

# ELSŐRENDŰ ÁRVÍZVÉDELMI TÖLTÉS TALAJNEDVESSÉG MONITORING RENDSZERE

Illés Zsombor<sup>1,2</sup>, Dr. Antal Örs<sup>2</sup>, Dr. Nagy László<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar,  
Geotechnika és Mérnökgeológiai Tanszék

<sup>2</sup>Országos Vízügyi Főigazgatóság, Árvízvédelmi Főosztály, Folyógazdálkodási Osztály

## KIVONAT

A globális éghajlatváltozás következtében az aszályos időszakok hossza és intenzitása jelentősen növekszik, a vízjárás is egyre szélsőségesebbé válik, ami elsősorban a kisvízes időszakok számának növekedésében nyilvánul meg. Több nemzetközi és hazai kutatás is foglalkozik a vonalas létesítmények töltéseinek öregedésével, amely a természeti hatások következménye úgy mint: a száradás nedvesedési vagy a fagyás olvadási ciklusok, a forgalmi hatások elhanyagolhatók. Ezeknek a természetes ciklusoknak az eltolódása a töltések vízháztartásának tendenciózus változását vonja maga után. A kiszáradás következtében repedések jelennek meg a töltések rézsűjén és koronáján, burkolt töltések esetén – amennyiben az aszfalt réteg is megreped – ezek évekkal később is látszanak, fontos indikátorai a töltés állapotának. A kiszáradás következménye a negatív pórusvíznyomás (szívás) értékeinek növekedése. A szakirodalomban fellelhetők példák arra, amikor modellkísérletek során talajnedvesség szenzorokat és tenziométereket helyeztek kisminta modellbe, illetve geofizikai mérésekkel követték nyomon a talajnedvesség változást és a repedések kialakulását. Újonnan épült töltésekbe is terveztek talajnedvesség monitoringrendszert, viszont meglévő töltésbe utólag nem építettek még ilyet. A közleményünkben bemutatjuk a szakirodalom áttekintése alapján általunk tervezett monitoring rendszert, mely elsőrendű védvonalba került beépítésre. A működtetését és a várt eredményeket is röviden összefoglaljuk.

**KULCSSZAVAK:** monitoring rendszer, árvízvédelmi töltés, talajnedvesség mérés, negatív pórusvíznyomás

## BEVEZETÉS

Az árvízvédelmi töltések folyók vagy tározók mentén épített vonalas létesítmények. Ezek a földművek általában helyi anyagból épültek (agyag, iszap, homok) kereszt szállítás alkalmazásával. Ez a XVIII-XIX. század során Európa szerte bevett módszer azt jelentette, hogy a vízoldalról kitermelt anyagot használták a töltés építéséhez (Nagy, 2006; Dyer és társai, 2009). A magasztások, illetve a kereszt szelvény bővítésével járó erősítések hatására sok helyen hagymahéj szerkezetű töltés jött létre, ilyen keresztmetszeteket Tóth és Nagy, (2006) illusztrált. A monitoringrendszer telepítése során, a Tisza jobb part 87+620 tkm szelvényében is különböző színű és plaszticitású talajokat keresztettek a fúrások. A mintavételek lehetőséget adnak a töltésbe épített térfogatváltozó talajok azonosítására. Korábban az egész országra kiterjedő töltés burkolat felmérés során is markáns párhuzamos repedéseket dokumentáltak a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság munkatársai, az országos felmérés eredményeinek értékelése Nagy, (2019) szakvéleményében olvasható, míg a hasonló nemzetközi felmérésekkel való összehasonlítás Illés és társai, (2022) publikációjában található. A monitoringrendszer helyszínén a korábban dokumentált töltés burkolat és rézsű repedések fogadták a szerzőket a bejárások során. Továbbá a közeli gátórház építéséhez készült talajmechanikai szakvélemény is térfogatváltozó kövér agyag jelenlétéről számolt be. A helyszín kiválasztásában az említett szempont mellett az alábbiak játszottak közre:

- A töltés szakasz nem került a közelmúltban átépítésre,
- A töltésbe nem került kohósalak-bernye vagy cement alapú vízzáró fal,
- A csapadék adatok beszerzéséhez rendelkezésre áll egy meteorológiai állomás,

- Az adatgyűjtő dobozokat, a kerítéssel körbekerített gépészeti telepen belül lehetett elhelyezni,
- A helyszín Pestről az M4-es autópályán könnyen megközelíthető, akár rossz időjárási viszonyok között is.

