

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 317 -

MIÉRT SZAKADT ÁT? – KOLONTÁR II. [WHY IT COLLAPSED – KOLONTÁR II.]

Fügedi Ubul^{1}, Szentpétery Ildikó², Kalmár János^{†3}, Müller Tamás⁴**1. nyugdíjas geokémikus <https://orcid.org/0009-0009-0646-0482>**2. nyugdíjas geológus, 3. nyugdíjas ásványtanász, 4. geológus***Levelező szerző [Corresponding author]
pasteurperc@gmail.com*

Abstract. On October 4, 2010, shortly after noon, the NW corner of the reservoir of the red mud embankment of the Ajka Alumina Refinery collapsed. This so-called „Kolontár accident”, was the greatest catastrophe in the history of the Bayer process for alumina production. Ten residents lost their lives due to the sudden release of a large amount of slurry containing bauxite residue. In this second part of our two-part synopsis, we present how carelessness in the construction of the maintenance gate, located in the northeast corner of the reservoir, led to the corner’s rupture.

Keywords: alumina refinery, industrial catastrophe, ecological catastrophe, bauxite slurry, red mud embankment

Bevezetés

A baleset okait kutatók az események kezdetben az okok valamiféle egységes rendszerére próbálták visszavezetni. Mintegy fél év kellett annak kiderítéséhez, hogy a tragédia két, egymástól független folyamat eredménye.

- Az északi fal azért tört el, mert a tározó alatt visszaduzzasztott lúgos folyadék elbontotta az ártéri üledéksorban a duzzadó agyagásványokat, végzetesen lecsökkentve azok hordképességét. Ennek menetét az előző részben (previous paper) ismertettük.
- Jelen cikkünkben az északnyugati sarok átszakadását előidéző folyamatokat mutatjuk be.

Hogyan lesz a bauxitból timföld?

A bauxit az alumínium érce. Nevét Les Baux-de-Provence francia településről kapta, mert 1821-ben itt fedezték fel. A bauxit üledékes kőzet, amely feltalálási helyétől függően változó összetételű:

- 35–80% alumínium-oxidot,
- legfeljebb 30% vas(III)-oxidot

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3(1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN 2939-8398 (Online)



Fugedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 318 -

- kb 10% szilícium-dioxidot
- több-kevesebb kalciumot, titánt, mangánt tartalmaz.

Fő ásványai:

- a hidrargillit ($\gamma\text{-Al(OH)}_3$),
- a böhmit ($\gamma\text{-AlO(OH)}$),
- a diaszpor ($\alpha\text{-AlO(OH)}$)

Színe az oxidatív környezetre jellemző vastartalmú ásványok miatt többnyire vörös.

A bauxitból két szakaszban állítják elő az alumíniumot: az első szakaszban ércásványait timfölddé (alumínium-oxid, Al_2O_3) alakítják, majd a timföldet redukáló körülmények közt kohósítják. A timföldnek az alumíniumgyártás mellett számos más felhasználási módja (műkorund, ún. tabulár timföld, mázak, frittek, üvegek, háztartási és műszaki kerámiák, támszigetelők, tűzálló anyagok, csiszoló és polírozó anyagok előállítása) is akad, ezek együttes timföldigénye azonban mindössze az össztermelés kb. 5 %-ára rúg.

Mivel az alumínium gyártása meglehetősen energiaigényes, a magyar-szovjet alumíniumegyezmény értelmében a Magyarországon gyártott timföldet a Szovjet-unióban kohósították. Annak felbomlása és a magyar bauxitbányászat fokozatos elsorvadása miatt az egyezmény érvényét veszítette, és az utolsó, a Balkánról importált bauxitot feldolgozó magyar timföldgyár (az ajkai) termelvényét a fentebb sorolt egyéb módokon használták fel.

A timföldgyártás lépései

1. A bauxit őrlése, porítása;
2. Feltárás: a bauxit alumíniumoxid-tartalmát egymáshoz kapcsolt, fokozatosan egyre nagyobb hőmérsékletű autoklávok sorában oldják ki a feltárolólúggal.
3. Kikeverés: a timföldhidrát kiválasztása az aluminátlúgból.
4. Kalcinálás, azaz a kötött és a tapadó víz eltávolítása forgó csökemencében izzítással.

A felhasznált vízzel hígult ($\text{ph} \sim 13$) lúg nagyobb részét tisztítják és bepárolják, majd körfolyamatban visszavezetik a folyamat elejére. Másik részével nyomatják fel a vörösiszapot a tározóba. A vörösiszapot fedő, illetve átitató, erősen lúgos kémhatású folyadék képes volt arra, hogy reakcióba lépjen a gát alapvetően savas környezetben stabil anyagával.

A gát építése, szerkezete

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3(1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN 2939-8398 (Online)



Fugedi: Miért szakadt át [Fugedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

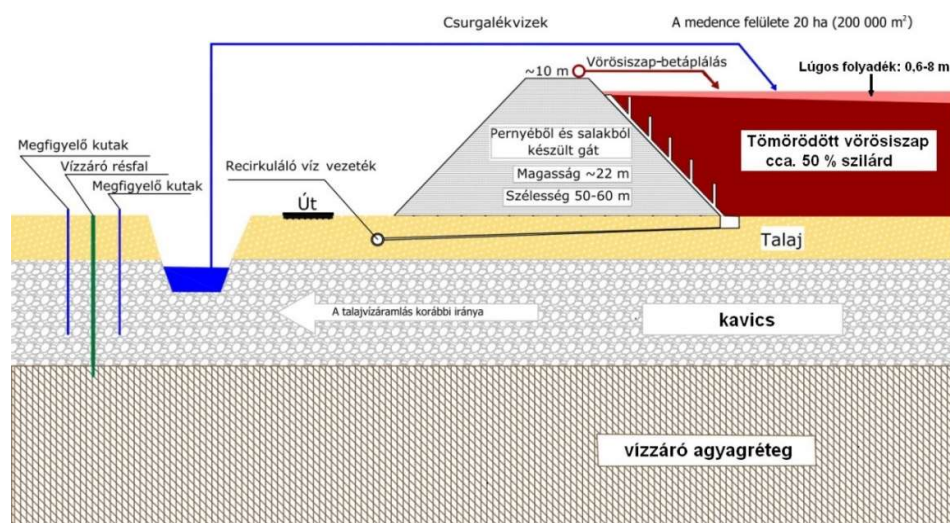
- 319 -

A X. kazetta gátjait (1. ábra) az ajkai hőerőmű salakpernyéjéből építették.

Első lépésként a gáttalp helyén (az ellentmondó források szerint mintegy 30 cm, illetve 1 m vastagon, valószínűleg a domborzat adottságai szerint változó mélységben) letermelték a felszíni üledékeket. Kb. 100 m hosszú ülepítő medencét alakítottak ki úgy, hogy a „lehumuszolt” anyagot a medencék négy oldalán egy-egy, kb. 1 m magas földtöltésben halmozták fel. Az ülepítő medencét elválasztó töltés volt az ún. „munkahézag”. A földtöltés támasztotta meg a csővezetékbelől belövellt (helybéli szóhasználat: „belőtt”) salakpernyét addig, amíg az megszilárdult, tehát részlegesen megkötve cementkővé alakult. A Ø350-es zagy-körvezeték a külső oldalon vezették körbe, és abból az ütemezés szerinti toldásokkal ágaztak felfelé a betöltő csövek. Ezért a belövépontok szintenként egymás fölött helyezkednek el. Az egyre keskenyebb ülepítő medencék hosszát sem változtatták, tehát a munkahézagok is egymás fölött vannak.

Mindez annak volt eredménye, hogy az építkezést senki nem ellenőrizte; a gátakat amatőr módon alapozták (Turi et al., 2013).

A terület legmélyebb pontján medencét alakítottak ki a retúrvíznek, amit szivattyúval forgattak vissza a rendszerbe.



1. ábra. A gát és a kapcsolódó létesítmények elvi keresztmetszelvénye
[A schematic of the red mud disposal system]
(Baksa Gy. & Kajdi S., 1992, módosította Bánvölgyi Gy., 2010)

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3(1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei
[Scientific Journal of John Wesley Theological College]
<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN 2939-8398 (Online)



Fugedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 320 -

(Megjegyzés: amint a földtani térképről és szelvényekről (previous paper) is leolvasható, ez a „kavics” valójában kavicsos homok).

Ezt a sémát megőrizték később is, amikor az ülepítő medencéket már nem földdel, hanem a gát saját anyagával, az erőművi salakpernyével gátolták körül úgy, hogy a középén lerakott anyagot dózerrel tolták szét a négy peremre (2. ábra). A töltés magassága többnyire fél-két méter volt. A lépcsőzetes elrendezésre azért volt szükség, mert a salakpernyéből képződő cementkő nagyon lassan köt, és a kötés minden szakasza jelentős vízfelvétellel jár.



2. ábra. A gát visszabontott nyugati fala az ülepítő medencék körültöltéseinek és kitöltéseinek metszeteivel

[The northern wall of the western embankment after the rupture of the maintenance gate, with the contours of the round-dykes and the inner layers]

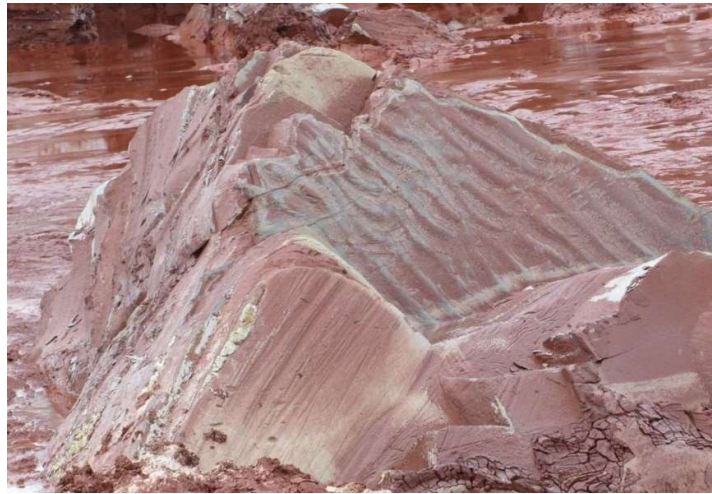
(Varga R., 2011. február 23.)

Az É-i gát négy(?) belövőpontjának helyén a gát vastagabb. A nagy nyomással belövellt zagy ugyanis a betöltő nyílások közelében szélesebben terült el, oldalra is kitüremkedett. Mivel az építkezést a IX. gát északnyugati sarkánál kezdték, a körvezetékben az északi oldalon volt a legnagyobb a nyomás, és ezért az északi fal a leghullámosabb (FUGRO, 2012).

Fugedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 321 -



3. ábra. Hullámfodrok az északnyugati sarokból kiszakított kőtömb rétegfelszínén

[Ripple marks on the bedding plane of a displaced dam block] (Marsi I., 2010. nov. 15.)

A kétoldali töltés között ülepedett rétegek felszínén helyenként jól látszanak a sekély, áramló vízre jellemző hullámfodrok (3. ábra), metszeteikben pedig az ugyancsak az áramló vízből lerakódó üledékek kereszttrétegzése (4. ábra).

