

Összefoglaló tájékoztató a
**„RITKAFÖLDFÉMEK KINYERÉSE ÉS MÁSODLAGOS
NYERSANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA A VÖRÖSISZAP
KOMPLEX HASZNOSÍTÁSA KERETÉBEN”**

című és **GINOP-2.2.1-15-2017-00106** számú pályázati projektről

A konzorciumj tagjai: - **Martin Metals Kereskedelmi Kft** - konzorcium vezető
- **Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft**
- **Geovol Kft**
- **Golder Associates (Magyarország) Zrt**
- **Pannon Egyetem**

A vissza nem térítendő támogatás összege: **1,003 MILLIÁRD FORINT**, a projekt teljes költségvetése **1 480 767 324 Ft**.

Az eredmények rövid összefoglalása:

A projekt eredményessége jelentősen javíthatja a vörösiszappal, mint másodnyersanyaggal szemben tapasztalt előítélet csökkentését. A szitokszó jellegű elnevezést a projekt eredményeként a nemzetközi szóhasználatban már terjedő **bauxit maradvány (bauxit residue)** elnevezéssel helyettesíthetjük. Az elősemlegesítés lehetőséget biztosít, hogy a bauxit maradvány tározóban a lúgosság csökken, ami a feldolgozhatóságát jelentősen elősegíti. Ezen felül a tározó érintett környezetében a környezetvédelmi állapot javul annak okán, hogy a káros környezeti hatás (lúgos csurgalék víz megjelenése) csökken. A kinyert vasoxid dúsítmány vasérc helyettesítő anyagként történő felhasználásához vasműi kísérletek lennének szükségesek, de a vasgyártás válsága, majd leállítása Magyarországon erre nem nyújtott lehetőséget. A külföldi felhasználhatóságnak a jelenlegi recesszió a vasgyártásban nem kedvez. A bauxit maradvány betongyártásban való felhasználása komoly lehetőségeket vetít előre a cement és a drága kavics és homok megtakarítási lehetőségeivel. A semlegesítést nem igénylő felhasználás széles betonminőségek számára alkalmas adalék anyagot jelent, nyersbeton, beton idomok előállítására. Az egyetemi és kutatóintézeti munkák növelik a magyar tudomány tekintélyét, kellő alapot biztosít a ritkaföldfémek kinyeréséhez szükséges jelentősebb befektetések megalapozására. A bioleaching technológiák sikeressége jelentős további eredményes alkalmazási lehetőségeket vetít elő a különböző hulladékokból történő hasznanyagok, fémek kinyerésére. A klímakamrás és termőföldi kísérletek bizonyították a bauxit maradvány terméshatását lágú és fásszárú tesztnövények esetében, ez a mezőgazdaságban termelékenység növekedést eredményezhet. Az építőanyag kísérletek eredményei lehetőséget biztosítanak új anyagstruktúrák bevezetésére. A ritkaföldfémek kinyerési eljárásai bár jelentős befektetéseket igényelnek, de megalapozhatják a bauxit maradvány, mint nyersanyagbázis kiaknázását. Az építőanyagra, kötőanyagra létrehozott gyártóeszközök üzemeltetése a folyamatos gyártással, a megvalósított berendezések üzemeltetésével mintegy 35 fő számára biztosíthat munkalehetőséget.