A helyszín az 1. ábra látható, míg a repedezett korona burkolatot és a vízdali részsűn található repedéseket a 2. ábra mutatja



1. ábra Talajnedvesség monitoring rendszer Doba mellett, a Tisza jobb parti töltésében



2. ábra Repedezett töltés korona burkolat és a vízdali részsűn megjelenő merőleges repedések

A vizsgált helyszín a Szolnoki-ártér nevű kistájhoz tartozik. A kistáj északi részén a mozaikos összetöredezett medencealjzatot főleg különböző triász-jura törmelékes-karbonátos képződmények alkotják. A pannon időszak után, a rendkívül dinamikus süllyedő felszínt az Északi-középhegységéből érkező folyók töltötték fel, főként kötött (iszapos, agyagos) üledékekkel. A pleisztocén rétegek vastagsága a 400 m-t is eléri. A kistáj felszín közeli üledékeinek döntő többsége már a Tiszához és a Zagyvához kapcsolódó holocén öntésiszap, öntésagyag. A „talajvíz” mélysége a Dobai-főcsatorna mellett, a monitoring rendszer a csatorna torkolati műtárgya közelében került telepítésre, még a 2 m-t sem éri el (Dövényi, 2010).

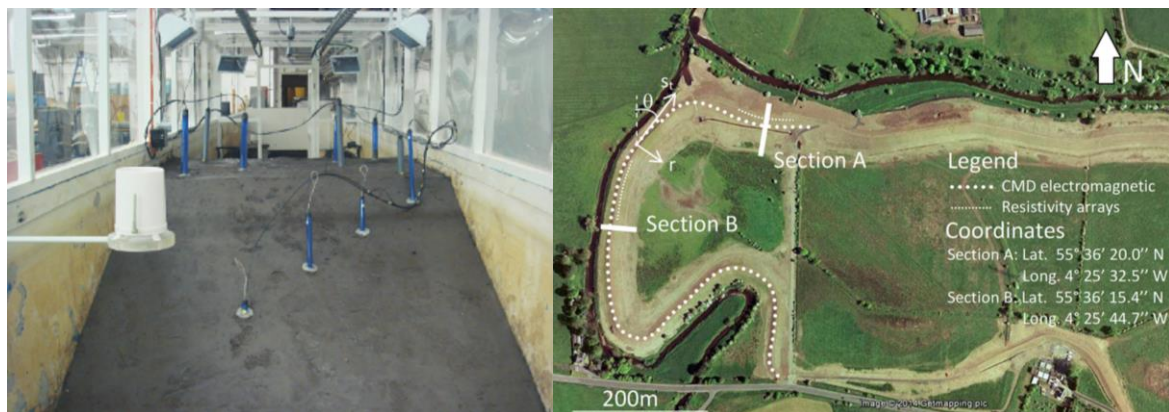
Stefanovits és Dombovári, (1985) agyagásvány társulás térképe alapján a területen a szmektit tartalmú agyagok dominálnak, a talajok 50-70 %-ban agyagásványt tartalmaznak. A szmektitek

csoportjába háromrétegű agyagásványok tartoznak, a legismertebb képviselőjük a montmorillonit, az ilyen tartalmú talajok víz hatására hajlamosak a duzzadásra, száradás következtében pedig erősen repedeznek. Az árvízvédelmi töltésekbe épített térfogatváltozó agyak hatására jelentkező repedéseket a Tisza mentén *Lazányi és Horváth, (1997)* vizsgálta. A monitoringrendszer helyszínétől északra a Sajfoki töltés szakaszon az elmúlt évtizedben több fúrás és talajvizsgálati jelentés készült, amely a talajok térfogatváltozó tulajdonságát igazolta (Nagy, 2010; Nagy és Huszák, 2012; Nagy és Illés, 2016).

