

**AZ AKNASZLATINAI-SÓKARSZT DINAMIKUSAN VÁLTOZÓ  
FELSZÍNFORMÁINAK VIZSGÁLATA TEREPI ÉS GIS MÓDSZE-  
REKKEL**

**THE STUDY OF THE DINAMICALLY CHANGING LANDFORMS  
OF AKNASZLATINA SALT KARST BY FIELD AND GIS  
METHODS**

MÓGA JÁNOS<sup>1</sup> – SZABÓ JUDIT<sup>2</sup> – GÖNCZY SÁNDOR<sup>3</sup> – LIPPMANN  
LÁSZLÓ<sup>4</sup> – BÓDAI BARBARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ELTE TTK, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi  
Tanszék 1117. Budapest, Pázmány P. sétány 1./C, jmoga@freemail.hu

<sup>2</sup>MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földrajztudomá-  
nyi Intézet, 1112. Budapest Budaörsi út 45.

<sup>3</sup>II. Rákóczi F. Kárpátaljai Magyar Főiskola, Beregszász

<sup>4</sup>Földmérési és Távérzékelési Intézet, 1149 Budapest, Bosnyák tér 5.

*Abstract: We have been following and studying for years the changes with catastrophic consequences, taking place in Solotvyno, Ukraine (Aknaszlatina), and the destruction of salt mines caused by water influx. On the one hand, our work was based on field observations and measurements in the salt karst system. On the other hand, we built up a GIS database based on all relevant parameters (geological structure, topography, hydrology, the most vulnerable locations, etc.). For geomorphologic, morphometric and geohazard evaluation, we applied satellite images available through Google Earth (satellite images taken on 04 July 2012 and 11 June 2014). We completed our measurements, carried out on the satellite images and field, by interpreting the aerial photographs, taken by a quadcopter. As compared to previous satellite imagery and map-based sources, the preliminary results reveals equally well the new collapses and the growth of the objects, known so far.*

*Keywords: covered karst, collapse doline, caprock doline, dropout doline, salt tunnel*

## **Bevezetés**

Az aknaszlatinai sóbányászat több száz éves múltra tekint vissza. Kezdetben aknás módszerrel történt a só kitermelés, később fokozatosan áttértek a kamrás fejtésre. A sóbányák legnagyobb ellensége az édesvíz, amelyet el kell vezetni, ill. ki kell szivattyúzni a bányák területéről, a betörő édesvíz ugyanis oldja a támpilléreket és a sóbányák beomlását eredményezi. Annak ellenére, hogy évszázadokon keresztül komoly erőfeszítéseket tettek a bányászok a vízbetörések kiküszöbölésére, minden Aknaszlatinán megnyitott sóbánya vízbetörés okozta beomlás áldozata lett (BERGHAUER 2012,

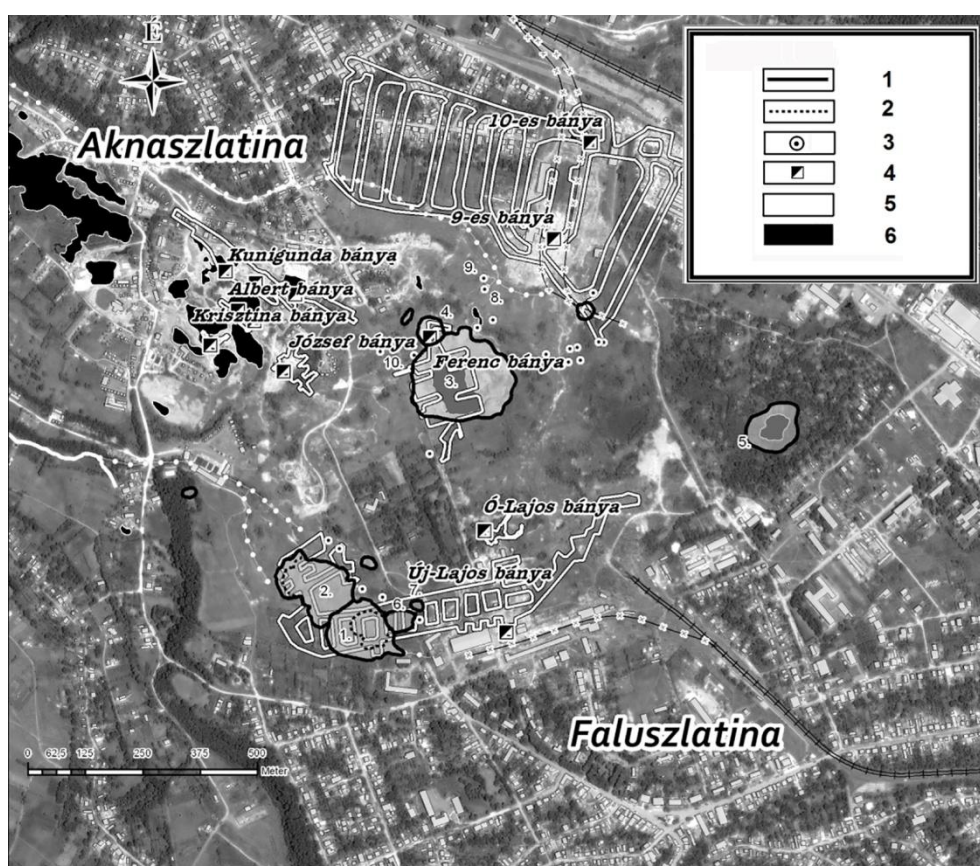
*IZSÁK 2007, KOMPÓTY 1908, LUKÁCS, LUKÁCS 1999, MÓGA et al. 2015, RÉTHY 2010, SCHMIDT ELIGIUS 1941, SZOKOL 1879*). Az első jól dokumentált bányabeomlás a Kunigunda bányával történt, amelyet a kincstár 1908-ban veszített el. A helyén keletkezett nagy beszakadásról és károkról a Bányászati és Kohászati lapok oldalain olvashatunk (*KOMPÓTY 1908*). A tragikus esemény súlyos következményeit megérezhették a bányaváros és a környező települések lakói is, mivel még képeslapokon is megörökítették az eseményt. Napjainkra a Kunigunda bánya és a közelében nyitott első aknák berogyásával kialakult lapos mélyedésben – részben emberi beavatkozásra – kisebb sóstavakat alakítottak ki, amelyeket az utóbbi évtizedekben népszerű fürdőhelyként hasznosítanak.

2010-ben, amely az elmúlt évszázad legcsapadékosabb éve volt és a sok csapadék hatására hatalmas áradások történtek a Kárpát-medence minden táján, így a Máramarosi-medencében is, a Felső-Tisza árvize betört az akkor még működő utolsó két bányába (9-es-bánya, és Lajos-bánya) is, amelyek ekkor víz alá kerültek. A szovjet időkben alkalmazott nem megfelelő bányászati technológiák (főleg a robbantásokkal megrepesztett sókőzet repedezettsége és statikai állóképességének csökkenése, az állagmegóvás és karbantartás hiányosságai, a nem elég körültekintő bányabiztosítás) következtében a víz behatolt a még működő két bányába és a már korábban felhagyott Ferenc-bánya aknáiba is, ahol a támpillérek elemésztésével felújította a korábban elkezdődött omlási folyamatokat. Napjainkban a vízzel elárasztott Ferenc-bánya, a 9-es-bánya és a Lajos-bánya aknáit és sókamráit feletti területek vannak leginkább veszélyeztetve a támpillérek részleges feloldása miatt, ezért e három bánya körzetében láthatók a legintenzívebb földmozgások (*1, 2. ábra*). Ez a folyamat 2010-től egyre gyorsuló tendenciával egyre nagyobb területre terjed ki.

