbb gondot a nyomásesés és a nagy Ca^{2+} és HCO_3^- tartalom okozza a scalingnél
- A Cl^- és H_2S jelenti a legnagyobb korróziós veszélyt
- A kémiai kiválási indexekkel jól előrejelezhetők a folyamatok
- Általában inhibitálással megoldhatók a vízkövesedési és korróziós problémák



A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult



Köszönöm a figyelmet!

bozso.gabor@gmail.com



2026.03.11.

„A BKV Vasúti Járműjavító Kft. Fehér úti telephelyén létesített geotermikus kút kihasználtságának növelése a zuglói távhőköri körzetben történő hőhasznosítással” című, SM06-GEO-PC7 számú programkomponens

A programkomponens a Svájci Alap támogatásával és Magyarország Kormányának társfinanszírozásával valósult meg.

