

Ember,  
természet,  
gazdaság,  
környezet

Komárom-Esztergom  
megyében

Tudományos szerkesztő

ANTON ATTILA

Szerkesztő

E. NAGY LAJOS

Gesher Kft. 2014

Kiadó: Gesher Kft.  
1027 Budapest, Vitéz utca 5–7.

Tudományos szerkesztő: ANTON ATTILA  
Szerkesztő: E. NAGY LAJOS

A kötet megjelenését támogatta a [kornyezetvedelem.co.hu](http://kornyezetvedelem.co.hu).

A megjelent anyagnak – vagy egy részének – bármely formában való másolásához, felhasználásához, ismételt megjelentetéséhez a kiadó írásbeli hozzájárulása szükséges. A kötet szerzői szakterületük elismert szakértői, a tanulmányok az ő szakmai véleményüket tükrözik, a szerkesztőségnek nem feladata ezen vélemények, kutatási információk szakmai felülvizsgálata, bírálata.

ISBN 978-963-12-0223-6

Nyomdai munkálatok: Double Printing Kft.

# A vörösiszap mint másodlagos nyersanyag

SZÉPVÖLGYI JÁNOS EGYETEMI TANÁR, AZ MTA DOKTORA

Az almásfüzitői zagytározókon tárolt vörösiszap – a vörösiszapok tulajdonságainak és hasznosítási lehetőségeinek vizsgálatával foglalkozó szakirodalom [1-3] szerint – mennyiségénél, fizikai tulajdonságainál és értékes fémtartalmánál fogva elsősorban nem hulladéknak, hanem másodlagos nyersanyagként tekinthető.

A vörösiszapok feldolgozási lehetőségeinek tanulmányozása, a hasznosításukra alkalmas eljárások kifejlesztése mind műszaki, mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból kiemelt fontosságú. A vörösiszapok akár csak részleges hasznosításakor ugyanis számottevően csökkenthető a környezetterhelés: egyrészt kisebb terület kell a tároláshoz, másrészt csökken a lerakás miatti esetleges talaj-, víz- és levegőszennyezés veszélye. Ezen túlmenően egyes értékes fémalkotók kinyerése akár stratégiai fontosságú is lehet.

A vörösiszapok hasznosítását több tényező, így a nedvességtartalom, a lúgtartalom, a reológiai sajátságok, a szemcseméret, a fajlagos felület, a fázisviszonyok, a főalkotó fémek és a ritkafémek koncentrációja, valamint számos más jellemző befolyásolja.

A hasznosításnak két fő iránya van. Az egyik szerint a vörösiszapot, mint adott fizikai és kémiai tulajdonságú anyagot – szükség szerinti előkészítés után –, alkotóinak szétválasztása nélkül használják fel különböző célokra [4], így

- a talajnedvesség és a tápanyagok visszatartására mezőgazdasági területeken
- egyéb anyagokkal kombinálva tározók falának építésére
- vízzáró rétegek kialakítására hulladéktárolóknál
- veszélyes hulladékok stabilizálására és megkötésére
- cementgyártásnál adalékanyagként
- építőanyagok előállítására
- mérnöki alkalmazásoknál geopolimerek előállítására
- a vaskohászatban agglomerátumok és pelletek gyártására
- polimer kompozitok töltőanyagként építőipari termékek előállítására
- katalizátorként különböző kémiai reakciókban
- folyékony hulladékok kezelésére adszorbensként vagy kicsapószerként.

A másik fő hasznosítási irányt a vörösiszap egy vagy több alkotójának elválasztása, majd külön-külön értékes termékekké történő átalakítása jelenti. Magas vastartalma

miatt a vörösiszap jó minőségű vaskohászati alapanyagként hasznosítható, feltéve, hogy a benne levő nátriumvegyületeket (amelyek megtámadják a kohászati berendezések falazatát) előzőleg elválasztjuk a vastartalmú fázisoktól. Titán- és egyéb ritkafém-tartalma miatt pedig ritkafém-forrás is lehet a vörösiszap.