A sókőzetek Aknaszlatinán és máshol is Kárpátalján a bádeni korszakban keletkeztek. A sóhordozó rétegek fekéjét a kárpáti korszakban képződött Taracújfalui- (v. Novoszelicai) formáció alkotja (*VERESCSAGIN 1982*). Összetételében az alsó tagozatban riolit- riodácit- és dácittufa valamint tufit, agyag és márga rétegek találhatóak. A felső tagozatban tufa, tufit, márga, homokkő, néhol lithothamniumos mészkő található. A kettőt egy több tíz méter vastag konglomerátum réteg választja el (*VOZNYESZENSZKIJ 1988*).

A bádeni korszak elején, egy viszonylag zárt öbölben képződik a Talaborfalui-formáció amelyhez Kárpátalján a sós rétegeket sorolják. Vastagsága 200-600 m. A sós rétegek közé gyakorta agyaglencsék települtek (*VERESCSAGIN 1982, VOZNYESZENSZKIJ 1988*).

Az alsó-bádeni – középső-bádeni határán Kárpátalja miocén földtörténetének legnagyobb transzgressziója indul. Ekkor alakul ki az Aknaszlatinai-formáció, amely befedi a Talaborfalui-formációt (VERESCSAGIN 1982). A Pannon-medence és az Előkárpátok területén lévő tengeri medencék a mai Kárpátalján keresztül összekapcsolódnak. A tenger jelentősen kimélyül, az átlagnál magasabb sótartalommal rendelkezik, azonban itt már nem volt nagymértékű sóképződés mint korábban, azon kívül ez az állapot nem tartott sokáig, normalizálódott a víz sótartalma, sztenohalin makro- és mikrofauna terjed el (VOZNYESZENSZKIJ 1988).



1. ábra: Aknaszlatina sóbányái és nagyobb szakadéktöbri  
 Jelmagyarázat: 1. szakadék dolina kontúr 2014-ben, 2. szakadéktöbör kontúr 2012-ben, 3. kisebb töbör, 4. bánya akna, 5. bánya alaprajz, 6. tó  
 Fig. 1: Salt mines of Soltvyno (Aknaszlatina)  
 Legend: 1. collapsed doline contour in 2014, 2. collapsed doline contour in 2012, 3. small doline, 4. mine shaft, 5. salt mine, 6. lake

## Módszertan

Az aknaszlatinai területen kétféle, a távérzékelés–térinformatika tárgykörébe tartozó adatgyűjtést végeztünk. Egyrészt terepi GPS készülékekkel (Trimble Juno SB) ArcPad 8.0 programban kisebb, néhány négyzetméteres beszakadások körvonalát vettük fel, másrészt a területről kvadrokopterrel és nagy látószögű GoPro kamerával képeket készítettünk. Mindkét módszerrel a területen érzékelhető, gyorsléptékű felszínváltozást próbáljuk megfigyelni.

A módszertan kialakításánál fontos szempont volt, hogy rövid mérési idejű, monitoringra alkalmas könnyen hozzáférhető eszközöket válasszunk. A geomorfológiai kutatásokban egyre elterjedtebbek a GIS/távérzékelés alapú vizsgálatok gyorsaságuk, kedvező áruk és az általuk elérhető nagy pontosságú adat miatt. A néhány km<sup>2</sup>-es mintaterület felméréséhez a drónos légifényképezés az egyik legjobb választás.

Jelen tanulmányunkban a Ferenc és Lajos bányák fölötti területen 2010 óta végbement gyors geomorfológiai változások vizsgálatának eredményeit foglaljuk össze. Időrendi sorrendben vizsgáljuk a bányaomlások által kialakított berogyásokat, nyomon követve a morfológiai és hidrológiai változásokat és elemezve a kialakító folyamatokat.

A kutatás során a Ferenc-bánya feletti területen DJI Phantom 2 pilóta nélküli légi járművet (UAV) használtunk egy rá erősített GoPro Hero3+ Silver Edition kamerával, majd a felvételek alapján SfM algoritmust használó szoftverrel felszínmodellt készítettünk. Az SfM (Structure-from-Motion) algoritmus (*SNAVELY et al.* 2008) hagyományos, sztereopáros fotogrammetria alapján működik, átfedő 2D-s felvételekből 3D-s felszínt állít elő. A fő különbség, hogy a kamera pozíciója és orientációja automatikusan kerül kiszámolásra, – nem kell előre megadni – az átfedő képek pontpárjai alapján. Gyakorlatban ez annyit jelent, hogy minimum 3-4 felvétel szükséges egy adott pontról, és maguk a felvételek is gyakran 60-80%-ban átfednek. Eltérően a sztereopár feldolgozástól azonban nem tudjuk a felszín koordinátáit, hanem egy kép koordináta rendszerbe kerülnek az adataink. Ezt ismert pontok alapján georeferálni lehet, így a végeredmény egy nagy felbontású koordináta rendszerbe illesztett felszínmodell.

A felvételeket többképes sztereofotogrammetriai szoftverekkel dolgoztuk fel. A felmérés során átlagosan 40 m magasságban 10 perc repülési idő alatt másodpercenként készült kép, ez nagyságrendileg 1000 db, egyenként 10 Mpx-es halszemoptikás felvétel. A felszállás és leszállás képek és a homályos felvételek eltávolítása után 617 db felvétel maradt, amiből 57 db került felhasználásra a modellkészítés során. 30cm/pixel felbontású domborzatmodell készült (a felszínmodell pontossága 0.2 m). A georeferálást

terepi GPS mérések, és beazonosítható tereptárgyak segítségével végeztük, amit a felszíni berogyások helyszíni GPS mérésével pontosítottunk.

A fotogrammetriai feldolgozás során először a felvételeken azonos pontokat keres a szoftver, és ezek alapján összeilleszti őket, esetünkben egy illesztési pont több mint 9 képen volt rajta. Ezek után a program kiszámolja a kamera kalibrációs és orientációs adatokat. Először egy sűrű pontfelhőt generálunk, majd abból építjük fel a felszínmodellt. A kész pontfelhő utófeldolgozása VisualSfM térinformatikai szoftverrel készült.



