

A Life SandBoil projekt geotechnikai vizsgálatai a Szigetközben

Koch Edina¹, Maller Márton², Gombás Károly²

¹ Széchenyi István Egyetem

² Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

Kivonat

A Szigetközi árvédelmi töltések állékonyságát elsősorban a buzgárképződés veszélyezteti, mert a Duna kavicsteraszt jellemzően vékony, kötött fedőréteg borítja. A 2013. évi, valaha mért legnagyobb vízzinttel tetőző árvíz idején számos helyen jelentkezett altalaj teherbírási probléma. A Life SandBoil projekt, „Természetközeli megoldások a buzgárképződésből eredő árvíz kockázatok csökkentésére a Pó folyó mentén”, a nagy árvizek hatására kialakuló mentett oldali jelenségek, a buzgárok elleni beavatkozási lehetőségeket vizsgálja. A projekt célja olyan új megoldás kidolgozása, modellezése és terepi kialakítása, mely univerzálisan alkalmazható több helyszínen, különböző körülmények között. A tanulmány a projekt Szigetközi mintaterületén végzett helyszíni vizsgálati program eredményeit mutatja be. A Pó folyó mintaterületei mellett azért esett a választás ezekre a Duna-menti helyszínekre, mert itt a korábbi nagy árvizek alatt intenzív buzgárképződést dokumentáltak.

kulcsszavak: árvíz, buzgár, Duna, talajfeltárás, talajjellemzés

1 BEVEZETŐ

Az éghajlatváltozás komoly hatást gyakorol az időjárásra és a természeti környezetre, ami jelentős változásokat idéz elő a világ számos részén. Az egyik ilyen hatás az árvizek gyakoribb előfordulása, amelyek súlyos károkat okoznak az emberi életre, az infrastruktúrára és a környezetre egyaránt. Az egyre nagyobb gyakorisággal jelentkező, tartós árvizek elősegítik az általános állékonyságvesztés és a hidraulikus talajtörés kialakulását.

Az EUROCODE 7 a hidraulikus talajtörés négy olyan formáját különíti el, melyeket a pórusvíz nyomása vagy szivárgása idézhet elő és amelyeket ellenőrizni kell:

- felúszás (felhajtóerő) miatti tönkremenetel, mely akkor következik be, ha egy szerkezet vagy egy kis áteresztőképességű talajréteg alatt nagyobb pórusvíznyomás alakul ki, mint amekkora az ottani átlagos takarási nyomás (amely a szerkezet és/vagy a talajréteg súlyából adódik),
- felszakadás miatti tönkremenetel, mely akkor következik be, ha a fölfelé irányuló szivárgási erő a talaj súlya ellen működvén nullára csökkentik a hatékony függőleges feszültséget, s ezért a függőleges vízmozgás helyzetükből kiemeli a talajszemcséket és (megfolyósodás jellegű) törést okoz,
- belső erózió miatti tönkremenetel, melyet a talajrészecskék elszállítódása okoz, ami bekövetkezhet valamely talajréteg belsejében vagy a réteghatáron vagy a talaj és valamely szerkezet érintkezési felületén, s a jelenség hátráló erózióvá fajulhat, mely végül a szerkezet összeomlásához vezethet,
- buzgárosodás miatti tönkremenetel, mely egy sajátos, pl. egy tározó töltés alatti, belső erózió miatti törési forma, ahol az erózió a térszínen kezdődik, majd befelé hátrál, mígnem egy csőszerű vízvezető járat alakul ki az altalajban vagy a talaj és egy alapsík között, vagy egy kohéziós és egy szemcsés réteg határán, s a törés akkor áll elő, amikor az így kimosott járat felvizi vége eléri a tározó alját.

Ezek közül a földgátak tönkremenetelének az egyik leggyakoribb oka a belső erózió. A belső erózió megjelenési formái közül az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) működési területén nagyszámú buzgárjelenség került dokumentálásra az elmúlt évtizedek nagy árvizei során. Jelenleg általánosan elfogadott megoldás a védekezés keretében ellennyomó medence létesítése homokzsákokból (1. ábra). Ez azonban csak ideiglenes megoldás, amely nem orvosolja az alap problémát, és nem akadályozza meg az újbóli anyagkihordást, a jelenség újbóli megjelenését és fejlődését.