A hasznosítási megoldások az alkalmazott segédanyagokban, az egyes technológiai lépésekben, az egész rendszer komplexitásában (nevezetesen abban, hogy a vörösiszap alkotói közül melyeket alakítjuk át értékes termékekké), valamint a gazdaságosan feldolgozható anyagmennyiségben térnek el egymástól. A feldolgozási technológiák kiválasztásakor több szempontot kell mérlegelni. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- mennyi a feldolgozható vörösiszap mennyisége?
- a feldolgozás révén milyen mértékben csökken a környezetterhelés?
- képződik-e újabb hulladék a feldolgozás során?
- az elképzelt technológia iparilag megvalósítható-e?
- nem veszélyes-e a technológia?
- mennyi a hozzáadott érték?
- a technológia megvalósítását az érintett lakosság támogatja-e?

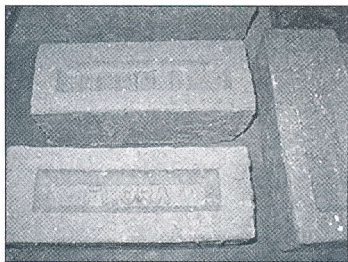
Ami egyértelműen leszögezhető, hogy a vörösiszapok hasznosítására nincs *panacea*: minden esetben a műszaki, környezetvédelmi, gazdasági és társadalmi hatások figyelembevételével kell kiválasztani a megfelelő megoldást. Az esetek többségében ez nem egyetlen módszert vagy technológiai lépést jelent, hanem többféle eljárást kell egymással kombinálva alkalmazni. A következőkben néhány példán keresztül mutatjuk a hasznosítási és feldolgozási lehetőségeket.

## A vörösiszapok közvetlen hasznosítása alapanyagként és adalékként

### *Tégla- és cserépgyártás, kerámia termékek előállítás*

Számos adalékanyagot és módszert fejlesztettek ki vörösiszap-alapú, vagy vörösiszapot is tartalmazó keverékek építőipari termékekké történő átalakítására. Ezen eljárásoknál a vörösiszapot jellemzően más hulladékkal és különböző hidraulikus kötőanyaggal, így cementtel, gipsszel, vízüveggel vagy kohósalakkal elegyítik, az elegyet formázzák, majd magas hőmérsékleten hőkezelik, ezáltal alakítva ki a termékek végső tulajdonságait.

A téglagyártás nagy mennyiségben használhat fel vörösiszapot: a téglamasszába 20-70% keverhető be, ha a vörösiszapot megfelelő egyéb (tulajdonságjavító, pórusképző és módosító) komponensekkel egészítik ki. Ezt a viszonylag egyszerű technológiát Indiában és Kínában kiterjedten alkalmazzák. A felhasználhatóság kapcsán vizsgálták vörösiszapot tartalmazó téglák (*1. kép*) jellemzőit, és megállapították: azok elég szilárdak ahhoz, hogy belőlük egyszintes épületeket lehessen felhúzni.



1. kép. Vörösiszapból előállított téglák

Hazai kutatók korábban csökkentett zsugorodású, kevésbé repedező tűzálló anyagok előállítására dolgoztak ki eljárást agyagásványok, vörösiszap, fémtartalmú hulladékok, tőzeg és zeolit keverékéből [5].

### *Cementgyártás*

Megfelelő komponensekkel kiegészítve és az összetelteli korlátokat figyelembe véve a vörösiszap a cementgyártás hasznos segédanyaga lehet. Indiában évente mintegy 2,5 millió, míg Kínában mintegy 800 ezer tonna vörösiszapot használnak fel cementgyártási adalékként.

A vörösiszap megfelelő hőkezeléskor cementhez hasonló, gyors hidraulikus kötésre képes anyaggá alakul át, amely cementhez keverve növeli az abból készített beton szilárdságát.

### *Üvegek és üvegkerámiák előállítása*

Mivel a vörösiszapok az üveggyártás valamennyi főkomponensét tartalmazzák, megfelelő minőségű és mennyiségű segédanyagokkal a vörösiszapokból széles választékban lehet üvegtermékeket előállítani.

A vörösiszapból gyártott üvegek tulajdonságai nagymértékben javíthatók, ha azokat újra megolvasztják, majd adalékanyagok jelenlétében szabályozott körülmények között, lassan lehűtik. Ily módon 30-90%-ban kristályos fázisok jönnek létre, és a képződött ún. üvegkerámia számos előnyös mechanikai, termikus, kémiai, elektromos és mágneses tulajdonsággal rendelkezik. A tulajdonságok széles határok között változtathatók, az alapüveg összetételétől, valamint a hőkezelés és kristályosítás körülményeitől függően.