2. ábra: A vizsgált töbrök: F1 A – a Ferenc-bánya nagy szakadéktöbre, F1 B – a Ferenc-bánya szállítóaknája helyén kialakult szakadéktöbör, F1 C – A Ferenc-bánya járóaknája helyén keletkezett szakadéktöbör, F2 – bezökkenéses töbör, F3 –bezökkenéses töbör, F4 – utánsüllyedéses töbör, F5 – bezökkenéses töbör, F6 – Bezökkenéses töbör

Fig. 2: The investigated sinkholes: F1 A – the big collapse doline of Ferenc mine, F1 B – the big collapse doline generated above the transport gallery of Ferenc mine, F1 C – the big collapse doline above the gallery of Ferenc mine, F2 – dropout doline, F3 – dropout doline, F4 – subsidence doline, F5 – dropout doline, F6 – dropout doline

## Eredmények és diszkusszió

Az aknaszlatinai sódiapír területén, a természetes úton is lejátszódó parakarsztos folyamatok, a természetes úton is lejátszódó, ám az emberi tevékenység hatására rendkívüli mértékben felgyorsuló („*természetiantropogén*”) és az emberi beavatkozásra akaratlanul elinduló, de végül öntörvényűen fejlődő („*szemiantropogén*”) folyamatok eredményeként kialakult fedettkarsztos formakincs jött létre (ERDŐSI 1969, 1987, GUTIÉRREZ et al. 2014). Az oldásos és szakadék töbrök általában gyorsabban fejlődnek, és nagyobb sűrűségben fordulnak elő a jól oldódó evaporit kőzetek felszínén, mint a karbonátos kőzeteken (FORD, WILLIAMS 2007, VERESS 2004, WALTHAM et al. 2004, WARREN 2006, ZENTAI 1994). Az Aknaszlatinai üledékekkel fedett sóhegy területén főleg a parakarsztos oldódás során kialakult oldásos dolinák, jellegzetes fedettkarsztos mélyedések fordulnak elő. Az oldásos folyamatokra visszavezethető üregesedés ugyan a feküben elhelyezkedő sótestben megy végbe, amelybe fokozatosan beszállítódnak a fedőüledékek, és kitöltik a keletkező üregeket, de a fedettkarsztos mélyedések valójában a sókőzetet fedő üledékekben jönnek létre átöröklődéssel. Aknaszlatinán a sóval közvetlenül érintkező vízálló sópallagban és az azt 20-30m vastagon beborító kavicsos, agyagos üledékösszletben, a Tisza egykori hordalékában alakulnak ki a töbrök (3. ábra). A szálban álló sókőzet mélyebben (általában több tíz méter) helyezkedik el a felszín alatt, tehát fedett karsztos formakincs alakult ki a sóhegy tetején.

A fedett karsztos töbröknek két fő típusát különbözteti meg a szakirodalom, az átöröklődéses dolinát, amelyek összeálló, konzolidált kőzetben, pl. homokkővel vagy bazalttal fedett takaróban alakulnak ki. A másik típus az utánsüllyedéses dolina, amely nem összeálló fedőkőzetben keletkezik, amely lehet lösz, kavics, vályog stb. Ez utóbbinak három genetikai változatát különbözteti meg a szakirodalom a fedőüledékek jellege szerint: lezökkenéses, utánsüllyedéses és tömörödéses dolinát (WALTHAM et al. 2004, VERESS 2004, 2016). Az Aknaszlatinai-sókarszt területén főleg lezökkenéses (dropout) és utánsüllyedéses dolinák alakultak ki, ill. ezek átmeneti formáit is megtaláljuk a fedőüledékek változékonysága miatt. A fedő üledékek közül a sóval érintkező pallag kemény, összeálló, helyenként palás kőzet, bár ez csak vékony réteggént (max. pár m) takarja be a sókőzetet. A vastagabb fedő összletet képező kavics, félig összeálló, még nem konglomerátum, de kellően tömörödött (3. ábra). Ezek tehát átmenetet képeznek az igazi lezökkenéses töbrök és utánsüllyedéses töbrök között. Ezekben a töbrökben sehol nem látszik a sókőzet, a dolina mélyedése minden esetben a sót fedő kavicsos üledékekben jött létre. Vannak tipikus meredekfalú vagy aláhajló

oldalú lezökkenéses töbrök, ahol a fedő kavicsos összlet összetapadva szinte kalapot (caprock) képez és vannak kisebb hajlású lejtőkkel határolt utánsüllyedésszerű töbrök, ill. átmeneti formák is (4. ábra).



3. ábra.: 20-30m vastag kavicsstakaró fed be a sókőzetet. (L1 A szakadéktöbrök)  
Figure: 3 20-30m pebble layer covers the salt. (L1 A collapse doline)

A szakadéktöbrök az oldással kialakult üregek mennyezetének beomlásával alakulnak ki. Akkor jönnek létre, amikor az oldás a fekvő képező sókőzetben akkora üreget hoz létre, hogy már többé nem képes megtartani a fedő kőzetréteg terhelését. A dolina falai gyakran függőlegesek vagy aláhajlók. A beomlott tető kőzettörmeléke vagy törmelék breccsa beboríthatja a dolina alját.

#### *A Ferenc-bánya feletti dolinák morfológiai és morfometriai vizsgálatának eredményei*

A Ferenc-bánya 1808-tól az 1945 utáni évekig (?) működött. A bánya katasztrófáját (beomlását) az 1940-es években kitermelt és a bejárat közelében felhalmozott sóhegy nyomása okozta (vagy legalább is a sóhegy terhelésének is szerepe volt a bánya beomlásában). A bánya akkori igazgatója nem állította le a sóbányászatot a háború alatt és utána sem, jóllehet nem voltak vagonok, amellyel elszállíthatták volna a sót. Kénytelenek voltak hatalmas sóhegy formájában a bánya felett helyben tárolni a kitermelt sót. A bánya fokozatos beomlása a 40-es években kezdődött, az 50-es években is folyta-

tódott, nem lehet egyetlen időponthoz kötni a pusztulását (Németi Béla nyugdíjas sóbányász szóbeli közlése). A közeli 9-es-bányát a szovjet időkben nyitották meg és a legtovább létező bánya volt 1975 – 2010. A 9. számú aknában 300 m mélyen nemzetközi hírű asztma- és allergiagyógyító szanatóriumot hoztak létre 1976-ban, amelyet megnyitottak alkalmanként a látogatók előtt is. 2010-ben vízbetörés áldozatául esett. A két egymás közelében kialakított vízzel elöntött bányában végbemenő oldási folyamatok okozzák együttesen azokat a hatásokat, amelyek a felszínen a gyors geomorfológiai változásokat elindították és a felszín beomlásáért felelősek.



4. ábra. lezökkenéses tóbör (F6)  
Fig. 4 dropout doline- (F6)

A Ferenc-bánya aknáinak és kamráinak felett a bánya beomlása évtizedekkel ezelőtt megkezdődött, 2006-ban, amikor első alkalommal kerestük fel az Aknaszlatinai-sóhegyet egy nagyobb méretű tavas szakadéktöbröt lehetett látni (F1 A) és egy meredek falú, tölcésér alakú mélyedést (F1 B), amely láthatóan épp akkortájt alakult ki az egykori felvonó akna helyén. A 2012. 07. 04-én készült műhold felvételen többé-kevésbé hasonló kép látható (5. ábra). A georeferált műholdképen Global Mapper 17-es verzió szoftver segítségével végeztünk morфомetriai méréseket. Az egykori Ferenc-bánya kamráinak felett kialakult tavas szakadékdolina (F1 A) átmérője 224 m, 30 045 m<sup>2</sup> a területe, a kerülete 696 m, és kb. 30 m volt az átlagos mélysége a peremektől a dolinató víztükrének magasságáig (1. táblázat). Az alját víz töltötte ki kb. a szálban álló sókőzet magasságáig. A szakadékdolina tényleges mélységét sem akkor, sem később nem tudtuk pontosan meghatározni. Ez a



tavas szakadékdolina 2016 nyaráig a legnagyobb méretű karsztos mélyedés volt az Aknaszlatinai-sókarszt területén, amely a bányakamrák beszakadásával alakult ki, azonban 2016 őszén a Lajos bánya feletti szakadékdolina a sorozatos beszakadozásaival megelőzte (lásd később). A nagy szakadékdolina F 1 A alját tömény sósvízű tó tölti ki, amelynek a vízfelülete 2012-ben 9510 m<sup>2</sup> volt, a legnagyobb átmérője 127 m, a kerülete pedig 410 m. A tavas szakadékdolina északi pereméhez kapcsolódik két kisebb tölcser alakú dolina is, amelyek az egykori bányaszállító- (F1 B) és járóaknájából (F1 C) alakultak ki. A műhold felvételen az egykori Ferenc- és 9-es-bánya közti területen több kisebb tavas dolina látható és számos friss berogyás (fedett karsztos mélyedés), ezeknek a területe azonban az alkalmazott módszerrel nem mérhető.