A LIFE19 ENV/IT/000071 azonosító számú, SandBoil „Természetközeli megoldások a buzgárképződésből eredő árvíz kockázatok csökkentésére a Pó folyó mentén” c. projekt témája a nagy árvizek hatására kialakuló mentett oldali jelenségek, a buzgárok elleni beavatkozási lehetőségek vizsgálata és terepi megvalósítása. A projekt célja olyan új megoldás kidolgozása, modellezése és terepi kialakítása, mely univerzálisan alkalmazható több helyszínen, különböző körülmények között (Marchi et al. 2022). A projektben az ÉDUVIZIG, partnerként vesz részt, a vezető intézmény a Bolognai Egyetem.

Jelen tanulmány a Duna mentén, a Szigetközben (01.03. Vének-dunaremete-i árvízvédelmi szakasz) végzett átfogó helyszíni vizsgálati program eredményeit mutatja be, ahol a 2013-as árvízi esemény (az eddigi legmagasabb feljegyzett vízállás) során és azt megelőzően is dokumentáltak buzgárosodást.



1. ábra. Buzgár a Szigetközben, a Duna mentén (2013).

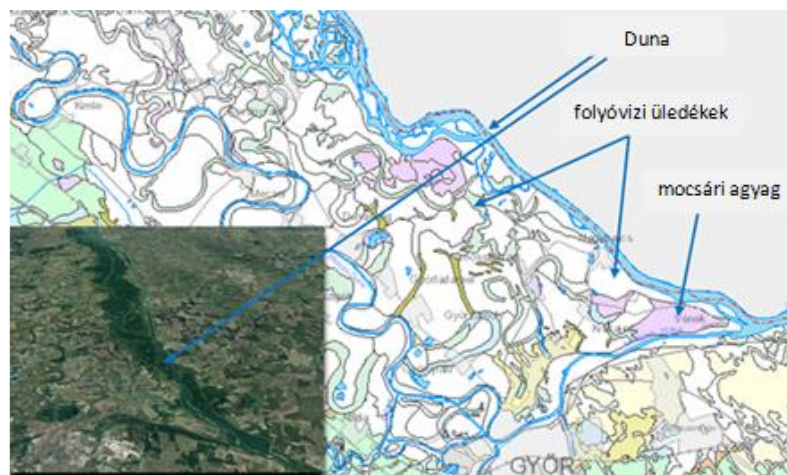
2 A SZIGETKÖZ GEOLÓGIÁJA

A Szigetköz azon a törmelékkúpon terül el, amelyet a Pozsonyi-kapun belépő Duna épített a Kisalföld süllyedő felszínére. Mintegy 80 km hosszú és 40 km széles ez az orsó alakú hordalékkúp, amit közel 2 millió év alatt épített fel a folyó. Ezen a területen a Kisalföld állandóan süllyed, közel 500 m-t millió évenként (Pécsi, 1975). A 19. század végéig, ennek a hordalékkúpnak a tetején, széles ágrendszerben folyt a Duna, állandóan tovább építve azt. Ágrendszere kiszámíthatatlanul változott, s áradáskor hatalmas területeket öntött el a víz egészen a 19. század végén bekövetkező szabályozásig (Szabó, 2005).

A földtörténeti harmadkor legvégén, a pliocénban a sekély Pannon-tenger borította a területet, ami számos hordalékot szállító vízfolyásnak volt a befogadója (Pécsi 1975). A finom szemcsés részecskék leülepedtek a tenger fenekén, és az évmilliók során létrehozták a gyakorlatilag vízzárónak tekinthető pannon agyag réteget. Ez a beltenger később visszahúzódott, visszahagyva maga után a vastag üledékréteget. A kislalföldi medencében a folyóvízi lerakódások a felső-pannon emeletben kezdődtek meg, ez töltögette tovább a medencét (Göcsei 1979). A negyedkor kezdetén, a pleisztocénban a Kislalföld tektonikus kéregmozgások nyomán szakszoros süllyedésnek indult, miközben a környező területek emelkedtek. Ez a folyamat napjainkban is tart. Eközben a Duna folyása is megváltozott, a korábbi déli irány helyett kelet felé haladt át a Kislalföldön. A Kislalföld Ny-i, DNy-i és D-i peremterületei ma is emelkednek, míg központi zónája, a Győr – Pozsony közötti medencerész intenzíven süllyed (Jaskó 1995).