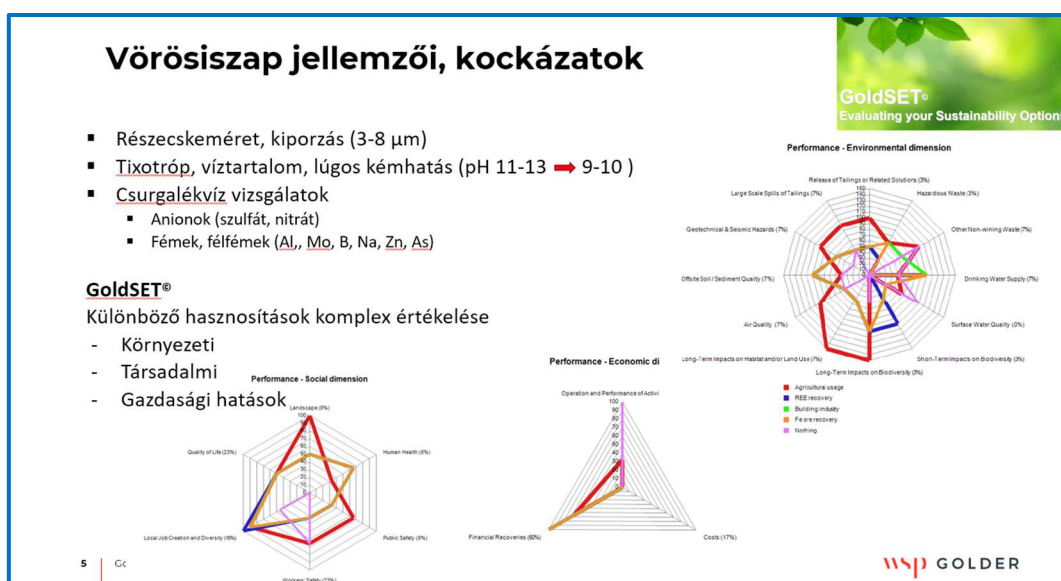
A projekt eredményeképpen csökkenhet a tárolt bauxit maradvány mennyisége, a tározók fenntartási költsége, a környező lakosság katasztrófa után kialakult lelki terhei. A tágabb környezetben javulhatnak projekt eredményei alapján az újra hasznosítással az ipar, az építőipar és a mezőgazdaság teljesítményei.

A konzorciumi tagok az alábbi rövid összefoglalás szerinti eredményeket érték el az 5 éves tevékenységük során:

1. A Golder Zrt eredményei:

A bauxit maradvány tározók a jelenlegi formájukban potenciális kockázatot jelentenek a környezetre; a környezeti levegő és a felszín alatti közeg (talaj, felszín alatti vízkészletek) többlet terhelését okozhatják. Különböző megközelítési módokon és különböző modellrendszerek (GoldSet, Phreeqc) alkalmazásával ezen környezeti hatásokat számszerűsítettük és a tervezett hasznosítási, felhasználási módszerek hatásait megvizsgáltuk. Jelen kutatási projektben öt különböző alternatív forgatókönyv környezeti, - társadalmi és gazdasági tényezőit vizsgáltuk meg, amelyekre külön-külön analízisek készültek. A Golder által kifejlesztett modell (GoldSet) segítségével így lehetőség nyílt megvizsgálni a ritkaföldfém ill. vasérc kinyerés, az építőipari vagy mezőgazdasági felhasználás következményeit, valamint annak a hatását, ha a tározó kazettákat továbbra is a jelenlegi állapotukban érintetlenül hagyjuk.

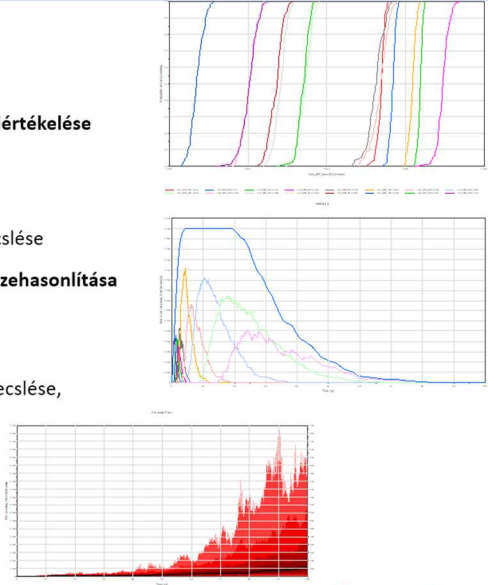
A Golder Zrt. megvalósíthatósági tanulmányt állított össze a számításba vett hasznosítási módszerekre és reziliencia vizsgálatot, karbonlábnyom meghatározást végzett. A tározótérben elhelyezett bauxit maradvány több hasznos felhasználási lehetőségeket rejt magában. A bauxit maradvány megfelelő hasznos felhasználása számos környezeti, gazdasági és teljesítménybeli előnnyel jár, mint pl. a természeti erőforrások megőrzése, a kitermelési tevékenységekből eredő levegő- és vízszennyezés csökkentése, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, a termelési költségek csökkentése és a felhasznált területek csökkenése, tájsebek felszámolása. Ez segíti a bauxit maradvány fenntartható kezelését olyan megközelítés elfogadásával, amely az anyag teljes életciklusa során (pl. kitermelés, gyártás, elosztás, felhasználás és ártalmatlanítás) az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt hatások csökkentését célozza.



