



ELTE Kémiai Intézet

(<http://www.chem.elte.hu>)

kislexikonja

a vörösiszap-katasztrófával kapcsolatos fogalmak magyarázatára
2010. október 18.



A vörösiszap-katasztrófáról tudósító hírekben sok olyan kifejezés jelent meg, amelyek jelentését nem magyarázták meg. Számos tudományosan megalapozatlan, sőt, egyenesen hibás állítás is bekerült a hírekbe. Az ELTE Kémiai Intézet szakemberei azért készítették el ezt az összeállítást, hogy az segítséget adjon az érdeklődőknek és az eseményekről tudósító újságíróknak. Az összeállítást általános- és középiskolai tanárok is felhasználhatják óráikon, hogy a diákok megérthessék az események és hírek kémiai hátterét.

Mi a vörösiszap? Hogy keletkezik? Miért lúgos a felette levő oldat?

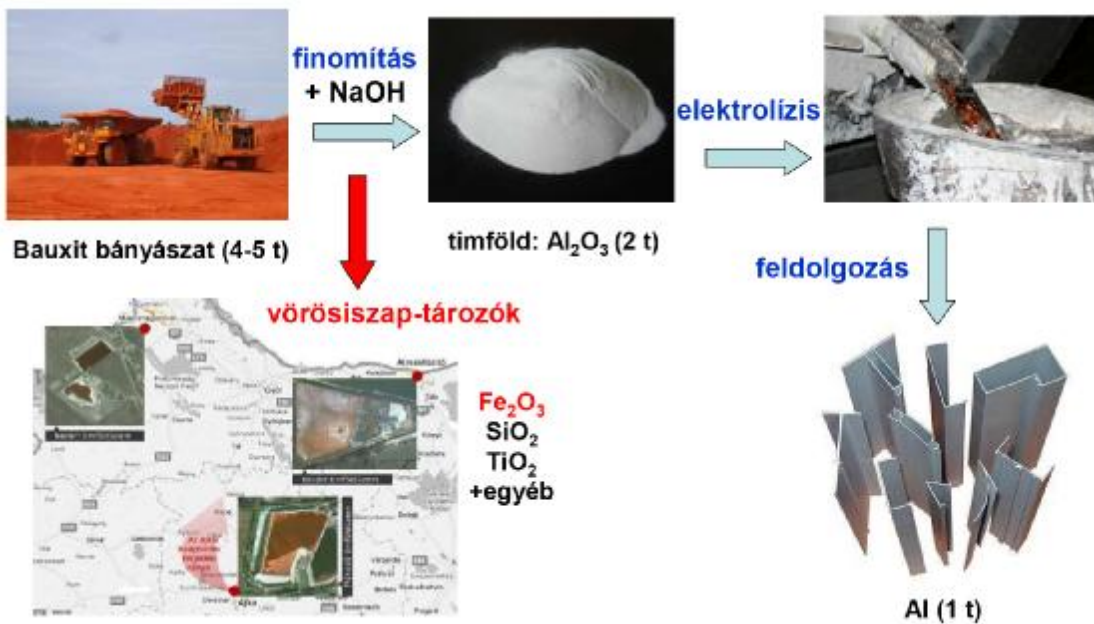
Az alumíniumgyártás első lépése a timföld (alumínium-oxid, Al_2O_3) előállítása. Timföld előállítására a Bayer-féle finomítást alkalmazzák. Ennek lényege, hogy a bauxitban lévő alumíniumásványok (böhmit, hidrargillit) alumínium tartalma lúgokban kioldódik, míg a többi fém túlnyomó többségének oxidja nem oldható. Ezt a kioldást forró, tömény NaOH-oldatban végzik.

(A savas és lúgos oldatokban egyaránt oldódó anyagokat *amfoter* anyagoknak nevezzük. Ilyen anyag az alumínium, az alumínium-oxid és az alumínium-hidroxid is.)