5. ábra: A Ferenc-bánya feletti töbrök a 2012. 07. 04-én készült Google műhold felvételen  
Fig. 5: Sinkholes on the area above the Ferenc salt mine on the Google satellite image 24. 07.

I. Táblázat  
Table I.

Az Aknaszlatinai dolinák méreteinek változása 2012 és 2016 között  
The change of the size of the dolines of Aknaszlatina between 2012 and 2016

Dolina neve	Terület 2012 (m2)	Terület 2014 (m2)	Terület 2016 (m2)	Átmérő 2012 (m)	Átmérő 2014 (m)	Átmérő 2016 (m)	Kerület 2012 (m)	Kerület 2014 (m)	Kerület 2016 (m)
L 1 A	15 616	15 050	L 1 - 39175	158	180	L 1 - 354	552	505	L 1 -931
L 1 B	6 067	17 190		103	190		341	656	
L 2			5 898			98			302
L 2 sóstó			1 353			47			135
F 1 A	30 045	34 370	34 406	224	229	223	696	710	734
F 1 A sóstó	9 510	8 340	17 040	127	130	167	410	378	529
F 1 B	2752		2 528	62		58	192		186
F 3			467			41			134
F 5			245			20			56
F 6			26			7			19

A 2014. 06. 11.-én készült műhold felvétel alapján látható, hogy csak kisebb változások történtek 2012-óta. A nagy szakadékdolina kissé kiszélesedett, a tó alakja kissé megváltozott, amelyben a vízszint süllyedésének is szerepe volt

A 2014 októberi terepbejárás és térképezés idejéig a Ferenc-bánya körüli térszín morfológiája kevésbé változott az előző évihez képest, jelentős különbséget csak a nagy tavas szakadékdolina alján tapasztaltunk (F1 A), aminek fő oka a tó vízszintjének jelentős mértékű csökkenése volt (6. ábra).



6. ábra. A Ferenc-bánya nagy szakadék dolinája 2014-ben  
Fig. 6: Collapse doline of the Ferenc mine in 2014

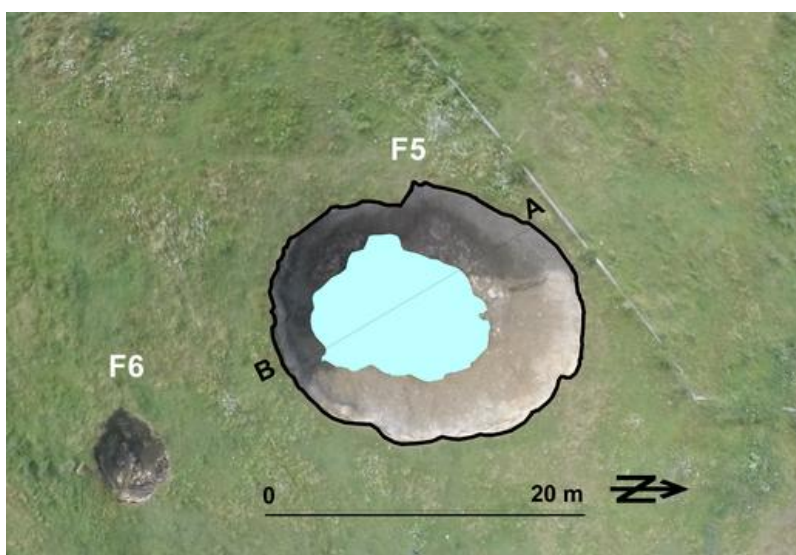
A hosszú ideig tartó szárazság miatt a tó vízszintje 15-20 méterrel csökkent, aminek legfontosabb következménye az volt, hogy felszínre bukkan a szakadék alján a szálban álló sóközet, amely korábban a vízszint alatt helyezkedett el, és megnyílt az egykori bánya egyik folyosója, amely tágas szádával kapcsolódott a szakadékdolinába. Ekkor láthatóvá vált, hogy a vízbetörés következtében elöntött bányakamrák és folyosók falának és pillérei- nek az oldással történő meggyengítése okozta az omlásokat, tehát antropogén hatásra elindított majd saját öntörvényű folyamatok révén tovább fejlődve egy szakadéktöbör keletkezett a bánya helyén. A típusos szakadéktöböröktől csak az különbözteti meg, hogy a beszakadás vastagabb fedő üledékréteg alatt történt. A függőleges sófalakon a vízszint szakaszos süllyedése színlőket alakított ki, és a só felszínén mindenhol különböző oldási folyamatokkal kialakított karrformák ill. helyenként a só másodlagos kiválásai borították (7. ábra). A só felszíni karrformáin profil fésűvel morfológiai vizsgálatokat végeztünk, hogy nyomon követhessük a formák változását. Sajnos ezek a vizsgálatok torzóban maradtak a vízszint újbóli megemelkedése miatt (lásd alább).



7. ábra: Só alagút a Ferenc-bánya szakadéktöbörében  
Fig. 7: Salt tunnel in the Ferenc mine collapse doline

A 2016-os év bőséges csapadéka, a Tisza tavaszi áradásaival együtt újabb édesvíz betörést és elárasztást eredményezett az aknaszlatinai sóbányákban, ami nyilvánvalóan jelentős mennyiségű só feloldását, és emiatt újabb omlásokat okozott. A folyamat látványos morfológiai és hidrológiai változásokat eredményezett a vizsgált terület felszínén az előző évhez ké-

pest. A nyári terepgyakorlatunk során drón felvételekkel, terepi mérésekkel rögzítettük a változásokat. A terepbejárások során a legnagyobb változásokat a Ferenc-bányától ÉK-re eső süllyedő térszínen észleltük. A sókarsztos mélyedésekben a vízszint megemelkedett és több kisebb méretű dolina alakult ki, ill. (F5, F6) az előző években már ismert dolinák gyorsan megváltoztatták alakjukat, méretüket és a vízelborításukban is jelentős változások történtek 2016-ban (F2, F3). Valamennyi fedett karsztos mélyedés, az F5 és F6-os objektum lezökkenéses (átöröklődéses) dolina, az F2, F3, és F4 jelen formájában utánsüllyedéses dolina (WALTHAM et al. 2004, VERESS 2004) (8. ábra).