Diák száma

GoldSim modellezés

- Valószínűségi alapú modellezés, eredmények statisztikai kiértékelése
- Ásványvagyonbecslés és készletértékelés
 - Vörösiszap mennyiségek meghatározása a tározókban
 - Főelem, ritkaföldfémek, nyomelemek mennyiségek becslése
- Technológiák sikerességének költség-haszon elemzése, összehasonlítása
 - Kitermelés ütemének meghatározása
 - Fémárak változásának becslése
 - Lehetséges feldolgozási technológiák sikerességének becslése,
 - Egyéb hasznosítások (cement alapanyag, talajjavító)
 - Költségek és bevételek CAPEX-OPEX elemzése



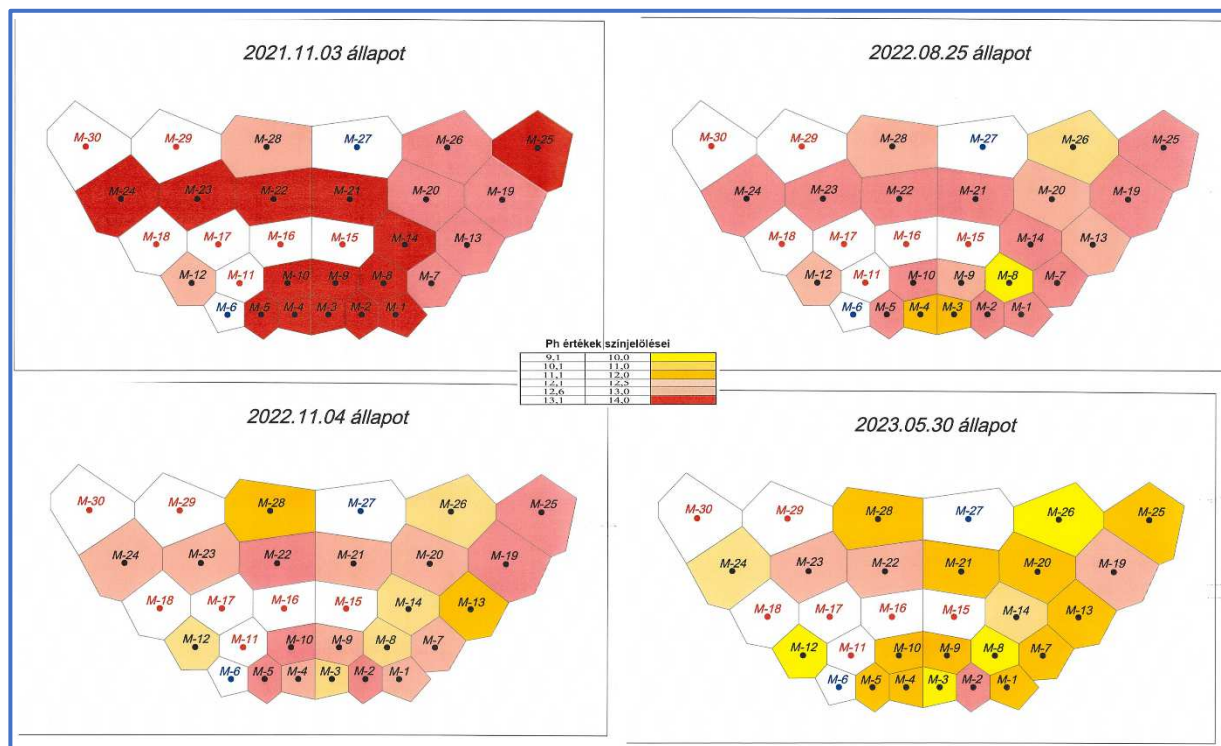
6 | Go to slide master to update this footer