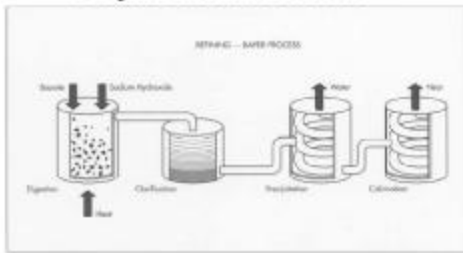
Oldás után szűrik (vagy néhány helyen csak üleptik) az oldatot. A vízben oldhatatlan szilárd maradék a vörösiszap, amely elsősorban vízben oldhatatlan Fe_2O_3 -ot, TiO_2 -ot, szilikátokat és Al_2O_3 maradékot tartalmaz. Nevét a színéről kapta, a vörösiszap a benne levő Fe_2O_3 miatt vörös színű. (A Fe_2O_3 -ot festékként, sőt gyógyászatban is használják. A rozsdásodáskor is – vas-hidroxidok és karbonátok mellett – részben ez keletkezik.)

Mivel a vörösiszapban a szűrés után is marad nedvességnyom, és így NaOH is marad a leszűrt szilárd anyag mellett, ezért a nedves (friss) vörösiszap pH-ja erősen lúgos. Tárolás előtt – technológiától függően – a vörösiszap lúgtartalmát kimossák, visszanyerik vagy az iszapon levő folyadékfázist az előírásoknak megfelelő pH értékig semlegesíteni lehet.

A tiszta ($[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ -tartalmú) szűrletet lehűtik, kicsapják az $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ot, majd ezt hevítve nyerik az Al_2O_3 -ot, a timföldet. Az Al_2O_3 -ból (Hall-Héroult-eljárás) elektrolízissel állítják elő az alumíniumot. A tiszta alumínium mellett nagy mennyiségben CO_2 is keletkezik, mivel szén (grafit) elektródok alkalmazásával hajtják végre az elektrolízist.



Bayer-féle finomítás

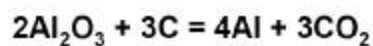
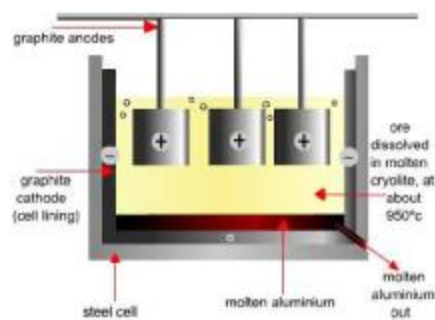


Az alumínium-oxid amfoter, azaz lúgok is oldják:
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{OH}^- + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$
 Fe_2O_3 , TiO_2 stb szilárd fázisban marad
 szűrlemény: vörösiszap

kicsapás, majd hevítés:
 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + \text{Na}^+ \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH}$
 $2 \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$

Hall-Heroult elektrolízis

$\text{Na}_3\text{AlF}_6 + \text{Al}_2\text{O}_3$
 olvadékelektrolízise grafit katóddal



Mi az a semlegesítés?

Savas és lúgos oldat összeöntésekor a H_3O^+ és az OH^- ionok reagálnak egymással víz képződése közben:



Természetesen a H_3O^+ és az OH^- ionok teljesen nem fogynak el, de semleges oldatban mind a két ion koncentrációja nagyon kicsi $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$. (25 °C-on) .

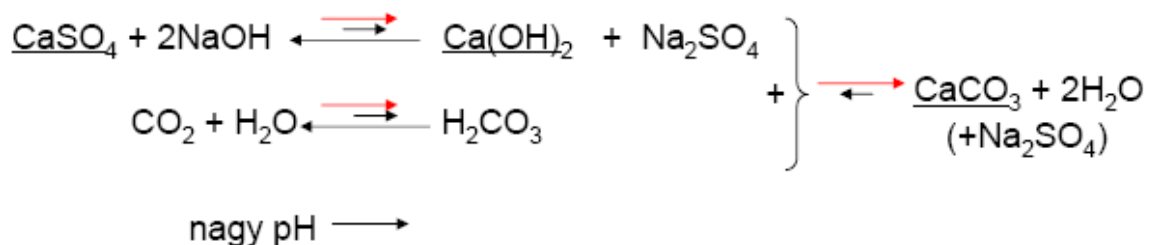
A vörösiszap-katasztrófa esetében a folyóvízbe került lúgos NaOH-oldatot (többek között) HCl-oldattal semlegesítették. Ekkor természetesen Na⁺ és Cl⁻ ionok is maradnak az oldatban, ez viszont csak sós víz, hiszen a NaCl nem más, mint a konyhasó.

Lehet-e az NaOH lúgot a szintén enyhén lúgos gipsszel semlegesíteni?

Igen, egész pontosan a gipsz és a levegő széndioxid (CO₂) tartalma semlegesíti a lúgos oldatot. Hogyan működik ez?