Az Ős-Duna üledékképző tevékenysége következtében kavics, homokos kavics, homokmentes görgeteg hordalékok rakódtak le a negyedkorban hordalékkúp formájában. A folyami lerakódás Pozsonynál még csak 20 m, de Mosonmagyaróvárnál már 220 m vastag, az Alsó-Szigetközben akár 300 m vastagságot is elér. A hordalék nyugaton túlnyomórészt kavics, kelet felé azonban egyre több apróbb, finomabb szemcsés lerakódás figyelhető meg (Bulla-Mendöl, 1999). A hordalékkúpra érkező és annak gerincén folyó Duna számtalan ágra szakadt, ami nemcsak azért alakult így, mert a hordalékhozam meghaladta a folyó hordalékszállító képességét, hanem azért is, mert már a kisebb árvizek is elöntötték a hordalékkúpot. Ezek az elöntések az utolsó tízezer év során a hordalékkúpot finom szemcsés anyaggal, az ún. holocén fedőréteggel borította be. Anyaga aleurolit, kőzetliszt, néha magas agyagtartalommal, sőt agyagrétegekkel is találkozhatunk (Völgyesi, 1994). A Szigetköz felszíni földtani térképét a 2. ábra szemlélteti.

A Duna főmedrének viszonyai a bőszi vízlépcső megépülésével és üzembe helyezésével generálisan átalakultak. A „talajvíz” eredetileg ténylegesen a felszín közelében volt, a Duna vizének elterelése következtében azonban a főmeder mentén a szintje valamelyest süllyedt.



2. ábra. A Szigetköz felszíni földtani térképe (MÁFI)

3 HELYSZÍNI ÉS LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

2013-ban, a valaha mért legnagyobb vízszinttel tetőző árvíz során számos buzgárt regisztráltak a 01.03. árvédelmi szakaszon a Duna mentett oldalán. Az árvíz levonulása után 4 helyszínen

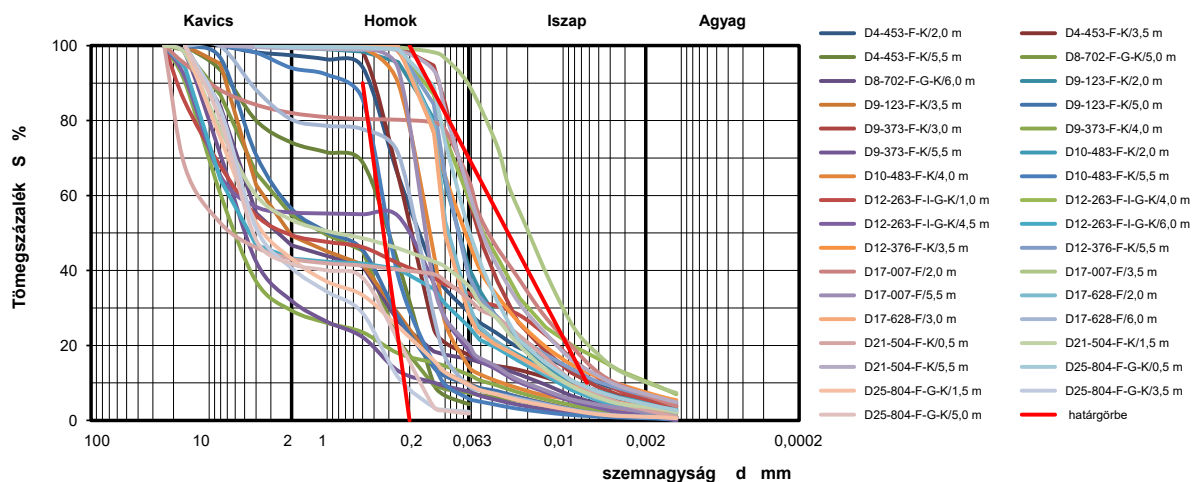
komplex feltárási program is készült. Összesen 24 talajmechanikai fúrás készült, részben a vízoldalon, részben a mentett oldalon, jellemzően ~8 m mélységig. A nagyobb buzgárok környezetében 4 CPT-szondázásra is sor került, ~10 m-es talpmélységgel. Ezenkívül ~3 km hosszan, ~15 m mélységig felszíni geofizikai méréseket készítettek, jellemzően a buzgárral egy vonalban, a töltéssel párhuzamosan. Az árvíz idején a buzgárokból talajmintát vettek.