### MONITORING RENDSZEREK – SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A monitoring rendszer tervezése során áttekintettük a már telepített rendszereket. A glasgowi Strathclyde Egyetemen egy modell töltést építettek a kutatók, amelyet talajnedvesség szenzorokkal, tenziométerekkel és elektródákkal láttak el geoelektromos mérések céljából (Zielinski és társai, 2011). A modellkísérlet célja az volt, hogy a Galston mellett (Skócia, Egyesült Királyság) épített töltést reprodukálják labor körülmények között (3. ábra), a modellt mesterséges öntöző rendszerrel és infralámpákkal látták el, hogy a szárítás nedvesítési ciklusoknak tegyék ki a mintát. A töltés és a modell anyaga a szemeloszlás alapján glaciális homokos iszap (glacial till) volt. A Galston melletti töltésben két helyen (3. ábra) telepítettek monitoring rendszert, ezek főleg a töltés felső egy méterének nedvesség eloszlását követték, de természetesen mérték a csapadékot és a talaj hőmérsékletet is (Utali és társai, 2015). A *Bionics* projekt keretében az Egyesült Királyságban egy kísérleti töltés épült, amelynek az volt a célja, hogy tanulmányozzák a klímaváltozás hatását a rézsűk stabilitására. A 90 m hosszú töltés egyes szekcióit eltérő mértékben tömörítették (jól, előírásoknak megfelelően és rosszul), illetve egy részét öntöző berendezéssel látták el. A telepített műszerek között voltak víztartalom mérők, piezométerek, tenziométerek, inklinométerek és extenzométerek, a szenzorok teljes listája Hughes és társai, (2009) publikációjában érhető el. A különböző mélységben (0,5 – 1,0 m) elhelyezett tenziométerek mérési eredményeinek értékelésével Stirling és társai, (2017) foglalkoztak, a hat éves időtartama alatt 8 jelentősebb száradást dokumentáltak.

Talajnedvesség mérő szenzorok töltésbe való beépítése nem ismeretlen hazánkban sem, Szolnok külterületén a Milléri Szivattyútelep Oktatási és Szabadidőközpont mellett alakították ki a Karcagi Gábor Árvízvédelmi Gyakorlópályát, a hatszögletű töltés egy szelvényébe talajnedvesség észlelő kutak kerültek, míg egy másikba tenziométerek. Ezeknek a műszereknek a leolvasása nem automatikus. A dobai monitoringrendszer műszerei viszont automatikusan továbbítják a mérési eredményeket az adatgyűjtőbe. A használt mérőműszerek megegyeznek az az Operatív Vízhányó Értékelő és Előrejelző Rendszer állomásain használtakkal.

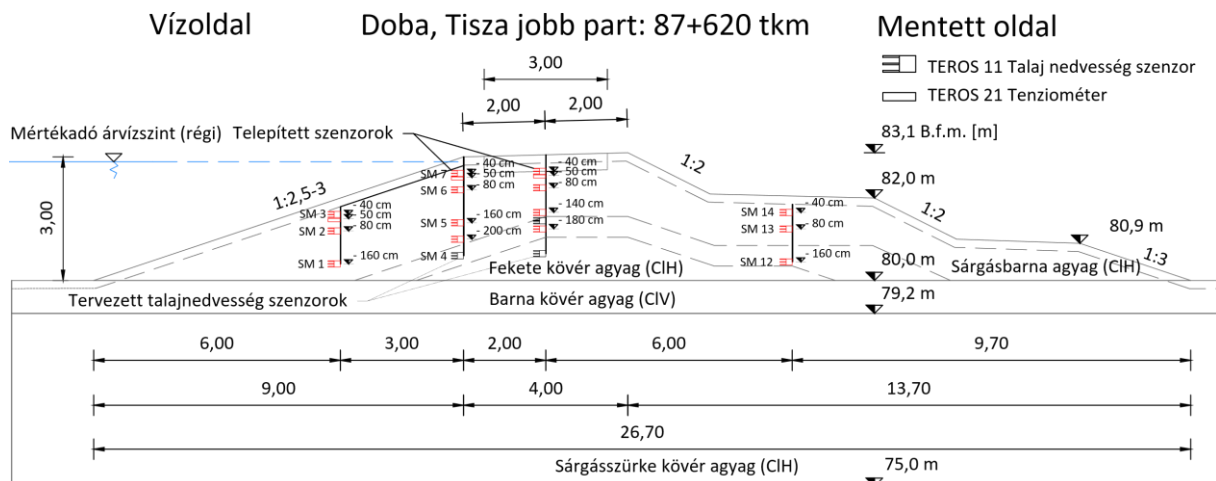


3. ábra Modell töltés (Zielinski és társai, 2011) és a helyszíni, Galston, Skócia (Utali és társai, 2015)