8. ábra: Az F5 és F6 lezökkenéses töbör  
Fig. 8: F5 and F6 dropout doline

A Ferenc-bánya és a 9-es-bánya közti területen a 9-es-bánya megnyitása előtt egy kis időszakos vízfolyás húzódott (Glod-patak), amely a Ferenc- és az egykori Kunigunda-bányákat északra megkerülve folyt a Tisza (ÉNy) felé. Ez a felszíni vízfolyás veszélyeztette a sóbányákat, ezért egy mesterséges felszín alá bújtatott csatornát (stól) alakítottak ki a vízfolyás nyomvonalán a kavicstakaró és a sótest feletti pallag határán, amely összegyűjtötte a kavicsban áramló vizeket, és ÉNy felé elvezette. A szovjet időkben ez a csatorna is eldugult, részben beomlott, de a nyílása még látszik egy horpadás alján a 9-es-bánya közelében. A bányabeomlások miatt lokális süllyedések következtében lealacsonyodott térszínen a 9-es-bánya körül összegyűlő vizek egy kis eret táplálnak (a Glod-patak maradványa), amely

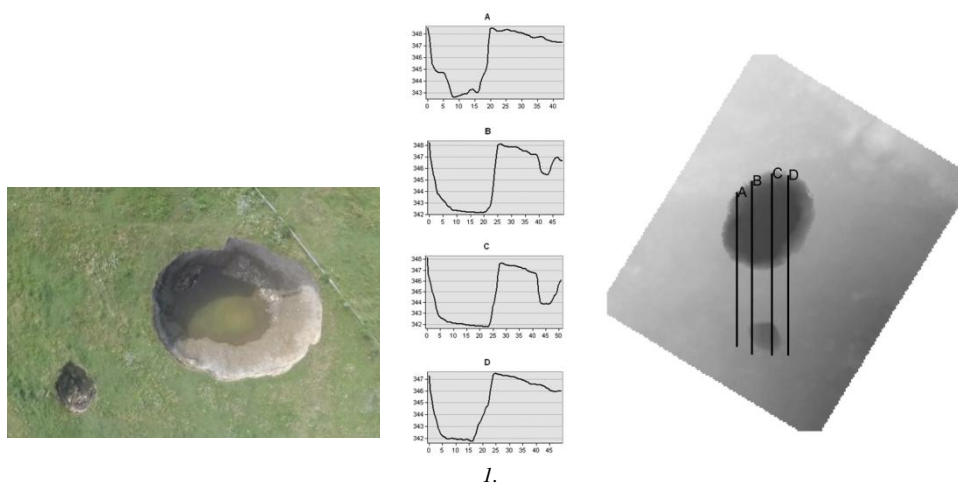
már nem tud a csatorna nyílása felé folyt. 2015-ben a kis ér vize egy víznyelővé átalakult lezökkenéses dolina felé folyt, ahol a repedések elnyelték a vízfolyást. Jól látszott, hogy csapadékosabb időben, hóolvadás után nem tudja elnyelni maradéktalanul a befolyó vizet, amely tovább folyt a közeli Tavas-dolina felé (MÓGA *et al.* 2015). 2016 óta a két önálló dolina mélyedése összeolvadt, ebből alakult ki a vízzel kitöltött F3-as dolina. A Glod-patak szivárgó vize részben ebbe a mélyedésbe, részben az F4 dolinába folyik.

2016 tavaszán kialakult két új nagyméretű átöröklött dolina (F5 és F6) (8. *ábra*) környékén 2016 nyarán készített drón felvételekből szerkesztett felszínmodell segítségével lehetőség nyílt az új felszíni beszakadások modellezésére, és az anyagihiány becslésére. A készített felszínmodell alapján, térinformatikai program segítségével becsülni tudjuk a beszakadások térfogatát, és egyéb méretbeli paramétereit (II. *táblázat*). Látható, hogy a nagyobb beszakadás nagyságrendileg 18-szor nagyobb, mint a kicsi.

II. *Táblázat*  
Table II.

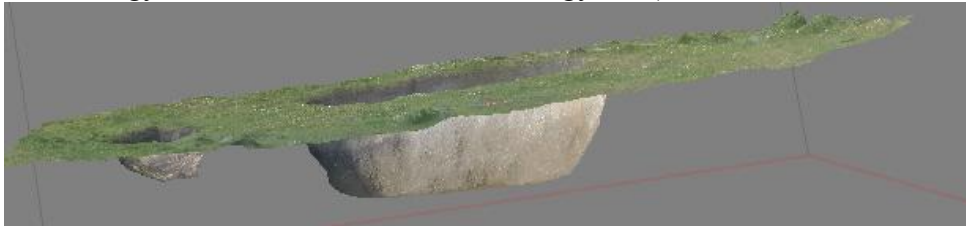
*Az F5 és F6 dolinák méretei*  
The sizes of the dolines marked F5 and F6

Név	Terület (m <sup>2</sup> )	Térfogat (m <sup>3</sup> )
F5 töbör	518,3256965	1987,229
F6 töbör	53,68101326	111,6276



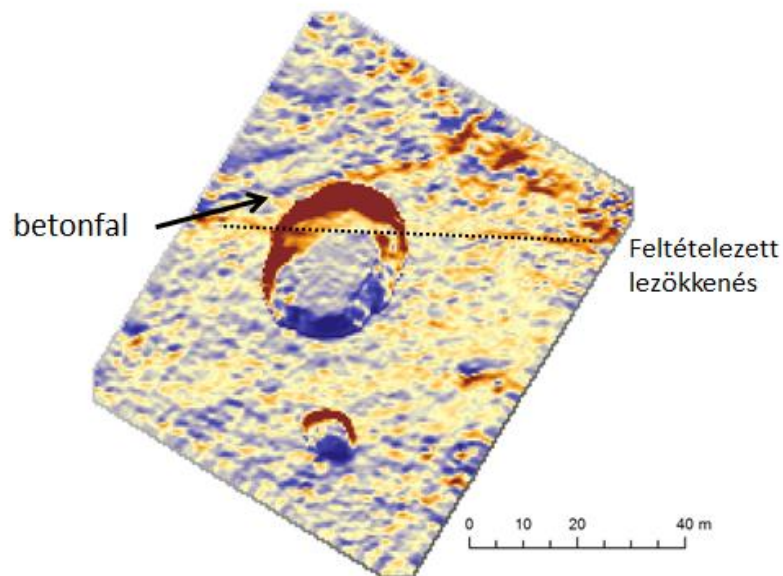
9. *ábra*: Kereszszelvények az F5 és F6 töbrökön keresztül  
Fig. 9: Cross section through of the sinkholes F5 and F6

A keresztmetszvények és az oldalnézeti kép is mutatja, hogy a beszakadások nem sík felszínen keletkeztek, hanem enyhén lejt a terep a kisebb berogyás felé. A felülnézeti képen látható egy mesterséges beton elem, ami a stabilizáló szerepe miatt fontos. A profilok alapján is látható, hogy a kisebb berogyás aszimmetrikusabb, mint a nagyobb (9. 10. ábra).



10. ábra: Digitális felszínmodell az F5 és F6 töbrök környékéről  
Figure 10: DTM of the F5 and F6 sinkholes

Az ábrán látható árnyékolt domborzatmodell (hillshade) megmutatja egyrészt a betonfalat, másrészt olyan sávot jelöl ki a nagy berogyáson át, ami feltehetően kicsit már bezökkent. Ezek a bezökkenések terepen járva érezhetők, és beállított északi, 45°os napállásnál ezek a területek árnyékba kerülnek, így azonosíthatóvá válnak (11. ábra).