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 322 -



4. ábra. Keresztrétegzés az észak-nyugati sarokból kiszakított kötömbben
[Cross-bedding stratification in a displaced block] (Marsi I., 2010. nov. 15.)

A medencékben kiüledő zagyot nem keverték át, ezért az az áramló vízben gravitációsan rétegződött., ami egyaránt károsan befolyásolta a gáttest szilárdságát és vízvezető képességét (Turi et al., 2013). Az alsó, homokos rétegben főleg a sok átöröklött ásványt tartalmazó meddő és az ágysalak üledett le, efölött a finomszemű (zömmel iszap szemcseméretű) üledék rétegeiben került többségbe a pernye. Egy-egy ülepítő medencét több szakaszban töltöttek fel, és az üledék mindegyik szakaszban ilyen differenciáltan, fölfelé finomodó (gradált) rétegsorral rakódott le. A ritmikus rétegződés jól látszott a szakadás két oldalán a függőleges gátfalakon (azok visszabontásáig), mert a homokból kiszivárgó lúgos folyadék apránként leoldotta-lemosta a falakat eredetileg homogén vörösre festő ferrihidroxidot, így a homokrétegek az élénkvörös falakon fehér csíkokként ötlöttek szembe (5. ábra).

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 323 -



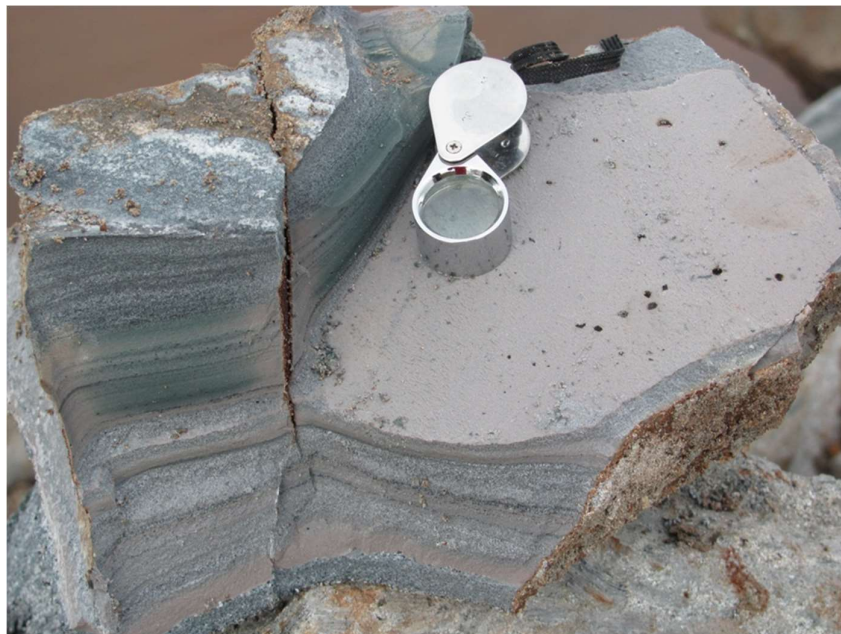
5. ábra. Fehér homokcsíkok a kazetta átszakadt északi falán
[White sandy layers on the western wall of the northern embankment]
(Fügedi U., 2010. nov. 10.)

Mivel e kétféle kőzet, tehát a homokos és a finomszemű rétegek egymástól markánsan elkülönülnek (6. ábra), összetételüket külön mutatjuk be.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 324 -



6. ábra. Homokos és finomszemű rétegek ritmikus ismétlődése a kőtenger egyik tömbjében
[Rhythmic stratification of sandy and fine-grained layers in a displaced block]
(Marsi I., 2010. nov. 15.)

Az építkezés idővel döntő jelentőségűvé váló mozzanata volt az illeszték kialakítása. Az illeszték egyfajta ideiglenes rés: a gát azon része, amelyen az építkezés közben a gépek ki-be járnak a leendő tárolótérbe, hogy a belső falakat magasítsák, rézsűzzék és egyéb munkákat végezzenek. Az egykori illeszték nagy része (és vele az északi fal néhány métere) a katasztrófában átszakadt, és anyagát a kiáramló lúgos folyadék a tározó előtt kőtengerben (7. ábra) szórta szét.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 325 -



7. ábra. Az átszakadt északnyugati sarok kb. 300 méterről, előtte a kőtengerrel

[The northwest corner, approx. 300 m from the embankment, with the blockfield in the foreground] (Jordán Gy., 2010. okt. 10.)

A nyugati falon az 1:2-re növelt rézsúhajlás adta jobb megtámasztásnak köszönhetően maradt az illesztékből néhány méter, amit hónapokig in situ tanulmányozhattunk. Ezt a szakaszt a MAL a helyreállítás első lépései közt maradéktalanul elbontotta. A még időben megvizsgált mintáink alapján így is bizonyítható a gátszakadás két fő oka:

az illesztéket az északnyugati sarokban alakították ki, tehát ott, ahol a görbület miatt a belső nyomás a gátat egyébként is jobban feszíti;

az illesztéket a gát körülépítése után silány minőségű anyagokkal foltozták be. A „rég” és az új részt nem kötéssel, hanem függőleges síkkal kapcsolták egymáshoz.

A fenti okokból mintáinkat három csoportra bontva mutatjuk be:

1. a gát finomszemű anyaga (amilyennek az egésznek lennie kellett volna);
2. a homokcsíkok;
3. az egykori illeszték.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 326 -

A gátanyag ásványos összetételének rekonstruálása

A cementkő szilárdságáról vajmi keveset árul el a kémiai összetétel; fizikai tulajdonságai alapvetően attól függenek, hogy milyen ásványok hogyan kapcsolódnak egymáshoz és mennyire egyenletesen oszlanak el az anyagban. E jellemzők meghatározása meglehetősen nehéz az olyan, a kolontári gátakéhoz hasonló anyagokban, amelyek csak speciális körülmények között stabilak, a szabad levegővel, nedvességgel stb. viszont élénken reagálnak (ezekről a reakciókról részletesen később). Ezek ásványos összetétele és szerkezete közvetlenül csak zavartalan mintavétellel és az azonnal, légmentesen csomagolt minták roncsolásmentes vizsgálatával állapítható meg – ilyesmire azonban egyrészt nem volt lehetőségünk, másrészt az efféle vizsgálatok szükségességére magunk is csak hónapokkal az első elemzések kézhez vétele után, mintáink anyagának fokozatos átalakulását látva ébredtünk rá.

Két alkalommal volt lehetőségünk vékonycsiszolatok rendelésére. Az első sorozat csiszolatait a csiszolás után gyakorlatilag azonnal lefedték, ezért azokban az elsődleges ásványok többsége viszonylag jól látható (8. ábra – sajnos, az eredeti fájlok nyugdíjazásunk után megsemmisültek).

A gátanyag ásványai

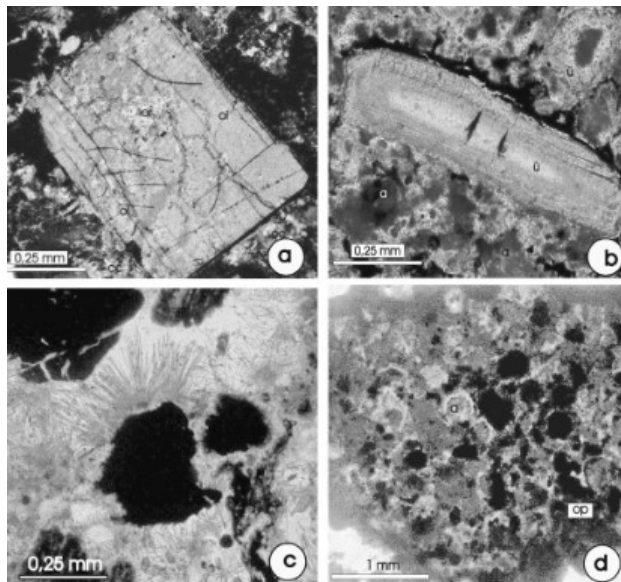
- a) Repedezett ortoklász (or) kristály olvadt szélekkel (ol) – + nikolok;
- b) Zónás, szélein repedezett kőzetüveg (ü) karbonátszemcsék (a) és másodlagos karbonátkiválás (c) a finomszemű alapanyagban – II nikolok;
- c) Szálas-tűs gipszkristályok a széntöredékek körül – II nikolok;
- d) Alakzatok (a) és koromból összeálló opak halmazok (op). Az alakzatok körül szintelen, átlátszó gyűrű látható – II nikolok.



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 327 -



8. ábra. Ásványfázisok az 1. sorozat vékonycsiszolataiban
[Mineral phases in thin sections of the 1st series] (Fügedi & Kalmár, 2013)

A második sorozatot (9. ábra) csak a csiszolás után több nappal fedték le – ezekben a csiszolatokban az elsődleges ásványok gyakorlatilag elbomlottak és optikai mikroszkóppal azonosíthatatlan „alakzatokká” alakultak. Az alakzatokat felépítő mikrokristályos (0,2–0,5 μm méretű) szemcsék a mikroszondás vizsgálatok (Fügedi & Kalmár, 2013) szerint főleg különféle kalcium-alumínium-szulfátok és -karbonátok. Az átalakulás közben a szilárd fázis térfogata jelentősen csökken; a kiszáradási repedésekben másodlagos ásványok (limonit, gipsz) rakódnak le.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 328 -



9. ábra. Alakzatok a 2. sorozat vékonycsiszolataiban [„Formations” in thin sections of the 2nd series] (Fügedi & Kalmár, 2013)

Hasonló folyamatok játszódnak le a porított mintákban is. Az elsődleges ásványok bomlása elvileg már a minták begyűjtésekor elkezdődik, de csak a porítás hatására gyorsul fel annyira, hogy az ásványos összetételt érdemben befolyásolja. Ennek ellenőrzésére az első vizsgálatsor után nyolc porított mintát egy hétig szabad levegőn tároltunk, majd megismételtük elemzésüket (1. táblázat).

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 329 -

1. táblázat. Nyolc gátminta fő ásványai „eredetileg” (sárga) és egy hét pihentetés után (zöld)

[Mineral composition of eight dam samples „originally” (yellow) and after a week at rest (green)]

	ettringit*		kalcit+vaterit		portlandit		bassanit		amorf	
HU010	53	21	15	22	19	10	0	13	9	31
PUHA	47	36	11	21	16	7	0	4	4	15
GÁT-4	42	28	13	20	10	3	0	8	9	17
GÁT-8	35	25	18	25	12	7	0	10	11	23
GÁT-20	40	22	29	25	13	4	0	14	6	22
GÁT-21	35	10	20	32	9	0	0	12	14	23
GÁT-24	31	6	21	35	0	0	0	8	33	26
GÁT-26	30	12	29	35	20	8	0	9	7	24

ettringit – $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3$ – a kimutatott, úgynevezett vashelyettesítéses ettringitben az Al^{3+} egy részét Fe^{3+} helyettesíti

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 330 -

vaterit – $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ (kémiailag a kalcittal azonos)portlandit – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (oltott mész)bassanit – $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 0,5 \text{ H}_2\text{O}$ Egyéb ásványok ($\ll 10\%$):hidrotalcit – $\text{Mg}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_{16} | \text{CO}_3] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ maghemit – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (kémiailag a hematittal azonos)wollastonit – CaSiO_3 gehlenit – $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ akermanit – $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$

A két adatsor különbségeiből meghatároztuk a mintaanyag bomlásának kémiai reakcióit és az ezekből következő ásványtani átalakulásokat. A fő tendencia, hogy az ettringit szulfáttartalma kénsavvá alakul, és helyére a légköri széndioxidból felvett karbonát lép be. Az ettringit kisebb, jóval kevésbé hidratált molekulákra esik szét. A felszabaduló víz egy része a pórusvizeket táplálja, más része elpárolog.