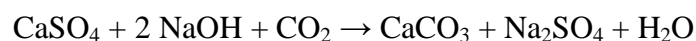
Vízben rosszul oldódó gipszet (kristályvizes CaSO₄) lúgos vízbe szórva egyensúlyi folyamatban nagyon kis mennyiségű Ca(OH)₂ (oltott mész) képződik.

A levegőben levő széndioxidból szintén egyensúlyi folyamatban kevés szénsav keletkezik, ami az oltott mésszel reagálva CaCO₃-ot (kalcium-karbonát, a mészkeő fő összetevője) ad. Ez oldhatatlan vízben és kicsapódik. A folyamat tehát fogyasztja a Ca(OH)₂-t, ami viszont így megint kis mennyiségben újra keletkezhet a gipszből. Tehát a gipsz és a levegő széndioxidja együtt lassan mészkövet és nátrium-szulfátot állít elő a NaOH-oldatból.



(Az aláhúzott vegyületek vízben nagyon rosszul oldódó vegyületek, ún. „csapadékok”.)

Összességében tehát a következő reakció játszódik le:



A gipsz hozzáadagolása nélkül is meg tud kötődni a levegő CO₂ tartalma, de ez lassabb folyamat és végeredményben lúgos kémhatású Na₂CO₃-hoz (szóda, sziksó), illetve NaHCO₃-hoz (nátrium-hidrogénkarbonáthoz) vezet. A gipszet a mátrai hőerőműből szállították a katasztrófa helyére. Ott nagy mennyiségben keletkezik a gipsz a füstgáz kéntelenítésekor.

Mivel a fenti folyamatban szilárd, folyadék és gázfázisú anyagok is reagálnak, ezért ez a folyamat a vízben oldott erős vagy nem túl gyenge savakkal (pl. sósav, ecetsav) történő semlegesítéshez képest lassabb folyamat. CO₂ bevezetésével jelentősen, levegő befúvással némileg gyorsítható a gipsz/CO₂-vel történő semlegesítés.

Mi az előnye és mi a hátránya a gipsznek az erős savakkal szemben a semlegesítésnél?

Az erős savak sokkal gyorsabban semlegesítik a lúgot, míg a gipsz esetében a semlegesítés sokkal lassabb folyamat.

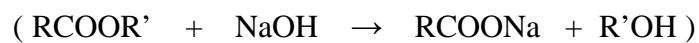
A talajra kiömlött vörösiszapot erős savval azért nem könnyű semlegesíteni, mert nem lehet pontosan szabályozni, hogy hova milyen mennyiségű savat kell önteni. Túl sok savat alkalmazva helyileg savas lesz a talaj. Savas közegben egyes – lúgos közegben nem oldódó fémek – feloldódhatnak, így bekerülhetnek a vízháztartásba.

A folyóvízbe került lúgoldatot helyben szintén gipsszel kezelték. Távolabbra a szilárd anyag nem jutott (kiüledett), így a Marcal folyón a gyorsabb, hatékonyabb savas kezelés már biztonságos volt. Itt elsősorban ecetsavat használtak semlegesítésre.

Miért okozott „égési sérülést” a kiömlött anyag?

A kiömlött vörösiszap hideg volt (10 °C körüli), mégis a hírek égési sérülésekről szóltak. Ennek az az eredete, hogy az orvosi szaknyelven nem csak a bőr égés által okozott sérülését, de – a hasonló kezelés miatt – a bőr savak és lúgok által okozott marását is „égési sérülésnek” nevezik.

A tömény NaOH-oldat kémiailag oldja (elszappanosítás, így készítették korábban zsírok és NaOH reakciójával) a zsírokat, sejthártyát felépítő lipideket.



A NaOH-oldat denaturálja (kicsapja) és töményebben kémiailag oldja a fehérjéket is. A hígabb NaOH-oldat bőrirritációt okoz. A víz párolgásával azonban a híg oldat töményedhet, ami ténylegesen „égési sérülést” okozhat. A vörösiszap-tragédiánál is ez következhetett be, hiszen az átitatott ruhákon lévő oldat betöményedett.

A szembe került a tömény NaOH-oldat vakságot okozhat.

Mit kell tenni, ha NaOH-oldat bőrre, szembe, gyomorba kerül?