### *Töltőanyagok készítése*

Újabb vizsgálatok [14] szerint a vörösiszapok valójában nanoanyagok, elsődleges szemcséik jellemzően 50-100 nm (0,05-0,15  $\mu\text{m}$ ) méretűek. Ezt az adottságot kihasználva vörösiszapokból sokféle töltőanyag állítható elő, amelyek a gumigyártástól az építőiparon át az útépítésig széles körben felhasználhatók. A savval kezelt vörösiszap például töltőanyagként javítja a gumi tulajdonságait, és a korom alternatívájaként jöhet számításba. Japánban vörösiszapból és vulkáni hamuból műtalaj kialakítására alkalmas pelleteket állítottak elő.

### *Társított anyagok előállítása*

A vörösiszap jelenlétében végzett polimerizációs reakciókban, valamint polimerek és vörösiszap társításával számos kedvező tulajdonságú építőipari, vegyipari és más termék gyártható. Ha például a polivinil-kloridhoz (PVC) vörösiszapot adnak töltőanyagként, kitűnő mechanikai tulajdonságú, hő- és fényálló társított anyag állítható elő, amelyből különböző használati tárgyak és szerkezeti anyagok készíthetők.

### *A vörösiszap, mint katalizátor*

A vörösiszap katalitikus sajátságainak vizsgálatával sokan foglalkoznak: becslések szerint a vörösiszap-kutatások 12-15%-a e területre esik. A kémiaiilag módosított vörösiszap megfelelő katalizátornak bizonyult egyes szerves kémiai reakciókban, füstgázok kezeléskor, vagy egyes polimerek folyékony üzemanyagokká történő átalakításában [8].

### *Környezetvédelmi alkalmazások*

A vörösiszapot széleskörűen alkalmazzák a környezetvédelemben, többek között savanyú és sós talajok javítására, valamint homokos talajoknál a foszforvisszatartás növelésére. Használják továbbá talajok termőképességének fokozására, megfelelő adalékokkal (gipszszel és különféle műtrágyákkal) keverve. Nagy fajlagos felülete és kedvező adszorpciós sajátságai miatt a vörösiszap szennyvizekből nitrogént és foszfort, valamint nehézfémeket [9] képes megkötni.

### *A vörösiszapok alkotóinak szétválasztása és átalakítása értékes termékekké: komplex feldolgozás*

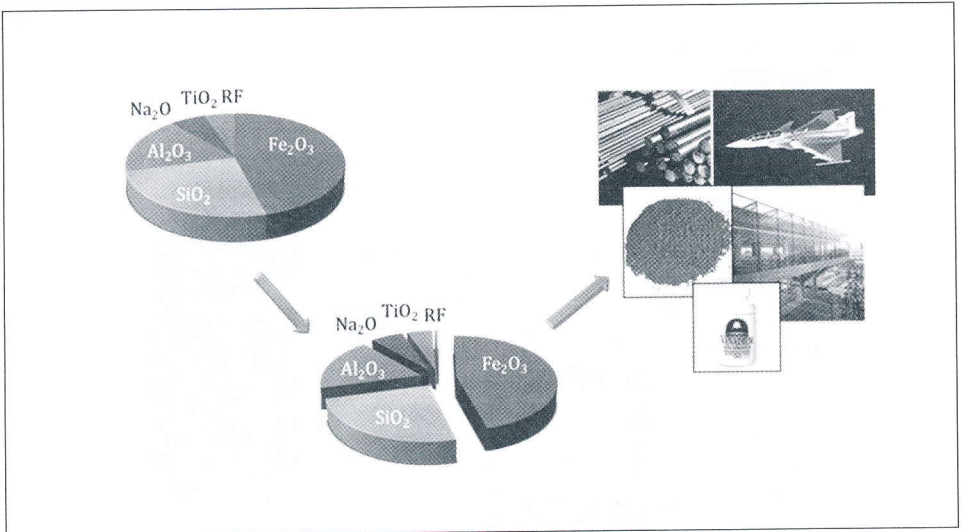
A vörösiszapok hasznosításának környezetvédelmi és gazdasági szempontból is hatékony módja a komplex feldolgozás. Ennek lényegét a 2. ábra mutatja: a vörösiszap egyes alkotóit lépésenként elválasztjuk egymástól, és arra törekszünk, hogy lehetőleg mindegyik komponensből értékes terméket állítsunk elő. Ez a gyakorlatban többlépcsős feldolgozást jelent. Az egyes alkotók célszerű elválasztási sorrendje

- nátriumtartalom
- vastartalom
- titántartalom
- vanádium-tartalom
- egyéb (ritka- és ritkaföld-) fémek
- feldolgozási maradék.

