

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
Katonai Műszaki Doktori Iskola

Doktori (PhD) értekezés tervezet

Tímár Attila

Budapest, 2026

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM

Katonai Műszaki Doktori Iskola



Tímár Attila

**A települések katasztrófavédelmi besorolása az árvízvédelmi védvonal
tönkremeneteli valószínűségének tükrében, különös tekintettel a Körösök
vidékére**

Doktori (PhD) értekezés

Témavezető:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Padányi József'.

Padányi József DSc

Budapest, 2026

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	3
1.1.	A témaválasztás indoklása, időszerűsége, a tudományos probléma megfogalmazása.....	4
1.2.	Kutatási hipotézisek	6
1.3.	Kutatási célkitűzések.....	6
1.4.	Kutatási módszerek	7
1.5.	Az értekezés felépítése, a kutatási témakör körülhatárolása és szűkítések	7
1.6.	Irodalmi áttekintés.....	8
1.6.1.	ENSZ Fenntartható fejlődés céljai.....	8
1.6.2.	Nemzeti Vízstratégia (Kvassay Jenő Terv)	9
1.6.3.	Árvízi veszély- és kockázati térképezés és tervezés.....	10
1.6.4.	Hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése.....	11
1.7.	Összegzés és részkövetkeztetés.....	13
2.	ÁRVÍZVÉDELEM KIALAKULÁSA A KÖRÖSÖK ÁRVÍZVÉDELMI RENDSZERÉNEK ÉRTÉKELÉSE	14
2.1.	A folyók nagyvízi szabályozása és az árterek rendezése.....	15
2.2.	Az ármentesítés következményei és helyzete	15
2.3.	A Körösök árvízvédelmi rendszerének kialakulása.....	19
2.3.1.	A Körösök–vízgyűjtője, vízhálózata, KÖVIZIG működési területe.....	21
2.3.2.	Körösök nevezetes árvizei	25
2.4.	KÖVIZIG árvízvédelmi rendszerének bemutatása és értékelése	26
2.5.	Összegzés és részkövetkeztetés.....	35
3.	ÁRVÍZVÉDELMI TÖLTÉSEK ÁLLÉKONYSÁGVIZSGÁLATA.....	37
3.1.	A védmű anyagára vonatkozó adatok.....	38
3.2.	Talajfizikai adatok előállítása	40
3.3.	Mérés célja.....	42
3.3.1.	A mérés elve	42
3.3.2.	Mérés menete	45
3.3.3.	Állékonyságszámítás GEO5 modellel	48
3.4.	Összegzés és részkövetkeztetés.....	52
4.	NAGYMINTA KÍSÉRLET ELVÉGZÉSE.....	54
4.1.	Kísérleti helyszín	55
4.2.	Helyszíni alapfelmérések.....	56

4.3.	Kísérleti helyszín kialakítása	60
4.3.1.	Alappont/őrpont kialakítása.....	60
4.3.2.	Mozgásvizsgálati pontok kialakítása.....	62
4.3.3.	Piezométercsövek kialakítása	63
4.3.4.	Szádlemez medence kialakítása	64
4.4.	Mérések.....	68
4.4.1.	Geodéziai mérések.....	68
4.4.2.	Szivárgásmérések	83
4.4.3.	Geofizikai mérések.....	89
4.5.	Összegzés és részkövetkeztetés.....	102
5.	ÁRVÍZVÉDELMI RENDSZEREK ÉRTÉKELÉSE JELENSÉGEK ALAPJÁN	104
5.1.	Árvízvédelmi jelenségek.....	104
5.2.	Gyakori veszélyforrások.....	105
5.3.	Az árvízvédelmi jelenségek és kialakulásuk	111
5.4.	Árvízvédelmi jelenségek elleni védekezés	116
5.5.	Árvízvédelmi rendszerek értékelése.....	119
5.6.	Összegzés és részkövetkeztetés.....	128
6.	TELEPÜLÉSEK VESZÉLYEZTETETTSÉGE AZ ÁRVÍZVÉDELMI VÉDVONAL TÖNKREMETELI VALÓSZÍNŰSÉGEK ALAPJÁN	131
6.1.	Árvízi veszély és kockázati térképezés	131
6.2.	Az árvízvédelmi töltések tönkremeneteli valószínűsége, értékelése	135
6.3.	Védvonalakon kialakuló szakadási változatok és elöntési térképek.....	138
6.4.	A települések katasztrófavédelmi besorolása	151
6.5.	Összegzés és részkövetkeztetés.....	155
7.	ÖSSZEGEZETT KÖVETKEZTETÉSEK	156
7.1.	Új tudományos eredmények.....	157
7.2.	A kutatási eredmények gyakorlati felhasználhatósága.....	158
7.3.	Ajánlások	158
7.4.	További kutatási javaslatok	159
8.	FELHASZNÁLT IRODALOM	160
9.	A TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM.....	167
10.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	169
11.	MELLÉKLETEK	170

1. BEVEZETÉS

Magyarország földrajzi elhelyezkedése és éghajlati sajátosságai okán – a hidrológiai kockázatok tekintetében – Európa egyik legveszélyeztetettebb állama. A Kárpát-medence mélyfekvésű területei, valamint a környező országok hegységeiből lefutó vízgyűjtő rendszerek olyan topográfiai kényszerpályát jelentenek, amelyben az árvizek elleni védekezés nem csupán technikai opció, hanem a nemzeti létbiztonság alapfeltétele. Az ország területének jelentős hányadán az árvízvédelmi infrastruktúra megléte és folyamatos üzemeltetése nélkül sem a lakosság testi épsége, sem a nemzeti vagyon – legyen szó magántulajdonról, ipari létesítményekről vagy mezőgazdasági területekről – nem lenne fenntartható. A vízkárelhárítás tehát nálunk nem pusztán katasztrófavédelmi feladat, hanem a gazdasági stabilitás és a társadalmi fejlődés fundamentuma.

Az elmúlt évtizedek rendkívüli áradásai rávilágítottak arra a kritikus összefüggésre, miszerint a passzív védművek és az aktív védekezési munka elválaszthatatlan egységet alkotnak. Tapasztalati tény, hogy a katasztrófák elkerülése számos alkalommal nem önmagában a kiépített gátak szilárdságának, hanem a rendkívüli erőket mozgósító, szakszerűen irányított védekezési munkálatoknak volt köszönhető. Fontos tudatosítani, hogy még a legmagasabb mérnöki színvonalon megtervezett védvonal is védtelen maradhat, ha a kritikus pillanatokban elmarad a szakszerű beavatkozás, vagy ha a védekezés irányítása nem megfelelően reagál a váratlan helyzetekre. A védelmi művek folyamatos karbantartása és fejlesztése mellett ezért továbbra is stratégiai jelentősége van a helyszíni operatív védekezésnek.

Noha az árvízvédelmi rendszerek az elmúlt tíz évben jelentős modernizáción mentek keresztül, a fenyegetettség mértéke és a védművek kiépítettsége nem minden térségben mutat egyensúlyt. A szakembereknek el kell ismerniük az úgynevezett „maradék kockázat” létezését is: még a jogszabályi előírásoknak maradéktalanul megfelelő védvonalak sem garantálnak abszolút biztonságot a természet kiszámíthatatlan erejével szemben. Ugyanakkor a technológiai fejlődés és a kommunikációs robbanás új dimenziókat nyitott a védekezésben. A digitalizáció és a modern logisztikai megoldások lehetővé tették, hogy a vízügyi igazgatóságok – bár saját létszámuk az évtizedek alatt jelentősen csökkent – sokkal gyorsabban és pontosabban mozgassanak meg hatalmas mennyiségű védelmi anyagot. Ma már a vízügy saját állománya elsősorban a szakmai-irányító gerincet alkotja, amely a kor technikai színvonalát kihasználva hangolja össze a beavatkozásokat.

Annak ellenére, hogy az észlelésben radarrendszerek, a védekezésben pedig mobil gátak és modern anyagok segítik a munkát, az árvízvédelem „atomja” paradox módon továbbra is a homokzsák maradt. Ez az egyszerű eszköz olyan rugalmasságot és azonnali alkalmazhatóságot biztosít, amellyel a legmodernebb technológia sem képes minden helyzetben versenyezni. Ez is bizonyítja, hogy az árvízvédelem sikere végül mindig az emberi tényezőn – a figyelő szolgálat éberségén, a mérnöki tudáson és a helyi védelemvezetők gyors, határozott döntésein – múlik. Az elméleti irányelvek és módszertani útmutatók csupán keretet adnak, a valódi megoldást a helyi adottságok ismeretében meghozott, tapasztalat alapú szakmai döntések jelentik.