A bőrre került NaOH-oldatot bő vízzel kell lemosni. Hosszabb érintkezés esetében (különösen töményebb oldatnál) nem árt a vizes öblítés után híg ecettel is lemosni, esetleg borogatni a felületet.

A szembe került NaOH-oldatot bő vízzel kell kimosni. (Ecettel természetesen nem szabad!) Amennyiben elérhető (pl. elsősegély felszerelés laborokban), akkor bórsavas (nem bor (!!!), hanem bór-vegyület: H₃BO₃-oldattal is ki kell öblíteni.)

A bórsav nem egyszerű értelemben vett sav. Nem H₃O⁺ ionok képződnek, ha vízbe szórjuk, hanem az OH⁻ ionokat köti meg:



A tiszta vízbe szórt bórsav a víz pH-ját egyszerű (pH-papíros) módszerrel kimutatatlan mértékben változtatja meg.

Lenyelt NaOH-oldat esetében hánytatni nem szabad. Ennek az az oka, hogy a gyomornedv eléggé savas, ezért ott a lúg kevesebb kárt okozhat, mint a nyelőcsőben. Savas ennivalót/innivalót kell etetni/itatni. (Pl. limonádé, ecetes uborka, savanyúságok.)

Miért veszélyes az egészségre a vörösiszap pora?

A bauxitot NaOH-os oldás előtt apróra őrlik. A beszáradt vörösiszapban lévő apró szemcsék közel 90%-nak az átmérője kisebb, mint $63\ \mu\text{m}$. Már a nagyon finom por is egészségre ártalmas, de jelenleg a porszemcsék felületén száraz NaOH található.

Hogyan kerül a vörösiszap pora a levegőbe, és mivel gátolhatjuk meg ezt a folyamatot?

A talaj, a kőzetek és az épített környezet (pl. utak, közterületek, házak) felszínén megszáradt vörösiszap szemcséit a légmozgás a levegőbe juttatja és benne eloszlatja (szuszpendálja), esetleg tovább apríthatja. Az így kialakuló rendszert nevezzük aeroszoknak, vagy szabályozási nyelven szálló poroknak. Az erős szél felkeveri és levegőben tartja a száraz iszapszemcséket. A napsugárzás hatására kialakuló hőmérsékleti különbség szintén eredményezi levegő felkeveredését és így a részecskék lebegését okozza. A porszennyezés mértéke tehát a helyi időjárási viszonyoktól függően sokat változhat. A gépjárműveket követő légörvények is jelentősen hozzájárulnak ahhoz, hogy a vörösiszap a levegőbe kerüljön. Az iszap szemcsés jellege miatt a hajlama a felkeveredésre („kiporzása”) két nagyságrenddel meghaladja az átlagos környezeti poroknál tapasztaltat. Nedves felületekről az aeroszol képződés jelentősen kisebb. Az érintett felszíneket célszerű nedvesen tartani, és róluk az iszapot lehetőleg többszöri, nedves takarítással eltávolítani, összegyűjteni, elszállítani és biztonságos tározókba helyezni. Lakásokban és belső terekben a porszívózás (hagyományos eszközzel és szárazon) vagy száraz seprés csak pormaszokban ajánlott. A takarítást az enyhe ecetes oldat segíti.

Milyen nagyságúak a vörösiszap-por szemcséi?

Az aeroszol részecskék méretének teljes tartománya néhány nanométertől ($1\ \text{nm}=10^{-9}\ \text{m}$) néhány száz mikrométerig (μm , $1\ \mu\text{m}=10^{-6}\ \text{m}$) terjed. A vörösiszap-por ennél lényegesen szűkebb tartományban található. Az iszap felkeveredésével ún. óriás részecskék kerülnek a levegőbe, amelyek átlagos átmérője 10 és $40\ \mu\text{m}$ közötti. Ezen részecskék környezeti hatása várhatóan csak lokális jellegű, mert gyorsan kiülednek a levegőből. A vörösiszap-por durva részecskéket is tartalmaz jelentős mennyiségben, amelyek átlagos átmérője 4–6 μm körüli. E két mérettartomány a meghatározó. Kisebb részecskék közvetlen megjelenése ebben a porban nem várható. A részecskék tehát viszonylag nagy méretűek, aminek kedvező következményei is van.

Milyen messzire juthat a vörösiszap-por?