GOLDER

2. A Geovol Kft eredményei:

A GEOVOL Tömegáru Fuvarozó és Földmunkavégző Kft ajkai telephellyel rendelkező gépi földmunkavégző társaság, amely a 2010. éveket követően az Ajka-Kolontár bauxit maradvány kazetták működtetésében és megkezdett rekultivációjában jelentős feladatokat végzett el, komoly tapasztalatokat szerzett a bauxit maradvánnyal végzett tevékenységekben, az ideiglenes és végleges tározók működtetésében, a hulladéktestből származó lúgos folyadékok kezelésében, emiatt logikus volt a projekthez történő csatlakozása.

A konzorciumi partnerek kutatásainak megkezdéséhez szükséges volt a Geovol által kifejlesztett kísérleti reaktorra, amely lehetővé tette a bauxit maradvány semlegesítését. Ezen berendezésben egyben meghatározásra kerültek a bauxit maradvány feldolgozhatósága szempontjából kiemelt pH csökkentés elérhető elméleti értékei, amelyeknek a meghatározása elengedhetetlen feltétele volt később a tározó mélyén történő kísérleteknek. A tározói hulladéktestekben próbakutak elhelyezése és kiértékelése után került kiválasztásra az alkalmas bauxit maradvány hulladéktestrészt, majd hatósági engedélyezés után adagolókutak és monitoringkutak épültek ki az engedélyezett X-es számú kazetta déli részén. A mélységi vizsgálatoknál periodikusan CO₂ dús folyadék beadagolására került sor a perforált kutakba, ezáltal a semlegesítő folyadék a bauxit maradvány hulladéktestbe jutott. A monitoringkutakból rendszeres szivattyús mintavételezéssel, majd laboratóriumi elemzéssel volt nyomon követhető a lúgosság változása. Terjedési modellezésekkel és eredmények kiértékelésével megállapításra került a széndioxid bauxit maradvány elősemlegesítés eredményessége, ami szerint a kutatás - fejlesztéssel érintett bauxit maradvány hulladéktestrészt lúgossága csökkent, ami megnyitotta a hulladék feldolgozottságának lehetőségét.



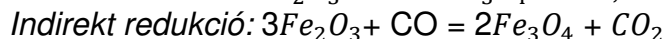
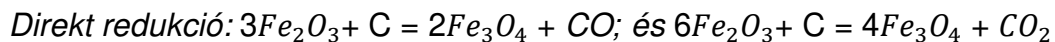
A tározóban vizsgált területen a lúgosság értékeinek változásai a semlegesítés hatására
(a fehérrel jelölt területek kutjai mérésre alkalmatlanok voltak)

3. A Martin Metals Kft eredményei

A vastartalom kinyerése:

Az ajkai bauxit maradványban jelentős arányban (35-40%) található vasoxid (hematit) nem mágnesezhető, de alacsony hőmérsékletű (500-550 C°) szénnel végzett redukcióval átalakítható magnetit, ami mágnessel kiszeparálható.

A kémiai reakciók:



A kinyert dúsítmány vasoxid tartalma 65-80%, ami ugyan nem jobb, mint a vasérc, de használható.

A kutatás és fejlesztés eredményt hozott a bauxit maradvány vastartalmának dúsítására másik módszer, az ívkemencével végzett kísérleteknél is. Itt is a vasércet megközelítő dúsítmányt sikerült előállítani (75-80% vastartalommal).

Ugyanakkor a bauxit dúsítmányban marad 5-10% alumínium is, ami rontja a felhasználhatóságot. A kinyerés költségei is magasabbak jelenleg, mint a vasérc ára. Ma az acélipar (elsősorban Dunaújváros) sem igényel érc helyettesítő anyagokat. Ugyanakkor a jövő számára, ha a vasérc fogyóban lesz, és drágul a kibányászása, a bauxit maradvány a kidolgozott eljárásokkal hasznos lehet.

Építőipari másodnyersanyagként történő hasznosítás:

A kutatás másik iránya, az építőipari hasznosítás nagyobb eredménnyel járt, megvalósult termelő beruházásokhoz vezetett.