Végezetül le kell szögezni, hogy az árvízvédelem ösztársadalmi és nemzeti ügy, amelynek hatékonysága a közös gondolkodáson és a felelős cselekvésen nyugszik. Ahhoz, hogy az ártéri területeken élők biztonsága hosszú távon szavatolható legyen, olyan jogi és szakpolitikai környezetre van szükség, amely az árvízvédelmet kiemeli a napi politikai érdekek szférájából. Csakis a ciklusokon átívelő, szakmai alapú fejlesztési stratégia és a törvényi garanciák biztosíthatják, hogy Magyarország sikeresen nézzen szembe a jövő hidrológiai kihívásaival. [5]

1.1. A témaválasztás indoklása, időszerűsége, a tudományos probléma megfogalmazása

Magyarországon az árvizek biztonságos levezetését jelentős többséggel az árvízvédelmi töltések biztosítják, melyek legtöbbször a 19. és a 20. században épült ki. Az évek folyamán az árvizek biztonságos levonulása érdekében a töltések szabályozása, magasztása történt egymásra halmozás során. Az így kialakult töltések inhomogén „hagymaszerkezetű” töltésekké váltak, amelyek legnagyobb problémája, hogy szinte kivétel nélkül az anyagárok talajainak – így a többé-kevésbé szerves kötött fedőréteg – válogatás nélküli felhasználásával épültek. A szervesanyag tartalom idővel szerkezeti (másodlagos tömörödés, az elbomlott anyagok miatti üregképződés) és anyagtulajdonsági változásokat (gázképződés miatti nyírószilárdság csökkenés, kollodális szerkezet módosulása) szenved.

Ezek a minőség- és tömörség változások pedig azt is jelentik, hogy árvízkor a töltésben az egyik anyag gyorsabban, a másik lassabban, az egyik gyengébben, a másik erősebben duzzad. Az árvíz utáni kiszáradáskor pedig az egyik anyag már zsugorodni kezd, amikor a másik még megtartja megduzzadt térfogatát. A töltésben tehát már az első árvízi telítődés és az utána következő kiszáradás hatására anyagsűrűsödések és lazulások következnek s így hézagok, hajszálrepedések alakulnak ki, amelyek hozzájárulnak a töltések szivárgásához. A

töltésszerkezeten kívül az altalaj szivárgások is hozzájárulnak az árvizes jelenségek kialakulásához, melyek árvízi terhelésen túli fő okai:

- töltés
 - szerkezeti;
 - anyag;
 - alapozási hibák;
- holtmeder keresztezések.

Ezek a kiépített árvízvédelmi töltések az árvíz következtében gyengébben-erősebben terheltekké válnak és e terhelés valamint a fent említett okok miatt különböző árvízvédelmi jelenségek alakulnak ki. Ezek a védekezésénél igen nagy élőerő és anyagmennyiség mozgatását teszik szükségessé.

A kialakuló jelenségek elleni hatékony védekezés nem csak a már bekövetkezett jelenségek elleni beavatkozással, hanem a megelőzés módszerével is elérhető, amely ebben az esetben az árvízi terheléssel érintett töltések átfogó ismeretén alapul.

Az alkalmazott módszerek ebben az esetben a megfelelő geometria, a töltések talajmechanikai rétegszelvényei, geofizikai vizsgálatok és az alakzat feldolgozó numerikus szivárgáshidraulikai modellt ölelik fel.

A modellezés feltétele egy kalibrált, jól működő modell, melynek futtatásából nyert eredmények kiértékelését követően a várható jelenségek bekövetkezésének valószínűsége, nagysága és ideje jó közelítéssel előre jelezhető. Ennek következtében várhatóan megnő a rendelkezésre álló idő, csökken a kockázat, növekszik a biztonság.

Szerkezetéből adódóan minden töltés más-más tulajdonsággal bír, másként viselkedik egy árvizes szituációban jelentkező vízterhelésre. A töltésszerkezet és anyag ismeretében minden veszélyesnek gondolt töltésszakaszt külön-külön meg kell vizsgálni, hogy az adott töltéstest mely paraméterei befolyásolják a jelenségek kialakulását. A vizsgálatot célszerű a rendelkezésre álló árvízstatisztikai adatok felhasználásával elvégezni.

Ennek megfelelően szükséges a töltések alapos szerkezeti felmérése (talajmechanikai rétegszelvény, geofizikai vizsgálatok, töltés geometriai szerkezete), ahol a modellezéshez szükséges paraméterek minden eleme jól mérhető.

Ily módon lehetőség nyílik a fizikai összefüggések igazolására és a szivárgási folyamatok kutatására, amelyek átültethetők egy akár hasonló mért területre.

A modellezések futtatása során valamint azok eredményei ismeretében osztályozhatóvá válik, hogy melyek a veszélyesebb töltésszakaszok, ahol a jelenségek kialakulása során megnövekszik a kockázat egy esetlegesen bekövetkező árvízi előntéskor.

1.2. Kutatási hipotézisek

Az értekezésben az alábbi feltételezéseket szándékozom igazolni:

- **Feltételezem**, hogy az árvízvédelmi töltések szivárgási és állékonysági vizsgálatához szükség van a töltések feltárásának módszertani fejlesztésére.
- **Feltételezem**, hogy az árvízvédelmi jelenségek kialakulásánál a védvonalon és az altalajon történő szivárgások hatást gyakorolnak a védvonal állékonyságára, és annak csökkentő hatása elsősorban a mentett oldalon alakul ki.
- **Feltételezem**, hogy árvizes időszak alatt, az árvízvédelmi töltéseken vízterhelés hatására elmozdulások (zsugorodások-duzzadások) keletkeznek, melyek befolyásolhatják a töltés állékonyságát, szivárgását.
- **Feltételezem**, hogy az árvízvédelmi töltések árvízvédelmi jelenségeinek – mint kockázatoknak – statisztikai feldolgozása segít abban, hogy beazonosításra kerülhetnek a védvonalainkon a lokálisan gyenge szakaszok, valamint ezen kockázatok alapján meghatározható a védvonalak védőképessége.
- **Feltételezem továbbá**, hogy a védvonalak védőképessége és lokalizációs tervei alapján értékelhető az öblözetekben lévő települések árvíz-kockázati besorolása.

1.3. Kutatási célkitűzések

Disszertációmban arra vállalkoztam, hogy az árvizek során kialakult árvízvédelmi jelenségek adataiból, ill. kockázati értékeiből kiindulva bemutassam és vizsgáljam az árvízvédelmi védvonalak differenciált veszélyeztetettségét a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság, mint mintaterület területén, statisztikai, valamint empirikus úton egy nagyminta kísérlet során. Kutatási célkitűzéseimet a Körösök-vidéke árvízvédelmi töltéseinek vizsgálatához szükséges adatgyűjtésre, valamint a kialakított modellekből származó eredményekre alapozva az alábbiak szerint foglalom össze:

- **Céлом** korszerű vizsgálatok és térinformatikai módszerek alkalmazása és bevezetése a töltések tönkremenetelének vizsgálati folyamatába.

- **Célom** a töltések tönkremeneteléhez vezető szivárgási folyamatok töltésállékonyságra és a védekezési erőforrások mozgatási lehetőségeire gyakorolt hatásának numerikus modellezéssel történő elemzése és értékelése.
- **Célom**, hogy egy nagyminta kísérlet során szimulált árvízi terhelés mellett szivárgás- és mozgásvizsgálatot végezzek el. Ezek eredményei alapján meghatározhatom a védvonalak tönkremenetelének dinamikáját;
- **Célom** az árvízvédelmi töltések tönkremenetelének feltárása és elemzése a Körösök-vidéken.
- **Célom**, hogy a modellezési eredmények alapján javaslatokat készítssek az árvízvédelmi védvonal tönkremeneteli valószínűségének becslésére és az öblözetekben lévő települések katasztrófavédelmi besorolására.

1.4. Kutatási módszerek

A kitűzött célok végrehajtása érdekében az alábbi módszerekkel dolgozom:

- Korszerű térinformatikai eszközökkel és modellező programmal **vizsgálom** az árvízvédelmi töltések állékonyságát.
- A kutatásom során a Kooperatív Doktori Program részeként **kivitelezek** egy nagyminta kísérletet, mely kísérlet keretén belül egy árvízvédelmi töltés szakaszán **árvízi terhelést állítok elő**.
- A kísérlet során szivárgáshidraulikai, geofizikai, geodéziai, **méréseket végzek**. **Vizsgálom** a töltésszivárgást és a töltés alakváltozását.
- Az eddig kialakult árvízvédelmi jelenségekre vonatkozó zárójelentések és nyilvántartási adatok felhasználásával **kutatómunkát majd statisztikai elemzést végzek** annak érdekében, hogy meg tudjam határozni a védvonalak lokálisan gyenge szakaszait.
- **Vizsgálom, bemutatom és kategorizálom** az öblözetekben lévő települések elöntési valószínűségét.

1.5. Az értekezés felépítése, a kutatási témakör körülhatárolása és szűkítések

Doktori értekezésemet 5 fejezet alkotja. Az 1. főfejezetben bemutatom a kutatási témaköröm szakmai aktualitását, hipotéziseimet, célkitűzéseimet és kutatási módszereimet. Feltárom és kiértékelem a hazai és nemzetközi szakirodalomban az árvízvédelmi töltésekkel kapcsolatos új tudományos vizsgálatokat és kutatásokat.

A 2. fejezetben a hazai árvízvédelem fejlődéstörténetét, a vízgyűjtő területek sajátosságait, valamint a Körösök védelmi rendszerének elemzését foglalom össze.

Bemutatom és értékelem az eddigi árvízvédelmi készültségek statisztikáját. Feltárom értékelem és bemutatom a védvonalak kiépítettségét is.

A 3. fejezetben egy árvízvédelmi töltés állékonyságának vizsgálatát végzem el, különböző terhelések mellett egy informatikai modellel, ahol a számításhoz szükséges adatokat geodéziai, talajmechanikai és geofizikai mérésekkel biztosítom.