A szakirodalomban nagyon sok közlemény foglalkozik az egyes komponensek elválasztásával és termékekké történő átalakításával. Gyakori, hogy egy-egy eljárással egyszerre több komponenst nyernek ki és dolgoznak fel. A továbbiakban először az egyes alkotók kinyerését, majd a komplex feldolgozás lehetőségeit tekintjük át.

### *A nátriumtartalom elválasztása*

Mivel a vörösiszap nátriumtartalma legtöbb esetben zavarja a többi alkotó kinyerését és feldolgozását, a nátrium elválasztása a vörösiszap hasznosításának kulcskérdése. Ráadásul, ha a kinyert nátrium-oxidot visszavezetik a timföldgyártásba, ez csökkenti a környezetterhelést és a bauxit-feldolgozás költségeit is. Nátrium-mentesítésre leggyakrabban hidrometallurgiai és pirometallurgiai eljárásokat alkalmaznak. (1. ábra)



1. ábra. A vörösiszapok komplex hasznosításának elve

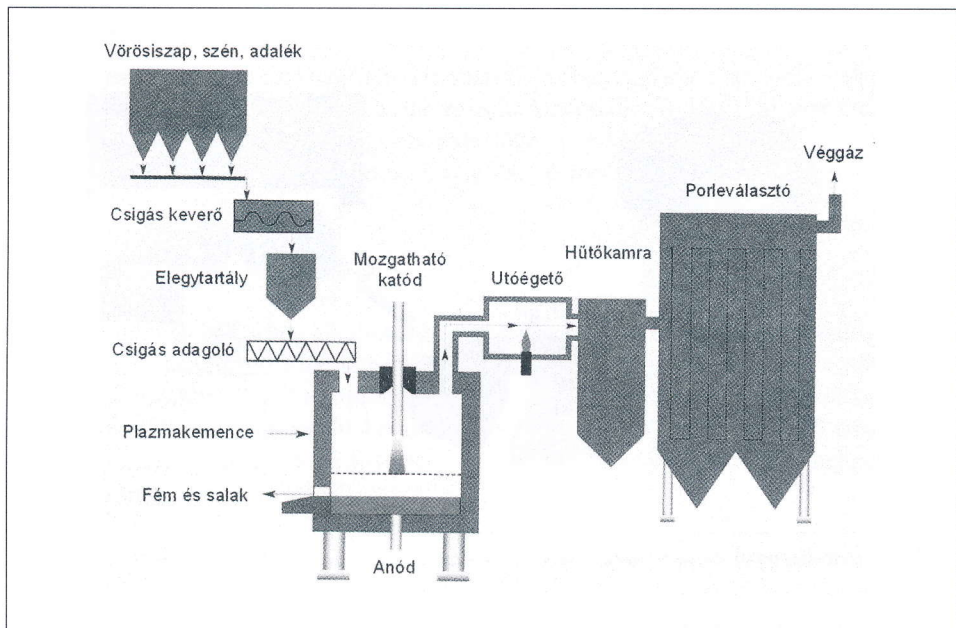
### A vastartalom kinyerése

A vörösiszap vastartalma közvetlen kohósítással, egyéb pirometallurgiai (például klórozásos) módszerekkel vagy hidrometallurgiai eljárásokkal nyerhető ki. A vörösiszap hasznosítására irányuló kutatások és fejlesztések fő irányát mind a mai napig a vastartalom kinyerése és hasznosítása jelentik. (2. ábra)

Ilyen irányú kutatások korábban hazánkban is folytak. Ezek közül kiemelkedik Dobos és munkatársainak tevékenysége a 60-as évek második felében [10]. Az általuk kidolgozott, félüzemi méretekben is kipróbált technológia a következő lépésekből áll: kausztifikálás, szinterelés és redukálás forgókemencében, mágneses elválasztás, majd a salak lúgos kezelése az alumínium-tartalom kioldására. A kezelés szilárd maradéka bevihető a cementgyártásba. A fémkinyerési hatásfokok a következők: vas 83%, nátrium 75% és alumínium 90%. A legújabb kutatások közül Lú és munkatársai munkáját [11] említjük. Vörösiszap, aktív szén és mészhidrát elegyből készített brikettek hőkezelésével és ezt követő mágneses elválasztással a vastartalom több mint 90%-át fémként kinyerték.