E folyamatok irányát megfordítva a kémiai összetételből (2. táblázat) hozzávetőleg számítható a minták úgynevezett eredeti, normatív ásványos összetétele, azaz becsülhető, milyen ásványok lehettek a cementkőben, amikor annak anyaga még nem érintkezett a szabad levegővel.

A moláris mennyiségek visszaszámolásához a normatív ettringit három típusát kell megkülönböztetnünk (ezek a molekulák a reális ásványokban keverten fordulnak elő):

Ettr1 = $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3 \cdot 26 \text{ H}_2\text{O}$ Ettr2 = $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3 \cdot 26 \text{ H}_2\text{O}$ Ettr3 = $\text{Ca}_6\text{Fe}_2(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3 \cdot 26 \text{ H}_2\text{O}$

Az Ettr₁ kiszámításával minden mintában elfogy a Mg; szükségképpen a magnézium-vas kombinációt nem kell számolni.

Nagy meglepetés a kevés szilícium-ásvány (annyira kevés, hogy két mintában egyáltalán nem sikerült ilyeneket kimutatni) – márpedig a SiO_2 mennyisége a finomszemű mintákban 10 % körül ingadozik (4. táblázat). A kimutatott szilícium-ásványok (wollastonit, gehlenit, akermanit) vízmentesek és föltehetőleg az erőmű kazánjában keletkeztek. Szélsőségesen valószínűtlen, hogy hidratálódásuk a cementkő kötésének részeként legalábbis ne kezdődött volna meg (szabad levegőn pedig az ettringitből felszabaduló kénsav korrodálja őket). Ebből arra következtethetünk, hogy hidratált származékaiknak nem volt idejük a röntgen-diffrakció számára kimutatható mértékben kristályosodni, ezért az amorf fázisban vannak.



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 331 -

A betonokban az ettringittel együtt (a savas betonkorrozio másik fő ásványaként) előforduló hidratált kalcium-szilícium-ásvány a taumazit $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, amely az ettringittel szilárd oldatot alkot (Barnett et al, 2001; idézi: Vaszita, 2008).

2. táblázat. 18 finomszemű gátminta kémiai összetétele (%)
[Chemical composition (%) of 18 fine-grained dam samples]

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	H_2O	$+\text{H}_2\text{O}$	CO_2	SO_3
É-1	11,3	0,313	6,67	3,48	0,17	0,034	42,9	3,59	0,597	0,437	<0,01	10,5	9,70	10,1
É-2	9,62	0,327	6,97	3,60	0,090	0,024	36,6	3,75	0,265	<0,2	8,08	14,7	4,50	11,3
É-3	11,3	0,315	6,58	3,24	0,096	0,026	33,8	3,33	0,396	<0,2	13,0	13,6	4,98	9,15
É-4	10,3	0,259	7,34	3,22	0,18	0,020	32,8	1,90	0,852	<0,2	16,8	10,5	12,0	3,62
20 É	9,11	0,262	6,05	2,35	0,45	0,022	33,5	2,61	0,061	<0,2	18,1	9,85	8,90	8,54
21 É	10,7	0,310	6,41	3,04	0,42	0,026	34,4	2,53	0,101	<0,2	16,0	10,3	8,65	6,94
22 É	8,75	0,271	5,53	2,88	0,27	0,027	36,1	2,63	0,241	0,340	12,3	9,01	13,9	7,51
Ny-1	15,1	0,369	7,76	3,24	0,12	0,027	23,8	1,99	0,816	<0,2	26,4	9,69	3,72	6,75



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -
DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 332 -

Ny-2	7,38	0,223	6,76	2,26	<0,02	0,024	32,0	2,56	1,15	<0,2	16,5	13,3	6,11	11,6
Ny-3	6,91	0,237	5,01	2,72	0,050	0,023	45,9	3,32	1,51	<0,2	0,37	10,1	11,6	12,1
Ny-4	10,7	0,295	6,55	2,84	0,18	0,022	34,1	2,70	0,437	<0,2	16,2	16,0	3,15	6,69
Ny-5	9,48	0,266	7,93	2,06	0,26	0,014	26,1	1,70	1,65	<0,2	18,9	22,4	3,05	6,13
Ny-6	11,3	0,198	6,72	5,03	0,50	0,025	30,9	1,73	0,503	<0,2	18,7	2,89	15,4	5,98
Ny-7	9,81	0,217	6,59	2,29	0,14	0,021	35,5	1,89	1,01	<0,2	15,4	13,8	5,82	7,38
Ny-8	10,7	0,303	6,27	3,21	0,046	0,027	32,0	3,13	0,518	0,526	14,3	11,3	7,85	9,69
Ny-9	5,61	0,182	3,52	1,94	0,044	0,018	31,3	2,02	0,703	0,588	23,0	6,44	16,6	7,72
Ny-10	9,37	0,256	4,90	2,18	0,14	0,026	36,3	2,44	0,618	0,735	10,6	8,64	16,7	6,89
Ny-11	8,78	0,219	4,36	1,83	0,13	0,027	39,4	2,12	0,313	0,395	16,4	14,4	6,88	4,54



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 333 -

É – északi fal; Ny – nyugati fal

Ezért ha a mintában volt ehhez elég kalcium, a normatív összetételben az összes szilíciumot a taumazitba tettük (a kalcium maradéka lett a vaterit). Azokban a mintákban, amelyekben a szilícium volt feleslegben, annak maradékát a csiszolatokban is másodlagos ásványként látható opálnak számítottuk.

Nem lehet elégszer hangsúlyozni, hogy a normatív ásványos összetétel a valóditól esetenként akár meglehetősen távol is állhat: a normatív összetétel az az egyensúlyi állapot, amely akkor alakulhatott volna ki a mintázott térrészben, ha:

- az zárt rendszer lett volna;
- lett volna benne elegendő kicserélhető anion (hidroxid, szulfát, karbonát),
- lett volna a normatív összetétel kialakulásához elegendő idő.

Mivel az alumínátbetonok teljes kötése több évtizedes folyamat, a normatív összetételt nem úgy kell felfogni, mintha a gát anyaga valójában pont ilyen lett volna, hanem mint olyan állapotot, amely felé annak belső folyamatai tarthattak. Nem az ásványfázisok konkrét százalékos értékei érdekesek számunkra, hanem ez egyes mintacsoportok alapvető különbségei.

A valós és a normatív összetétel

A gát finomszemű anyagában a meddőásványok (kvarc, különféle földpátok és vasoxi-hidroxidok, muszkovit, amfiból, kőszén, valamint kőzettörmelék) aránya többnyire 5 térf. %-nál kevesebb (Kalmár, 2011). A wollastonit olyan kalcium-szilikát, amely a hőerőmű tűztérben állt össze a kőszén szervesetlen komponenseiből. Ugyanott keletkezett az akermanit és a gehlenit – a gátban ezek valószínűleg gyorsan, intenzíven hidratálódnak. Azokban a mintákban, amelyek normatív összetételében emiatt megjelenik az opál, az ettringit valós mennyisége a normatívnál kisebb (mivel az alumínium egy része a gehlenitben volt, és annak hidratálódásával amorf alumínium-hidroxiddá alakult).

Az amorf fázisban az említetteken kívül legalább két, egymástól radikálisan különböző anyagcsoport szerepel:

- * a tűztérben keletkezett kőzetüveg átalakulatlan maradéka és
- * az elsődleges ásványok zömmel repedéskitöltő bomlástermékei (limonit, opál stb.) – utóbbiak közé értendők a normatív összetételben „sziksó” néven feltüntetett alkáliák ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$) is.



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 334 -

A csiszolatokban (Fügedi & Kalmár, 2013) sikerült elkülöníteni egy harmadik típust, a forró salakba belekerült műanyagmaradványok olvadékát. A szemcsék közé szórványosan a tüzelőanyag maradványai (kőszén, kátrány, korom) ágyazódnak.

A „normál” (finomszemű) gátanyag fő ásványa a vashelyettesítéses ettringit. Ennek nominális összetétele $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$; de mivel a közetanyagban ehhez nincs elegendő alumínium, annak jelentős részét ferrivas helyettesíti. A kalcium helyére – az alumínium-vas helyettesítésnél jóval kisebb arányban – magnézium lép be. A finomszemű mintákban az ettringit mennyisége a 60–90 % közötti tartományban valószínűsíthető. Az efféle aluminátbetonok hosszú kötéseideje miatt az ettringit „normatívnak” leírt teljes tömege valószínűleg sosem alakult ki. A gát határfelületi, illetve belső reakcióiban az ettringit rendszeresen különféle köztes termékekké alakul, illetve a gátban vissza is alakul azokból. E köztes termékek közül gyaníthatóan a legfontosabb a természetes ásványként elő nem forduló (Balázs et al., 2017) monoszulfát ($\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{SO}_4$).

A másodlagos ásványok közül a két legfontosabb a kalcit és a vaterit (mindkettő CaCO_3). A vaterit a kalcium-karbonát metastabil változata. Idővel kalcittá alakul; ezt a folyamatot a lúgos környezet gyorsítja. Mivel az ajkai szén salakpernyéjében az ettringitté alakuláshoz szükségesnél több a kalcium, ezért valamilyen kalcium-ásványnak az elsődleges ásványok között is szerepelnie kell. Ez az ásvány valószínűleg a gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), illetve a bassanit ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), de ezek mellett lehet elsődleges kalcit is. Az elsődleges normatív összetételben ezek aránya nem határozható meg, mivel nem tudjuk, hogy a porított mintákból mennyi kéntrioxid szabadul fel a kémiai elemzés előtt. Ezért a finomszemű gátanyagokból számított elsődleges normatív összetételben (3. táblázat) az összes Ca-ásvány helyett kalcit szerepel. Ezzel analóg módon a vas minden önálló ásványa (hematit, maghemit, sziderit) helyett normatív magnetitet számoltunk. A vasnak ez a szilíciumhoz és kalciumhoz nem kapcsolódó fölöslege az összefoglaló „sziksó” kategóriaként feltüntetett alkáliakkal (nátrium + kálium) együtt zömmel az amorf fázisban foglal helyet.

Az elemzésekben szereplő portlandit típusos köztes termék: az ettringit bomlástermékei közül a víz átmenetileg közvetlenül kapcsolódik az ugyancsak felszabaduló kalcium-ionokhoz. Szabad levegőn széndioxid felvételével gyorsan vateritté alakul, eközben víztartalma elpárolog. A vaterit a fentebbiek szerint kalcittá kristályosodik át.