A 4. fejezetben egy nagyminta kísérletet végzek el, ahol üzemi körülmények között egy szádlemez medencébe lévő vízmennyiséggel árvízi elöntést szimulálok egy települési árvízvédelmet szolgáló körtöltés e célra kialakított szakaszán. A kísérlet során a töltés szivárgás vizsgálatát geofizikai mérésekkel és piezométer kutakkal, a töltés mozgás vizsgálatát (zsugorodását-duzzadását) geodéziai mérésekkel végzem el. A kapott eredményeket feldolgozva és bemutattva értékelem a folyamatokat az adott védvonalra.

Az 5. fejezetben értékelem az árvízvédelmi rendszereket jelenségek alapján, ezen belül bemutatom a jelenségeket, gyakori veszélyforrásokat a jelenségek kialakulását és az azok ellen védekezéseket. Továbbá a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság árvízvédelmi rendszerét mutatom be és értékelem az eddigi kialakult árvízvédelmi jelenségek statisztikája alapján.

A 6. fejezetben ismertetem és bemutatom az ártéri öblözetekben lévő településeket és azok veszélyeztetettségi valószínűségét a jelenleg érvényben lévő lokalizációs tervek alapján. Az elöntési kockázatok alapján kategorizálom az öblözetekben lévő településeket.

1.6. Irodalmi áttekintés

A szakirodalmi összefoglalóban a kutatásomhoz leginkább kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalom anyagait mutatom be. A cikkek, publikációk és könyvek mellett áttekintem a témához kapcsolódó jogszabályokat is.

1.6.1. ENSZ Fenntartható fejlődés céljai

Az ENSZ 2012-ben megrendezett Fenntartható Fejlődési Konferenciája (Rio+20) új globális fejlesztéspolitikai keretet javasolt, amely a korábbi Millenniumi Fejlesztési Célok helyett az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljait (SDG-k) fogalmazta meg (1. ábra). Az ENSZ Közgyűlése 2015-ben elfogadta a 17 SDG-t, köztük a hatodik (SDG6), amely a fenntartható vízgazdálkodást célozza megvalósítani 2030-ig. [1]



1. ábra ENSZ fenntartható fejlődési célok
(forrás: <https://ensz.kormany.hu/agenda-2030>)

A célok közül az integrált vízgazdálkodási szemlélet a kockázatokon alapuló és megelőző vízkárelhárítást is magában foglalja. Ennek az intézkedésnek hazai átültetése a Nemzeti Vízstratégiával (Kvassay Jenő Terv) történt meg, ami a magyar vízgazdálkodás 2030-ig terjedő keretstratégiája és 2020-ig terjedő középtávú intézkedési terve, a kormányzati stratégiai irányításról szóló 38/2012. (III.12.) Korm. rendelet értelmében vízügyi szakpolitikai stratégia.

1.6.2. Nemzeti Vízstratégia (Kvassay Jenő Terv)

A Kvassay Jenő Terv célja a társadalom és a víz viszonyának feltárására támaszkodva intézkedések megfogalmazása. A feladata a vizek kezelésével és állapotával kapcsolatos célok kijelölése, az ezek eléréséhez szükséges feladatok azonosítása, intézkedések elvégzése, valamint a végrehajtás feltételeinek és módjának a meghatározása. A hatóköre az ország teljes területén minden vízzel kapcsolatba kerülő tevékenység.

A Kormány 2007 tavaszán a Nemzeti Vízstratégiát a következő célokkal fogadta el:

- fokozódjék a vízviszatarítás és ennek révén jobban hasznosítsuk vizeinket;
- térjünk át a veszélyhelyzet-elhárítás orientált vízkárelhárításról a megelőzés-központú vízgazdálkodásra;
- javítsuk a vizeink minőségi állapotát, érjük el azok jó állapotát;
- a minőségi víziközmű-szolgáltatás és a csapadékvíz-gazdálkodás rendszere elviselhető fogyasztói teherviselés mellett működjék.

A Kvassay Jenő Terv 2030 jövőképe

A vízgazdálkodás szakmaisága és a vízgazdálkodásban érintettek igényeinek összehangoltsága biztosítja a következő célok egyidejű elérését:

- Minden vízhasználónak elégséges egészséges víz áll rendelkezésére, egyforma eséllyel, a vízpotenciálunk hatékony kihasználása, és a vizek kártételei elleni intézkedések harmóniában vannak a természeti adottságokkal.
- Ebből is következően a hazai hasznosítható vízkészletek mennyiségének és minőségének a javítása a jó állapot eléréséig megtörténik, a víz, mint a természeti rendszerek létezése, működése alapfeltételének megóvása biztosított, majd ennek fenntartási feltételei a változó körülmények között is adottak lesznek.
- A vizek okozta károk megelőzése kerül előtérbe a mai védekezés helyett, az emberi élet védelme és a nemzeti vagyon kockázathoz igazított mértékű megóvása, a vízgazdálkodási rendszerek és a területhasználati módok összehangolt átalakítása úgy, hogy a víz káros bősége a vízhiány mérséklésére legyen fordítható.

A hazai vízgazdálkodás sikere, hogy rendelkezik 2030-ig szóló célkitűzéssel, és intézkedési tervvel, melyet szakpolitikai szinten kormányzati rangra emeltek.

Kutatásom témáját, mint az árvízvédelmi védvonal tönkremeneteli valószínűsége, mint az árvízi biztonságot meghatározó tényezőt, valamint a védelmi rendszerek fenntartását is felöleli a stratégiai terv. [2]

1.6.3.Árvízi veszély- és kockázati térképezés és tervezés

Magyarországon az országos Árvízi Kockázatkezelési Konceptió (ÁKK) az Európai Parlament és Tanács 2007/60/EK Irányelve alapján készült el, amely az árvízi kockázatok felméréséről, értékeléséről és kezeléséről szól. [3]

Az ÁKK a kockázatkezelés célkitűzéseit, alapelveit, prioritásait és szükséges intézkedéseit is tartalmazza.

A 2014-2015-ben a vízügyi ágazat elkezdte és 2015. év végére befejezte az általános gazdasági fejlődést segítő Kvassay Jenő Terv (a továbbiakban: KJT) kidolgozását, mely az ország vízgazdálkodási stratégiájának megújítását célozza.

A KJT szerinti árvíz-kockázat-kezelési elgondolás szerint a célok és alapelvek az alábbiak:

A kialakított rendszernek a területfejlesztéssel együttműködve elő kell mozdítania a vízzel, a földterülettel, a természeti erőforrásokkal és a természeti értékekkel kapcsolatos tevékenységek összehangolt kezelését és megőrzését. E miatt a tervezés során egymásra épülő, összetett megoldásokat kell keresni.

- Az árvízvédelmi biztonsági előírásokat újra kell fogalmazni, ehhez a veszély elleni defenzív tevékenységről át kell térni a kockázatok kezelésére, az árvízveszélyes területek hasznosításakor alkalmazkodni kell a fennálló veszélyekhez; az árvizek és belvizek kezelése során – ahol ez lehetséges – a katasztrófa megelőzés elsődleges a katasztrófakezeléshez képest.
- Az árvíz-kockázat-kezelési tervek az integrált vízgyűjtő-gazdálkodás részét képezik. Az árvíz-kockázat-kezelési elgondolás cél- és eszközrendszerének figyelembe kell vennie az ésszerű és hatékony vízkészlet-gazdálkodás követelményét, illetve maga is ebbe az irányba kell, hogy befolyásolja a gazdálkodást.
- A megoldások megkövetelik az árvízi kockázatkezelési elgondolás céljainak más szakpolitikákba történő integrálását. Különösen fontos lenne az integráció az agrárpolitikába, a természetvédelemben, a környezetvédelemben, a területfejlesztésben és a katasztrófavédelemben (például: vidékfejlesztés – vízvisszatartás, területfejlesztés – veszélyeztetettség).

1.6.4. Hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintése

A világon számos országban, de különösen Magyarországon az árvízvédelmi kitettségéből fakadóan igen magas szintű az árvízvédekezés tapasztalat, melynek köszönhetően jelentős számú tanulmány, szakirodalom áll rendelkezésre e témából. Ebből adódóan számos hazai és külföldi szakirodalommal találkoztam kutatómunkám során.

Árvízvédelemmel és árvízvédelmi jelenségek leírásával foglalkozó hazai szakirodalmak tanulmányozásával kezdtem, melyek közül Galli László [4] és Nagy László [5,6] neve megkerülhetetlen a szakmába, akik az árvízvédelmi védműveken való védekezést és védekezési megoldásokat, a védműveken kialakuló jelenségek okait kutatták.

További számos kutatás áll rendelkezésre az árvízvédelmi töltésekben lejátszódó vízáramlás meghatározásra [7], modellezésére [8,9] és árvízvédelmi töltések állékonyságvizsgálatára [10,11].

Hazai kísérletek illetve vizsgálatok során szükséges megemlíteni Hajnal Géza, Barta Eszter és Veczán Éva nevét, akik kisminta keretében végeztek szivárgás vizsgálatokat [12], míg Jobbágy Réka, Hajnal Géza, Vasvári Vilmos terepi vizsgálatok során határozta meg a talajok szivárgási tényezőit [13], mely szintén fontos tulajdonság az árvízvédelmi töltések szivárgása és állékonysága szempontjából.

