

PERGE KINGA

A tudomány a katasztrófavédelem szolgálatában: a vörösiszap-katasztrófa

2010. október 4-én kora délután átszakadt a Magyar Alumíniumtermelő és Kereskedelmi Zrt. ajkai timföldgyárához tartozó iszaptároló X. kazettájának gátja. A tizenhat méter magas tározó falában ötven-hatvan méteres rés keletkezett, ennek következtében a vörösiszap és az erősen lúgos víz elegye, belépve a Torna patak medrébe elöntötte hat, Ajkától nyugatra fekvő település mélyebben fekvő belterületi részeit (Kolontár, Devecser, Somlóvásárhely, Tüskevár, Apácatorna és Kisberzsény). Az erősen lúgos, maró hatású ipari hulladék felbecsülhetetlen humán, gazdasági és ökológiai károkat okozott a térségben. A katasztrófában tíz ember életét veszítette, több százan pedig az otthonukat, vagyonukat, vállalkozásukat veszítették el. Az iszapáradat Kolontáron két utcában negyven lakóházat és két önkormányzati épületet, Devecserben tizenkilenc utcában kétszázharminc lakóingatlant érintett.

A gátszakadás után azonnali reagálásra volt szükség, cselekvési és elemzési szinten egyaránt. A példa nélküli eset példa nélküli megoldásokat követelt, és a legjobb szakembereket igényelte. Munkájukat a Központi Koordinációs Bizottság Tudományos Tanácsa koordinálta szoros együttműködésben az Operatív Törzsszel és az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság szakmai képviselőivel. A részletes ismertetés egyik célja, hogy megfelelőképp méltassuk a szakértők hozzáállását a segítségnyújtáshoz: a veszélyhelyzetben példás magatartással álltak helyt a polgári védelem szolgálatában. Az most bemutatott tanulmányok a kutatók önkéntes felajánlásaiból születtek, ami még inkább kiemeli a szakemberek munkájának értékét. Az elemzések a térinformatika, távérzékelés tárgykörén belül mozognak, annak újszerű megoldásait mintegy eszközként alkalmazva a tudományos környezetben, a katasztrófa körülményeinek jobb megértésének érdekében.

A kiterjedés meghatározása

Az első, azonnali reagálást, az emberek mentését az információhiány követelte. Az időjárási viszonyok és a felhőalap alacsonyysága miatt helikopterrel

tudtak az előtött terület fölé emelkedni, és onnan felvételeket, videókat készíteni, a helyzet elemezhetőségének érdekében. 2010. október 6-án az MTI fotográfusa, H. Szabó Sándor fotózta végig az érintett területet. A ferde tengelyű, átnézeti felvételek lehetőséget adtak arra, hogy speciális térinformatikai program segítségével elsődleges, durva becslést adjunk az előtött terület nagyságáról, ami az adott pillanatban fontos információ volt. A helikopteres felderítés felmérése szerint Kolontáron három, míg Devecserben hét hektár állt iszap alatt (1. számú ábra).

A helyzet jobb megértéséhez azonban szükséges volt a pontosabb kiterjedés meghatározása is, amelyhez nemzetközi segítséget is kért a katasztrófavédelem. Ennek érdekében aktiváltuk a GMES ERS-t (*Global Monitoring for Environment and Security, Emergency Response Services*; Globális környezeti monitoring- és információs rendszer, veszélyhelyzeti reakálási szolgáltatások)¹. Ez az európai uniós projekt űrfelvételekből, légi felvételekből levett tematikus térképek segítségével hivatott segíteni, támogatni a polgári védelmi egységek munkáját. A megfelelő kimeneti termék előállítása érdekében a GMES-konzorcium egyik tagja, a német légi- és űrközpont (*Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt; DLR*) légi felvételeket készített a területről, amint azt az időjárási viszonyok lehetővé tették. Ezen kívül nagy felbontású űrfelvétel is készült a tározóról.