A táblázatból rendkívül egyszerű kép rajzolódik elénk: a cementkő megkötése után a gát fő tömege ettringit (erősen szulfátos kalcium-alumínium-vas-hidrát) és taumazit (szulfátos kalcium-szilícium-hidrát). A kalcium fölöslege (amelynek ettringitté alakításához nem volt az anyagban elegendő alumínium és vas), önálló ásványok (gipsz, bassanit, vaterit) formájában van jelen. A főelemek maradék mennyiségéből létrejövő



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 335 -

járolékos ásványok mennyisége többnyire nem több az analitikai módszerek hibáinál. Az efféle, erősen hidratált ásványokból álló konstrukciók kellőképp teherbíróak, ráadásul a rövid távú erőhatásokból adódó sérüléseiket maradéktalanul regenerálják (8. fejezet).

3. táblázat. 18 finomszemű gátminta elsődleges normatív
(a kémiai elemzésekből számított) ásványos összetétele (%) [Normative (counted from chemical composition) mineralogical composition of 18 fine-grained dam samples (%)]

Msz.	Limonit	Vaterit	Ettringit	Taumazit	Magnetit	Sziksó
É-1	0,0	0,0	57,1	41,7	0,3	0,0
É-2	0,0	0,0	69,7	29,8	0,2	0,0
É-3	0,0	0,0	70,5	28,7	0,3	0,0
É-4	0,0	0,0	81,8	16,7	0,3	0,0
É (GÁT-20)	0,0	0,0	59,6	39,8	0,6	0,0
É (GÁT-21)	0,0	0,0	65,1	34,2	0,6	0,0
GÁT-22 É fal	0,0	0,0	55,7	43,3	0,4	0,0
Ny-1	2,8	0,0	95,5	0,0	0,4	2,8
Ny-2	0,0	0,0	73,6	24,8	0,1	0,0



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 336 -

Ny-3	0,0	10,3	46,2	41,9	0,2	0,0
Ny-4	0,0	0,0	68,4	30,8	0,3	0,0
Ny-5	0,3	0,0	96,7	0,0	0,5	0,3
Ny-6	0,0	0,0	86,1	12,4	0,8	0,0
Ny-7	0,0	0,0	65,8	32,8	0,3	0,0
Ny-8	0,0	0,0	71,8	26,8	0,2	0,0
Ny-9	0,0	5,0	45,6	47,6	0,2	0,0
Ny-10	0,0	0,0	48,5	49,8	0,2	0,0
Ny-11	0,0	0,6	40,6	57,9	0,2	0,0

Az első figyelmeztető jel, hogy már a finomszemű gátanyag ásványtani összetétele is rendkívül heterogén: a normatív ettringit és vaterit mennyisége szélsőséges határok között változik.

Ennél lényegesen nagyobb gond a gát anyagának rétegzett jellege (Mecsi, 2013). A fentebb bemutatott finomszemű anyagtól ugyanis drasztikusan különböznek az ülepítő ciklusok rétegsorainak alján lerakódott homokos üledékek (4. táblázat).

A gát homokos rétegei gyakorlatilag átöröklött ásványokból állnak, és ezeket némi agyag tartja össze. A finomszemű gátanyagra jellemző hidratált klinkerásványok teljesen hiányoznak. Az agyagásványok mennyisége a homok pórusainak feltöltésére nem elegendő; a gáthomok közepesen vízvezető.



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 337 -

4. táblázat. Két homokcsík ásványos összetétele (%)
[Mineralogical composition (%) of two sandy layers]

Mintaszám*	montmorillonit	illit	klorit	kvarc	kálföldpát	plagioklász	kalcit	hematit	amfiból	anatáz	zeolit
HU7	10	8	2	62	4	4	1			1	ny.
HU11	16	10	4	50	3	4		2	1		

* Megj.: Mindkét homokmintát a kötengerből, tehát az illeszték anyagából gyűjtöttük. A gátfal állékonysága a vékony homokcsíkok szelektív mintázását nem tette lehetővé.

Az illeszték finomszemű anyaga (5-6. táblázat) gyakorlatilag nem különbözik a „normál” finomszemű gátanyagtól.

5. táblázat. Az illeszték finomszemű anyagának kémiai összetétele (%)
[Chemical composition (%) of the fine-grained material broken from the maintenance gate]

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	+H ₂ O	CO ₂	SO ₃
GÁT-4	12,4	0,320	7,22	2,85	0,48	0,025	31,3	2,70	0,182	0,278	14,9	13,2	5,46	8,41
GÁT-5	16,2	0,417	7,90	3,86	0,36	0,034	27,7	2,84	0,341	0,589	13,8	9,68	6,92	9,12
GÁT-6	10,7	0,251	5,74	2,830	1,00	0,029	37,1	2,11	0,760	<0,2	9,18	8,13	15,9	6,08



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –
 DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 338 -

GÁT -8	12,7	0,330	7,31	2,89	0,60	0,026	33,6	2,74	0,347	<0,2	13,6	9,67	8,03	7,95
GÁT -9	15,6	0,348	7,55	3,24	0,50	0,028	33,3	2,71	0,656	<0,2	8,53	8,72	12,8	5,82
GÁT -10	9,69	0,260	8,09	1,97	0,43	0,023	33,4	2,54	0,587	<0,2	14,7	12,1	8,37	7,63
GÁT -11	10,4	0,284	6,56	2,46	0,47	0,026	31,0	3,13	0,206	0,396	14,1	9,75	9,30	11,7
M1	16,2	0,43	9,76	4,61	0,21	0,027	26,1	4,12	0,154	0,544	13,4	12,7	3,56	8,01
M2	10,3	0,282	5,99	2,60	0,35	0,024	33,6	3,52	0,131	0,268	14,7	13,9	5,49	8,69
HU0 8	13,6	0,388	8,65	3,44	0,60	0,025	26,2	3,49	0,291	0,353	21,1	11,1	2,88	7,79
HU1 0	6,35	0,205	4,72	1,91	0,40	0,023	37,0	2,55	0,216	<0,2	17,6	13,4	5,92	9,58
GÁT -23	8,74	0,266	6,09	2,64	0,56	0,027	32,8	2,60	0,512	0,411	17,1	9,08	9,62	9,42
GÁT -24	7,42	0,338	5,18	3,66	0,39	0,035	37,0	2,25	0,483	0,336	8,78	17,2	9,15	7,33



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -
 DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 339 -

GÁT -25	11,2	0,303	5,78	2,44	0,56	0,029	37,8	2,39	0,996	1,09	9,42	8,66	13,3	5,81
GÁT -26	7,59	0,238	4,76	1,92	0,35	0,028	42,1	2,53	0,212	<0,2	10,9	11,2	12,5	5,52
GÁT -27	7,94	0,226	5,04	1,86	0,43	0,025	39,1	2,37	0,117	<0,2	14,5	11,5	9,38	7,31



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 340 -

6. táblázat. Az illeszték finomszemű anyagának normatív ásványos összetétele (%)
 [Normative mineralogical composition (%) of the fine-grained material broken from the maintenance gate]

	Limonit	Vaterit	Ettringit	Taumazit	Magnetit	Sziksó
GÁT-4	0,0	0,0	75,9	22,9	0,7	0,5
GÁT-5	0,0	0,0	97,9	0,3	0,6	1,2
GÁT-6	0,0	0,0	46,8	51,3	1,1	0,9
GÁT-8	0,0	0,0	70,6	28,2	0,7	0,4
GÁT-9	0,0	0,0	76,1	22,4	0,7	0,8
GÁT-10	0,0	0,0	76,1	22,6	0,5	0,7
GÁT-11	0,0	0,0	67,1	31,6	0,6	0,7
M1	3,7	0,0	94,6	0,0	0,5	0,9
M2	0,0	0,0	59,1	40,0	0,5	0,4
HU08	0,6	0,0	97,6	0,0	0,9	0,9

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 341 -

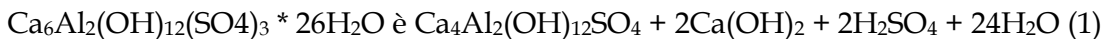
HU10	0,0	6,1	39,6	53,6	0,4	0,2
GÁT-23	0,0	0,0	60,4	37,8	0,7	1,1
GÁT-24	0,0	0,0	54,2	44,4	0,5	0,9
GÁT-25	0,0	0,0	49,7	47,6	0,6	2,1
GÁT-26	0,0	6,6	35,9	57,0	0,4	0,2
GÁT-27	0,0	2,3	41,4	55,7	0,5	0,1

A kétféle anyagot összehasonlítva egyértelmű, hogy az illeszték finomszemű gátanyaga a „normál” gáttesténél nem „rosszabb”; eltérő szilárdságuk oka nem ásvány-kőzettani, hanem rétegtani.

A gátanyag és környezetének reakciói

Amint már utaltunk rá, a gátat összetartó ásványok, ásványtársulások csak erősen savas környezetben stabilak; ezt a pH-t a salakpernye 10 % körüli szulfáttartalmából felszabaduló kénsav biztosítja. Ezért a gátanyag és környezetének határfelületein (ideértve a lúgos folyadékkal átitatott talajjal érintkező gáttalpat is) intenzív reakciók indultak be: ez a gát kémiai mállása.

7.1. Szabad levegőn az ettringit szulfáttartalmát a levegőből felvett széndioxid helyettesíti. Az ettringit először (több lépésben) monoszulfáttá és portlandittá alakul:



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

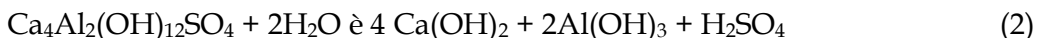
- 342 -

A kristályvíz elillanásának eredményeként a kőzet térfogata drasztikusan csökken; a mállott cementkő lapkákra töredezik, a lapkák pereme felpöndörödik (10. ábra). Ezek a lapkák lepotyognak, és a gát tövében, gátlábi törmelékként halmozódnak föl (11. ábra).



10. ábra. A gátlábi törmelék felpöndörödött lemezkéi
[The curled plates on the under-dam detritus] (Jordán Gy. 2010. nov. 5.)

A monoszulfát immár alapvetően a gátlábi törmelékben a nedvesség hatására tovább bomlik portlanditra és hidrogrosszulárra (a röntgenvizsgálatok szerint; a normatív összetételben ez a gibbsitnek felel meg):



A portlandit a levegő széndioxidjával reagálva vateritté alakul (majd az kalcitá kristályosodik át).



A folyamatosan gyarapodó gátlábi törmelék felszíne teljesen szulfátmentes; kristályvizet nem tartalmazó hidroxid- és karbonátásványokból áll. A monoszulfát (és részben a maradék ettringit) bomlásának eredményeként keletkező kénsav beszivárog a törmelékbe, és reakcióba lép annak eltemetett anyagával. A visszaszulfátosodás hatására a törmelékben egy gradiens alakul ki: a szulfáttartalom a felszíni 0-tól a gáttest bontatlan anyagából mérhető kb. 10 % SO_3 -ig fokozatosan nő (7. táblázat).