Geofizikai vizsgálattal kapcsolatban dr. Stelczler Károly [14], végzett tudományos kutatásokat az árvízvédekezés érdekében fajlagos ellenállásméréssel a védvonalak kritikus helyeinek előrejelzése érdekében.

Külföldi kutatásokkal kapcsolatban meg kell említeni P. Michalis et. al. vizsgálatát [15], aki az Egyesült Királyságban lévő Mugdock település völgyzárógát roncsolásmentes geofizikai vizsgálatával foglalkozik. A mérések során kapott metszetek alapján a szivárgási útvonalak meghatározását, ill. azok kialakulását vizsgálja, melyek fontos kiindulási adatokat szolgáltatnak a töltés jövőbeli teljesítményéről.

Hazai viszonylatban meg kell említeni Diaa Elsayed Hamed Abdallah Hamed Sheishah nevét aki doktori disszertációjában [16] a Tisza folyó árvízvédelmi töltéseinek állapotot térképezte fel és értékelte geofizikai és georadaros mérések alapján.

Árvízvédelmi töltések piezométeres ill empirikus szivárgásvizsgálatára már dr. Völgyesi István [17] felhívta a figyelmet egy publikációjában, melyben a töltésekben való vízmozgások vizsgálatával foglalkozott.

Árvízvédelmi töltések vízterhelés hatására végzett mozgásvizsgálatok elvégzéséről szóló hazai és külföldi szakirodalommal nem találkoztam, csak nagyműtárgyakon végzett mozgásvizsgálatokról szóló mérések publikációit, szakmai anyagait tanulmányoztam, melyek közül Kálmán Eszter [18] a Budapesti 4-es Metro Bocskai úti állomásszellőző alagútjainak építésénél végzett geodéziai mozgásvizsgálatokat, valamint Kocsor István [19] aki a KÖVIZIG kezelésében lévő kiemelt jelentőségű vízilétesítmények műszaki megfigyelése során a Gyulai, a Békési, a Körösladányi duzzasztóművön, Békésszentandrás és Bökényi duzzasztóművön és hajózsilipen, valamint a Hortobágy-Berettyó Árvízkapun rendszeresen végez geodéziai méréseket a 97/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet előírása alapján.

Áttekintettem továbbá a Nemzeti Közszolgálati Egyetem, illetve a Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatóinak kutatási témámmal kapcsolatos publikációit is. A katasztrófák megelőzésével és ellenük történő védekezéssel kapcsolatosan jelentős hazai kutatások folytak.

Ezek közül kiemelem Berek Tamás, a fenntartható vízgazdálkodásban történő vízbiztonsági tervezés szerepéről írt cikkét [20], Padányi József árvízi védekezés lehetőségeit és korlátait feltáró tanulmányát [21], Tóth Rudolf kárelhárítással foglalkozó kutatásait [22], Muhoray Árpád katasztrófa megelőzéssel [23,24] és Földi László környezetbiztonsággal foglalkozó tanulmányait [25].

Továbbá fontosnak tartom megemlíteni Szilávik Lajos számos árvízvédelemmel kapcsolatos tanulmányát, valamint oktatási anyagait, amelyek a kutatásommal kapcsolatban szintén meghatározóak voltak [26,27,28,29,30].

Az értekezés kidolgozásában nagy segítséget nyújtottak az MHT által szervezett országos és vándorgyűlés és több Vármegyei rendezvény anyagai és előadásai. Ezen rendezvényeken rendszeres előadóként vettem részt.

Összességében elmondható, hogy az árvíz elleni védekezés témakörében jelentős kutatási anyagok születtek, azonban a kutatási témám, a védvonalak tönkremenetele állékonyság lokálisan gyenge pontjainak meghatározása, valamint ezen kockázatok alapján a települések besorolása hazai viszonylatban még hiányos, kutatóterület.

1.7. Összegzés és részkövetkeztetés **elégendő az hogy részkövetkeztetés**

közepes gondolatjelek (egyszer már megbeszéltük)

miért nem múlt idő????????????????????????????????

- A fejezetben bemutatom, hogy Magyarország földrajzi és hidrológiai adottságai miatt Európa egyik legárvíz-veszélyeztetettebb térsége. Megállapítom, hogy a védvonalak állapota, folyamatos fejlesztése és a helyszíni védekezés összehangolt rendszere nem pusztán műszaki feladat, hanem országos létebiztonsági kérdés. Rámutatok arra is, hogy a klímaváltozásból eredő szélsőségek és a „maradék kockázat” fennállása tovább növeli annak szükségességét, hogy a védműveket korszerű, tudományos alapokon vizsgáljuk.
- A fejezetben igazolom, hogy a 19–20. században épített, heterogén „hagymaszerkezetű” töltések a többszöri telítődés-kiszáradás során jelentős szerkezeti gyengülést szenvednek. Megállapítom, hogy ezek a folyamatok repedésképződéshez, anyaglazuláshoz és szivárgási útvonalak kialakulásához vezetnek, amelyek közvetlenül veszélyeztetik a töltések állékonyságát. Ezzel egyidejűleg rámutatok, hogy a védvonalon és az alattaliban kialakuló szivárgási folyamatok meghatározó szerepet játszanak a védvonalak viselkedésében, különösen a mentett oldali stabilitás szempontjából.
- Összefoglalóan megállapítom, hogy bár jelentős hazai és nemzetközi tudományos eredmények állnak rendelkezésre az árvízvédelem egyes részterületeiről, a töltések lokális gyenge pontjainak azonosítása, a szivárgási- és állékonysági folyamatok integrált elemzése, valamint a települések kockázati besorolása még mindig hiányosan feltárt kutatási terület. Ez indokolja a disszertációban megfogalmazott kutatási hipotéziseket.
- Megfogalmazom továbbá, hogy a kitűzött céljaimat – a korszerű térinformatikai, geodéziai, geofizikai, numerikus és statisztikai módszerek alkalmazását – a

töltésszerkezet mélyebb megértése, a gyenge szakaszok beazonosítása és a tönkremeneteli valószínűség tudományos alapú becslése teszi szükségessé. A nagyminta-kísérlet, valamint a modellezési és mérési eljárások együttesen lehetőséget biztosítanak arra, hogy a védvonalak viselkedését komplex módon értékeljem és ezáltal a védekezési döntések megalapozottságát növeljem.

Összességében megállapítom, hogy a fejezetben feltárt szakmai háttér és problémafelvezetés megalapozza a disszertáció további kutatási irányait, és igazolja a téma időszerűségét, tudományos relevanciáját és gyakorlati jelentőségét.

2. ÁRVÍZVÉDELEM KIALAKULÁSA A KÖRÖSÖK ÁRVÍZVÉDELMI RENDSZERÉNEK ÉRTÉKELÉSE

Az ármentesítés és folyószabályozás a társadalmi, gazdasági fejlődéshez igazodó folyamatos tevékenység. Az árvízvédelmi biztonság mértékét a társadalmi igények, és gazdasági feltételek szabják meg. A 19. században megkezdett széleskörű ármentesítést követő, napjainkig terjedő időszakban bekövetkezett népesség és nemzetivagyon-növekedés egyre nagyobb árvízbiztonsági szintet kívánt meg. A hazai ármentesítésnek már a kezdete is szoros kapcsolatban volt a polgárosodással, a mezőgazdaság, az ipar és az infrastruktúra fejlődésével. Az első ármentesítő munkálatokat a viszonylag sűrűn lakott területeken már a 13. században megkezdtek, ahol a folyókat már ekkor töltésekkel szabályozták.

A középkor folyamán a hazai árvízvédelem elsősorban csak helyi jelentőségű tevékenység volt, ahol településeket, városokat, vagy azok határát érintette, de annak elterjedése szoros összefüggésben volt az ország társadalmi-gazdasági fejlődésével.

A 18. században felismerték a hazai folyószabályozások, ármentesítések fontosságát és szükségességét, de az elképzelésekből és tervekből a gyakorlatban kevés valósult meg. Az ármentesítések végrehajtását elsősorban a malomérdekeltségek ellenállása hátráltatta.

Az ország nagy részén ijesztő méreteket öltött a mederbe épített malomgátak, a hadászati célú „rekesztések”, tógazdaságok elmocsarasító hatása. Ennek ellenére kisebb helyi jelentőségű töltésépítéseken kívül (Vág, Lajta, Rába, Tisza, Ung, Latorca, Laborc) más nem történt. Pedig a század második felére kialakul az az európai viszonylatban is jelentős vízrajzi felmérési tevékenység melynek alapján az első átfogó – most már nem helyi jellegű, hanem egész öblözetekre, folyószakaszokra kiterjedő – szabályozási tervek készültek.

A hazai ármentesítés történetében az eddig elmondottakhoz képest az igazi áttörést a 19. század húszas évei hozták meg. Ez a kor (az 1840-es évek végéig) a reformkor, a nemzeti öntudatra ébredés kora, a társadalmi gazdasági átalakulás szerveződésének korszaka és így egyben a vízügyek történetének is kiemelkedő fejezete. [31]

2.1. A folyók nagyvízi szabályozása és az árterek rendezése

A természeti, gazdasági, valamint politikai indítékok hatására a hazai folyókat az 1840-es évek közepétől az 1930-as évek végéig egységes elképzelések alapján szinte teljes körűen szabályozták. Így kialakult az ország árvízveszélyeztetett területek védő árvízvédelmi rendszer, melynek a gazdasági fejlődéshez igazodó folyamatos fejlesztésével fokozatosan nőtt az árvízvédelmi biztonság.