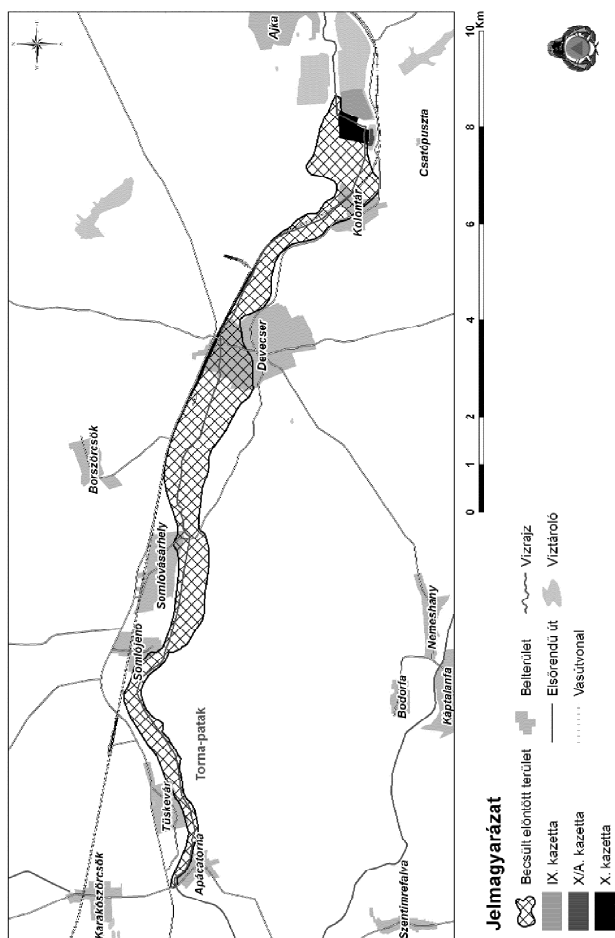
A katasztrófa utáni néhány napban egyre világosabbá vált, hogy a helyzet súlyosbodhat. Bizonytalan volt, hogy a X. kazetta északnyugati sarkának átszakadásával a műtárgy statikusan gyengült-e meg, és ez okozhat-e további gátszakadást és iszapömlést. Mivel a katasztrófa utáni napokban további repedések jelentek meg az északi gátfalon, és a IX. kazettától elválasztó gátfal is bizonytalan stabilitású volt, OKF-es szakértői vélemények és a tudományos élet képviselőinek álláspontja alapján október 8-án a belügyminiszter két rendelkezést hozott: Kolontárt ki kell telepíteni, amíg biztossá nem válik a település biztonsága, illetve el kell kezdeni egy védőgát megépítését is.

Áramlástani modellezés a kolontári védőgát tervezéséhez

Józsa János, a Műegyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási tanszékvezetője, az MTA Vízgazdálkodás-tudományi Bizottságának elnöke tanulmányában arról

¹ A projekt szolgáltatásait tagállami alapon veheti igénybe Magyarország. A GMES ERS nemzeti kapcsolati pontja az OKF. <http://www.emergencyresponse.eu/>

1. számú ábra
Az előntés becsült kiterjedése 2010. október 7-én (Perge Kinga, BM OKF)



számolt be, hogy a tudósok vizsgálatai a döntések támogatását, megalapozását szolgálták. A kolontári töltés és a kettes számú védvonal építéséhez, annak méretezéséhez szolgáltatott adatokat. *Dr. Bakondi György* tűzoltó altábornagy, az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság főigazgatója szerint „*Példás gyorsasággal készült el az a hiteles műszaki szakvélemény, amely nélkül nem lehetett volna megalapozott munkát végezni*”.