11. ábra: Árnyékolt domborzatmodell az F5 és F6 töbrök környékéről  
Fig. 11: Hillshade model of the area around the F5 and F6 sinkholes

### *A Lajos-bánya feletti terület morfológiai és morfometriai vizsgálatának eredményei*

Az 1886-ban megnyitott Új-Lajos-bányában már a kezdetektől a kamrás sóbányászatot alkalmazták. Egy kamra 20 m széles volt 60 m magas (ha a só tiszta volt esetenként magasabb is lehetett) a hosszuk pedig több tíz métertől kb. 300 méterig terjedt. A kamrák a fő folyosóból jobbra és balra ágaztak ki. A kamrák között pilléreket hagytak, ezek a lábak tartották a főtét. A Lajos-bánya fő vágatát Faluszlatinától északra alakították ki, keleten a vasúton túl terjedt, a másik irányban a legnagyobb beszakadásig húzódott (1. ábra). A kamrák méretezését statikai szempontok alapján alakították ki, amelyek a száraz sótestben stabilak voltak. A 2010-es nagy vízbetörések azonban itt is megbontották a bánya stabilitását. A mellékelt térkép (1. ábra) alapján látható, hogy egy vagy több kamra mennyezetének beszakadása hozta létre Faluszlatina határában azt a hatalmas iker berogyást (L1 A és L1 B), amely az utóbbi 15 évben keletkezett, és elnyeléssel fenyegeti a falut. A vizsgálatainkhoz felhasznált 2012 és 2014 között készült, a Google Earth által közzétett műholdkép, ill. a terepen végzett megfigyeléseink, méréseink tanúsítják, hogy ezek a kb. 30 m mély, meredekfalú beszakadások ma is aktívak, gyorsan szélesednek, és várhatóan tovább terjednek a falu irányába, amely közelében húzódnak a bányavágatok (12. ábra).

A két nagy szakadékdolina (L1 A és L1 B) és több kisebb berogyás, (L2, L3, L4 stb.) helyén valaha egy kis kanyargós völgy húzódott, amely az Új-Lajos-bánya feletti térszínről gyűjtötte össze a vizeket. Az Izvor nevű kis időszakos vízfolyás az izraelita temető mellett Ny felé kanyarodva nagy eséssel futott le a Tisza magas teraszának pereméről, amelynek lábánál valaha malom működött. Ez a kis patak szállította el a Lajos-bányából szivattyúval kiemelt sós vizet is. Valószínűleg ennek az érnek a vize jutott be a régi kutatóaknákon, ill. újonnan kialakult repedéseken át a kavicsrétegeken keresztül a bányába, amit azután a tiszai árvizek követtek. A bánya elfulladásá után már csak idő kérdése, hogy a sópillérek oldásával mikor bomlik meg a kamrákban a statikai egyensúly és mikor és hol indul meg a felszínig hatoló omlás. Az egyes dolinákban végbement változásokat alább mutatjuk be.



12. ábra: A Lajos-bánya feletti töbrök a 2012. 07. 04-én készült Google műhold felvételen  
Fig. 12: Sinkholes on the area above the Lajos salt mine on the Google satellite image 24. 07. 2012

A Nagy-szakadék (L1 A) berogyása legalább 15 évvel ezelőtt kezdődött, feltehetően az 1998-as és 2001-es nagy árvizek következtében. Az akkor kialakult nagy szakadékot Németi Béla nyugalmazott sóbányász szóbeli tájékoztatása szerint egyszer már feltöltötték azzal a földdel, amit a Sóbányászati Múzeum (már csak az épület áll, néhány éve bezárták) alatti gödörből termeltek ki, de később a behordott anyagot is teljesen elnyelte a szakadék.

A Nagy-szakadék szomszédságában egy másik kamra beomlása hozta létre az Új-szakadékot (L1 B.), amelyben a 2012. 07. 04. műholdképen egy tó látható. 2014. 06. 11-én készült műhold felvételek alapján érzékelhető, hogy a szakadék kb. a kétszeresére szélesedett és összeért a Nagy-szakadékkal.

2015 nyarán a terepbejárásaink során újabb változásoknak lehettünk szemtanúi, a szakadékdolina alját korábban kitöltő sóstó eltűnt, a tó helyén



víznyelő alakult ki. A víznyelős töbör alján a sötétben kialakult 10-15 m magas kapuszerű torokba folyt be a csapadékból származó vizek táplálta kis patak, amely a falu egy részének (3 kilenc emeletes ház, óvoda, iskola) szennyvizével gyarapodott egy csőtörés miatt. Mind a két szakadékdolina alján 2015 végéig felszínre bukkant a szálban álló sókőzet, rajtuk jól fejlett karrformák alakultak ki (13. ábra).



13. ábra: Víznyelővé átalakult szakadék dolina 2015-ben (L1B)  
Fig. 13: The collapse doline L1B developed into a sinkhole in 2015

A 2016-os csapadékos évben a Lajos-bánya is megtelt vízzel, a felette kialakult két nagy szakadékdolina víz alá került, a köztük emelkedő gerinc lealacsonyodott, végül a két dolina összekapcsolódásával egy hatalmas tavas dolina keletkezett (2. ábra). A 2016-ban készített drón felvételek alapján végzett morfológiai mérések igazolták, hogy ez lett az Aknaszlatinai-sókarszt legnagyobb méretű objektuma. A nyolcasra emlékeztető tavas dolina területe  $39\,175\text{ m}^2$ , a legnagyobb átmérője 354 m, a kerülete 931 m. A dolinató területe  $19\,487\text{ m}^2$ , átmérője 251 m, a kerülete 720 m.

Faluszlatina északi peremvidéke jelenleg a szakadékdolinák kialakulásával leginkább veszélyeztetett terület, ahol további kisebb-nagyobb bezökkenéses dolinák pl. a Faluszlatina melletti beszakadás (L3) és az egykori Szent János kápolna melletti beszakadás (L4) stb. jelzik, hogy az Új-Lajosbánya kamráinak a beomlása folyamatosan tart (1. ábra). 2016 tavaszán keletkezett az a legfiatalabb bezökkenéses dolina (L2), amely az L1 A és L1 B egyesülésével kialakult óriási tavas dolinától nyugat felé pár hónap alatt jött létre. Pár hónap alatt egy kb. 30 m mély,  $5\,898\text{ m}^2$  területű, 98 m átmérő-

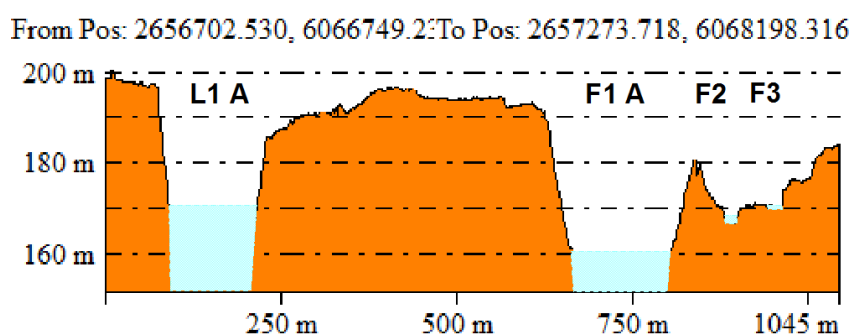
jű és 302 m területű dolina született a Lajos-bánya újabb kamrájának be-  
szakadásával. Az új dolina néhány tíz méterre alakult ki a mellette található  
nagy tavas dolinától, a köztük ívesen húzódó szakadásvonalak alapján nem  
nehéz megjósolni, hogy hamarosan ez is a jelenlegi legnagyobb szakadék-  
dolinához kapcsolódik.