Az 1840-es évek közepétől megindított szabályozás során, a csekély esésű ún. közép-, illetve alsószakasz jellegű folyóknak a 18–19. század fordulóján kialakult és azóta klasszikussá vált szabályozási elveit alkalmazták. Ennek értelmében először a folyók lefolyási viszonyait javították meg a túlfejlett kanyarok átvágásával, mivel az esésviszonyok ily módon való megjavítása – az árvizek levonulásának meggyorsítása – előfeltétele az eredményes ármentesítésnek. E munkálatokkal egyidejűleg, (Szlávik, Galbáts, Kiss, Kisházi, & Rátky, 1999) illetve azokat közvetlenül követően kiépítették azokat az árvízvédelmi töltéseket, amelyek az árvizek szétterülését akadályozták meg.

A magyarországi folyók fenti elvek alapján végrehajtott szabályozása és ármentesítése szempontjából döntő jelentőségű Vásárhelyi Pál Tisza-szabályozási terve.

Az árvízvédelmi beavatkozásokkal párhuzamosan elengedhetlenné vált a korábbi ártéri területek belvízrendezése és átfogó vízgazdálkodási szabályozása is.

Az árvízvédelmi töltések ugyanis hiába védtek meg a területet az elöntésektől, mert ugyanakkor megakadályozták a mentesített területen felgyülemelő belvizek levezetését.

Így alakult ki a szabályozott folyók és védett árterek azon egységes védelmi rendszere, mely lehetővé tette, hogy az ország több mint kétmillió hektár termőterületet hódítson el a folyók árvizeitől. [32]

2.2. Az ármentesítés következményei és helyzete

Ez a nagyarányú beavatkozás a hazai folyók és környezetük életébe, amelyet a szabályozás és ármentesítés jelentett, lényegében megváltoztatta a természeti környezetet, de lehetővé tette,

hogy a korábban rendszeresen (átlagosan 3-4 évenként) víz alá kerülő árterületeken szántóföldi művelést folytassanak, utakat és vasutakat építsenek. Így megindulhatott a gazdasági fejlődés. Az ármentesítés eredendő célja teljesült.

Az elvégzett nagyszabású munkálatok gazdasági-társadalmi eredményei közül a legfontosabb, hogy megszűnt az alföldi területek természetes kettéosztottsága az árvizektől mentes és az árvízjárta területek kettős arculata, ami e területeket olyan élesen elkülönült kultúrszintekre tagolta. Sőt a visszahúzódó vizek helyére nem is az alacsonyabb fokú állattenyésztés lépett, hanem mindjárt a földművelés.

Megváltozott a települési rend és a települések képe is. Az árterületek pereméről a városok, falvak és főleg a tanyák bemerészkedtek az egykori lápok, mocsarak területére és kitöltötték a településhálózat korábbi fehér foltjait. Egyidejűleg lehetővé vált az összefüggő közúti és vasúti hálózat kiépítése is. [33]

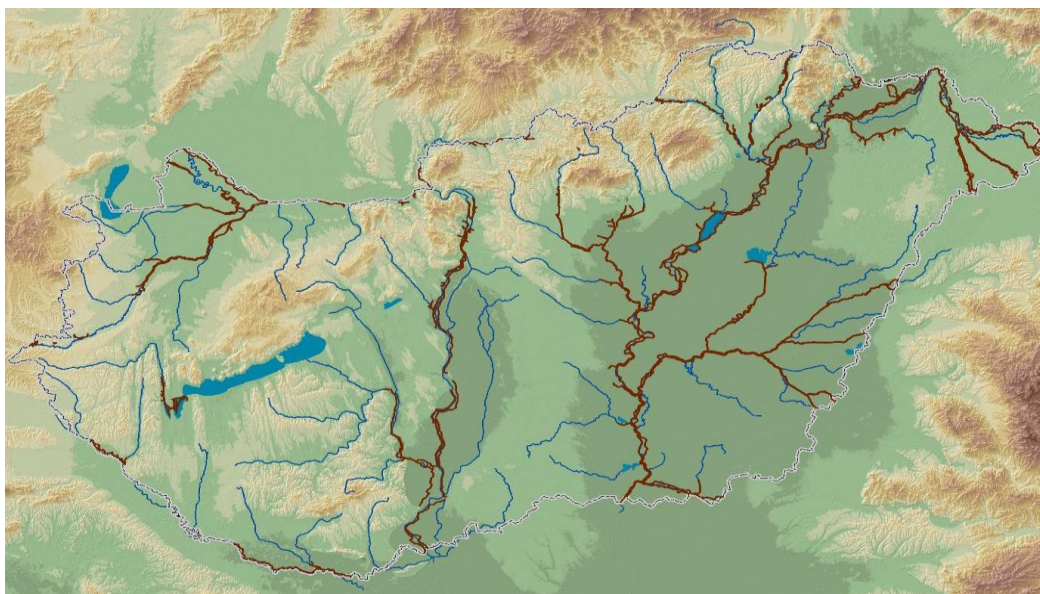
Nagy előrehaladást hozott az ármentesítés egészségügyi téren is. A mocsarak, lápok és a magas talajvízszint korábban a váltóláz, a tífusz és vérhas epidémiás gócai voltak.

Ezek megszűnésével ugrásszerűen csökkent a csecsemőhalandóság, visszavonultak a járványok, rohamosan szaporodott a lakosság.

Az ármentesítés eredményeként az ország összterületének 23%-át kitevő területen vált lehetővé a társadalmi-gazdasági fejlődés, mely területeken él ma a lakosság közel 30%-a.

A mentesített területeken 700 település van, közöttük a főváros jelentős része és több nagy ipari város, például Szeged és Győr. E területeken van a vasútvonalak 32%-a, a közutak 15%-a és 1,8 millió hektár értékes mezőgazdasági terület. [34]

Az ország 93 000 km² területéből 21 200 km² a folyók árvizeivel veszélyeztetett árterület, melynek ma 97%-a ármentesített. A folyók árterülete 151 ártéri öblözetre tagozódik, amelyekből 55 a Duna, 96 pedig a Tisza völgyében fekszik. A Duna-völgyi ártéri öblözetek területe 5590 km², a Tisza-völgyieke pedig 15 610 km². E területek ármentesített részének védelmét az állam szavatolja. A mentesített árterületeket védő elsőrendű árvízvédelmi fővédvonalak hossza 4186 km (2. ábra), melyből a Duna völgyében 1284 km (földgát 1194km, árvízvédelmi fal 13km, magaspart 77 km), a Tisza völgyében pedig 2902 km (földgát 2716 km, árvízvédelmi fal 6 km, magaspart 180 km) van. [36]



2. ábra Magyarország árvízvédelmi védvonalai
(forrás: Dobó Kristóf) [35]

A részletesebb adatokat az 1. táblázat mutatja be.

Töltésezett folyó	Töltés (km)
Duna	464,4
Rába	174,6
Sió-Nádor	129,1
Dráva	36,8
Kisebb folyók	322,1
Duna völgyben összesen	1127
Tisza	976,2
Szamos	93,4
Bodrog	52
Körösök	382,6
Maros	82,7
Kisebb folyók	1086,1
Tisza-völgyben	2673

1. táblázat Árvízi védtöltéseink hossza az 1950-es években
(forrás: Dobó Kristóf) [37]

Az 1948-as állami kezelésbe kerülést követően állami kezelésbe vett védművek, valamint az általuk mentesített területeit a 2. táblázatban rendszereztem:

Völgy	Védtöltés (km)	Védett ártér (ha)	Hullámtér (ha)
Duna-völgy	1 127	560 000	64 000
Tisza-völgy	2 673	1 800 000	136 000
Összesen	3 800	2 360 000	200 000

2. táblázat Árvízvédelmi töltéseinkkel védett terület nagysága az 1950-es években
(forrás: Dobó Kristóf) [38]

Az ármentesített területek biztonságát növelik a másodrendű árvízvédelmi vonalak zömében települések körtöltései, lokalizációs töltések valamint a szükségtározók. A másodrendű árvízvédelmi vonalak hossza a szükségtározó töltésekkel együtt 771 km (ebből földgát 690 km, magaspart 81 km).

A szükségtározók száma 10, összterületük 218 km², tározókapacitásuk 363 millió m³.

A folyók hullámtéri területeinek, árvízi medreinek összes kiterjedése 1460 km², melyen zömében rét-legelő es erdőgazdálkodás folyik, de a kiszélesedő, nagy kiterjedésű, viszonylag magasan fekvő hullámtéri területeken, nyárigátak védelme alatt főleg a Tisza menten mezőgazdasági termelést is folytatnak. A folyók hullámterében összesen 53 nyárigáttal védett öblözet van. A nyárigátak összes hossza 354 km, az összes védett terület 386 km².