A Life SandBoil projekt egyik célja, hogy a buzgárok kifejlődését kiváltó dinamikai folyamatokat vizsgálja. E cél érdekében 2021-ben további helyszíni vizsgálatokat végeztünk a Duna mentén, a mentett oldalon. Tizenegy talajmechanikai fúrás és 10 CPT vizsgálatra került sor, valamint lehetőség volt felszíni geofizikai mérésre és az áteresztőképesség vizsgálatára infiltrométeres vizsgálattal.

3.1 Talajmechanikai fúrás eredményei

A laboratóriumi vizsgálatok alapján a feltárt talajokat 4 csoportba soroltuk: 0. jelű réteg a korábbi megerősítés során felhordott leterhelő töltés anyagát jellemzi, az 1.j. réteg a fedőréteg anyaga, jellemzően közepes és sovány agyag, a 2. j. réteg a Duna öntéstalajait reprezentálja. A 3. réteg a Duna kavicssterasza, mely azonosítás alapján homokos, iszapos kavics, homokos kavics, kavicsos homok. A 2. jelű összletet további 2 alcsoportra bontottuk: 2a. j. rétegbe soroltuk az iszapos, agyagos homok és homoktalajokat, melyek jó vízvezető képességűek, vastagságuk 2,1-4,7 m között változik. A 2b. j. réteg iszap, mely helyenként kavicsszórványos, homokos, homokos agyagos, közepes vízvezető képességgel, változó, 0,5-3,1 m vastagsággal. A 2a és 2b részrétegek egymást váltogatva jelennek meg a területen.

A 3. ábra a szemcsés rétegek szemeloszlási görbéit mutatja. Látható, hogy alapvetően két görbesereg van. Az egyik csoportba tartoznak a Duna jellegzetes, hiányos szemeloszlású, lépcsős görbéjű, kavicsos homok - homokos kavics hordalékának görbéi. Ezek jellemzően a mélyebb zónákból származnak. A másik csoportot a változó homok- és iszaptartalommal jellemezhető homokos iszap - iszapos homokok görbéi alkotják. Az ábrára berajzoltuk a buzgárokból kimozott talajok szemeloszlási görbéi alapján megállapított határgörbéket is (Nagy, 2014). Megfigyelhető, hogy a homokos iszap-iszapos homok görbék jelentős része a meghatározott határvonalakon belül van, buzgárképződésre hajlamosnak tekinthető.