### *Hidrológiai megfigyelések*

Az elmúlt években tett terepbejárások és észlelések során néhány érdekes  
hidrológiai megfigyelést és mérést is végeztünk a sókarsztos területen. Azt  
tapasztaltuk, hogy a nagy tavas szakadékdolinákban a vízszint ingadozása  
egyik évről a másikra nagy volt, elérhette a 15-20 métert is, amely száraz-  
zabb időszakokban egyes dolinákban a korábban meglévő tó eltűnését  
eredményezte. Ilyen gyors és látványos kiszáradás történt az L1 B szaka-  
dékdolinában 2012 és 2014 között, mikor a tavas szakadékdolinából víznyel-  
ő dolina alakult ki (13. ábra). A 2014. és 2015. száraz évben a mélyebb  
dolinák talpa a vízszint süllyedése miatt szárazzá vált teljesen, felszínre ke-  
rült a szálban álló sóközet a Lajos-bánya iker dolinájában (L1 A és L1 B) és  
a Ferenc-bánya két kisebb dolinájában (F1 B, F1 C). A nagy szakadékdoli-  
nában (F1) nem tűnt el a tó ekkor sem, de felszínre bukkant kisebb foltok-  
ban ennek az alján is a lejtő alsó harmadában a karrokkal borított sóközet. A  
tó vize szakaszosan csökkent, amiről a függőleges sófalakon kialakult  
színlők tanúskodtak. A közeli kisebb dolinák közül 2015-ben a jelenlegi F3-  
as töbor egyik korábbi mélyedésében, a Tavas-dolinában volt kisebb vízki-  
töltés, a másik szomszédos dolina víznyelőként funkcionált (lásd korábban).  
A 2016-os csapadékos évben a vízszint megemelkedésével ezek összeolvad-  
tak, és ma egy nagyobb vízzel kitöltött mélyedést alkotnak (F3). 2016 tava-  
szán a Tisza áradásai miatt 15-20 méteres vízszintemelkedés történt a nagy  
szakadékdolinákban, és víz alá kerültek az előző években még látható  
sókarros felszínek (F1 A, F1 B, F1 C, L1 A, L1 B), mindegyik tavas szaka-  
dékdolinává változott. A bányákat ismételten előntő édesvíz további oldási  
folyamatokat generált, amely új lezökkenéses dolinák kialakulását eredmé-  
nyezte, ezek közül a két legnagyobb (F5 és L2) ugyancsak tavas dolina.

A 2016 őszi drónfelvételek alapján készített digitális terepmodell  
(DDM) lehetővé tette a sókarsztos térszín domborzati viszonyainak három-  
dimenziós megjelenítését, és keresztshelvények készítését a sókarsztos mé-  
lyedéseken át. A elkészült szelvény alapján látható, hogy a vízzel kitöltött  
dolinák vízszintje különböző magasságban van, az L1 A és L1 B-ben 170  
m, az F1 A szakadékdolinában 160 m, az L2-ben 169 m, az L3-ban 171 m  
tszf. magasságban húzódik (a modellezés hibahatára a vertikális magassá-

gok meghatározásában elérheti az 1-2 métert!). Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a sókarsztos rendszert kitöltő víz nem a közlekedési edények törvényszerűségei szerint helyezkedik el, az egyes objektumok nincsenek összeköttetésben egymással vagy ez a kapcsolat gyenge, a felszín alatti vízáramlás nem fejtett járatokon és hasadékokon keresztül történik. Az egyes dolinák hidrológiai értelemben viszonylagos elszigetelt helyzetben vannak a vízázó rétegek helyzete, és a domborzati viszonyok miatt (14. ábra).



14. ábra: Keresztmetszvény a sókarszt tavas töbrein keresztül (2016)  
Fig. 14: Cross section through the doline of the saltkarst (2016)

Jól megfigyelhető változások mentek végbe a felszíni vízfolyásokban is, az oldási folyamatokra visszavezethető helyi süllyedési folyamatok és a dolinák képződése miatt. A sódiapír kiemelkedése miatt a Tisza egykori ártéri síkságából keletkezett teraszok lépcsőzetesen emelkednek ki a sóhegy területén, a kiemelkedés nagy kanyarulat kialakítására kényszerítette a Tiszát. A mintegy 200 m magasra kiemelkedő sóhegy fedettkarsztos térszínén csak időszakos vízfolyások alakultak ki, ÉK-en a Glod-patak, amely a sötéstet északról megkerülve torkollik a Tiszába, és a Faluszlatina, ill. a Lajos-bánya felől ÉNy felé tartó Izvor-patak. Utóbbi a nevéhez híven kis források tápláltak, a Lajos-bányából kiszivattyúzott vízzel gyarapodva az ártérre lefutva két vízimalmot is hajtott. Az Izvor-ér szárazon maradt völgye jól kirajzolódik a sóhegy tetején, de a patakot lefejezte a közelmúltban kialakult L1 A és L1 B szakadékdolina. 2015-ben még jól látszott, hogy ez a kis ér Faluszlatina északi peremén az eltört szennyvíz csatorna szennyvizével gyarapodva eltűnik az L1 B víznyelős szakadékdolina víznyelőjében. Napjainkra annyiban változott meg a helyzet, hogy az egykori víznyelő helyén egy nyolcasra emlékeztető alakú nagy tó keletkezett, miután egybenyílt az L1 A szakadékdolinával (15. ábra).



15. ábra: Az L1 A és L1B töbrök az összeolvadás után (2016)  
Fig. 15: The collapse dolines (F1A and F1B) after their merge (2016)

A Ferenc-bánya és a 9-es-bánya közötti horpadáson keresztül folyt valaha a Glod-patak, amelyet a bányák megóvása érdekében egy fedett vízgyűjtő csatornába (stól) tereltek. Ennek a nyomvonala nagyjából az eredeti lefolyási irányt követte. Az utóbbi kb. húsz évben azonban a Tisza felől a kavicssterasz anyagában beáramló árvizek olyan jelentős oldási folyamatot fejtettek ki az eltemetett sótestben, hogy a két bánya közti horpadás mintegy 10 méterrel mélyebb lett és a kis ér vize már nem tud eljutni a kiépített stól nyílásához. Ez a víz folyamatosan szívárog be a sótestbe a Ferenc-bánya kamrái felé. A Ferenc-bánya felett kialakult nagy szakadékdolina (F1 A) keleti peremén lassan süllyed a térszín, a felszínre nyíló repedések mentén befolyó édesvíz apránként felemésztí a kamrák közti pillérekét. Újabb és újabb bezökkenéses- és utánsüllyedéses töbrök jönnek létre (F2, F3, F4, F5) a leggyorsabban süllyedő területeken. Ez az egyik legveszélyeztetettebb terület az Aknaszlatinai-sókarszt területén, ahol további felszínmozgásokra lehet számítani.