Az országos árvízvédelmi védvonalrendszer területi eloszlását az alábbi 3. tábla foglalja össze:

Vízügyi Igazgatóság	I. rendű árvízvédelmi fővédvonal hossza [km] (állami kezelésben lévő)	Ebből árvízvédelmi fal vagy mobil árvízvédelmi fal, parapetfal hossza [km]	Ebből magaspart hossza [km]	I. rendű árvízvédelmi fővédvonal hossza [km] (önkormányzati kezelésben lévő)
ÉDUVIZIG	475,71	6,065	12,955	3,69
KDVVIZIG	252,68	2,744	4,629	101,92
ADUVIZIG	127,22	0	0	7,58
KDTVIZIG	240,98	0	2,142	0
DÉDUVIZIG	108,59	1,515	0,835	0
NYUDUVIZIG	114,94	1,246	0,598	87,01
FETIVIZIG	617,81	1,626	75,053	7,39
ÉMIVIZIG	644,67	5,995	15,248	44,02
TIVIZIG	347,89	0	5,613	0
KÖTIVIZIG	711,3	8,093	59,794	2,58
ATIVIZIG	334,83	3,262	26,255	0
KÖVIZIG	340,152	0	0	0
Összesen: (km)	4316,772	30,546	203,122	254,19

3. táblázat Árvízvédelmi védvonalak eloszlása hazánkban
(forrás: Dobó Kristóf) [39]

Az árvízvédelem 1948, a vízügyek államosítása óta az ide vonatkozó jogszabályok szerint szabályozott állami feladat.

A meghatározott árvízvédelmi feladatokat a vízügyi igazgatóságok, a végrehajtás irányítását és ellenőrzését pedig az Országos Vízügyi Főigazgatóság azon belül az Árvízvédelmi Főosztály látja el.

Az árvízvédekezés mellett igen nagy jelentősége van az árvízvédelmi rendszer már meglévő védőképessége megőrzésének, tervszerű karbantartásának és fejlesztésének is.

Az ország védelmi műveinek egy része – a legkorábban épültek – 140 évnél idősebb, de a zömük is idősebb 80–100 évesnél. Ilyen hosszú idő alatt rendszeres karbantartás mellett is, a több mint 95%-ban földből épült művek a rendszertelenül ismétlődő nagy igénybevételek miatt elöregedtek, csökkent a védőképességük meg akkor is, ha néhol az előírt méretre már kiépültek. Így a fejlesztéseken és rendszeres karbantartásokon túlmenően időszerűvé vált az árvízvédelmi rendszert alkotó művek felújítása, védőképességének növelése.

Az árvízvédelmi művek fejlesztése, felújítása és karbantartása csak akkor lehet igazán eredményes, ha a végrehajtásnál alkalmazott megoldások a lehető legkorszerűbbek. Ez pedig csak jól szervezett, pontosan kijelölt célokat követő, rendszeres kutatómunkával érhető el, melyek végső eredménye minden esetben a gyakorlat számára közvetlenül alkalmazható szabvány vagy műszaki irányelv.

Ebből a szempontból a legutóbbi 10–40 év igen eredményes volt. Ez alatt az idő alatt tulajdonképpen tudományosan megalapozott, számításokkal alátámasztható módszerek váltották fel a korábbi hagyományos tapasztalati alapokon nyugvó módszereket az árvízvédelem szinte minden területén. Ez idő alatt születtek meg azok a szabványok és műszaki irányelvek, melyek alapján ma már pl. szabatos módszerekkel lehet az árvízvédelmi töltéseket méretezni. [39]

Ezek közül a következők a legfontosabbak:

- MSZ–10-429 Árvízvédelmi gátak terhelései és biztonsági tényezői
- MSZ–10-110 Vízépítési földművek tömörségi előírása.
- M1–10-228 Árvízvédelmi töltéseket keresztező műtárgyak felülvizsgálata.
- MI–10-256 Hullámtéri véderdők kezelésé és állománynövelése.
- MI–10-268/1 Árvízvédelmi töltések talajának és építési anyagának vizsgálata.

Vizsgálati módszerek

- MI–10-268/2 Árvízvédelmi töltések talajának és építési anyagának vizsgálata.

Vizsgálat, mérés, minősítés

- MI–269 Töltésállapot vizsgálat árvíz idején.
- MI–10-422 Árvízvédelmi gátak méretezése. [40]

2.3. A Körösök árvízvédelmi rendszerének kialakulása

A körösök szabályozása több időszakra tehető, melyek közül az alábbiak a legfontosabbak:

Szabályozások **első** időszaka a vizek szabályozására utaló első törvényi rendelkezés a II. Mátyás által kiadott 1613. évi XXVII. törvénycikk volt, amely megengedte, hogy a vizek kiöntései ellen töltések épüljenek. De a vidék árvízi viszonyai a történelmet is befolyásolták, mivel a 1694-ben a hirtelen olvadás, valamint a hosszantartó záporosó következtében keletkezett vizek elborították Gyula környékét, ezért a keresztény hadaknak a vár január 18-ára kitűzött ostromát el kellett halasztaniuk, így ez tehető a szabályozások **második** időszakára.

A szabályozások **harmadik** időszaka volt mikor, Vay Miklós hadmérnököt az 1807. évi XVII. törvénycikk alapján, a londoni Royal Society tagja személyében 1808-ban, mint királyi biztost küldték ki a Körösök vidékére, ahol a feladata főleg a vizek lefolyási akadályainak eltávolíttatása volt. A szabályozások **negyedik** időszakában, 1815-ben a királyi udvar az ország vízügyeinek rendezését egy főigazgatóra és öt vízépítési felügyelőre bízta. 1818 szeptemberében kapott megbízást Huszár Mátyás mérnök a Körösök rendezését célzó terv összeállítására. A tervezés során a Körösök vízrajzi munkáival összefüggő vízszintrögzítések érdekében ő állította a Körösök első vízmércéjét.

A szabályozási munkálatok nagy lendületet vettek a Kettős- (és a Hármás) Körösön is 1845 után, amikor Széchenyi István lett a Tisza-völgy szabályozásának királyi biztosa, így ez volt a szabályozások **ötödik** időszaka, ahol 1847-ben Bodoky Károlyt bízták meg a Körösök szabályozásának irányításával. Bodoky 1855-re elkészítette a Körösök új szabályozási tervét, melynél Huszár és Vásárhelyi folyószabályozási elgondolásait vette alapul. Szilárdan vallotta, hogy a folyókat a töltéselés mellett szabályozni is kell.

A szabályozások **hatodik** időszaka a Fehér-, Fekete-, Kettős- és Hármás-Körös nagyvízi szabályozási munkáinak végrehajtása volt, ahol a Fehér-Körös szabályozási munkálatait Arad megyei földbirtokosok kezdték meg 1833-ban, amikor is mederrendezési és töltésépítési munkálatok végrehajtására társulást létesítettek. Beszédes József földmérő és vízépítő mérnök, az MTA első mérnök tagja javaslatára elsősorban a mederben működő 15 vízimalom áttelepítését határozták el. 1834 és 1840 között meg is építették a József nádor-malomcsatornát, ahová a vízimalmokat azután áthelyezték.

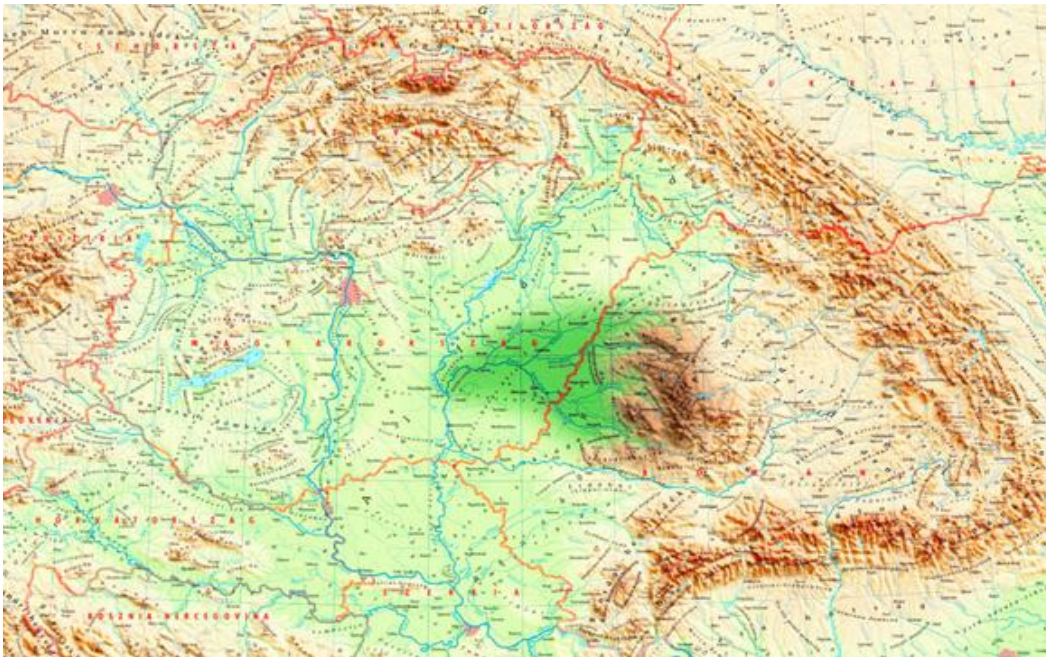
Az 1855. évi szabályozási terv az Arad megyei szakaszt kisebb, a Békés megyeit nagyobb részben érintette. Ennek értelmében a töltésekkel szűkre szabott hullámteret 100 m-re szélesítve, a töltéseket egészen Székudvartól Békésig átépítették. Békés megyében új átvágásokat terveztek s a régieket kibővítették. [40]

2.3.1.A Körösök–vízgyűjtője, vízhálózata, KÖVIZIG működési területe

A Tisza vízgyűjtője különböző nagyságú, elhelyezkedésű, esésű részvízgyűjtőkből tevődik össze, melynek része a Körösök vízgyűjtője is. A Sajó beömlésétől a Körösök torkolatáig a Tiszának nincs jelentősebb mellékfolyója (a Zagyva kis vízgyűjtő területe miatt nem igen gyakorol hatást a vízjárásra), a Csongrádnál befolyó Körösök vízgyűjtő területe viszont csaknem 20%-a a teljes Tisza vízgyűjtőnek.