A tanulmány szerzője nem elemzi az október 4-i gátszakadás feltételezett okait, és nem volt megbízható információ arról, hogy milyen gyorsan jött létre az átszakadt X. zagytározó szakadási szelvénye. Ezért a katasztrófaállapotok elemzésénél a főbb befolyásoló tényezők tekintetében pesszimista álláspontból indultak ki: Kolontár elérését figyelembe véve nagyon rövid idejű szakadás-szelvény-kialakulást feltételezve. A kiömlő folyadék vörösiszap-tartalmára az adott időpillanatban csak durva becslések álltak rendelkezésre, hiszen csak a kifolyt összterfogat volt becsülhető, annak szárazanyag-tartalma megbízhatóan nem dokumentált. A vörösiszapos folyadék vízszerűen vonult le, különösen az áradó időszakban, vagyis híg volt. A szakadás után egy héttel elérhető NASA-űrfelvételek, GMES ERS-térképek és hazai légi felvételek alapján jól elhatárolhatóvá vált az iszapömléssel érintett terület, ez pedig megfelelő verifikációs alapadatként szolgálhatott a numerikus előntésmodellezéshez.

Józsa János a következőképp foglalja össze az előntési folyamatot: „*Az előntési folyamat egy térben és időben hirtelen változó folyadékmozgásként fogható föl, a szakadás környezetében rohanó állapotban, akár helyi vízugrásokkal, átmenetként áramló állapotba. Az összetett domborzati viszonyok melletti levonulás terepi szétterülő hullámfront-terjedés és a régi illetve jelenlegi Torna patak mederben való koncentrált, gyors mozgás kombinációjaként zajlott le, az egyedi terepakadályok (vasút, út, épületek stb.) duzzasztó, terelő hatásával módosítva.*”

A modellezéshez alapvető bemeneti adatként szolgált a terepdomborzat, illetve annak a számítási rácsálóra leképzett formája. A modellezés kezdetekor alapadatként a Földmérési és Távérzékelési Intézet legfrissebb, ötméteres felbontású digitális terepmodellje állt rendelkezésre.

A felszínborítottság elemzéséhez (területhasználati viszonyok, a vonalas létesítmények és az építmények azonosítása) közelmúltbeli légi felvételeket használtak. Ennek segítségével kerülhetett sor olyan tényezők meghatározására, mint a simasági jellegzőnák, az áramlási akadályok és terelő jellegű terepi elemek. Meg tudták becsülni a X. tározóból kifolyt anyagterfogatot és a szakadási szelvényt. Ehhez figyelembe vették a szakadási alakot és a bennmaradó iszapfelszint és a gátfal belső felén látható iszapnyomokat. Ezek

alapján a tározó szakadéskori feltöltöttségét 216 m mBf (a Balti-tenger szintje feletti magasság) szintre becsülik, illetve kiszámították az átvonuló folyadék hullám hozamidősorait is.

A szakadási szelvényben természetesen rendkívül hevesen felfutó, az első becslések alapján mintegy 1,2 millió köbméter hullám Kolontárig érve jelentős ellapulást mutat, miközben térfogata is mintegy tíz százalékkal csökken. Ennek oka a terepmélyedésekben való tározódás.

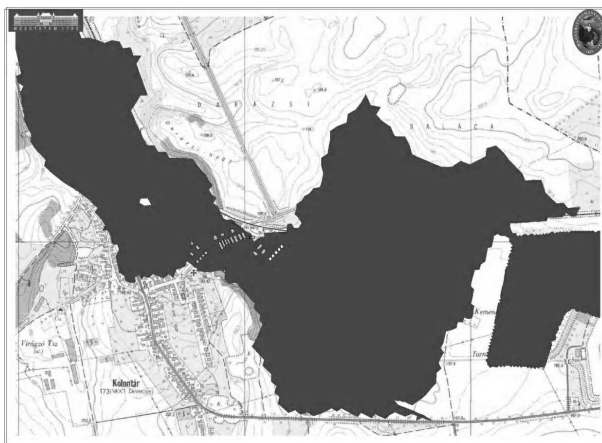
A történetek rekonstruálása vitathatatlanul hasznos segítséget jelentett, mindemellett igazolta az elöntési modellt, amelynek elsődleges felhasználása az új kolontári védtöltés hatásának kimutatása, magassági kialakításának ellenőrzése volt. A kolontári templomdombtól induló, hatszáz méter hosszú töltés a Devecser felé vezető műútig nyúlik, feladata az október 4-éhez hasonló mértékű kiömlés esetére a falu délnyugati részének megvédése. Sor került az október 4-i kiömlés modellezésének megismétlésére, de már a beépített védtöltéssel. Maximális feltételezett elöntéseket modelleztek az eredeti, töltés nélküli, illetve töltésezett állapotban. Ezek alapján az elöntés eredetileg kiterjedt a műút beépített, déli felére is, ami a védtöltés jelenlétében nem következik be, még annak alsó végénél való töltésmegkerüléssel sem (2. számú ábra).