A szálló por a részecskék méretétől függő időtartamig marad a levegőben. A vörösiszaptól levegőbe kerülő részecskék a nagyobb méretűek közé tartoznak, ezért átlagosan legfeljebb órákat töltenek kiüledésükig a levegőben. Ez azt jelenti, hogy az ipari katasztrófa környékén levő vörösiszap a levegővel távolabbi területek, így Budapest fölé is eljuthat a közeljövőben – különösen száraz időszakokban és erős szél esetén. A légköri terjedés tipikusan sávos/fonális alakban történik és az uralkodó szélirányban a legjelentősebb. Magyarországon az északnyugati szélirány a leggyakoribb. A porral érintett terület mérete az időjárási viszonyoktól és a területkezeléstől függően jelentős mértékben változhat. A vörösiszap-por ugyanakkor egyre hígabb lesz a levegőben a távolság növekedésével.

A vörösiszap-por hogyan kerülhet az emberi szervezetbe?

A por elsősorban beléggzéssel kerül az emberi szervezetbe. Fokozott léggzéssel, vagyis testmozgással járó sporttevékenységet tilos az érintett területen végezni, kül- és beltérben (tornateremben, sportcsarnokban) egyaránt. Tekintettel arra, hogy a vörösiszap-por szemcséi a nagyobbak közé tartoznak, jelentékeny mennyiségüket az orrüreg, szájüreg és gége védekező mechanizmusai szerencsére eltávolítják a belélegzett levegőből, így nem jutnak le a tüdőbe. Az így eltávolított részecskék leginkább az emésztőrendszerbe jutnak, ahonnan a felszívódás tipikusan kisebb, mint a tüdőből. A porszemcsék méretével kapcsolatos további előny, hogy hatékonyan védekezhetünk ellenük pormaszkkal mert a viszonylag nagy részecskék jobb hatásfokkal kiszűrhetőek. Várható, hogy a vörösiszap-por eleinte jelentős mennyiségben visszajut a megtisztított lakásokba, és a bőrön keresztül is hathat az élőlényekre. Emiatt javasolt a belső terek többszöri nedves takarítása, és az ott élők gyakori tisztálkodása.

Milyen kockázatai lehetnek a vörösiszap-por beléggzésének?

Inert kémiai összetételű por beléggzése önmagában is kockázatot jelent az emberi egészségre, ha nagy koncentrációban van jelen. Inert porok esetén az egészségügyi határérték munkahelyi levegőben $10\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 h időszakra és egészséges, felnőtt emberre vonatkozóan). Összehasonlításként: kültéri levegőben a napi egészségügyi határérték az EU-ban és Magyarországon is $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. A vörösiszap-por koncentrációja a katasztrófa utáni, mozgalmas időszakokban és időszakosan meghaladta a munkahelyi levegőre vonatkozó határértéket a közvetlen helyszínen. A légköri koncentrációszint jelentősen csökken hosszabb időskálán. A por kémiai összetétele eltérhet a szokásos kültéri aeroszoltól, ezért túlzott egyszerűsítés lenne jelenleg az egészségügyi hatásokat kizárólag a tömegkoncentrációval jellemezni. A vörösiszap aeroszol összetétele hasonlít a közegre, amelyből keletkezett: főleg Fe, Si, O, Al, Ca, K és Ti található meg benne. Ezek az elemek csak extrém nagy mennyiségben tekintendők veszélyesnek. A kvarc (amely a szilikózis miatt kiemelt összetevő) tömegjáruléka megfelel a városi porban szokásosnak, tehát nem jelent megnövekedett kockázatot. A lúgos kémhatás (a porban $\text{pH}=11\text{--}12$) káros lehet. Tartós beléggzés esetén például steril tüdőgyulladás tüneteit okozza. Az iszap lúgosságának csökkentése ugyanakkor egyes fémek oldódását, tehát környezeti mobilitásuk növekedését is eredményezheti, ami újabb problémát vet fel terjedésük és biológiai felvételük tekintetében. A porszemcsék több olyan fémet is tartalmazhatnak, amelyek kis vagy nagyon kis koncentrációban vannak ugyan jelen, de potenciálisan káros egészségügyi hatásuk miatt mégis figyelmet érdemelnek. Úgy tűnik, hogy néhány átmenetifémet (pl. vanádiumot, krómot, nikkelt, mangánt) és az arzént szükséges vizsgálatokkal követni. Összehasonlítás céljából megadunk néhány elem tipikus légköri koncentrációját a beléggzés szempontjából fontos, úgynevezett PM_{10} méretfrakcióban, valamint a reszuszpenzió miatt érdekes, durva ($\text{PM}_{10-2.0}$) mérettartományban Budapest szélén és a belvárosban (annak érdekében, hogy a változékonyság is megítélhető legyen). Hangsúlyozzuk ugyanakkor, hogy ezen, tipikus értékeknél többszörösen nagyobb koncentrációk előfordulása nem ritkaság, és ennek káros egészségügyi hatása nem bizonyított. A fémekre vonatkozó éves egészségügyi határértékek a levegőben általában nagyságrendekkel nagyobbak a mért koncentrációknál. Külső levegőben a PM_{10}