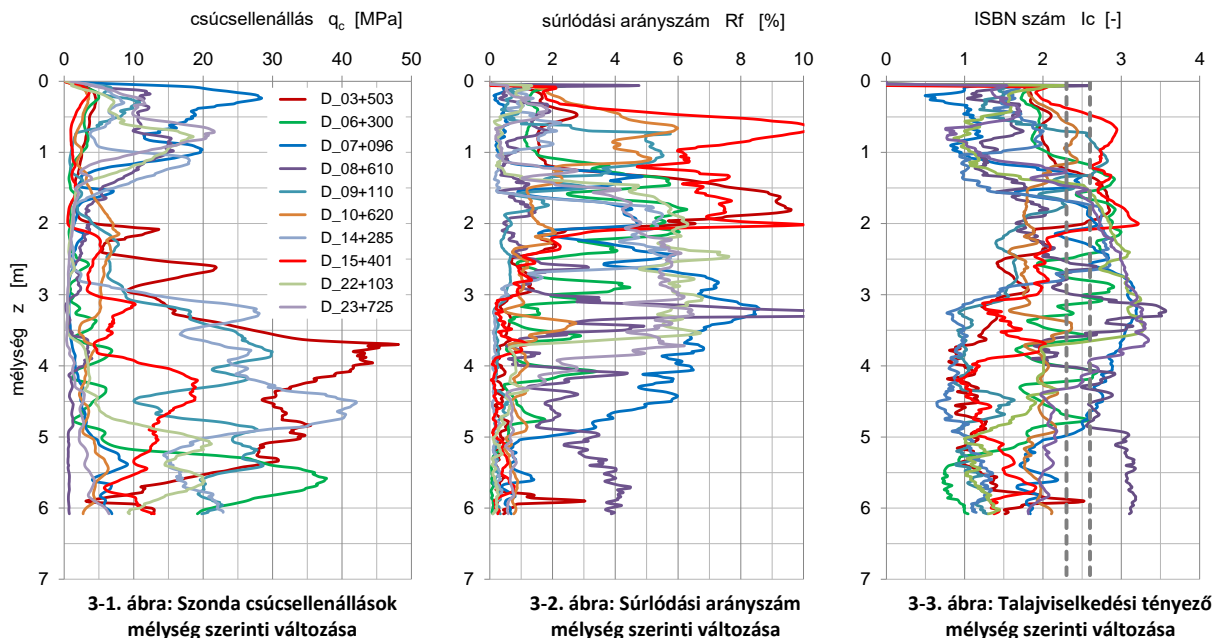
3. ábra. Szemeloszlási görbék

3.2 A CPT szondázás eredményei

Az árvédelmi töltés mentett oldalán 10 helyszínen CPT szondázásra is sor került. A szondázások a terepszintről indultak és jellemzően 6,0 m mélységig tarták fel az altalajt. A talajrétegződés és a talajállapot meghatározására Robertson diagramját használtuk (Robertson, 1995). A fő talajosztályok elhatárolására az úgynevezett talajviselkedési tényezőt (Soil type behaviour index, ISBN - I_c) is figyelembe vettük, mely szerint a kötött és szemcsés talajok közötti határ $I_c \sim 2,3-2,6$ -ra tehető.

A 4. ábra a szonda csúcscellenállások (q_c), a súrlódási arányszám (R_f) és a talajviselkedési tényező (I_c) mélység szerinti változását mutatja. Az ábrák alapján a következő megállapítások tehetők:

- A $\sim 6,0$ m talpmélységű szondák szabálytalanul, hektikusan változó rétegződést mutatnak.
- A felszín alatti 1,0-1,5 m mélységtartományban szemcsés és kötött talajok egyaránt előfordulnak. A felszín közeli, magasabb csúcscellenállású szemcsés rétegek vélhetően egy korábbi fejlesztés, helyreállítás során kerültek a helyszínre.
- A felszín alatt 1,5-2,0 m mélységben a csúcscellenállás jellemzően $q_c < 5,0$ MPa, de előfordul ennél kissé nagyobb érték is.
- $\sim 2,0$ m-el a felszín alatt a csúcscellenállás ismét széles skálán mozog, szeszélyesen változik.
- A vizsgálatok 5,0 m-es mélységtől szemcsés rétegeket mutatnak, de a 8+610 szelvényben puha, gyúrható agyag réteget azonosítottunk.
- A csúcscellenállás q_c , és a súrlódási arányszám, R_f tág határok közötti változása a feltárt rétegek állapotának a változékonyságát jelzik.
- A talajviselkedési tényező ábrája is a rétegződés rendszertelenségét sugallja.