A kutatók a modell alapos elemzésével keresték a választ. „A tervezett új kolontári védtöltés magassági kialakításához, a töltés hatásának vizsgálatához modellezési referenciapontokat jelöltünk ki a védtöltés mentett oldalán. [...] A modellezett folyadékszintekhez viszonyítva a helyi töltéskoronaszinteket is feltüntettük. [...] jól látható az új töltés folyadékszintekre gyakorolt elkerülhetetlen duzzasztó hatása, és az így előálló magassági tartálék. A duzzasztó hatás értelemszerűen különösen a két felső pontban jelentős, mivelhogy a töltéssel azon a részen jóval összebb szorítjuk az eredeti levonulási sávot, ezzel szerencsésen kizárva az elöntésből a falu délnyugati részét. Megjegyezzük még, hogy a töltés vonalvezetése erősen párhuzamos az ottani eredeti áramlási iránnyal, kereszt-akadály hatására a torlódás folytán mindez jobban jelentkezik. A tervezett töltés végén ez a hatás már elenyésző, onnantól a műút-töltés is elegendő védelmet nyújt a keresztirányú átfolyás ellen.”

A védőgát rekordidő, vagyis három nap alatt készült el, hogy egy esetleges újabb iszapömlés esetén megvédje Kolontár lakosságát és mélyebben fekvő területeit. Miután a gát elkészült, a lakosságot visszatelepítették. A lépés szükségességét számos szakvélemény és szakértő alátámasztotta.²

² Józsa János – Baranya Sándor: Az ajkai vörösiszap zagytározó gátjának tönkremeneteléből származó elöntések 2D numerikus modellezése. Modellfelállítás és alkalmazása a kolontári védőgát tervezésének áramlástanai támogatására. 2010; Perge Kinga: Elöntési modellek segítettek a szakmai döntések meghozatalát. Milyen védőgát alkalmas Kolontár védelmére? Védelem, 2011/2.

2. számú ábra
Modellezett maximális elöntések eredeti és töltésezett állapotban
(Józsa János – Baranya Sándor, 2010)



Távérzékelési módszerek alkalmazása a gát jellemzőinek meghatározásához

Az időjárási viszonyok javulásával különböző spektrális tartományban készített felvételek és radartechnológia elvén alapuló lézeres távérzékelési módszerekkel elkezdődhetett a szennyezett terület légi felvételezése.

A Károly Róbert Főiskola Természetierőforrás-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Kar Agrárinformatikai és Vidékfejlesztési Intézetének lelkes és nagy hozzáértéssel jellemezhető kutatói, valamint a munkájukat segítő szakértők által kidolgozott távérzékelési protokoll olyan megoldásokat nyújtott, amelyek fontos kérdésekre adtak választ.

A felméréseken alapuló adatfeldolgozáshoz és elemzések elvégzéséhez a következő szervezetek szolgáltatott adatokat: Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (előntéssel érintett terület), Földmérési és Távérzékelési Intézet (digitális domborzatmodell 5 x 5 m), HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft. (a 2010. szeptember 20-án készített légi felvételekből levezetett felületmodell), Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (az előntött területekre vonatkozó terepi mérési eredmények), Nyugat-magyarországi Egyetem (terepi kalibrációs mérések jegyzőkönyvei), Magyar Állami Földtani Intézet (talaj-mintavételi mérési eredmények), MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet (talaj-mintavételi mérési eredmények).