A vörösiszap elektromos ívkemencében, szénrel végzett redukcióját korábban már üzemi méretben is kipróbálták [12]. A technológiában a vastartalom közel 98%-át kinyerték. Eközben a vörösiszap ritkafém-tartalmának jelentős része a salakba került, ahonnan az egyes fémek hidrometallurgiai módszerekkel elválaszthatók.

Az MTA Természettudományi Kutatóközpontban egy NKFP projekt keretében vizsgálták szénporral, mint redukálószerrel és kvarchomokkal, mint üveggépző adalékkal kevert vörösiszap redukcióját ívplazmás reaktorban. Kísérleteikre, valamint szakirodalmi előzményekre alapozva megterveztek és műszaki-gazdasági szempontból értékelték egy évente 50.000 tonna vörösiszap feldolgozására alkalmas, ívplazmás redukción alapuló üzemet [13]. Az ebben alkalmazott technológia vázlata a 3. ábrán látható. Számítások szerint az adott technológiai beruházás megtérülési ideje kevesebb mint 4 év. A számításokból kiderült az is, hogy



2. ábra. Vörösiszapok vastartalmának kinyerésére alkalmas ívplazmás technológia vázlata

- az üzem működési költségeinek közel 65%-át a villamos energia költsége teszi ki
- az eljárás gazdaságossága nagymértékben függ attól, hogy a lerakás elmaradásával milyen megtakarítással számolhatunk; a gazdaságosság előfeltétele, hogy a megvalósító ezt a költségtényezőt érvényesíteni tudja.

### A titántartalom kinyerése

A titántartalmat célszerűen a vörösiszap vagy annak metallurgiai feldolgozásakor keletkezett salak kénsavas feltárásával vagy klórozásával lehet kinyerni. Az almaszfűzitői vörösiszap viszonylag nagy koncentrációban (3-4%) tartalmaz titán-oxidot, így ennek kinyerése műszaki és gazdasági szempontból is fontos eleme lehet a feldolgozásnak.

### Ritkafémek kinyerése

A vörösiszap tartalmazza mindazokat a ritkafémeket, amelyek a Bayer-feltárás során részlegesen vagy egyáltalán nem oldódnak be a lúgoldatba. A vanádiumon és a titánon kívül a hazai vörösiszapok jellemzően 1500-2500 ppm (azaz 0,15-0,25%) ritkafém-tartalmaznak. Ezek az értékek a földkéreg 16 km-es felső rétegére vonatkoztatott ún. Clarke-értékek többszöröse. A vörösiszap tehát potenciális ritkafém forrásnak tekinthető. Nyilvánvaló azonban az is, hogy az adott koncentrációviszonyok mellett a vörösiszap önálló ritkafém-forrásként nem jöhet számításba; a ritkafém-tartalom hasznosítását össze kell kapcsolni az előzőekben említett főalkotók kinyerésével.



### *A vörösiszap komplex feldolgozása*

Az előzőekben láttuk, hogy már sokféle módszert és eljárást próbáltak ki a vörösiszap egyes alkotóinak elválasztására és értékes termékekké történő átalakítására. Ezekkel a módszerekkel az újonnan képződő, illetve már lerakott vörösiszap kisebb-nagyobb hányadát lehet feldolgozni. Az eddigi kutatások és fejlesztések ugyanakkor azt is nyilvánvalóvá tették, hogy a vörösiszap lerakásából származó környezeti hatások csak az anyag nagy tömegét érintő, lehetőleg annak összes alkotóját hasznosító technológiákkal csökkenthetők.

A vörösiszap komplex feldolgozását célzó fejlesztésekkel világszerte kevesen foglalkoznak. Ebből adódóan ipari méretű komplex vörösiszap-feldolgozásról még nem beszélhetünk. Az okok felsorolása meghaladja a jelen tanulmány kereteit.