méretfrakciójú aeroszolra vonatkozó éves egészségügyi határérték az arzén esetében 10 ng/m^3 , króm esetében 50 ng/m^3 , nikkel esetében 25 ng/m^3 , míg vanádium esetén a tervezési irányérték $1\,000 \text{ ng/m}^3$ (14/2001 KöM-EÜM-FVM rendelet).

14/2001. (V. 9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről, 2001. Magyar Közlöny 53, 3512–3537; és módosításai 25/2001, Magyar Közlöny 138, 9669–9671; 4/2004, Magyar Közlöny 43, 3787–3818, és 64, 6654, 49/2006 Magyar Közlöny 164, 14006–14017, valamint a rendelet legújabb, szakmai vitára bocsátott írásos tervezete.

Néhány, kiválasztott elem és az aeroszol tömeg tipikus légköri koncentrációja különböző mérettartományokban Budapest szélén (Csillebércen) és a belvárosban a *vörösiszap-baleset előtti időszakban* ng m^{-3} egységben. ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$)

Összetevő	Csillebérc		Belváros	
	PM ₁₀	PM _{10-2.0}	PM ₁₀	PM _{10-2.0}
Na	149	93	394	56
Al	460	363	1538	125
Si	1263	993	4205	385
Ti	33	26	106	10
V	3	1	5	2
Cr	7	4	9	3
Mn	11	7	42	8
Fe	415	304	2343	339
Co	0,4	0,2	0,7	0,2
Ni	1,5	0,6	3	1
Cu	4	2	62	44
Zn	33	11	93	60
Ga	0,5	0,4	0,7	0,5
As	1,7	0,5	3	2
Pb	14	5	27	11
U	0,1	0,1	–	–
Tömeg $\times 10^{-3}$	40	21	53	36

Kiket érint leginkább a vörösiszap pora okozta egészségügyi kockázat?

Az egészségi hatások fokozottan érintik az érzékenyebb népességcsoportokat, pl. az időseket, a kisgyermeket, a várandós anyákat, illetve a krónikus légzőszervi, szív- és keringési problémákkal rendelkezőket. Az óvintézkedések rájuk szigorúbban érvényesek. A várandós anyák és csecsemők lehetőleg hagyják el az érintett területet.

Van-e jelentősége annak, hogy milyen hosszú ideig lélegezzük be a vörösiszap-port?

A biológiai válaszok érzékenyen függenek az expozíció időtartamától. Első közelítésben a rövid idejű expozíció akut (heveny), míg a hosszabb idejű expozíció krónikus (idült) hatásokat vagy biológiai következményeket eredményez leginkább. Bizonyos határokon belül a szervezet általában jobban tűri a rövidebb idejű szennyezett levegő belégzését, a hosszabb ideig tartó, állandó jelentős megterhelésnél. Ezért a néhány óráig vagy napig tartó levegőszennyezettség hatását valójában erősen korlátozott értelemben lehet csak összehasonlítani (még akkor sem, ha ismétlődik) az éves időskálán megnyilvánuló levegőszennyezettség következményeivel. Félrevezető, ha a mérésből származó, általában napi átlagos koncentrációértékeket értelmezzük éves határértékével való összehasonlítással.

Lehet-e kezdeni valamit a vörösiszappal?

A vörösiszap-tárolók felületi rétegét (0,8-1,0 m) a szélerezési megakadályozása érdekében a széntüzelésű erőművekben keletkező pernyével összekeverik, ami a pH csökkenéséhez vezet, majd szerves anyag adagolásával gyorsítják a talajképződést. Ezt követően füvesítenek. A vörösiszap hasznosításának egyik lehetséges útja a benne lévő gallium és vanádium kinyerése, amelyhez megfelelő technológiák már rendelkezésre állnak. Néhány helyen téglákat készítenek belőle, illetve cementgyártásnál adalékanyagként használják a vörösiszapot, újabban pedig a CO₂ elnyeléséhez alkalmazzák, ami a globális felmelegedés elleni küzdelem szempontjából fontos.