Fontos kérdés volt, hogy a még álló tározó falain milyen a gát szerkezete. Átázásai, buzgárai, csurgásai miatt fellépő hűtőhatás következményeként, valamint a gát lábazatának környezetében a talaj fokozott nedvességére utaló hideg foltokat vizsgálták. Az alkalmazott technológiák egyike így a *termális és közeli infrafelvételezés* volt. A termális tartományban és a közeli infravörös tartományban készített légi felvételek segítségével meghatározták a szivárgások, nedvesedések helyeit. Ehhez speciális kamerákat használtak, amelyek meghatározott spektrális (hullámhossz-) tartományban készítik el a felvételeket 350 és 1000 m között változó repülési magasságon.

„Az infravörös sugárzás hozzávetőlegesen 0,7-100 μm hullámhossztartományba esik (több mint százszor szélesebb, mint a látható fény hullámhossztartománya). Ezt a tartományt két alapvető részre szokás osztani: a visszavert (reflektált) és az emittált (hő) infravörös sugárzásra. A távérzékelésben a visszavert infravörös sugarak felhasználása ugyanúgy történik, mint a látható fény sugaraié. A visszavert infravörös tartomány a 0,7 és 3,0 μm közé esik. Az emittált (hő) sugárzás a felszín saját hőjének kibocsátása, ennek a tartománynak a határai: 3,0–100 μm . A termális technológia elve, hogy azok a

*foltok, repedések, ahol nedvesedés található, a párolgás miatt hidegebb felületek a párolgás miatt felemészthető energiavesztés miatt, ami hővesztéssel jár.*³

A szakértők olyan lényegi kérdésekre keresték a választ, mint például hogy a sérült X. és a tőle keletre fekvő IX. kazetta közötti gátfalon észlelhető-e repedések vagy szivárgás, a három helyen megrepedt északi gátfalon észlelhető-e szivárgás, nedvesedés. A terület alapos átvizsgálása és az adatok feldolgozása után megállapították, hogy szivárgás sehol sem tapasztalható a IX-es és a X-es kazetták közötti falon, és repedés nyoma sem volt észlelhető. Az északi gátfalon megjelenő törések vizsgálatok kiderült, hogy itt sem tapasztalható anyagkifolyás. Az infravörös és hőfelvételek elemzése alapján azt feltételezheték, hogy a X/A kazetta melletti vasúti töltés részben átázott.

„A látható fény spektrális tartományai, amelyeket a szemünkkel érzékelünk, fontos szerepet játszanak a távérzékelési technikában. A látható fény tartománya a teljes spektrumon belül rendkívül keskeny, mindössze a 0,4–0,7 μm -es ($4 \times 10^6 - 7 \times 10^6 \text{ m}$) tartományba esik. (A körülöttünk lévő valamennyi elektromágneses hullám érzékelésére nem vagyunk képesek, de képesek vagyunk olyan szenzorok előállítására, amelyek érzékenyek a spektrumnak általunk nem látható részére is.)”⁴

A látható fény spektrális tartományában készített felvételek alapján az északi gátszakasz megcsúszása nem tekinthető oldalirányúnak. Az északi gátszakaszon három alaprajzi állapotú törés jól látható a felülnézeti légi felvételeken. A repedések ott jöttek létre, ahol a gátszakasznak a vonalvezetése miatt kialakuló feszültség gyűjtőpontjai lehettek. Ezek alapján feltételezhető, hogy a megcsúszás nem oldalirányú volt. Az északi gátszakasz három részre tört, és részei eltérő mértékben és módon megsüllyedtek. Az oldalirányú légi felvételekből megállapítható, hogy a süllyedés nem egyenletes, a gát középső szakaszán a legjelentősebb, és illeszkedik a lejtő eredeti irányához.

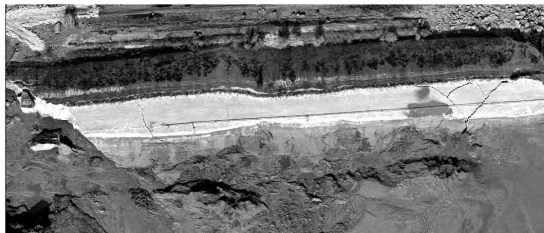
Sor került a terület pontos geometriájának a felmérésére is *Lidar*-technológia segítségével.