Ugyanakkor számos értékes, és a jövőben mindenképpen mérlegelendő elképzelés és javaslat született e témakörben. Ezek közül – hazai vonatkozása és a vizsgálatok széles spektruma miatt – az A/13 OKKFT és a már korábban hivatkozott NKFP programok keretében végzett kutatási és fejlesztési tevékenységre utalunk. A két programban sokféle technológiai megoldást vizsgáltak a vörösiszap egyes alkotóinak kinyerésére és értékes terméké történő elválasztására [14]. Ezekből összesen hét különböző technológiai sort állítottak össze. Ezek a feldolgozás komplexitásában és a kezelt vörösiszap mennyiségében tértek el egymástól. Az egyes technológiai változatokról részletes műszaki-gazdasági értékelés készült. Ennek alapján már a jelenlegi gazdasági feltételek mellett is létezik rentábilis megoldás a vörösiszap, mint másodlagos nyersanyag feldolgozására.

## Zárógondolatok

A vörösiszapok hasznosítása, a lerakásukból származó környezetterhelés csökkentése bonyolult problémakör, melynek kezeléséhez számos műszaki, környezetvédelmi, jogi és gazdasági kérdést kell megoldani.

Világszerte hosszabb idő óta folynak kutatások és fejlesztések a vörösiszapok hasznosítására, ezeknek magyar szakemberek is aktív részesei voltak. Jelentős ismeretanyag halmozódott fel itthon és külföldön a vörösiszapok tulajdonságaival, tárolásával és feldolgozásával kapcsolatban. Sokféle javaslat is született a hasznosításra, de a műszaki, környezeti és gazdasági szempontból egyaránt megoldást jelentő komplex feldolgozást ipari méretben még nem valósították meg.

Tekintettel a hazai kutatási-fejlesztési előzményekre és a rendelkezésre álló szakmai ismeretekre, célszerű volna elindítani egy olyan hazai vagy nemzetközi projektet, melynek célja a vörösiszap hasznosításával kapcsolatos eredmények kritikai áttekintése és a korábban kidolgozott eljárások műszaki és gazdasági újraértékelése. Ezen értékelés alapján már megalapozottan lehetne döntést hozni a hazai vörösiszapok hasznosítását célzó kutatások, fejlesztések és beruházások újbóli elindításáról.

A jelenlegi gazdasági- és tulajdonviszonyok mellett nyilvánvaló, hogy már a kutatási fázisban, de még inkább az ipari megvalósítás során az állami és magánszektor együttműködésére van szükség. Fontos tény e tekintetben, hogy minden, a vörösiszap hasznosításával kapcsolatos életképes hazai megoldás széleskörű nemzetközi érdeklődésre tarthat számot.

## Irodalom

- SZÉKELY T, SZÉPVÖLGYI J: BKL-Kohászat (1986) 118(6) 279
- THAKUR RS, DAS SN: Red mud - Analysis and Utilization. Wiley-Eastern, New Delhi, 1994. pp. 1-291.
- LUIDOLU S, ANTREKOWITSCH H: BKL-Kohászat (2011) 144(3) 34  
[www.icsoba.info/past-future-events/icsoba-2011-go](http://www.icsoba.info/past-future-events/icsoba-2011-go)
- SZÉKELY T, SZÉPVÖLGYI J ET AL: 200434 Ijsz. magyar szabadalom, 1986. dec. 19.
- TSAKIRIDIS PE, AGATZINI-LEONARDOU S: J. Hazard. Mater. (2004) 116(1-2) 103
- NIPPON LIGHT METAL Co: Japanese Patent 57188449, Nov. 19, 1982.
- BALAKRISHNAN M ET AL: Green Chem. (2011) 13 16
- GUPTA VK, GUPTA M ET AL: Water Res. (2001) 35(5) 1125
- DOBOS GY, SOLYMÁR K, HORVÁTH GY: BKL Kohászat (1972) 105(9) 417
- LIU W, YANG J, XIAO B: J. Hazard. Mater. (2009) 161 474
- PIGA L, POCHETTI F, STOPPA L: J. Metals (1993) 11 54
- SZÉPVÖLGYI J: Jelentés a 3/035/2001 sz. NKFP projekt 14. részfeladatának teljesítéséről. MTA KK AKI, Budapest, 2004. jan. 31.
- SZÉPVÖLGYI J, KÓTAI L: MKL (2012) 67(12), 362