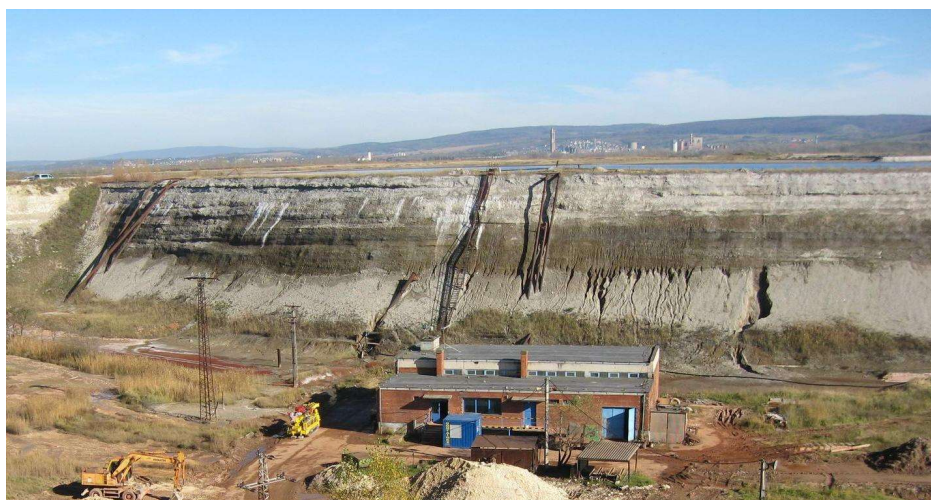
Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 343 -

7. táblázat. A gátlábi törmelék visszaszulfátosodása a 3. ábra előterében kialakított szelvényben
 [The resulphatisation of the under-dam detritus in the cross-section excavated at Fig. 3.]

IX. kazetta		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
HU14Af	gátláb fent	16,0	10,6	4,2	33,4	2,2	0,8
HU14Gr	gátláb közép	14,6	8,7	3,8	34,3	2,4	1,9
HU14Al	gátláb lent	21,3	10,6	4,1	25,9	2,2	5,7



11. ábra. A szivattyúház és mögötte a IX. kazetta fala vastag gátlábi törmelékkúppal

[The pump-house and the western wall of Reservoir No 9, with a thick layer of under-dam detritus] (Jordán Gy., 2010. nov. 5.)

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 344 -

Mivel ezek a folyamatok csak a gát finomszemű, ettringites rétegeiben játszódnak le, közülük a felszíni mállásnak jóval ellenállóbb homokcsíkok idővel kipreparálódnak (12. ábra).



12. ábra. A IX. kazetta délnyugati sarka a gáttestből kipreparálódó homokcsíkokkal
[Well-prepared sandy layers in the embankment of Reservoir No 9 at its south-western corner]
(Fügedi U., 2010. nov. 10.)

7.2. A vörösiszappal érintkező felszínen a gát finomszemű anyaga több centiméter vastagon fehéres, összefüggő kéreggé alakult át, és ez meggátolta, hogy a lúgos folyadék tovább korrodálja az ettringitet. Ezt a felszínt a vörösiszap teljesen kikente, a borítás alatt csak ott (volt) látható, ahol a gátat utólag lemosták (13. ábra). Mintánk nincs belőle; kémiai, illetve ásványos összetételét nem ismerjük.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 345 -



13. ábra. A vízzáró kéreg (fehér) maradványai a lemosott északi falon
[Remnants of the (white) waterproof crust on the washed inner surface of reservoir No 10] (Fügedi U., 2011. ápr. 13.)

A gát átszakadásához vezető folyamatok közül az egyik legfontosabb annak következménye, hogy a vízvezető homokcsíkokban nem volt annyi, a lúgokkal reagálni képes ásvány, hogy ezek felülete is kérgesedjen. A lúgos folyadék beszivárgott a homokcsíkokba, és az azok alatt, illetve fölött települő ettringites rétegekkel reagálva ún. lúgkorróziós zsákokat hozott létre. A katasztrófa után a homokcsíkokból (korróziós sávokból) apránként kiszivárgó folyadék a fentieknek (5. ábra) megfelelően leoldottamosta a szakadás felületére a katasztrófa alatt fölkenődött vörösiszapot. A homokrétegeket az áttört gátfalakon és a kőtenger szétszórt tömbjein (14. ábra) is vízszintes fehér csíkok jelzik.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 346 -



14. ábra. A homokrétegeket jelző fehér csíkok a kőtenger egy több köbméteres tömbjében a szakadástól mintegy 300 m-re

[White sandy layers in a block of former embankment measuring several cubic meters, approx. 300 m from the northwest corner] (Fügedi U., 2010. okt. 10.)

A homokrétegekből a gát finomszemű anyagába átszivárgó lúg korrozív hatásának végső eredményeként sárgás-, illetve szürkésfehér, igen lágy, a gátfalból kézzel kikaparható anyag jött létre. A BME kutatói (Turi et al., 2013) is megállapították, hogy a beszivárgó lúg a gát anyagát „felpuhította és elroncsolta”. A szakadás nyugati falából (az egykori illeszték 2. fázisából) gyűjtött Ny-2. minta ásványos összetételét a Debreceni Kossuth Lajos Egyetem Szilárd Testek Fizikája laboratóriumában, HIITACHI elektronmikroszkóppal határozták meg kilenc ponton (Kalmár, 2012). Az elemzésekből (8. táblázat) kiderül, hogy a lúg apránként a legtöbb elemet kioldja, és a rendkívül porózus, a vizet mind jobban vezető anyagban jóformán csak a (magnéziumos) vaterit-kalcit marad vissza.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 347 -

8. táblázat. Az illeszték maradékának lúgkorrozója a nyugati fal szakadásának felületén (ásvány % Kalmár, 2012 alapján)

[Caustic corrosion of the maintenance gate (mineral %) near the western embankment]

részminta	1a	2a	3a	4a	5a	5b	6a	6b	6c
ettringit		9,1			8,3	4,8			
kaolinit	1,9	0,6	5,0	2,1	0,7	0,2	3,3	2,1	1,7
kvarc	9,5	2,7	2,7	3,2	8,4	6,0	2,2	2,1	3,5
dolomit	4,0	17,0	16,6	12,8	6,2	5,4	5,4	7,4	4,3
kalcit	83,9	70,6	75,4	80,8	74,4	83,1	83,7	82,1	80
sziderit	0,7				0,6	0,5	4,3	2,1	2,6
gipsz				1,1			1,1	1,0	0,9
hematit							0	3,2	7,0
Σ	100	100	99,7	100	100	100	100	100	100

(Megjegyzés: az idézett forrástól eltérően úgy gondoljuk, hogy a vastartalom valószínűleg nem jelenik meg szideritben. A kvarcnak azonosított ásvány föltehetőleg opal.)

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 348 -

A gátanyag szilárdsága

Amint a per háttéranyagaiból (FUGRO, 2012) egyértelműen kiderül, az északi falból gyűjtött minták lényegesen szilárdabbak a kötengerből, tehát az egykori illesztékből vettekénél. (Az északi fal több méter vastag lapokban leváló tömbjei – az átszakadt tömeg kevesebb, mint 10 %-a – túl nehezek voltak, és ezért zömmel közvetlenül a szakadás előtt maradtak, illetve beleomlottak a megnyílt kapuba). Az északi falban mintázott anyag szilárdsága eleve tág határok ($\sigma=200\text{--}3500\text{kPa}$) között változik; ezzel összevetve kifejezetten meglepő, hogy egyetlen, a kötengerből (tehát az egykori illesztékből) gyűjtött minta szilárdsága sem éri el a 600 kPa-t.

Amint ezt már említettük, ennek a drasztikus különbségnek nem ásvány-kőzettani, hanem rétegtani okai vannak. Ezeket két csoportra bonthatjuk:

1. Az illeszték befoltozásához a korábbinál homokosabb anyagot használtak. Ennek eredményeként az illeszték (az első fázisban megépített) alja gyakran finomrétegzett: benne a homokcsíkok a gát egyéb részein megfigyelhetőnél sűrűbben követik egymást (14. ábra).

2. Az illeszték befoltozásakor (amint ez a minden felvételen megörökített függőleges törési síkokon jól látható) nem létesítettek szerkezeti kapcsolatot a „normál” gáttest és az illeszték anyaga között, ráadásul az építkezés alapvető technológiai normáit sem tartották be.

A gát belső folyamatai (kötése, öngyógyító képessége)

Az aluminátcementek hidratálódása (a szakirodalomban kiemelten a bauxitbeton kötése) közben eleinte főleg kalcium-hidroaluminátok keletkeznek. Ezek kezdőszilárdsága és hőfejlesztése jelentős, de idővel elsősorban a nedvesség és a 25°C föléti hőmérséklet hatására lassan leépülnek. Szilárdságuk jó részét azért veszítik el, mert az átalakult stabil kalcium-hidroaluminátok térfogata kisebb, mint a kezdeti hidratált kalcium-hidroaluminátoké, így utóbbiak kialakulása növeli a cementkő porozitását. Az instabil kalcium-hidroaluminát általában $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_7 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$ alakban írható fel (ahol $n \sim 12\text{--}14$); a stabil változat pedig főleg ettringit (Palotás, 1979, idézi Kausay, 2020).

Az aluminátcementkő lassan köt. A gáttest állandó kémiai reakciók színtere: ionok beoldódnak, illetve kicsapódnak, az egyes ásványok között bonyolult ioncserék jönnek létre. Mindemellett a kőzetek metamorf átalakulásához hasonló folyamatokban a kisebb (tehát nagyobb fajlagos felületű) szemcsék anyaga folyamatosan beoldódik, hogy a nagyobb (tehát kisebb fajlagos felületű) szemcséken váljon ki. Az állandó átkristályosodás



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 349 -

miatt az átlagos szemcseméret fokozatosan nő. Mindezt az teszi lehetővé, hogy a cementkőben az oldószer, tehát a víz rendkívül változatos formákban fordul elő:

- a szabad víz (pórusvíz) folyékony állapotban található a cementkő pórusaiban; ez a hidratáló víz forrása.
- ebből a kapilláris víz a kapilláris erők hatására gyűlik össze a pórusokban. Kötési energiája fordítottan arányos a kapilláris átmérőjével.
- a fizikailag kötött víz a hidratációs termékek, elsősorban a gélpórusok szabad felületén tapad meg; mennyisége és rétegvastagsága a belső vízgőznyomástól függ.
- az adszorpciós vizet elektrosztatikus vagy Van der Waals-erők kötik a határfelülethez; a fizikailag kötött víz nagy része adszorpciós víz.
- az adhézios víz a fizikailag kötött víz azon része, amely a vízmolekulák és a szilárd fázis molekulaközi kölcsönhatása folytán tapad a határfelületre.
- a kémiaailag kötött víz a hidratált ásványok (és a homokos mintákban az agyagásványok) kristály- és rétegeközi vize. A fizikailag és kémiaailag kötött víz átmenete folyamatos; definiálható határ nélkül.
- a rétegeközi víz kémiaailag kötött és adhézios állapotban található a kalcium-aluminát-hidrát és kalcium-aluminát-szulfát-hidrát fázisok között. Szárítás közben többnyire a cementkő szövetének, szerkezetének rombolása nélkül illan el (Adam, 2006, idézi Kausay, 2020).