A rendszer mérési pontjainak telepítése 2016-ban kezdődött meg, jelenleg több mint 150 üzemelő állomással rendelkezik (Fiala és társai 2018). Az aszálymonitoring állomásokon a talaj felső 80 cm-ben 6 ponton mérik a talajnedvességet (Aszálymonitoring, 2022). A megelőző kutatások eredményeképpen egy napi időlépéssel működő új aszályindex (HDI) került kifejlesztésre. A napi aszályadatok lehetővé teszik az ár- és belvízhez hasonlóan az aszályhoz tartozó védekezési fokozatok meghatározását is, illetve az érintettek tájékoztatását.

## MONITORING RENDSZER – DOBA, TISZA JOBB PART

A monitoringrendszer tervezése során az említett szakirodalmat áttanulmányoztuk, a műszerek kiválasztásában rengeteg szempont játszott közre: i) műszerek ára, ii) telepíthetősége, iii) adatgyűjtő távelérése és a rendszer összeállíthatósága. A választás végül a METER Group műszereire esett. Összesen 14 db TEROS 11 talajnedvesség szenzort és 3 db TEROS 21 tenziométert telepítettünk melyet 3 db ZL6 adatgyűjtőhöz csatlakoztattunk a közeli, kerítéssel védett raktárépület falára rögzítve. A monitoring rendszer telepítéséhez négy 10 cm átmérőjű furat készült, a vízdali részű közepén, a vízdali koronaélen, a töltés tengelyében és a padkán. A töltés keresztmetszet, a feltárt talaj rétegződéssel, a furatok helyével és a tervezett, illetve telepített szenzorokkal a 4. ábrán látható. A töltésszakasz tengelye megközelítőleg 80 fokos szöget zár be az északi iránnyal, tehát elmondható, hogy a tengely keleti, illetve nyugati tájolású.



4. ábra A monitoring rendszer műszereinek telepítés és megvalósulási terve

A talajnedvesség mérő szenzorok (TEROS 11) és a tenziométerek (TEROS 21) műszaki paramétereit az 1. táblázat foglalja össze, míg a fotóik az 5. ábra láthatók.

Szenzorok	Talajnedvesség	Tenziométer
Műszer neve	TEROS 11	TEROS 21
Gyártó	METER Group	
Katalógus	<a href="https://www.metergroup.com/">https://www.metergroup.com/</a>	
Mérési tartomány (hőmérséklet)	-40 to +60 °C	
Felbontás, pontosság	0,1 °C, ± 1 °C	
Térfogati víztartalom	0,00 – 0,70 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	
Negatív pórusvíznyomás		-5 to -100 000 kPa
Felbontás	0,001 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0,1 kPa



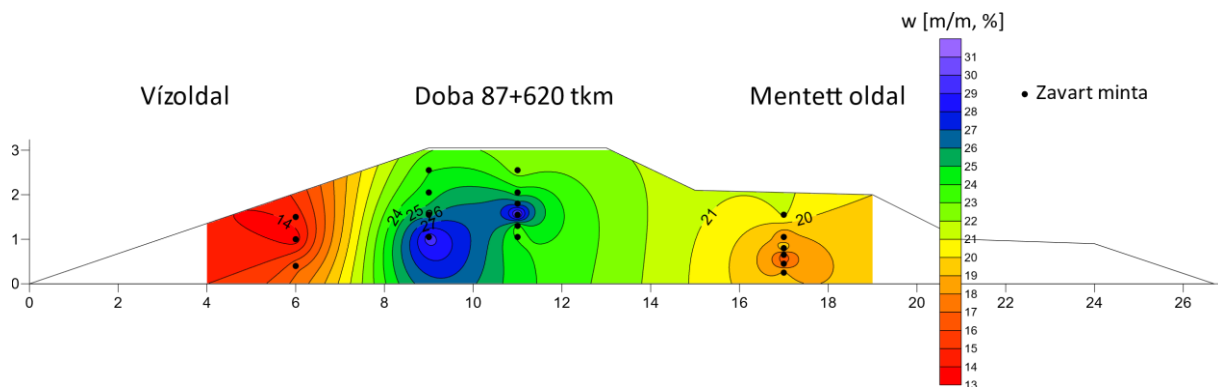
Pontosság	Függ a kalibrációtól	$\pm 10\%$ –100 és –5 kPa között
-----------	----------------------	----------------------------------