Körösök vízgyűjtő területéről levonuló vizek nem csupán a Körösök vízjárását határozzák meg, hanem a Tisza alsó szakaszát is alapvetően befolyásolják.

A Körösök vízgyűjtője (3. ábra) a tiszai Alföld jelentős részére terjed ki, de a teljes vízgyűjtő Magyarország és Románia területén helyezkedik el.



3. ábra A Körösök vízgyűjtő elhelyezkedése a Kárpát-medencében
(forrás: KHESZ) [41]

A Nagyalföldet és az Erdélyi-medencét elválasztó Bihar hegységéből négy folyó indul nyugati irányba. A Berettyó, a Sebes-, a Fekete- és a Fehér-Körös. A Hortobággal összefutó folyóhálózat vizeit a Tiszába vezető Hármaskörössel kiegészülve a Közép-Tisza-vidék legnagyobb vízrendszere jött létre (3. ábra).

A Körösök vízgyűjtőjéhez nyugaton a befogadó Tisza viszonylag keskeny bal parti vízgyűjtője csatlakozik. Északon a nyírségi alacsony vízválasztón túl a Lónyai-csatorna, majd északkalaton a Kraszna vízgyűjtője következik. A vízválasztótól keletre a Meleg- és a Hideg-Szamos,

valamint az Aranyos indul az Erdélyi-medence fele. A Körös-rendszert a déli oldalon a Maros vízgyűjtője zárja le. A vízgyűjtő nyugati fele (a Hajdúság kivételével a teljes magyar terület, valamint a Fekete es Fehér-Körös romániai vízgyűjtőjének alsó része) 100 m A.f.-nel alacsonyabban fekvő síkság, legmélyebb része 83 m A.f. körüli magassággal Dévaványa környéken van. Kelet fele haladva a terület emelkedik, de a Berettyótól északra csaknem az egész Érmellékre kiterjedően, valamint a Körösök völgyeiben egészen az előhegységek lábáig a magasság nem haladja meg a 200 m-t. A Bihar nyugati előhegyei (Béli hegység, Királyerdő, Réz-hegység) 800-1100 magasak, míg a vízválasztó legmagasabb pontja, Nagy-Bihar 1849 m. [42]



4. ábra A Körösök vízgyűjtő területe és tájegységei (forrás: Alföld-Planum Kultúrmérnöki Kft.) [43]

A vízgyűjtő terület megoszlását a 4. táblázatban foglaltam össze:

Folyó	Vízgyűjtő terület				
	román		magyar		együtt
	km ²	%	km ²	%	
Fehér-Körös	3977	93	298	7	4275
Fekete-Körös	4494	97	151	3	4645
Kettő-Körös	8642	83	1744	17	10386
Sebes-Körös	2517	83	599	17	3024
Berettyó	3446	56	2649	44	6095

Hortobágy-Berettyó	-	-	5776	100	5776
Hármas-Körös	14605	53	12932	47	27537

4. táblázat A Körösök vízgyűjtő területi megoszlása folyónként és országoként
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A Körös-völgy vízhálózata (4. ábra) a Fehér-Körös, Fekete-Körös, Kettős-Körös, Sebes-Körös, Hármas-Körös, Berettyó, valamint a Hortobágy-Berettyó vízfolyásokból tevődik össze, melyek jellemzését az alábbiakban kívánom bemutatni:

A **Fekete-Körös** teljes hossza 168 km, melyből 16 km kizárólagosan Magyarország területén folyik, 4,5 km pedig a magyar-román határszakaszt képezi. A torkolati szakaszhoz 4645 km²-es vízgyűjtő terület tartozik. Az éves lefolyás maximális értéke a torkolatnál 1839 millió m³-rel jellemezhető, míg a minimum érték alig haladja meg a 600 millió m³-t.

A folyó legutolsó országos törzshálózati mérőállomásán, Remeténél az eddig mért maximális vízhozam 774 m³/sec volt, melyet 1980-ban mértek. Tekintettel arra, hogy ugyanezen a szakaszon a Mályvádi árvízi szükségtározó hatással van – a Fekete-Körös baloldalán a 6+100 tkm szelvényben van a tározó megnyitási helye – előfordul, hogy a tározó megnyitásakor a víz folyásiránya ellentétesé válik. Ilyenre az 1981-es tározó nyitáskor volt példa, amikor a mért vízhozam a folyásiránnyal ellentétesen 25,6 m³/sec volt, tehát ez a mesterséges körülmények közötti, eddig nyilvántartott legkisebb vízhozam. Természetes állapotban ugyanez az érték mindössze 3 m³/sec nagyságrendű.

A folyó maximális vízjátéka ugyancsak ebben a szelvényben kerekén 10 méter, áradáskor nem ritka az óránkénti 20–30 cm-es áradási ütem sem.

A **Fehér-Körös** jelenlegi teljes hossza 235,6 km, melyhez 4275 km²-es torkolati vízgyűjtőterület tartozik. Teljes hosszából Magyarország területére 10,3 km-es szakasz esik. A torkolati szelvényben az éves lefolyás maximális értéke 1253 millió m³, míg a minimum 510 millió m³-rel jellemezhető. A **Kettős-Körös** teljes hossza 35,7 km, melyhez 1466 km² saját vízgyűjtő terület tartozik és az összes vízgyűjtő területe 10.386 km². A torkolati szelvényben az éves lefolyás maximális értéke 3200, míg minimális értéke 1180 millió m³-rel jellemezhető. A **Sebes-Körös** teljes hossza 209 km, melyből 59 km kizárólagosan Magyarország területén folyik. A torkolati szakaszhoz 9119 km²-es vízgyűjtő terület tartozik. Az éves lefolyás maximális értéke a torkolatnál 1839 millió m³-rel jellemezhető, míg a minimum érték alig haladja meg a 600 millió m³-t. A **Berettyó** jelenlegi teljes hossza 204 km, melyhez 6095 km²-es torkolati vízgyűjtőterület tartozik. Teljes hosszából Magyarország területére 78 km-es

szakasz esik. A torkolati szelvényben az éves lefolyás átlagos értéke 388 millió m³-rel jellemezhető. A **Hortobágy-Berettyó** teljes hossza 167,3 km, melyhez 5776 km² országhatáron belüli vízgyűjtő terület tartozik. A vízrendszer igen bonyolult, szövevényes, tekintettel a tiszai vízátervezési, valamint a belvíz befogadói funkciókra. A **Hármas-Körös** teljes hossza 91,3 km, mely a Tisza folyóba való betorkolástól számítva a Sebes-Körös – Kettős-Körös torkolatáig tart. Vízgyűjtőterülete 27537 km², ami magába foglalja a Fehér-, Fekete-, Sebes-Körös, valamint a Berettyó román és magyar vízgyűjtőterületét egyaránt, illetve jobbról felveszi a Hortobágy-Berettyó-főcsatorna vízgyűjtőjét is, ezáltal a Maros után a Tisza második legjelentősebb mellékfolyójává emeli a Hármas-Köröst, melynek a torkolati vízjátéka igen magas ami a 12 métert is meghaladhatja. (Csongrádi mértékadó vízméerce: LNV: 1037 cm, LKV -357 cm, max. vízjáték 1394 cm)

A Körösök hazai vízgyűjtőjén belül 4108 km² területen a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság a dél-alföldi régióban látja el az állami vízgazdálkodási feladatokat a Sebes-Körös bal parti, a Berettyó és Hortobágy-Berettyó közötti, valamint a Fehér-, Fekete-, Kettős- és Hármas-Körös menti területeken.

Az igazgatóság gondoskodik a térség árvízvédelmi és belvívészdelmi biztonságáról, a környezeti és vízminőségi kárelhárítási feladatok ellátásáról. Üzemelteti, fenntartja és fejleszti a kezelésében lévő vízgazdálkodási létesítményeket. Ellátja az ivóvízbázisok védelmével, a vízrajzi tevékenységgel, a vizek szabályozásával, a vízi- és hajóutakkal kapcsolatos feladatokat, valamint közreműködik a határvízi feladatokban. [44]



*5. ábra A Körösök vízgyűjtő területe és a KÖVIZIG működési területe
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság) [45]*

A Körösök teljes vízgyűjtő-területe 27 537 km², melynek több mint fele Románia területére esik (5. ábra). A folyók vízjárása szélsőséges, az árvizek igen hevesek, emiatt a Körös-völgyi árvizek során a legmagasabb vízszintek többször meghaladták az addig észlelt maximumokat, és gátszakadásokat, elöntéseket is okoztak, illetve árvíztározásokat tettek szükségessé.