Ezek a vizek állandó dinamikus egyensúlyban vannak a gát ásványaival és így valamennyi, azokban számottevően előforduló ionra telített oldatoknak tekintendők. Az állandóan reagáló, folyton változó közeg a jól épített gátakat tovább stabilizálja. Ha a gát egyes részei valamiért megrepednek, illetve eltörnek, a törési felületen az ásványok felülete részlegesen dehidratálódik. A friss törést-repedést a pórusvíz (ami zömmel kapilláris víz) gyorsan feltölti, és abból a kristályvizüket veszített ásványok újra hidratálódnak. Ennek hatására a repedés két oldala összenő, „összeforr” (15. ábra).



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 350 -



15. ábra. Összeforrt repedések a kötenger egyik kiszakított tömbjében
[Fused cracks in a dislodged block of the northwestern corner]
(Marsi I., 2010. nov. 10.)

Olyankor, amikor a deformáció elmozdulással és súrlódásos aprózódással jár, az üregeket másodlagos ásványok diszkordáns álrétegei töltik ki (16. ábra).



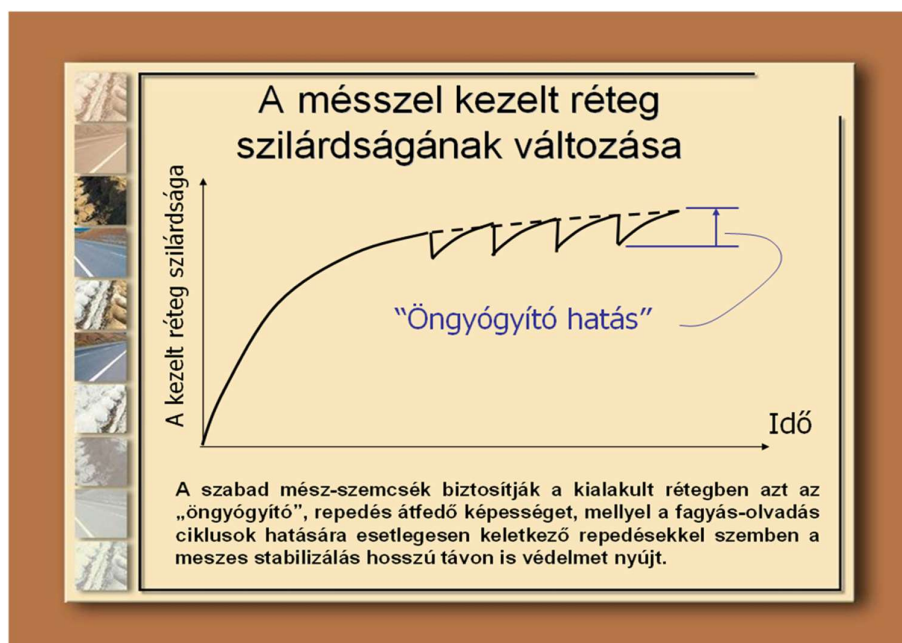
Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 351 -

16. ábra. Másodlagos ásványokkal kitöltött repedés a kőtenger egyik kiszakított tömbjében
[Cracks filled with secondary minerals in a dislodged block of the northwestern corner]
(Fügedi U., 2010. nov. 10.)

Ez a folyamat analóg a szilikátbetonok úgynevezett „öngyógyító” képességével (17. ábra), csak itt nem a szabad mészszemcséknek, hanem az ettringit-monohidrát átalakulásnak és további, hasonló jellegű reakcióknak köszönhető.



17. ábra. Szilikátbetonok „öngyógyító” képessége
[„Self-curing” ability of the silicate-concretes] (Carmeuse Kft.)

Az illeszték és a „normál” gáttest: belső és határfelületi jelenségek

A homokos rétegeket a nyugati falon jelző fehér csíkokból rekonstruálható az illeszték építésének története. A tisztán kirajzolódó felületek (18. ábra) és az anyagminőség alapján az illeszték befoltozásának három (a 2010 nyári rátöltést is beszámítva: négy) fázisát különböztethetjük meg.

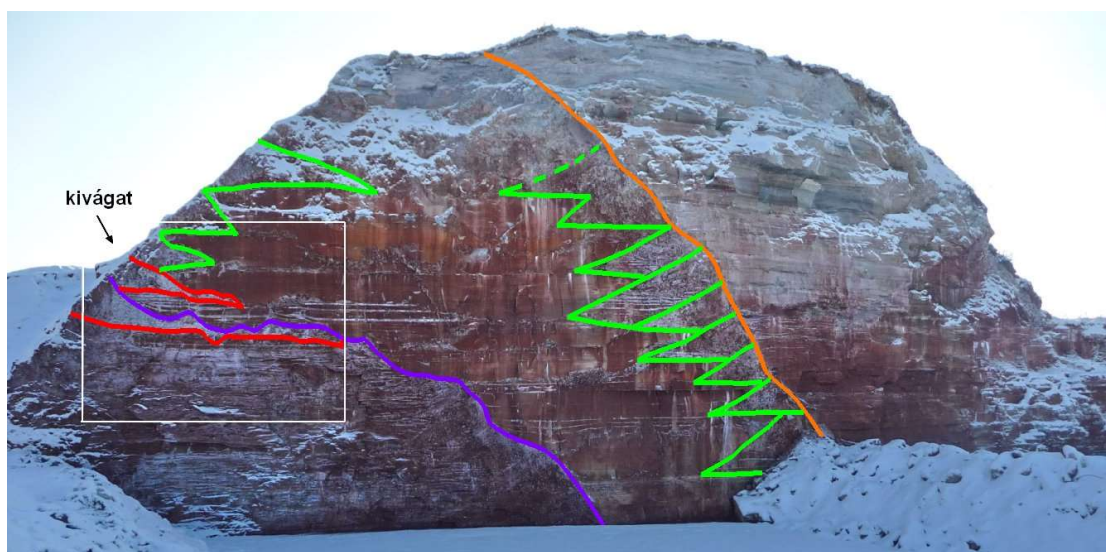
Az első fázisban – valószínűleg 1995 végén, a gátkorona 205 mBf magasságra emelése után – építették meg mintegy fél szélességben az illeszték alját, méghozzá az egyebütt használnál több homokot tartalmazó anyagból, amelyben sűrűn követik egymást a

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

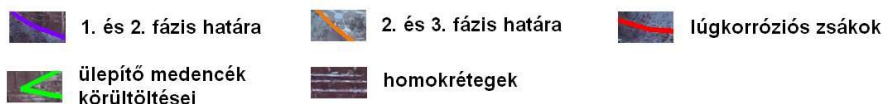
DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 352 -

homokcsíkokat jelző korróziós sávok. A feltöltést a tervezettnél keskenyebbre vették, emiatt madártávlatból (19. ábra) úgy tűnik, mintha az északnyugati sarokban a gát belső oldala kifelé kanyarodna. Stabil felszínt nem alakítottak ki; a bejárón az építési szünet alatt és a gátkorona 216,5 mBf-re magasztása közben közlekedő munkagépek a felszínt egyenetlenné járták. A mélyedésekben gátlábi törmelék halmozódott fel.



Jelmagyarázat



18. ábra. Az illeszték építésének rekonstrukciója a nyugati fal alapján
[Reconstructed phases of the sealing of the maintenance gate, based on the northern wall of the western bank] (Fügedi U., Müller T.)

A második fázisban (valószínűleg 1998 második felében, a nyugati fal befejezése után, de még a kazetta feltöltésének kezdete előtt) erre az egyenetlen felszínre magasztották rá az illeszték belső oldalát (1:1 rézsúvel, az aktuális koronaszintig). A ráépítés előtt ezt a felszínt nem takarították le és nem simították el – olyannyira, hogy még a felhalmozódott gátlábi törmeléket is beépítették a 2. fázis aljába (20. ábra). Fenti tényezők eredményeként a két fázis határán egyértelműen kivehető, vízvezető határfelület alakult ki.

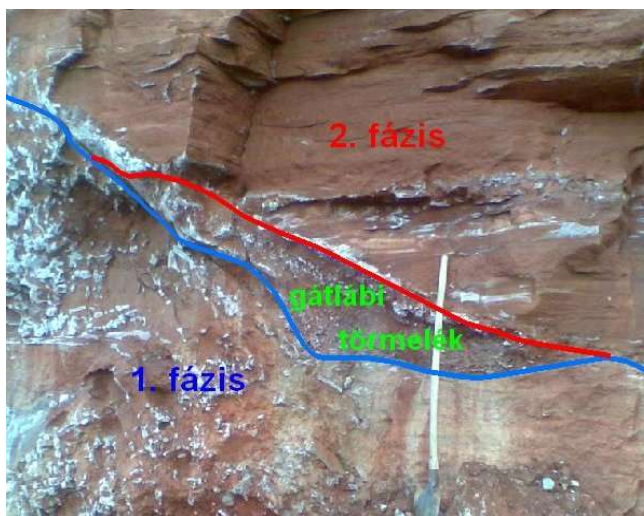
Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 353 -



19. ábra. Légifelvétel részlete a X. kazetta ÉNy-i sarkáról (2010)
[The northwestern corner of the embankment from the air (2010)]



20. ábra. A gátba beépített egykori gátlábi törmelék az illeszték első és második fázisának határán
[Under-dam detritus at the border of the 1st and 2nd phases of the side-mark's construction]
(Szurkos G., 2011. jan.)

Szulfáttartalmak az ásó vonalában:

- lúgkorrozíós sáv a 2. fázisban: 5,81 %,

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 354 -

- beágyazott gátlábi törmelék: 7,33 %,
- fázis: 9,42 %.

A 2. fázis építésénél az ülepítő medencék körtöltéseit építették a korábbinál silányabb anyagból. Ez nem kötött meg a szokásos minőségben és nem is alakult ki belső felületén a beszivárgás ellen védő kéreg. E két tényező együttes következményeként a lúgos folyadék teljesen átítatta a töltést, és azon áthatolva bejutott minden homokcsíkba. Az ezek alatt a rétegek alatt és fölött kialakuló lúgbontott sávok addig szélesedtek, amíg össze nem értek. Ettől fogva a folyadék behatolása már nem korlátozódott a kapilláris erővel is tompított lamináris szivárgásra, hanem a kiterjeszkedő, vastag lúgkorróziós zsákokban (az első és a második fázis határán, illetve egy medenceszinttel fölötte) bonyolult áramlási rendszerek alakulhattak ki. A második fázis külső oldalán atmoszférikus hatásra ugyancsak jól látható, de valószínűleg lassabban gyarapodó korróziós sávok fejlődtek ki. Itt emlékeztetünk arra a tényre, hogy ezeket az információinkat az illeszték egyedül állva maradt, tehát gyaníthatóan legstabilabb részéről gyűjtöttük. Elképzelésünk sincs arról, hogy az átszakadt részen milyen hiányosságok milyen következményekhez vezethettek.