Megvalósult egy pilot gyártó sor kalcium aluminát cement bauxit maradvány adalékkal történő gyártására. A tűzálló és gyorskötő cement kecsegtető lehetőséget biztosít az Ajkán megvalósult gyártó sor kihasználásához.



Anyagtároló és adagoló sor a kalcináló kemencével

A másik építőipari hasznosítási irány a bauxit maradvány, mint kavics és homok helyettesítő anyag, amely alumínium oxid tartalmának köszönhetően még cement megtakarítást is eredményez a betongyártásban. A megvalósult betongyár az inotai (Várpalota) ipartelepen található a Martin Metals erre épült csóri fióktelepén. A termelés a kísérleti üzem után a napokban kezdődött el.



Bauxit maradványt felhasználó betonkeverő telep



Betonjárda



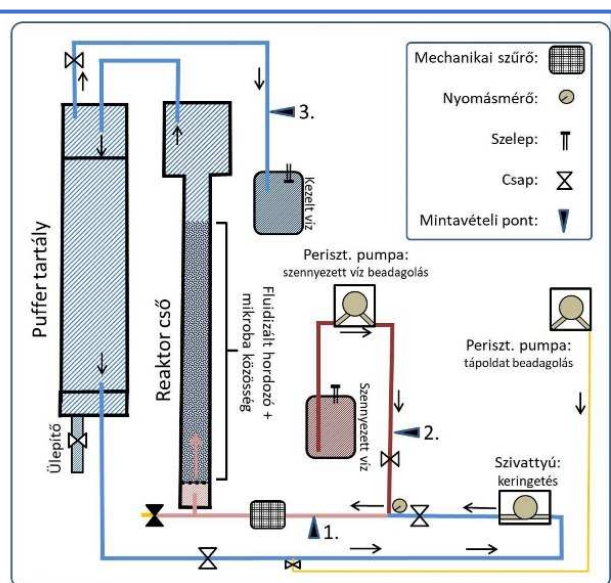
Üzemi betonpadozat



Elektromos autók töltőállomása

4. A Bay Zoltán Nonprofit Kft eredményei

A Bay Zoltán Nonprofit Kft Biotechnológiai Divíziója öt kutatási feladat megvalósítását végezte, melyek egy részében a vörösiszap vastartalmának baktériumokkal és növényi eredetű redukáló vegyületek alkalmazásával magnetitté történő átalakítását vizsgálta. A vörösiszap a vas mellett jelentős mennyiségben tartalmaz még alumíniumot és egyéb értékes fémeket, illetve ritkaföldfémeket, ezáltal fontos másodlagos nyersanyaggá válhat, amennyiben a benne lévő fémek megfelelő hatékonysággal, költséghatékonyan és szelektíven kivonhatók: eredményeinkkel igazoltuk a *Shewanella* baktériumok vasredukáló képességét a vörösiszap mintákon, tejipari melléktermékek, mint szénforrás hasznosítása mellett. A baktériumok alkalmasak voltak a vasredukációra, de a magnetit szintézisre sajnos nem. Növényi kivonatok (dió, kávé, vadszőlő és zöldtea) alkalmazásával, termikus lépést követően sikeresen állítottunk elő magnetitet vörösiszaphoz. A kutatási munkák második felében a vörösiszaphoz kioldott vas leválasztását vizsgáltuk. Ehhez szulfátredukáló baktériumokat alkalmaztunk szerves sav hozzáadása mellett. A folyamatos fémleválasztáshoz fluidágyas reaktort építettünk, melyen kialakított szűrő biztosította a folyamatos vasszulfid csapadék leválasztást. A berendezéssel több, mint 500 napig működő mikrobiológiai fémleválasztást valósítottunk meg 8L-es elrendezésben 7g vas/nap teljesítménnyel, mely eredmények alapján a technológia méretnövelése lehetővé vált. A vörösiszaphoz kioldható fémionok megkötésére bioszorbens anyagokat is vizsgáltunk. A legnagyobb fémmegkötő képességgel az élesztősejteket (natív és módosított) és a csalánból, körömvirágból és bazsalikomból előállított bioszorbenseket tudtuk alkalmazni kétértékű fémionok, savas (pH=4-4,5) oldatból történő megkötésére. Az eredmények alapján ezen biológiai eredetű anyagok alkalmasak fémion megkötésre alkalmazható adszorbensek alapanyagának. A vörösiszap szkandium tartalmának kinyerésére önmagában a biológiai megoldások sikertelennek bizonyultak, ezért végül olyan kémiai technológiai eljárási sort dolgoztunk ki és valósítottunk meg nagylaboratóriumi szinten, ami a vörösiszap komplex hasznosítását tűzte ki célul. A vörösiszap feldolgozás, átalakítás nem csak az értékes elemek (Ti, Sc) kinyerésére alkalmas, hanem a keletkező melléktermékek magas Ca és Al tartalmú anyagokra is, melyek tovább hasznosíthatóak.