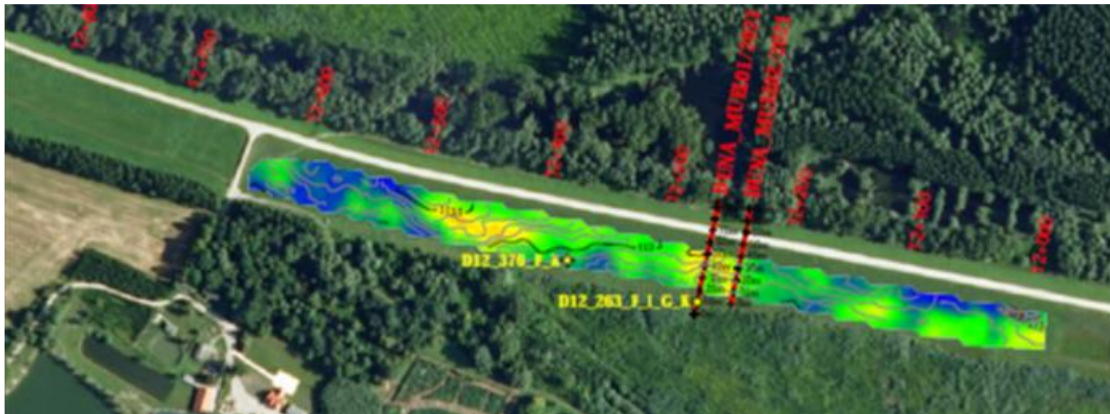


4. ábra. CPT vizsgálatok eredményei

3.3 Geofizikai mérések eredményei

A vizsgált területen sekély mélységű geofizikai vizsgálatokat is előirányoztunk. A hagyományos, multielektrodás geoelektromos (MUEL) mérések a gát szelvényére merőlegesen készültek, míg az elektromágneses térképezéssel (EM) 2 helyszínen, a mentett oldalon, az árvédelmi töltéssel párhuzamosan, kb. 30 m széles sávban vizsgáltuk az altalaj adottságokat. Az előbbi az egyszerű egyenáramú szelvényezés és a vertikális szondázás kombinációja, az utóbbi mérési módszer a felszín közeli 0–6 méteres összlet elektromos ellenállásának szelvénymenti, területi meghatározására szolgál; a különböző elektromos fajlagos ellenállású részek elkülönítését teszi lehetővé. A vizsgálat során a talaj elektromos vezetőképességét határozták meg, különböző mélységtartományokban (2,2 – 4,2 – 6,4 m).

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a területen a mélység növekedésével csökkenő fajlagos ellenállású rétegeket tártak fel. E szerint a felszín közeli, tömörebb, kisebb finom szemcsetartalmú, mesterségesen készített leterhelő töltés alatt puha, kisebb tömörségű, lazább állapotú kötött / átmeneti rétegek találhatóak. Az 5. ábra a felszín alatt, 4,2 m mélységű talajzóna ellenállásait mutatja, amelyen a zöld szín, ~70-80 Ohmm az átmeneti talajokra, a kék szín, ~50-60 Ohmm a kötött talajokra jellemző.



5. ábra. Elektromágneses térképezés eredménye – felszín alatt 4,2 m.

3.4 A talajadottságok értékelése

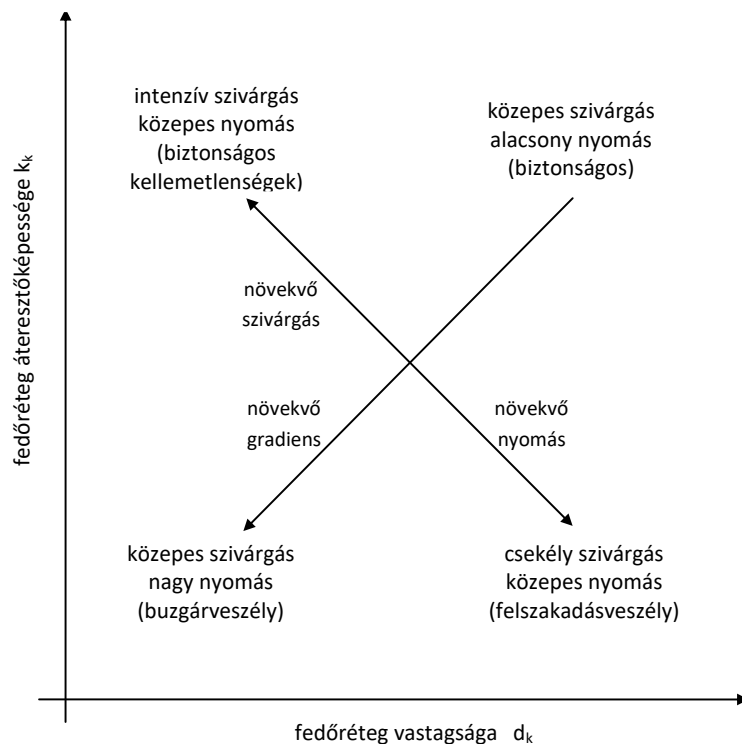
A talajvizsgálatok eredményeinek értékelése alapján a következőket állapítottuk meg:

- A rétegződés rendszertelen, hektikusan változó, területileg és mélységileg egyaránt.
- A kötött fedőréteg vastagsága és típusa nagymértékben változó.
- A kötött fedőréteg alatt homokos-iszapos rétegek váltogatják egymást, jellemzően ~5,0-6,0 m-ig, de sekélyebb és mélyebb rétegeket is azonosítottunk.
- Az átmeneti réteg egyenlőtlen mutatójának átlagértéke alacsony, a rétegek állapota jellemzően laza.
- A Duna kavicssterasza hiányos-lépcsős szemeloszlású, változó kavics és iszaptartalom jellemzi.
- A terepszint magassága kereszt és hosszirányban változó.

A vizsgálatok mindegyikében a felszín alatt változó mélységben, illetve változó vastagságban azonosítottunk agyagos rétegeket. A vélhetően összefüggő kötött zóna többnyire a felszín alatt 1-2 m-en belül jelenik meg, de van, ahol ennél jóval mélyebben, vastagsága ~1,0-2,0 m,

de van, ahol ennél vékonyabb és van, ahol vastagabb. Konzisztenciája változó, jellemzően gyúrható és merev, de azonosítottunk nagyon merev és puha zónákat is.

Az árvízi események során szerzett helyszíni tapasztalatok értékelése, valamint a szakirodalmi adatok vizsgálata alapján megállapítható, hogy a hidraulikus talajtörés bekövetkezését több tényező is döntően befolyásolhatja. A 6. ábra azt mutatja, hogy az árvédelmi gátak esetében meghatározó a fedőréteg vastagsága és áteresztőképessége, ennek különböző kombinációtól függ, hogy melyik veszély fenyeget, illetve mely kombináció biztonságos (Wolff 2002). A Szigetközben, a 01.03. árvédelmi szakasz, a Duna mentett oldalán a jellemzően vékony, alacsony/közepes áteresztőképességű fedőréteg miatt a buzgár veszélyes zónában vagy annak közelében van.



6. ábra. A hidraulikus talajtörés veszélye a fedőréteg jellemzőinek függvényében

A kísérletek és tudományos vizsgálatok szükségességét aláhúzza az a tény is, hogy a növekvő árvízszintek mellett az altalajproblémák miatt az elsőrendű védművek magasítása már ellehetetlenül, mert a megnövekedett vízszint különbség miatt fokozódik a buzgárképződés és talajtörés veszélye. Ezért a jelen védműkörnyezetben meg kell találni a hatékony buzgárképződés elleni megoldásokat és mindemellett a nagyvízi meder levezető-képességének fokozására (többérvű árvízszintek csökkentésére) kell fókuszálni.