A harmadik fázisban (esetleg a nyugati fal rézsűzésével összehangolva) építették meg az illeszték külső megtámasztását. A gátkoronát 10 méteresre szélesítették, az illeszték külső peremét pedig hozzáigazították az északi és a nyugati falhoz. A korábbiaktól eltérően nagyon korrekt módon megépített harmadik fázis lezárta a külső fal pórusait, és ezzel megszüntette az atmoszférikus korróziót.

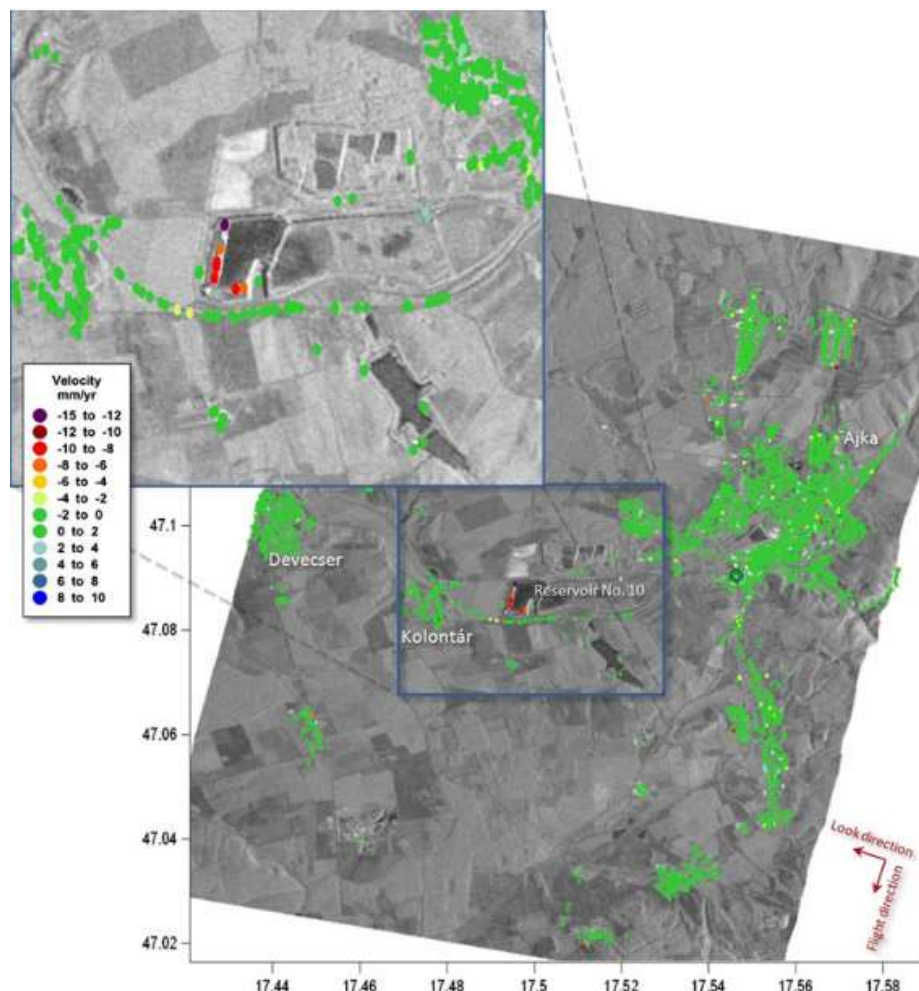
A határfelületi reakciók miatt a gátak hidratált kalcium-hidroaluminátjai folyamatosan veszítenek illótartalmukból. A gát térfogata (Erdélyi, 2007) és vele a gátkorona magassága fokozatosan csökken. Távérzékeléses vizsgálatok (Grenerczy & Wegmüller, 2010, 2011) kimutatták (21. ábra), hogy a nyugati falon ez a csökkenés annak északi végében, tehát az északnyugati sarokban volt a legjelentősebb – emiatt a 2010 nyarán szintkiegyenlítő rátöltéssel felhordott törmelék is itt a legvastagabb.



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 355 -



21. ábra. Az ajkai vörösiszap-tározó X. kazettájának és közvetlen környezetének mozgástörténete 2003 és 2010 szeptembere között

[Young movements of cassette No 10 and its environment] (Grenerczy & Wegmüller, 2011)

Az eltérő sebességű zsugorodás az illeszték és a két fal határain jelentős feszültségeket okozott. Ettől az illeszték mindkét határán függőleges, az érintkező felülettel párhuzamos repedésrendszer alakult ki. A repedések fejlődésével a beton „öngyógyító képessége” nem tudott lépést tartani. Ezért a katasztrófában az északi fal pereme (amint ez az 5. ábrán és több közismert képen is látható) e repedések mentén, lapszerű tömbökben vált le és dőlt az átszakadt, majd alámosott szakasz felé. Sajnos, mire e jelenségre felfigyeltünk, a nyugati fal repedészónáját visszabontották, ezért az már nem vizsgálható. A megmaradt, illetve

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 356 -

visszabontott falakat és a széthordott tömböket áttanulmányozva se boltozatoknak (ívelt szerkezeteknek), se a falakba széttartó repedéseknek semmilyen nyomát nem találtuk.

A fentieket összesítve megállapítható, hogy a gát integritása az egykori illeszték helyén gyakorlatilag megszűnt. A gáttestet a függőleges repedésrendszerek és a vízszintes lúgkorróziós zsákok (illetve sávok) tömbökre darabolták, és a tömböket csak a gravitáció tartotta össze. Ezért a gát eltörése után a törésvonalakban kiáramló víz e tömböket könnyen fel tudta kapni és messze tudta szállítani. Mindezt messzemenően alátámasztja, hogy a felszakított és a kőtengerbe széthordott gáttömbökön friss törési felületek nem láthatók. Az in situ aprózódás egyetlen jele, hogy egyes tömbök a réteglapok (korróziós sávok) mentén vékony lapokra estek szét (22. ábra).



22. ábra. Réteglapok mentén széteső kőtömb a kőtengerben
[Dislodged block fragmented by bed planes]
(Fügedi U., 2010. nov. 10.)

A baleset és a katasztrófa

A baleset időpontjában a vörösiszapot fedő lúgos folyadék felszíne 215,88 mBf magasságban volt (12 cm-rel az engedélyezett 216,00 mBf magasság alatt). Amint ezt már a legelső terepi vizsgálatok (23. ábra) megállapították, a „szétrobbant” gátdarabokat a

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)

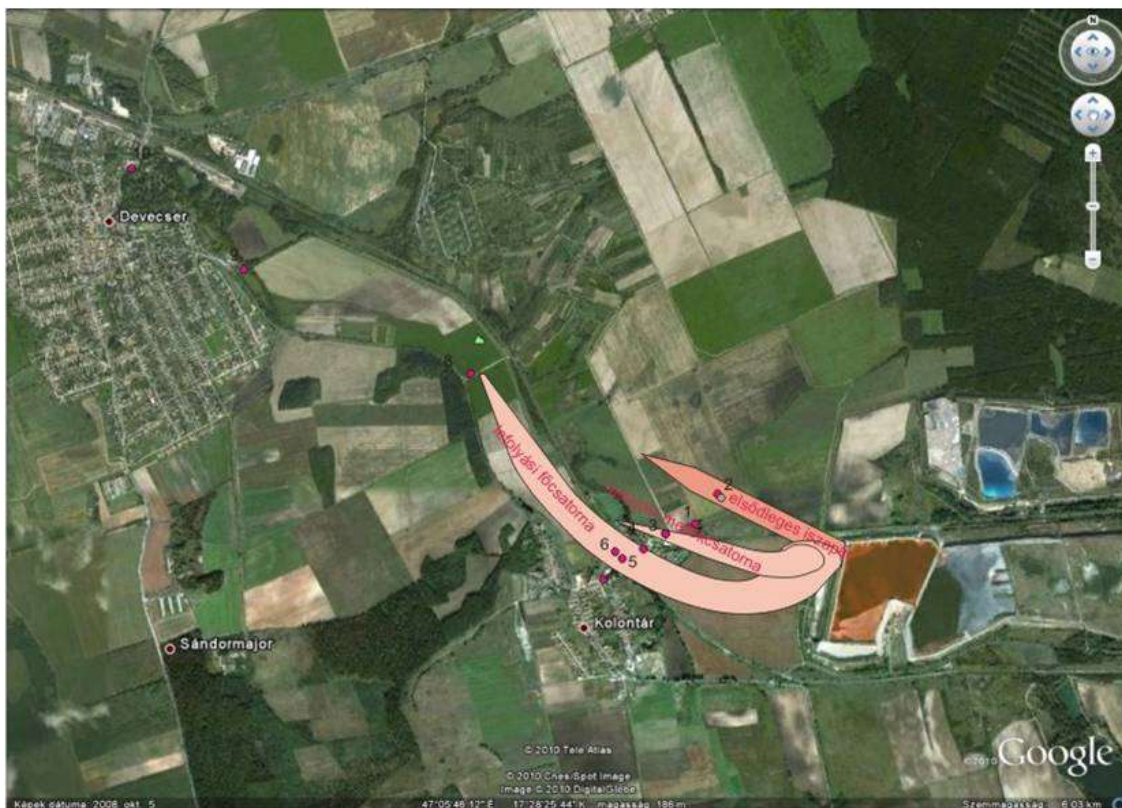


Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 357 -

kiáramló zagy két csóvában terítette szét: az elsődleges csóva ÉNY felé irányul, a fő kitörése nyugatnak (24. ábra).



23. ábra. A kitörési csóvák elsődleges rekonstrukciója a vörösiszap-mintázás pontjaival
[Primary reconstruction of the outbreaking plumes with the points of red mud sanpling]
(2010. X. 7., Marsi István, Koloszar László†)

Az ÉNy-i sarok közelében, a nyugati fal mellett állt két szemtanú szerint az ÉNy-i sarokban a gát kb. 12:05-kor tört el. Ennek hangját nevezte a IX. kazettán dolgozó gépkezelő utólag (szóbeli közlés) „puffanásnak”. A lúgos folyadék a törésvonalban „kimosott vájatban” elkezdett leürülni a vörösiszap tetejéről; ekkor „még nem volt sűrű”. Ahogy a vájat fokozatosan bevágódott, a IX. kazettánál dolgozók vízesésszerű hangot hallottak.

A gyorsuló folyadék mind nagyobb erővel feszítette az egykori illeszték tömbjeit. A repedés kialakulása után 5–6 perccel az északi fal közepén is eltört a gát. A kitört szakasz a

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 358 -

laza üledék bomlástermékeibe esett és kifelé mozdult; ezt az eseményt hallotta a gépkezelő „robbanásnak”. Az egyik, ÉNy felé repülő tömb kettétörte az útjában álló villanyoszlopot. A vezetékek elszakadtak; a környéken az áramszolgáltatás 12:10-kor megszűnt. A kizúduló folyadék több köbméteres tömböket sodort több mint fél kilométerre. Miután a vájat áthatolt a gátalapon, tovább harapózott lefelé, és több méter mélyen kimosta az ártéri rétegsor elbontott laza üledékeit.