1. táblázat Főbb műszaki paramétereit a telepített műszereknek



5. ábra Talajnedvesség szenzor (TEROS 11), telepítő villán és tenziométer (TEROS 21)

Ahogy említettük, négy darab, közel 2 m mély furat készült, ezekből zavart és zavartalan mintavétel történt. A zavart mintákat azonosítás vizsgálatok elvégzésére (Atterberg határok és szemeloszlás), illetve a víztartalom eloszlás meghatározására használtuk. A zavartalan minták a talaj nyírószilárdsági paramétereinek meghatározásához szükségesek. A szenzorok telepítéskor mért víztartalom eloszlás a 6. ábra mutatja.



6. ábra Töltés víztartalom eloszlása ( $w$  [m/m%]) a szenzorok telepítéskor

A szenzorok telepítése során kisebb nehézségekbe ütköztünk. A furatokat bővíteni kellett, hogy a telepítő villa használható legyen és a talajnedvesség szenzorokat telepíteni tudjuk. A tenziométereket mélyebbre terveztük helyezni, viszont a telepítésükhöz nem használható a villa, kézzel pedig nem tudtunk a furatban mélyebbre nyúlni.

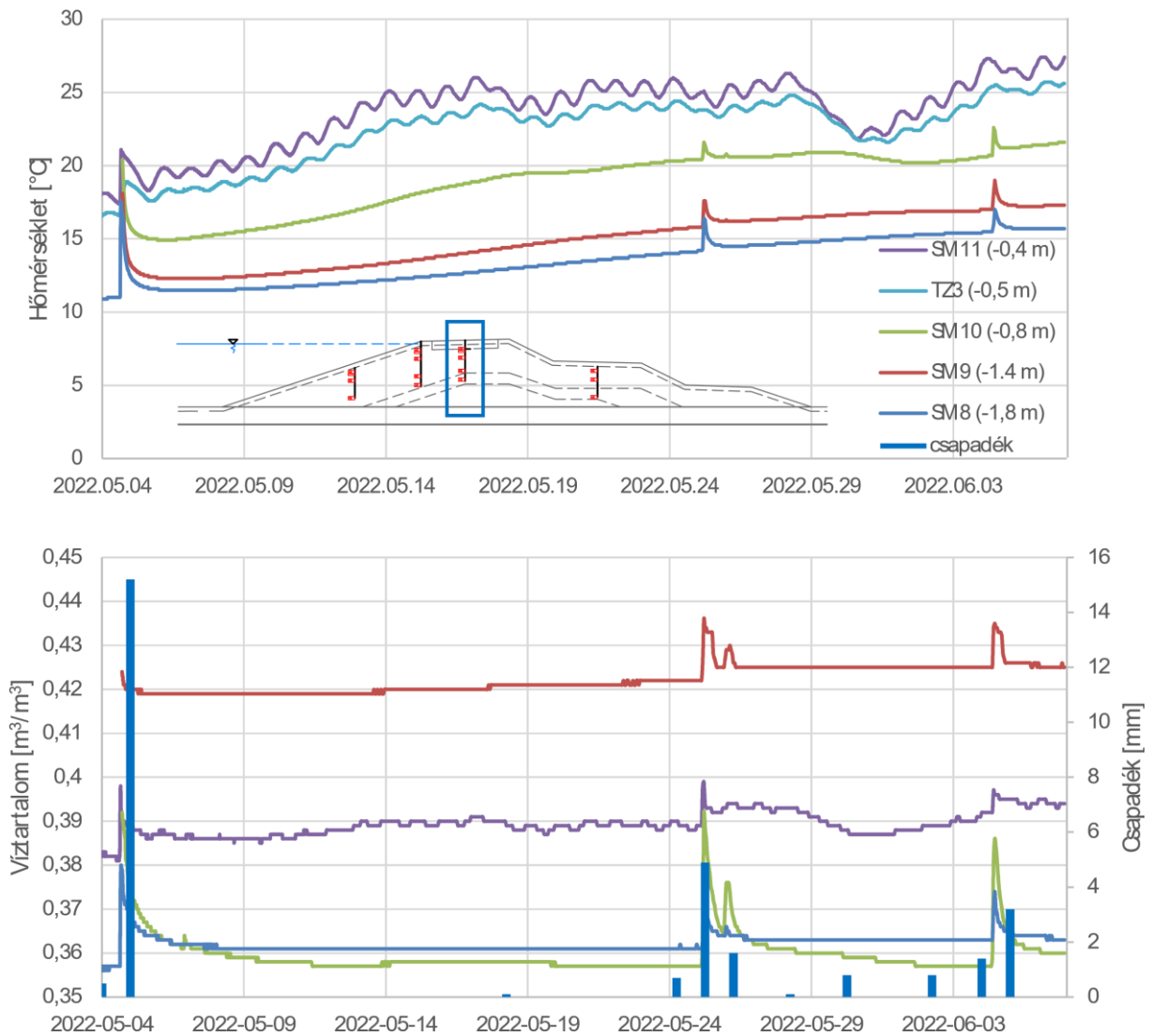
## MÉRÉSEK

A talajnedvesség szenzorok a talaj dielektromos állandóját mérik és ebből számolják ki a talaj térfogati nedvességtartalmát. Ez persze függ a kalibrációtól, vannak az adatgyűjtő rendszerben előre bevitt kalibrációk és egyéni lehetőségek is. Ezzel szemben a negatív pórusvíznyomás (szívás) mérők kalibrációja nem szükséges, pontosságuk a mérési tartományban változó. A telepítés követően el kell telnie egy kis időnek, amíg a kerámia korong felveszi a környezete víztartalmát, és megfelelő szívás (negatív pórusvíznyomás) értékeket mér.

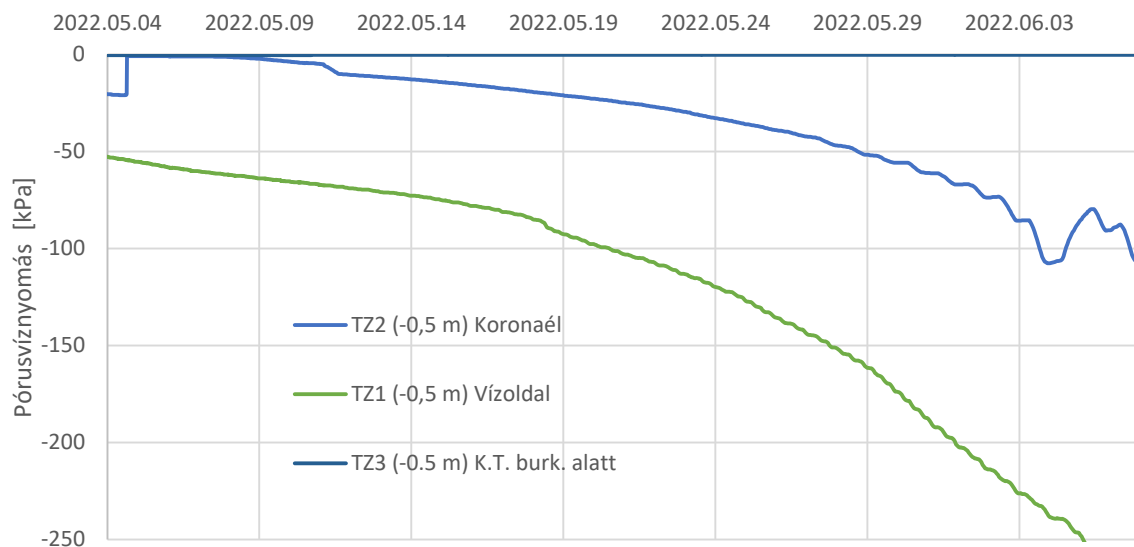
Négy furatot alakítottunk ki, melyek oldalába helyeztük el a műszereket, a töltés tengelyében található műszerek hőmérséklet és talajnedvesség adat sorait 7. ábra mutatja be. A szenzorok fölött töltésburkolat található, amely 4 cm aszfalt kopó rétegből és 15 cm zúzottkőből áll. A

telepítést követően a burkolatot természetesen a KÖTIVIZIG elvárásainak megfelelően állítottuk helyre.