Fluidágyas reaktor

5. A Pannon Egyetem eredményei

a. Építőipari fejlesztések

A vizsgálatok során a jellemzett, ismert összetételű agyagból különböző bauxit maradvány tartalmú **kerámia** agyagmasszák készültek, a bauxit maradvány tartalmat 5 – 40%(m/m) között változtattuk. Elmondható, hogy a bauxit maradvány adagolása még relatíve nagyobb mennyiségben sem jelent problémát gyártástechnológiai szempontból; javítja a masszák képlékenységét, csökkenti a zsugorodást. Az égetéskor elért nyomószilárdsági érték (40%(m/m) adalék mellett) több, mint a kétszerese a bauxit maradvány adalékolás nélküli próbatestek esetén mérteknek. Ez számottevő növekedés, ezen összetétel mellett elért szilárdság lehetővé teszi tervezett porozitás létrehozását, ami egyúttal jelentene nagy szilárdságot és kitűnő hőszigetelő képességet. Amennyiben tehát az a cél, hogy nagy szilárdságú, lehetőleg minél nagyobb bauxit maradvány mennyiséget „felvevő” kerámia terméket állítsunk elő, úgy a 40%(m/m) adalékanyag-tartalmú, 1050 °C-os égetés javasolt. Nem hallgatható el azonban az a tény, miszerint a kezeletlen bauxit maradvány p_H értéke nagy, ez a lúgos kémhatás óhatatlanul kihat a gyártósor szerkezeti anyagaira, korróziós folyamatok beindulását eredményezi. Fontos tehát a – a projektben eleve megcélzott – bauxit maradvány módosítása, jelen esetben annak semlegesítése.

A kerámiai termékekre vonatkozó kutatások mellett foglalkoztunk a kötőanyagipari felhasználhatóság vizsgálatával is. Munkánk során két irányban indultunk el, egyrészt laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk cementhabarcs próbatestek előállítására, másrészt betonozási kísérletek zajlottak, nem csak kísérleti szinten, hanem tényleges betonburkolatok előállítására.

A **cementhabarcs** próbatestek előállításakor három különböző bauxit maradvány alapanyaggal dolgoztunk: használtuk az eredeti és két olyan iszapot, ahol a lúgtartalom két különböző módszerrel (CO₂ és gipsz használata) csökkentve volt. A felhasznált bauxit maradvány mennyisége sorra 20 és 40%(m/m) volt. Megállapítható, hogy az adalékolás 20%(m/m)-os mértékben nem rontja a referenciaként használt cement-habarcsokon mért szilárdsági értékeket, sőt mind a hajlító-, mind a nyomószilárdság értékekben javulás tapasztalható, főként a kezelt bauxit maradványok esetén.