### **Összefoglalás, következtetések**

Az elmúlt 250 évben kitermelt só helyén keletkezett üregek ma beomlással veszélyeztetik az aknaszlatinai sóhegyet, és kitelepítésre kényszeríthetik az ott élő családokat. Ebben a tanulmányunkban a Ferenc- és Lajos-bányák fölötti területen 2010 óta végbement gyors geomorfológiai változások vizsgálatának eredményeit foglaljuk össze. Időrendi sorrendben vizsgáltuk a bányaomlások által kialakított berogyásokat, nyomon követe a morfológiai és hidrológiai változásokat és elemezve a kialakító folyamatokat.

Az Aknaszlatinai-sókarszt kavicsos, agyagos üledékekkel borított fedettkarszt, jellemző formái a fedettkarsztos mélyedések, főleg lezökkenéses töbrök és utánsüllyedéses töbrök. Ezekben a töbrökben napjainkban sehol nem látszik a sóközet, a dolina mélyedése minden esetben a sót fedő kavicsos üledékekben jött létre. A sókarszt legnagyobb méretű karsztos mélyedései a bányák kamráinak beszakadása hozta létre, például Faluszlatina határában a Lajos-bánya beomlásával kialakult hatalmas iker berogyást (L1A és L1B), és a Ferenc-bánya kamráinak beszakadásával kialakult F1 A, F1 B és F1 C szakadéktöbröket.

A vizsgált időszakban főleg a Tisza áradásaihoz kapcsolódó újabb édesvíz betörés és elárasztás az aknaszlatinai sóbányákban jelentős mennyiségű só feloldását, és emiatt újabb beomlásokat okozott a felszínen, rövid idő alatt látványos morfológiai, morфомetriai és hidrológiai változásokat eredményezett a vizsgált területen. A szárazabb és csapadékos évek váltakozása a nagy szakadékdolinák alján kialakult tavak vízszintjében akár 20 méteres ingadozást eredményeztek. A drónos felvételekből szerkesztett digitális domborzatmodell alapján megállapítottuk, hogy a dolinavak vízszintje eltérő magasságban helyezkedik el, ami arra utal, hogy a domborzati és földtani viszonyok miatt hidrológiai értelemben nincsenek kapcsolatban egymással.

A lokális süllyedések és a dolinák kialakulása miatt megváltozott a sóhegy területén a felszíni vízhálózat, az időszakos vízfolyások az új berogyásokban kialakult víznyelőkben tűnnek el.

A legveszélyeztetettebb helyszínek az Aknaszlatinai-sóhegyen Faluszlatina határában a Lajos-bánya felett, ill. a Ferenc-bánya és 9-es-bánya közti területen található.

### **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik részt vettek a terepi mérésekben, önzetlenül segítettek, ill. támogatták munkánkat, elsősorban Némethi Béla nyugdíjas aknaszlatinai bányásznak, aki rengeteg hasznos információval szolgált Aknaszlatina múltjával kapcsolatban, és a terepbejárás során nyújtott rengeteg segítségéért.

### **IRODALOM**

*BERGHAUER S.* (2012): A turizmus, mint kitörési pont Kárpátalján (?) (Értékek, remények, lehetőségek Ukrajna legnyugatibb megyéjében) – PhD

értekezés Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola. Pécs 213 p.

*ERDŐSI F.* (1969): Az antropogén geomorfológia, mint új földrajzi tudományág. – Földrajzi Közlemények 17 (1) pp. 11–26.

*ERDŐSI F.* (1987): A társadalom hatása a felszínre, a vizekre és az éghajlatra a Mecsek tágabb környezetében. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 227 p.

*FORD, D. C., WILLIAMS P.* (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology – John Wiley and Sons. Chicester, 562 p.

*GUTIÉRREZ, F., PARISE, M., DEWAELE, J., JOURDE, H.* (2014): A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst – Earth-Science Reviews 138. pp. 61–88.

*IZSÁK T.* (2007): Ukrajna természeti földrajza – Rákóczi-füzetek, XXVII. II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Ungvár, 216 p.

*KOMPÓTY J.* (1908): Az aknaszlatinai Kunigunda-bánya beomlása – Bányászati és Kohászati Lapok. 46. pp. 390-392.

*LUKÁCS K., LUKÁCS J.* (1999a): Aknaszlatina – a só, a víz és a levegő kincsestára Aknaszlatina. <http://www.freeweb.hu/saltmining/elozo/04apr.htm>

*LUKÁCS K., LUKÁCS J.* (1999b): Aknaszlatina, a só, a víz és a levegő kincsestára című könyvének "Máramarosi sóbányászat a XVIII., XIX. és XX. század térképeinek tükrében" című fejezete: <http://goo.gl/6OSjA4>

*MÓGA J., LIPPMAN L., TOMBOR E., FEHÉR K., KÉRI A., BORSODI A.* (2015): Az Aknaszlatinai-sókarszt felszínalaktani vizsgálata – Karsztfejlődés XX. pp. 185-213. DOI: 10.17701/15.185-213

*RÉTHY K.* (2010): Bányászattörténeti Közlemények IX. 5(1) pp. 42-48.

*SCHMIDT ELIGIUS R.* (1941): A magyar só geológiája, bányászata és nemzetgazdasági jelentősége – A Mérnöki Továbbképző Intézet 1941. évi tanfolyamainak anyaga, 11. füzet, Budapest, 17 p.

*SNAVELY, N., SEITZ, S. M., SZELISKI, R.* (2008): Modeling the world from Internet photo collections – International Journal of Computer Vision, 80. (2), pp. 189-210. DOI: [10.1007/s11263-007-0107-3](https://doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3)

*SZOKOL P.* (1879): Az aknaszlatinai sótelep bányászata – Bányászati és Kohászati Lapok, 12. pp. 133-135, 148-149.

*VERESCSAGIN V. N. ED. (ВЕРЕЩАГИН В. Н. РЕД.)* (1982): Стратиграфический словарь СССР. – Палеоген, неоген, четвертичная система / Az SzSzkSz sztratigráfiai szótára. – Paleogén, neogén, és negyedidőszak. Изд. Недра, Ленинград. 419 p.

*VERESS M.* (2004): A karszt – BDF Természetföldrajzi Tanszék 215 p.

*VERESS M.* (2016): Covered Karsts – Springer, Berlin, New York, Heidelberg 536. p. DOI [10.1007/978-94-017-7518-2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7518-2)

- VOZNYESZENSZKIJ A. I. (ВОЗНЕСЕНСКИЙ А. И.) (1988): История формирования неогеновых отложений Закарпатского прогиба / A neogén üledékek kialakulásának története a Kárpátaljai-süllyedésben. – Академии Наук СССР, Наука, Москва. 109с. 47 p.*
- WALTHAM, T., BELL, F., CULSHAW, M. (2004): Sinkholes and subsidence – Springer. 381. p.*
- WARREN, J. K. (2006): Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons – Springer Berlin Heidelberg New York, 1035 p.*
- ZENTAI Z. (1994): A Parajdi sókarszt geomorfológiája – A BDTF Tud. Közl. IX. Természettud. 4, Szombathely. pp. 233-248.*