Radioaktív sugárzó-e a vörösiszap?

Valamennyire minden anyag sugárzó, így mindenhol mérhető természetes háttérsugárzás. A kibányászott bauxit is kis mértékben sugároz, de ennek a sugárzása is messze elmarad az egészségre káros mértéktől. Mivel a finomítás során a bauxitból nem sugárzó alumínium-oxidot nyernek ki, így a sugárzó anyag a vörösiszapban dúsul fel. A keletkező vörösiszap tömege mintegy fele az eredeti bauxiténak, így a sugárzás mértéke egységnyi anyagra vonatkoztatva legfeljebb kétszeresére nő meg. A Magyarországon található vörösiszap esetében ez még mindig messze van az egészségre káros értéktől. Az előntött területeken végzett mérések is azt mutatták, hogy a háttérsugárzás alig emelkedett meg. Az is nyilvánvaló, hogy ha erősen sugárzó lenne az anyag, akkor a tározóban egyben tárolt nagy tömegű anyag ebben a tekintetben sokkal veszélyesebb lenne, mint a nagy területre szétszórt anyag.

Mi a pH skála?

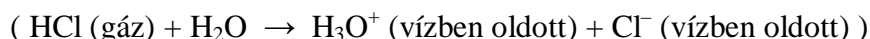
A pH-skála vizes oldatok savasságát, illetve lúgosságát méri. A tiszta, teljesen széndioxid-mentes víz pH-ja (25 °C) 7,00. Ez a pH skála semleges pontja. 7-es pH érték alatt savas, 7-es pH érték fölött lúgos oldattal van dolgunk.

Az oldatok savasságát az oldatban levő oxónium ionok (H₃O⁺), míg a lúgosságát a hidroxidionok (OH⁻) koncentrációja (az oldat literjeiben található ionok darabszáma) határozza meg.

Ha egy erős bázikus vegyületet, pl. NaOH-ot (nátrium-hidroxidot) vízben oldunk, OH⁻ ionokat viszünk be az oldatba, azaz lúgos oldatot kapunk.



Erős savak, pl. HCl (hidrogén-klorid) oldásakor H₃O⁺ ionokat viszünk be, azaz savas oldatot kapunk. (A HCl gáz vizes oldata a sósav.)



Picit részletesebben:

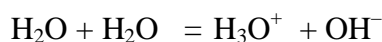
Ismeretes, hogy a pH-t eredetileg Sørensen definiálta 1909-ben a $\text{pH} = -\lg(c_{\text{H}^+}/c^\circ)$ kifejezés alapján, amelyben (a modern nomenklatura szerint) c_{H^+} az oxóniumionok koncentrációja mol·dm⁻³-ben, $c^\circ = 1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ pedig az ún. „standard anyagmennyiség-koncentráció”. Később kiderült, hogy célszerűbb a pH-t más módon definiálni, azonban a pH fogalmának pontos megértéséhez megfelelő termodinamikai és elektrokémiai ismeretek szükségesek. A pH szabatos (fogalmi, illetve mérési utasításon alapuló) definíciójával ezért itt nem foglalkozunk, de hangsúlyozzuk, hogy az alábbi kép nagyon leegyszerűsített.

A fentiek ismeretében tehát azt mondhatjuk, hogy a Sørensen által definiált pH értékét megkapjuk, ha az oldatban levő H₃O⁺ részecskék koncentrációját mol/dm³-ben megadva (1 mol/dm³ koncentráció megfelel 1 mol/liter-nek, 1 mol részecske $\approx 6\cdot 10^{23}$ db részecske) kiszámítjuk a koncentráció mérőszámának 10-es alapú logaritmusát, és ennek vesszük a -1-szeresét.

Azaz $\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+]$ *, ahol $[\text{H}_3\text{O}^+]$ * a mol/dm³-ben kifejezett koncentráció számértéke.

Ugyanígy pOH értéket is definiálhatunk, $\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-]$ *.

A tiszta vízben is megtalálhatjuk ezeket az ionokat a víz úgynevezett autoprotolízise miatt:



Mivel ebben a folyamatban ugyanannyi H₃O⁺ keletkezik, mint OH⁻, ezért ezek koncentrációja tiszta vízben megegyezik. Mivel tiszta vízben 25 °C-on $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1\cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$, ezért a $\text{pH} = \text{pOH} = -\log (1\cdot 10^{-7}) = 7,00$.