4 KÖVETKEZTETÉSEK

A Kisalföld a buzgárképződés melegágya. Nem azért, mert a Kisalföld alatt több száz m vastag kavicssterasz van, hanem azért, mert a kavics felett viszonylag vékony, egyenlőtlen vastagságú, rossz vízvezető fedőréteg található. A buzgároknak hagyományuk és történetük van ezen a területen, tudni lehetett, hogy melyik buzgár milyen vízállásnál kezdett dolgozni, és milyennél

szűnt meg, sőt neve is volt a buzgároknek. A jelentősen növekvő árvízszintek azonban megváltoztatták, megváltoztatják ezt az idilli helyzetet, kimerül a biztonság, növelni kell a gát védképességét (Nagy,2014). A 2013-as rendkívüli Dunai árhullám az eddigi legnagyobb vízszinteket idézte elő, a 01.03. árvízvédelmi szakaszon több helyen beavatkozásokra volt szükség. Az árhullám levonulása után több szelvényben, illetve környezetükben komplex altalaj feltárássra került sor.

A Life SandBoil projekt, „Természetközeli megoldások a buzgárképződésből eredő árvíz kockázatok csökkentésére a Pó folyó mentén”, a nagy árvizek hatására kialakuló mentett oldali jelenségek, a buzgárok elleni beavatkozási lehetőségeket vizsgálja, melyben az ÉDUVIZIG partnerként vesz részt. A projekt célkitűzéseire igazodóan 2021-ben kiegészítő feltárások készültek, melyek eredményeként megállapítható, hogy a mintaterületen változó vastagságú, helyenként hiányzó fedőréteg borítja a felszínt, mely alatt a Duna öntéstartalajai települtek változó vastagságban, és szemszerkezettel, melyek a tisztán homok anyagú rétegektől az iszapig minden talajnemet magukba foglalnak.

A LIFE SandBoil projekt célja olyan új megoldás kidolgozása, modellezése és terepi kialakítása, mely univerzálisan alkalmazható több helyszínen, különböző körülmények között, ami csökkenti a hátráló belső erózió kialakulásának lehetőségét. A 01.03. szakaszon készült vizsgálatok, a megoldás kidolgozásában segítik a vezető partner intézményt.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki, hogy a LIFE19 ENV/IT/000071 - LIFE SandBoil projekt pénzügyi támogatást biztosított a konferencián való részvételre.

Irodalomjegyzék

- Bulla B., Mendöl T. (1999). A Kárpát-medence földrajza, Lucidus kiadó Budapest.
- CIRIA (731) (2013) The International Handbook. CIRIA. London
- EN 1997-1 (2004): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- Göcsei I. (1979): A Szigetköz természetföldrajza. Földrajzi Tanulmányok 16, Akadémiai Kiadó, Budapest. 120 pp.
- Jaskó S. (1995). A Kárpát-medence nyugati szegélyének neotektonikája. Földtani Közlöny, 125, 3–4. pp. 215–239.
- LIFE Environment and Resource Efficiency, Technical Application Forms, Part A—administrative information, 2020.
- M. Marchi, F. Camiletti, M. Dall’Aglia, C. G. Gragnano, L. Tonni, A. Bassi, A. Rosso, K. Gombás, E. Koch, M. Maller (2022). Development of a backward erosion piping database in the framework of the LIFE SandBoil Project, in: European Working Group on Internal Erosion in Embankment Dams, Levees and Dikes and their Foundations - EWG-IE: 28th Annual Meeting, Sheffield, E. T. Bowman, 2022, pp. 91 – 92.
- Nagy L. (2014). Buzgárok az árvízvédelemben. OVF, PR-Innovation Kft. Nyomda, Budapest, ISBN 978-963-12-0319-6.
- Pécsi M. (1975). A Kisalföld és a Nyugat-magyarországi peremvidék. Akadémiai Kiadó Budapest, Sorozatszerkesztő: Pécsi Márton: p. 74-76.
- Robertson P.K. (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Can. Geotechnical J. 46 (11), 1337 – 1355
- Szabó M. (2005). Vizes élőhelyek tájökölógiai jellemvonásai a szigetköz példáján, Akadémiai Doktori Értekezés, Budapest.
- T. F. Wolff (2002). Performance of Levee Underseepage Controls: A Critical Review. US Army Corps. of Engineers. ERDC/GSL TR-02-19.
- Völgyesi I. (1994). A Kisalföld talajvíz és rétegvíz helyzete. Hidrológiai Közlöny, 74. 5. pp. 260–268.