A **beton** próbatestek készítése a cementhabarcs vizsgálatok során kapott eredmények alapján történt, de jelentősen más paraméterek mellett. A kiindulási összetételeket első körben úgy választottuk meg, hogy az adalékanyagként szereplő murva mennyiségének rovására sorra 25,0, 37,5 és 50,0%(m/m) mennyiségű „eredeti” bauxit maradványt alkalmaztunk. A betonokra vonatkozó kísérletek folytatásaként változtattunk a komponensek arányain, valamint a murva helyett homokos kavics került felhasználásra. Ez értékelhető eredményt hozott a kialakuló szilárdsági sajátságokban. A nyomószilárdság csaknem a duplájára nőtt (max. 13,60-ról akár 25,58 MPa-ra) ami már jó eredménynek számít. Mindezen kísérleti munka a gyakorlati felhasználás szintjére is eljutott, a Martin Metals Kft. várpalotai telephelyén gépjármű parkolási célokra tényleges bauxit maradvány-bázisú betonburkolatok készültek, amik a mai napig is használatban vannak.

A klasszikus kötőanyagok mellett egy új, az OPC-től eltérő sajátságú anyagrendszerrel is foglalkoztunk, ezek az **alkáli aktivált cementek (geopolimerek)**. Az elvégzett kísérletek alapján elmondható, hogy alkáli aktivált rendszerek esetén a bauxit maradvány, mint adalékanyag kellő hatékonysággal felhasználható. A kapott eredmények (alapvetően a nyomószilárdság értékek) értékelése alapján elmondható,

van realitása a bauxit maradvány ilyen módon történő felhasználásának – természetesen a bemutatott peremfeltételek figyelembevételével.

A kísérleti munka végső szakaszában során EPG kombinált eljárással **metakaolin/bauxit maradvány alapú habokat** állítottunk elő az összetétel és a kísérleti paramétereinek optimalizálásával. A kísérleteink során megállapítottuk, hogy megfelelően hígított H₂O₂ oldat alkalmazásával, illetve a stabilizáló szer (Na-oleát) és peroxid (S/H) arányának változtatásával, kvázi tetszőlegesen szabályozható nyílt porozitású és pórusméret-eloszlású termékek állíthatók elő. Az előállított habosított próbatestek teljesíthetik a legtöbb olyan gyakorlati követelményt, amikkel a hőszigetelő anyagoknak és esetlegesen a katalizátorhordozóknak rendelkezniük kell. A fejlesztett termék nem gyúlékony, könnyen vágható, rágcsálóálló hab, ami megfelelő alternatívája lehet az üveghabnak.



Kerámia

Beton

Új típusú kötőanyag (AAC)

b. A talajhelyettesítő anyagok kutatása bauxit maradvány felhasználásával

A kísérletek célja a bauxit maradvány talajjavítási célra történő felhasználásának kutatása. A katasztrófa után megfigyelhető volt, hogy egyes növények a bauxit maradványos területeken erőteljesen fejlődtek (*A gaz is jobban nő, mint a bauxit maradvány előtt* – írta az origo.hu, ahonnan az alábbi kép is származik).