A töltés felső 0,5 m-ének hőmérséklet adatsorán tisztán látszik a napi hőingás, a mért minimumok a késő délutáni/kora esti időszakban jelentkeznek míg a maximum hőmérsékletek a hajnali órákban. A töltés belsejét ezzel szemben csak a szezonális hőmérséklet növekedés érinti. A mért nedvesség tartalom a töltésben nem egyenletesen változik, vannak nedvesebb zónák (0,4 m és 1,4 m mélyen) és szárazabbak (0,8 m és 1,8 m mélyen). A csapadékosabb időszakokban a beszivárgás hatására a töltés víztartalma természetesen növekszik, méréseink szerint ezt még az aszfalt burkolat sem akadályozza meg teljesen. A beszivárgott víz viszont a mélység függvényében változik, továbbá befolyásolja a talaj réteg átteresztőképessége és víztartási kapacitása, egyes rétegekből a víz elszivárog. A kiindulási víztartalom eloszlás (6. ábra) és a műszer által mért tendenciák jó egyezést mutatnak, 1,25-1,5 m mélyen a legnedvesebb a töltés, míg alatta és fölötte is ennél szárazabb. A legalsó szenzor (-1,8 m) esetén a csapadék hatására a nedvesség növekedés jelentős, majd gyorsan leépül, a víz elszivárog, vélhetően a talajvíz mélyen található, jelentős telített zóna van a töltés talpa alatt.



7. ábra Hőmérséklet adatsor (fent), talajnedvesség és csapadék adatsor (lent)



8. ábra Tenziométerek adatsora

A monitoring rendszer három pontban méri a talaj negatív pórusvíznyomását, vízdali rézsű közepén, vízdali koronaélen és a töltés tengelyében is 0,5 m-el a felszín alatt, utóbbi szenzor jelenleg azt mutatja, hogy a töltés ezen része telített (8. ábra). A töltés tájolása kelet-nyugati a vízdali rézsű délre néz, a tenziométerek azt mutatják hogy ennek a száradása a legintenzívebb. A csapadékosabb időszakok utáni beszívargásra és lefolyásra is tudunk következtetni, a koronaélen a csapadékosabb időszakok utáni nedvesség megjelenik, míg a rézsűn nem, itt inkább a lefolyás dominál.

## MŰSZEREK TELEPÍTÉSÉVEL ÉS AZ ELSŐ MÉRÉSEKKEL KAPCSOLATOS MEGÁLLAPÍTÁSOK

A monitoringrendszer telepítése hagyományos talajmechanikai vizsgálatok elvégzésével kell, hogy párosuljon. A talajmintákon a hagyományos azonosító vizsgálatokat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Geotechnikai és Mérnökgeológiai Laborja, míg a talajnedvességmérő műszerek kalibrálásához is szükséges víztartási görbék mérését a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) velencei laborja végezte. A mérési adatsorok elemzésétől azt várjuk, hogy a burkolt és burkolatlan árvízvédelmi töltések kiszáradásának folyamatát jobban fel tudjuk térképezni. Ennek köszönhetően a száradási repedések kialakulását jobban megérthetjük. Eredményeinket a szakirodalomban fellelhető modell és teljes léptékű kísérletek méréseivel fogjuk összevetni. A talajparaméterek részletes ismeretének segítségével a mérések „back analízisét” tervezzük.

A töltésrepedések tágulását záródását, illetve a töltés duzzadásának nyomon követését tervezzük térinformatikai módszerekkel. Hollandiában a töltés hibák dokumentálása egységesítő van (Chotkan, 2021), amely a felmérések értékelését és a kutatásban való hasznosíthatóságát megkönnyíti. Hazánkba is egy hasonló módszer alkalmazása lenne célszerű.

A későbbiekben, szeretnénk iránymutatásokat megfogalmazni a kiszáradt repedezett töltések helyreállításához, valamint javaslatot tenni az új töltések építésénél követendő lépésekre, hogy a száradási repedések megjelenését csökkentsük. A töltéseken alkalmazott útburkolatok rétegrendjének megválasztására is szeretnénk követendő példákat meghatározni, amelyek a töltés mozgását jobban elviselik.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A szerzők köszönettel tartoznak az Országos Vízügyi Főigazgatóság és VIZITERV-Environ Kft. által a telepítéshez nyújtott támogatásáért, illetve a telepítést végző csapatnak és Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság munkatársainak.