Nemcsak tiszta vízre de (híg, 25 °C-os) vizes oldatra mindig igaz, hogy $[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1\cdot 10^{-14}$. Ebből matematikailag következik, hogy $\text{pH} + \text{pOH} = 14$.

Mivel HCl erős sav, ezért vízben oldva protonját teljesen átadja egy vízmolekulának, így a H₃O⁺ koncentráció annyi, mint amennyi a HCl-re megadott koncentráció, azaz a pl. a 0,1 mol/dm³ koncentrációjú HCl-oldat pH-ja 1. (Míg pOH-ja 13.)

A NaOH erős bázis, oldásakor annyi mol OH⁻ kerül az oldatba, ahány mol NaOH-ot oldottunk. Így a 0,1 mol/dm³-es NaOH oldat pOH-ja 1, így pH-ja 13 (mivel $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1$).

Néhány jellemző pH érték

Háztartási sósav:	kb. „-1” (ilyen tömény oldatoknál csak formálisan adható meg)
Reagens sósav (1 mol/dm ³):	0
Gyomorsav:	1 és 2 között
Coca cola:	kb. 2,5
Bor:	kb. 3,5
Ásványvíz:	kb. 5,0
Víz (CO ₂ mentes):	7,0
Tengervíz:	kb. 8,0
Háztartási ammónia (NH ₃):	kb. 11,5
Reagens NaOH-oldat (2 mol/dm ³):	14,3

A fentiekben is látható, hogy a pH nem csak 0 és 14 közötti érték lehet, hanem 0-nál kisebb és 14-nél nagyobb értéket is felvehet, pontos határa nincs. Nagyon kis és nagyon nagy értékeknél már csak formálisan használható.

Milyen pH tartományban kell lennie a természetes vizeknek?

A vízminőséget pH értékre vonatkozóan a következő osztályokba sorolják (Magyar Szabvány 12 749):

I. osztály (kiváló):	6,5–8,0
II. osztály (jó):	8,0–8,5
III. osztály (tűrhető):	6,0–6,5 vagy 8,5–9,0
IV. osztály (szennyezett):	5,5–6,0 vagy 9,0–9,5
V. osztály (erősen szennyezett):	5,5 alatt vagy 9,5 fölött

Természetesen nem csak az alacsony, vagy magas pH érték miatt lehet a víz szennyezett. Hasonló osztályokat más kémiai anyagra vonatkoztatva is felállítottak.

A kiömlött lúgoldat miatt a Marcal folyón a pH elérte a 12-es értéket, azaz erősen szennyezett volt. A semlegesítésnek köszönhetően a pH 10-es értékig ment le, majd a közölt adatok szerint a Dunát pH=9,3-as értékkel érte el. A Dunában további hígulás miatt nem sokkal később már 8–8,3 értéket mértek, azaz jó vízminőségi osztályba lehetet besorolni a Duna vizét. (A levegőből megkötött CO₂ – szén-sav (H₂CO₃) képződése miatt – szintén csökkenti a lúgos pH-t.)

Mekkora a hypo pH-ja? Melyik veszélyesebb hypo vagy az elszabadult lúgoldat?

A kiömlött oldat pH-ja kb. 13 volt, míg a háztartási hypo pH-ja hozzávetőlegesen 12. Azaz a háztartási hypo kevésbé lúgos. *Ez nem jelenti azt, hogy kevésbé veszélyes!*

A hypo tulajdonképpen NaOH-oldatban kémiai oldott klórgáz (Cl₂). Oldódáskor NaCl (konyhasó) és NaOCl (nátrium-hipoklorit) képződik:



A NaOCl erős és tömény oldatban veszélyes oxidálószer, ennek az anyagnak köszönhető a hypo fertőtlenítő hatása.

Ha a hypohoz savat öntünk (pl. sósav), akkor a fenti (egyensúlyi) reakció visszafelé játszódik le, klórgáz keletkezik. Ez a reakció, azaz hypo és savas oldat összeöntése, felelőse számos háztartási és uszodai klórmérgezésnek. A klórgáz nagyon erős oxidálószer, az első világháborúban harcigázként használták.

ELTE Kémiai Intézet
e-mail: info@chem.elte.hu