24. ábra. A gépkezelő munkás felvétele az északnyugati sarok átszakadásáról

[Collapse of the northwest corner (Photo of the witness worker)] (2010. okt. 4. kb. 12:23)

A már említett gépkezelő átszaladt a IX. kazettát a X.-től elválasztó gátra, és sikerült lefénnyképeznie a tározó leürülését. A fénykép (24. ábra) készítésének időpontjában (kb. 12:23) a nyugati oldal pusztulása már befejeződött; a rés az északi falon harapózik. Amíg az északi fal lapjai egymás után leváltak, a vízszint apadt. Ennek megfelelően a szakadás északi határfelületére a vörösiszap csak annak kb. fele magasságáig kenődött föl (a nyugati fal mintegy 215 mBf-ig volt vörös).

Az északi falon az egykori illesztékből nem maradt meg semmi. Az északi gát csonkja azért lett „L” alakú (25. ábra), mert a „normálisan” épített gát alapját eredetileg kívülről támasztó földtöltés hosszabb szakasza és a gát ezzel megtámasztott külső pereme a helyén maradt. Mögötte a függőleges síkok mentén töredezett gáttest lapjai egyenként befelé, a mélyen kimosott szakadás felé dőltek, illetve süllyedtek.

A leürülő folyadék két, hátravágódva szélesedő csatornát mosott ki a tározóban: egyet az északi, egyet pedig a nyugati fal mentén. A kettő között visszamaradt, a dolgozók által „iszapszigetnek” nevezett halmot a katasztrófa utáni három nap esőzései mosták el, százezer köbméteres nagyságrendben további vörösiszapot juttatva a Torna-patakba.

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 359 -



25. ábra. Az északi gát szakadása a katasztrófa után három nappal
[Remnants of the north section at 13.10.2010] (Marsi I.)

A 2010. X. 8-án végzett geodéziai bemérés szerint az északi fal kitört darabja (a gát belső oldala) kb. 54 cm-t süllyedt. Kifelé mozdulva felsiklott a bontatlan felszíni rétegekre, és ennek eredményeként befelé billent (26. ábra).



26. ábra. A virágszerkezetű törés az északi fal közepén a gát kimozdult és megsüllyedt szakaszával
[The flower structure system with the tipped-out and sunken-in section of the embankment]
(Marsi I., 2010. nov. 10.)

A katasztrófa utáni néhány napban a gát kiszakadt darabja kissé (max. 28 mm-t – FUGRO, 2012) visszacsúszott eredeti helyzete felé.

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 360 -



27. ábra. A vörösiszap nedvességtartalmának másodlagos megcsapolása
[Secondary tapping of the caustic liquor] (Jordán Gy., 2010. nov. 5.)

Az É-i fal közepén a törésrendszer egyes repedései a katasztrófa után 4 nappal még csak (legfeljebb) 10–15 cm szélesek voltak. A következő hónapban a lúgkorrózió és a kémiai mállás hatására úgy kitágultak, hogy szélességük helyenként a fél métert is meghaladta (FUGRO, 2012). Az ellenőrző geodéziai mérések igazolták, hogy a gát darabjai eközben egyáltalán nem mozdultak el.

Köszönetnyilvánítások

Az, hogy egyáltalán foglalkozhattunk a fentebb tárgyalt kérdésekkel, a MÁFI Környezetvédelmi osztály akkori vezetőjének, Jordán Győzőnek köszönhető. Ugyancsak messzemenően támogatta munkánkat utódja, Vatai József. Ők ketten nemcsak a feltételeket biztosították, de maguk is aktívan részt vettek a munkában (Jordán et al., 2011 stb.). Sokat köszönhetünk a MÁFI Középhegységi osztályán dolgozó kollégáinknak – főleg Koloszar Lászlónak(†), Marsi Istvánnak és Selmeczi Ildikónak(†) – akik már előttünk fel tudták keresni a helyszínt. Pótolhatatlanul értékes dokumentációkat készítettek, alapvetően fontos mintákat gyűjtöttek és ők kezdték rekonstruálni a katasztrófa körülményeit.

Jelentős segítséget kaptunk Chikán Gézától, aki ez időben a MÁFI igazgató-helyettese volt és Németh Tamástól, az MTA főtítkárától. Nemcsak támogatták munkánkat, de tevéleg részt is vettek az eredmények bemutatásában (Chikán et al, 2011).

Kiemelkedően sokat köszönhetünk a MÁFI Laboratóriumban dolgozó kollégáinknak: Ballók Istvánnénak, Bertalan Évának, Kónya Péternek, Kovács-Pálffy Péternek és még többeknek. Több fontos fényképet Varga Renáta készített.

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 361 -

Kiemelt köszönet Bánvölgyi Györgynek, aki folyamatosan konzultálva mindvégig aktívan támogatta munkánkat.

A releváns adatok egy része nem publikus, vagy korlátozottan hivatkozható. Szerzőiktől rengeteget tanultunk; eredményeink közösnek tekintendők.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Adam, Th., (2006): Ein modell zur Beschreibeng der Hydratation von Beton in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt. Akadémiai doktori értekezés. Technische Universität Darmstadt.
https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/759/1/adam_diss_2006.pdf
- [2.] Baksa Gy., Kajdi S., (1992): Alumina Production and Environmental Protection at Ajka Alumina Plant, Hungary. International Bauxite Tailings Workshop, Perth, WA: 453-466.
- [3.] Balázs L. Gy., Kausay T., Kopecskó K., Nemes R., Nehme S. G., Lublőy É., Józsa Zs., Arany P. (2017): Betonok oldódásos korróziója. Szakirodalmi áttekintés, 1. rész: A vizek és folyadékok kémhatása, keménysége, agresszív széndioxid-tartalma. Vasbetonépítés 2017(3): 59.
- [4.] Bánvölgyi, G. (2010): Failure of the embankment of a red mud pond in Hungary: The most serious accident of the Bayer process. – ICSOBA Newsletter 4. 36-53.
- [5.] Barnett, S.J., Adam C.D. and Jackson A.R.W., (2001): An XRPD profile fitting investigation of the solid solution between ettringite, $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$, and carbonate ettringite, $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$. Cem. Concr. Res. (31) 13-17.
[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00429-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00429-4)
- [6.] Chikán G., Németh T., Fügedi U., Szentpétery I., Vatai J., Józsa J., Baranya S., Marsi I., (2011): A kolontári baleset geológus szemmel. – XIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Gyergyószentmiklós, 2011. március 31. – április 3. Konferenciakötet. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság. BKF előadásai, 11-15.
- [7.] Erdélyi A. (2007): A betonnak laboratóriumban mérhető zsugorodását befolyásoló tényezők. – In: Kovács József (szerk.): Cement-Beton Zsebkönyv. Duna-Dráva Cement Kft. 2007, 206-208.
- [8.] FUGRO Consult Kft. (2012): Kiegészített Igazságügyi Szakértői Vélemény a MAL Zrt X. számú vörösiszap kazetta 2010. október 4. napján történt tönkremenetele okainak és körülményeinek részletes feltárásáról és tisztázásáról. Kézirat, Budapest.

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)



Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] -

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 362 -

- [9.] Fügedi U., Kalmár J., (2013): Ásványtani és mechanikai elváltozások egy vörösiszap-tározó gátanyagában. Építőanyag, 65(1): 15–20.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.4>
- [10.] Gerritse, R., Thomas, G. (2008): Transport of bauxite residue leachate through clay liners of storage impoundments: A synthesis of experimental and simulated data. – In: Proceedings of the 8th International Alumina Quality Workshop, Darwin, Australia, p. 154–161.
- [11.] Grenerczy Gy., Wegmüller, U. (2010): Deformation analysis of a burst red mud reservoir using combined descending and ascending pass ENVISAT ASAR data. – Natural Hazards 65(3): 2205–2214. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0470-4>
- [12.] Grenerczy Gy., Wegmüller, U. (2011): Persistent scatterer interferometry analysis of the embankment failure of a red mud reservoir using ENVISAT ASAR data. Natural Hazards 66(4), <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9816-6>
- [13.] Jordan Gy., Fügedi U., Bartha A., Vatai J., Tóth Gy., Murati J., Szentpétery I., Konya P., Gaburi I., Tolmács D. Müller T. (2011): The red mud catastrophe in Kolontár, Hungary: applying geology. – European Geologist (32): 9–14.
- [14.] Kalmár J. (2011): Cementkő minták pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatai. Kézirat. MÁFI Környezetföldtani osztály adattára: 16.
- [15.] Kalmár J. (2012): Jelentés. Kolontári gátanyag mikroszkópos vizsgálata. Kézirat, MÁFI Adattár: 9.
- [16.] Kausay T. (2020): Kötőanyagok V. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 3. Hidratáció. – In: Kausay T.: Betonos e-könyv. 1. kötet. Anyagtani fogalmak, tulajdonságok, követelmények, vizsgálatok. p. 17.
<http://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/54-cement-hidratacio.pdf>
- [17.] Mecs J. (2013): Some Technical Aspects of the Tailing Dam Failure at the Ajka Red Mud Reservoirs. – In: Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Paris, 2-6. September 2013). Le Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique. p. 3309–3312.
<https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/3309-3312.pdf>
- [18.] Palotás L. (1979): Fa, kő, fém, kötőanyagok. – Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [19.] Turi, D., Pusztai, J., Nyari, I. (2013): Causes and Circumstances of Red Mud Reservoir Dam Failure In 2010 at MAL Zrt Factory Site in Ajka, Hungary. – In: International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 10.
<https://scholarsmine.mst.edu/icchge/7icchge/session03/10>
- [20.] Vaszita E. (2008): Ettringit okozta szulfátkorrózió mésszel kezelt talajban. – KÖRINFO Projekt. [Ettringit okozta szulfátkorrózió mésszel kezelt talajban | KÖRnyezetvédelmi INFOrmáció \(xn--krinfo-wxa.hu\)](https://xn--krinfo-wxa.hu)

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)

Fügedi: Miért szakadt át [Fügedi: Why it collapsed] –

DOI: <https://doi.org/10.59531/ots.2025.3.1.317-363>

- 363 -

Absztrakt. 2010. október 4-én, nem sokkal dél után beomlott az Ajkai Timföldfinomító vörösiszap tározója töltésének ÉNy-i sarka. Ez az úgynevezett „kolontári baleset” volt a Bayer-féle timföldgyártás történetének legnagyobb katasztrófája. Tíz lakos veszítette életét a nagy mennyiségű, bauxitmaradványt tartalmazó vörös színű híg zagy hirtelen kiszabadulása miatt. Kétrészes színopszisunk második részében bemutatjuk, hogy a tározó északkeleti sarkában található karbantartó kapu építésének gondatlansága miként vezetett a sarok megszakadásához.

Opuscula Theologica et Scientifica 2025 3 (1): 317-363.

A Wesley János Lelkészképző Főiskola Tudományos Közleményei

[Scientific Journal of John Wesley Theological College]

<https://opuscula.wjlf.hu/> • ISSN2939-8398 (Online)