„A Lidar (Light Detecting and Ranging) kifejezés a lézersugárral történő távolság-meghatározás, amelynek segítségével megfelelő sűrűségben alkalmazva megkaphatjuk egy terület felületmodelljét. Működési elve: a lézerágyú rövid impulzust bocsát ki, méri a jel kibocsátásától a visszaérkezéésig eltelt időt, majd a fénysebességet alapul véve meghatározza a szenzor és a felület

³ http://www.fomi.hu/taverzekeles_oktatoanyag/

⁴ Uo.

3. számú ábra
Az északi gáttest három jól látható repedése (Perge Kinga, BM OKF)



távolságát. Ez a távolságmérés egészül még ki a szenzor helyének és irányának meghatározásával, amelyet a kiegészítő berendezésekkel (GPS, INS) valósít meg. A lézerszkennerral kapott adathalmaz 3D-s pontfelhő, amelynek feldolgozásakor kell a nagy adatmennyiségből előállítani a szükséges információt.”⁵

Az átszakadt X. tározó eredeti feltöltöttségi szintjét a HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft. által a szakértők rendelkezésére bocsátott referenciacafelszín alapján számították (értéke: 215,98 mBf). A referenciacafelszín alapja a 2010. szeptember 20-án készített légi felvételekből levezetett felületmodell volt. (Ez az érték tulajdonképpen megegyezik a Józsa – Baranya szerzőpáros által megadott 216 mBf értékkel.)

A Lidar-méréssel előállított felületmodellt a tározó megsemmisült északnyugati részének „helyreállításával” kipótolták, amelynek alapja szintén a HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft. által készített referenciacafelszín volt. Az így nyert Lidar-felületmodellből és a kiszámolt referenciacafelszín összevetéséből meghatározhatóvá vált a X. tározóból hiányzó iszap mennyisége: 1 736 451,75 köbméter.

A timföldgyárban a munka folytatása szükségszerű volt, hiszen az érintett terület lakosságának megélhetését fenn kellett tartani. Ennek érdekében meg kellett határozni a szomszédos, X/A tározó kapacitását. A Lidar-méréssel előállított felületmodellből kivágták a X/A tározó területét, így meg tudták határozni a legalacsonyabb töltéskorona-magassági szintet: 209,93 mBf. Ebből a szintből másfél méter levonásával kapták meg a tározó maximális töltetőségi szintjét: 208,5 mBf. Az ehhez a szinthez tartozó térfogat 171 131,87 köbméter.

⁵ <http://web.fmt.bme.hu/barsi/habil/ch3.pdf>

A szakértők az adatok felhasználásával elkészítették a tározók kereszt- és hossz-szelvényeit. A diagramok segítségével jól szemléltethetővé vált a szakadás előtti és utáni töltöttségi szint a X. kazetta esetén, míg a X/A esetében meghatározhatóvá vált az akár napokra lebontott töltöttségi szint a bejuttatott anyag mennyiségének függvényében (úgynevezett tározási görbék) a diszkrét tározási szintekhez meghatározott folyadéktérfogat társításával (4. számú ábra). Ezzel egészen pontos becslést tudtak adni a telítési kapacitásról tetszőleges intenzitási faktort (köbméter/nap) figyelembe véve.

A Lidar-végtermékeket további felhasználási célból átadták a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének töltésszakadás-szimulációs elemzések pontosítása céljából. (A Lidar-végtermékek minden további tervezési és elemzési munka alapadatai lehetnek.)

A *hiperspektrális felmérés* célja az alapállapot felmérése volt a vörösiszap-szennyezés pontos területi lehatárolására és az iszapban található anyagok koncentrációinak becslésére, a vegetáció térképezésére.