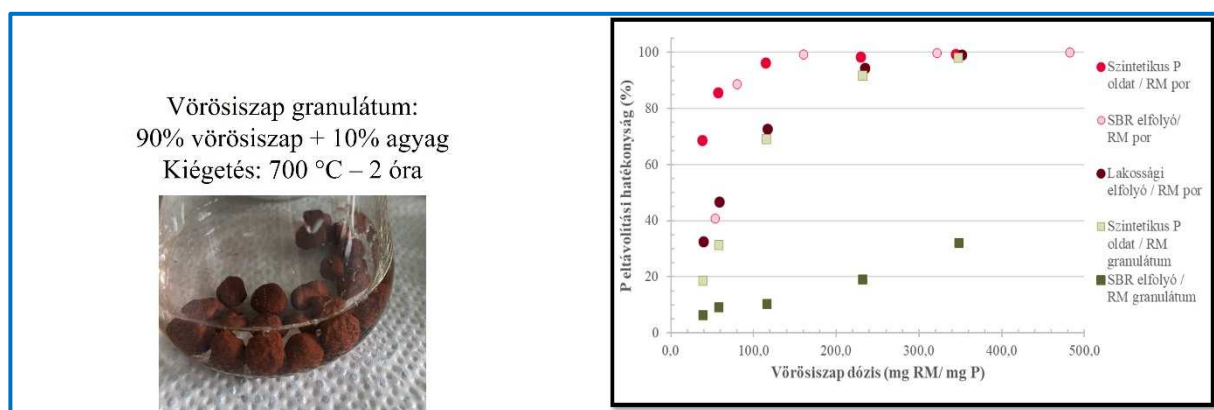


Ez is ösztönözte a kutatások megkezdését. A kísérletek egyik irányánál a szennyvíziszappal módosított talajhelyettesítő közeget használtak (talaj: iszap 2:1 tömegszázalék) bauxit maradvány kezelésekkel (0, 15, 30 térfogatszázalék), illetve balatoni iszappal módosított talajhelyettesítő közeget használtak (talaj: iszap 1:1 tömegszázalék) bauxit maradvány kezelésekkel (0, 15, 30 térfogatszázalék).

- Szennyvíziszap
- Vörösiszap dózis (15 m/m%; 30 m/m% vörösiszap)
- Növényfajok balról jobbra: 1.) Kocsányos tölgy (*Quercus robur L.*); 2.) Szibériai szil (*Ulmus pumila L.*); 3.) Mezei juhar (*Acer campestre L.*); 4.) Fehér nyár (*Populus alba L.*); 5.) Fehér akác (*Robinia pseudoacacia L.*); 6.) Sida (*Sida hermaphrodita L.*); 7.) Olasznád (*Arundo donax L.*)



A másik kutatási irány a bauxit maradványnak a felhasználása **kiégetett por és granulátum** formájában szennyvizek foszfortartalmának kinyerésére. A dúsabb foszfortartalommal a bauxit maradvány talajjavítóként használható foszfortartalmú műtrágyák helyett.



c. Ritkaföldfémek kinyerése

A kutatás során egy olyan módszer került kidolgozásra, amely lehetővé teszi a ritkaföldfémek (Sc, La, Ce) együttes kinyerését a vörösiszapból. A használt eljárás többek között részleges feltárás, ioncserés és folyadék-folyadék extrakciós módszerek kombinációjával éri el ezen anyagok hatékony kinyerését. Ezek segítségével a vörösiszapban található szkandium sokszorosára dúsítható, miközben a felhasználást zavaró anyagok mennyisége jelentősen lecsökken.

A kísérletek során a különböző elemek mennyiségének meghatározása induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriás (ICP-OES) módszerrel történt.

A vörösiszap és a módszerrel előállított termék összetétele

	Al ppm	Ca ppm	Ce ppm	Fe ppm	La ppm	Mg ppm	Mn ppm	Na ppm	Sc ppm	Ti ppm	Y ppm	Si ppm
Vörösiszap összetétele	90067	96547	731	278133	209	6557	4449	35533	93	21453	119	191
Oxalátos csapadék összetétele	175	67424	71400	80	31607	0	0	357	17240	125	125	1176
Szerves extrakcióval nyert oldat összetétele	1295	4943	1500	3153	1108	631	0	716	16909	0	23	1523



Analitikai vizsgálatok a Pannon Egyetem laboratóriumában

Az egyik figyelemre méltó jellemzője a kidolgozott módszereknek, hogy a nem megfelelő koncentrációjú frakciókat a folyamat korábbi fázisába visszavezetheti. Ez nem csak környezetvédelmi, hanem gazdaságossági szempontból is előnyös, hiszen a szennyezett anyagokat nem kell megsemmisíteni, hanem azok visszaforgatásával az értékes anyagok fokozatosan koncentrálnak és idővel hasznosíthatók. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a gazdasági számítások alapján a ritkaföldfémek kinyerése a vörösiszapból önmagában jelenleg még nem gazdaságos, ezért a hasznosítás során más elemek kinyerését is érdemes mérlegelni, ami elősegítheti a vörösiszap komplex újra hasznosítását.

Összesítve megállapítható, hogy a kutatás-fejlesztés eredményeként

- jelentős tudás-gyarapodás,
- új eljárások, értékesíthető know-how,
- megvalósult technológiák és berendezések,
- megindult termelési folyamatok

születtek, melynek eredményeként **elindult az ajkai bauxit maradvány (vörösiszap) újra hasznosítása.**

2023.10.16.

Penk Márton
ügyvezető igazgató
Martin Metals Kft
konzorcium vezető