„Az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Ösztöndíj Programjának, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból Finanszírozott Szakmai Támogatásával készült.”

## IRODALOMJEGYZÉK

- Aszálymonitoring (2022): Aszálymonitoring Operatív Vízhány Értékelő és Előrejelző Rendszer. • <https://aszalymonitoring.vizugy.hu>
- Chotkan S. (2021): *Predicting drought-induced cracks in dikes with artificial intelligence*. Master's Thesis. Delft University of Technology, Delft, Netherlands • <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5cd0f50d-1133-4868-9e96-ccaa0f73905d>
- Dövényi Z. (Editor) (2010): *Magyarország kistájainak katasztere*. 2., átd. és bőv. kiadás. . MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest
- Drought monitoring (é. n.): Drought monitoring • <https://aszalymonitoring.vizugy.hu/index.php?view=custommap>
- Dyer M., Utili S. és Zielinski M. (2009): Field survey of desiccation fissuring of flood embankments. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 3. 221–232. doi:10.1680/wama.2009.162.3.221
- Illés Z., Nagy L. és Antal Ö. (2022): Magyarországi árvízvédelmi töltések burkolat repedés felmérése. *Hidrológiai Közöny*, 2. 10.
- Lazányi I., és Horváth G. (1997): Deterioration of flood protection dikes due to shrinkage crackingIn: *Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineerings*. Bemutatva 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineerings. Hamburg. 351–357. • <https://www.issmge.org/publications/publication/deterioration-of-flood-protection-dikes-due-to-shrinkage-cracking>
- Nagy L. (2006): Dike breaches in the Carpathian basin. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2. 115–124.
- Nagy L. (2010): 2009. évi töltésrepedések a Közép-Tisza gátjainál (Embankment cracks from 2009 at the Middle Tisza dikes)In: *A Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlése*. Bemutatva XXVIII. Országos Vándorgyűlés. Sopron. 338–343.
- Nagy L. (2019): *Árvízvédelmi gátak burkolati repedés felmérése*. Budapest University of Technology and Economics. Budapest, Hungary. 41.
- Nagy L., és Huszák T. (2012): Száradási repedések a Tisza bal part 107+743 szelvényében (Desiccation cracks at the Tisza left bank in section 107+743)In: *Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Országos Vándorgyűlése*. Bemutatva Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Országos Vándorgyűlés. Kaposvár
- Nagy L., és Illés Z. (2016): Árvízvédelmi töltések száradási repedései Bemutatva XX. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia: ÉPKO 2016, 20th International conference on civil engineering and architecture. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), Csíksomlyó, Romania • <https://m2.mtmt.hu/gui2/?mode=browse&params=publication;3076374>
- Stefanovits P., és Dombovári L. (1985): A talajok agyagásvány-társulásainak térképe. *Agrokémia és Talajtan*, 3–4. 317–330.
- Stirling R., Helm P., Glendinning S., Asquith J., Hughes P. és Toll D. (2017): Deterioration of geotechnical infrastructure: the influence of asset aging through environmental cyclingIn: *Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Bemutatva 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Seoul, South Korea. 5. • <https://www.issmge.org/publications/publication/deterioration-of-geotechnical-infrastructure-the-influence-of-asset-aging-through-environmental-cycling>



- Tóth S., és Nagy L. (2006): Dyke Failures in Hungary of the Past 220 YearsIn: Marsalek Jiri, Stancalie Gheorghe és Balint Gabor (szerk.): *Transboundary Floods: Reducing Risks Through Flood Management*. 72. kötet. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 247–258. doi:10.1007/1-4020-4902-1\_23
- Utili S., Castellanza R., Galli A. és Sentenac P. (2015): Novel Approach for Health Monitoring of Earthen Embankments. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 3. 04014111. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001215
- Zielinski M., Sánchez M., Romero E. és Sentenac P. (2011): Assessment of water retention behaviour in compacted fills. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 2. 139–148. doi:10.1680/geng.2011.164.2.139