„A technológia elve: a felszínről visszavert elektromágneses sugárzás bizonyos hullámhossztartományait a szenzorok észlelik, azokhoz különböző jellemzők társíthatók, és mindezek osztályozásához terepi mérési adatok társulnak. A képpalkotó spektrometriában, más elnevezéssel hiperspektrális távérzékeléssel egy nagyobb területet képelemekre bontva végezzük el (közel) egyidejűleg minden képelemre a teljes spektrális mérést, így egy összefüggő területről kapunk teljes spektrális információt, miközben ily módon minden képelemről rendelkezésre áll egy csaknem folyamatos spektrumgörbe.”⁶

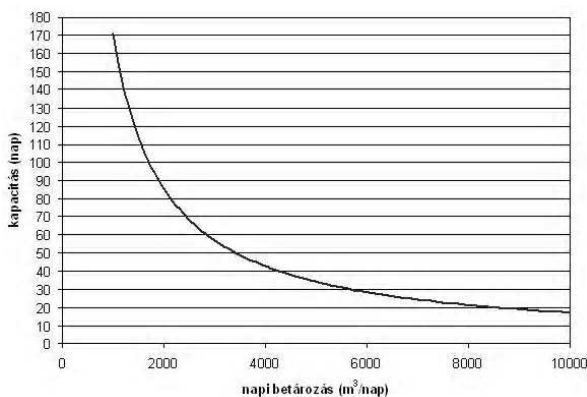
Első lépésként előntés-térkép készült az iszappal szorosan korreláló vörös (682 nm) és zöld (550 nm) sáv indexálásából kapott adatbázisból a kül- és a belterületekre. Az iszap-mintavételi eredmények értékelése nyomán megállapíthatóvá vált, hogy a területen stabilnak mondható a nehézfémtartalom összetétele.

A vörösiszap reflektanciaértékeit (*a felszín visszaverő képességét*) nagyban befolyásolta az iszap víztartalma és vastagsága. Az iszapvastagság a 0-15 cm vastagságig 50-90 tömegszázalék mellett volt jól becsülhető. A magasabb víztartalmú és a 10 cm-nél vastagabb iszaptartalmú területeket nem lehetett megbízhatóan becsülni hiperspektrális felvételek alapján. Az alacsonyabb szárazanyag-tartalmú, híg iszapot tartalmazó területre külön osztályozást kellett alkalmazni. A képosztályozás eredményeként a vörösiszappal előntött és a híg iszapot tartalmazó területek: az előntés típusa alapján a 3 cm-nél vastagabb ré-

⁶ http://www.fomi.hu/taverzekeles_oktatoanyag/

4. számú ábra

A tározó kapacitása napokban a napi betározás függvényében
(Tomor Tamás – Bíró Tibor – Berke József – Burai Péter – Enyedi Péter – Katona Zsolt – Kovács László Dezső – Kozma-Bognár Veronika – Lénárt Csaba – Nagy Géza – Nagy Tamás, 2010)



tegen jelen lévő vörösiszap 3 873 355 négyzetméter területen, míg a vizes fázisú 128 500 négyzetméteren található meg.⁷

A térinformatikai eszközökkel feldolgozott, távérzékeléssel kapott adatok fontos kérdések megválaszolását segítették. Az események pontos rekonstrukálásának lehetősége, a megszerezhető információtömeg, a döntéstámogatási lehetőségek és az újszerű megközelítés a figyelem középpontjába helyezte a térinformatikai megoldások bővítésének alternatíváit, ezzel összhangban kerül sor a térinformatikai terület fejlesztésére az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóságon.

⁷ Tomor Tamás – Bíró Tibor – Berke József – Burai Péter – Enyedi Péter – Katona Zsolt – Kovács László Dezső – Kozma-Bognár Veronika – Lénárt Csaba – Nagy Géza – Nagy Tamás: Szakértői vélemény az ajkai vörösiszap-tározónál bekövetkezett töltésszakadás és következményei tárgyában. 2010; Perge Kinga: Mennyi anyag szabadult ki? – tudományos rekonstrukció; Vissza a feladóhoz – a tározók kapacitásának meghatározása. Védelem, 2011/3.; Perge Kinga: Mekkora területet, milyen mértékben érintett a vörösiszap ömlés? Védelem, 2011/4.