2.3.2. Körösök nevezetes árvizei

A Körösök nagy árvizei 1889-ig kivétel nélkül jelentékeny gátszakadások mellett folytak le: 1876-ban 14, 1879-ben 85, 1881-ben 30-nál több, 1888-ban 14 helyen volt gátszakadás. Az 1895 tavaszán három nagyobb árhullám volt, amelyek közül az áprilisi meghaladta az 1888. évi magasságát, de gátszakadás már nem történt, miután a Fehér-, Fekete- és Kettős-Körös árvízvédelmi rendszerének legfontosabb elemei az 1890-es évekre elkészültek.

Az 1895. évi árvíz már a töltések között maradt, megmutatkozott a szabályozási munkák eredménye.

Az 1901-99 közötti 99 éves időszakban a Fehér-Körösön 187 árhullám fordult elő, a Fekete-Körösön 204 árhullámot regisztráltak. [46]

A 20–21. század során 19 olyan jelentős árvíz fordult elő ezeken a folyókon, amelyek rendkívülinek minősíthetők, a védekezési tapasztalatok meghatározó jelentőségűek voltak a védelmi rendszer továbbfejlesztése szempontjából, ezen árvizek során a vízgyűjtőn 8 gátszakadás, 4 szükségtározás történt és 7 alkalommal mértek új LNV értéket.

Az igazgatóság működési területének 69%-a mélyártér, a melyet 340 km elsőrendű, ezen kívül 101 km másodrendű árvízvédelmi töltés véd az árvizek ellen. A töltések nagyrészt az 1800-as években épültek, azóta folyamatos a fejlesztésük. A védőképesség fejlesztése érdekében a további kiépítés, erősítés valamint a rendszeres karbantartás fontos feladat.

Az árvízvédelmi biztonság megteremtése érdekében az 1970. évi árvízét követő időszakban szükségtározók épültek a Körösök völgyében. A Fekete-Körösön a Mályvádi, a Sebes-, és Kettős-Körösön a Mérgesi és a Fehér-Körösön utolsóként megépült Kisdelta árvízi szükségtározók összesen 188 millió m³ ideiglenes víztározó kapacitásukkal lehetővé teszik a kritikus mértékű árvízszintek csökkentését.

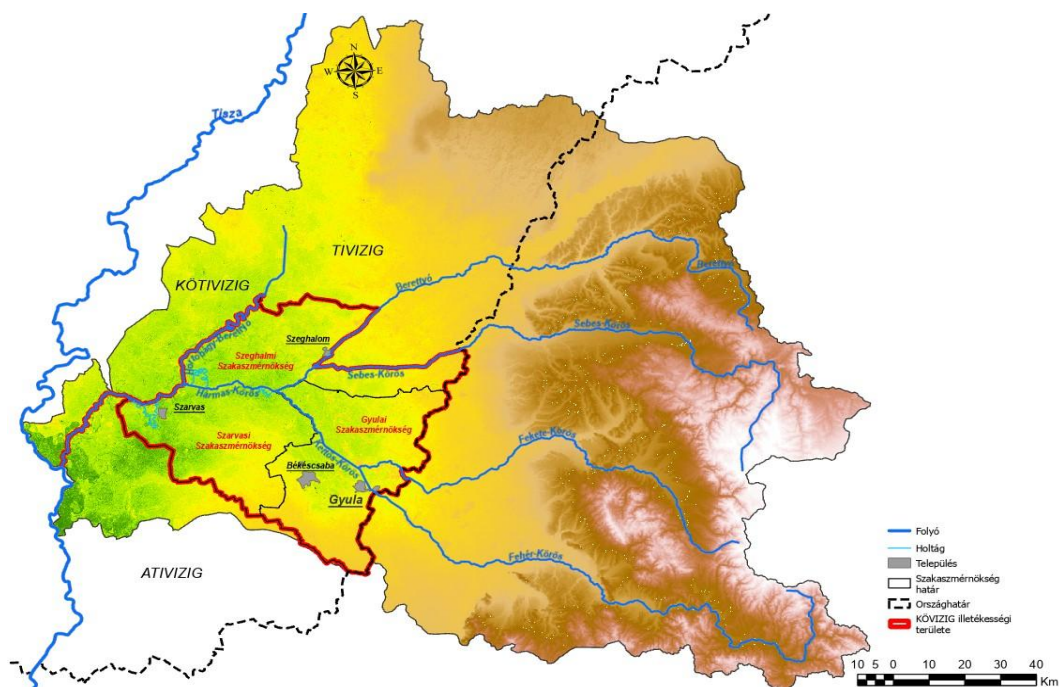
A Körösök vidékén időnként nagy kárt okozó vízhiányok kiküszöbölésére 100 évvel ezelőtt megfogalmazott koncepciók alapján a Körös-völgyben duzzasztók épültek. A bökényi, békési, békésszentandrásai, gyulai és körösladányi duzzasztók a mezőgazdaság számára az öntözést, az

árvédelmi töltéseken kívüli vízterek, holtágak feltöltését, a víziközlekedést, a Tisza-völgyből átvezetett vízkészlet szétosztását, a vizek területen tartását, az élővilág fennmaradását és a vizek jóléti hasznosítását teszik lehetővé. [47]

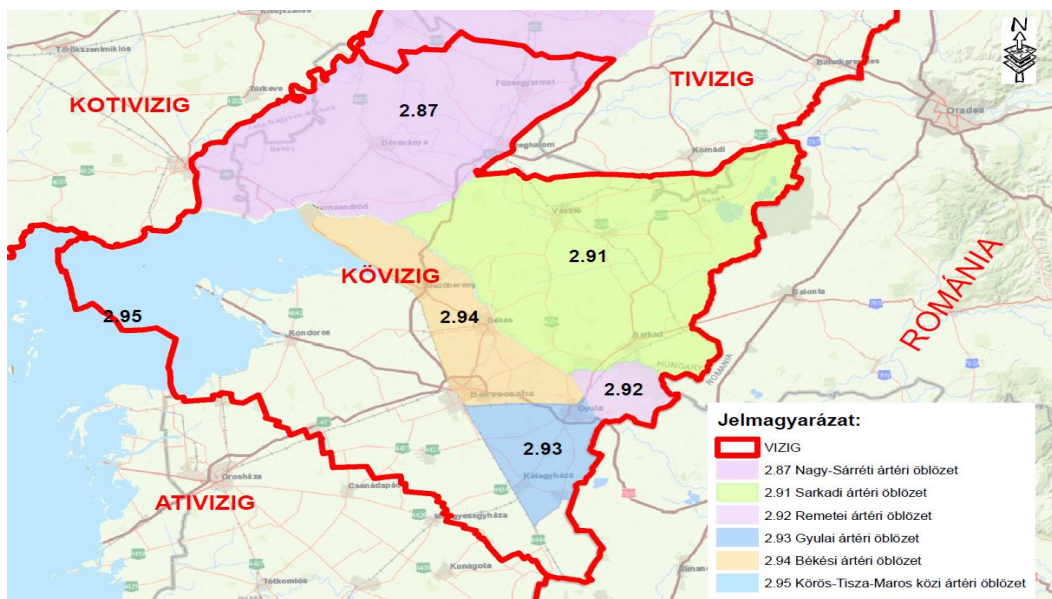
2.4. KÖVIZIG árvízvédelmi rendszerének bemutatása és értékelése

Ártéri öblözetek

A Vízügyi Igazgatóságok területe működés szempontjából szakaszmérnökségekre, árvízi lokalizáció érdekében pedig ártéri öblözetekre (5. táblázat) kerültek felosztásra. Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területén 3 db szakaszmérnökség, valamint 6 db ártéri öblözet található melyek területi elhelyezkedését a 6. ábra és a 7. ábra szemlélteti be az alábbiakban:



6. ábra A Körösök vízgyűjtője és a KÖVIZIG szakaszmérnökségei
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)



7. ábra A Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság ártéri öblözetei
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

Az árvízi lokalizáció célja az elsőrendű árvízvédelmi vonal esetlegesen bekövetkező szakadásain kitört vizek minél kisebb (emberi, gazdasági, környezeti) károkozással levezetése, illetve azt a folyóba visszavezesse.

A lokalizáció végrehajtására árvíz-lokalizációs tervek készültek a vízügyi igazgatóságok területére, melyet az igazgatóságok szükség szerint alkalmaz.

Ssz.	Öblözet neve	Területe	Elöntéssel veszélyeztetett terület	
			Ártéri szigetekkel	Ártéri szigetek nélkül
			km ²	
1.	2.87. Nagy- Sárréti öblözet	1216,00	1216,00	1006,38
2.	2.91. Sarkadi öblözet	1098,67	1077,00	533,38
3.	2.92. Remetei öblözet	88,854	87,00	82,26
4.	2.93. Gyulai öblözet	101,00	101,00	100,28
5.	2.94. Békési öblözet	340,816	297,00	282,70
6.	2.95 Körös-Tisza-Maros közti öblözet	351,00	351,00	316,04

5. táblázat A Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság ártéri öblözetek területi megoszlása
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A mentesített ártéri öblözeteken belüli védendő településeket és az öblözeteken belül található terület és lakosság megoszlását (6. táblázat) az alábbiakban kívánom bemutatni:

Az öblözeteken belüli védendő települések:

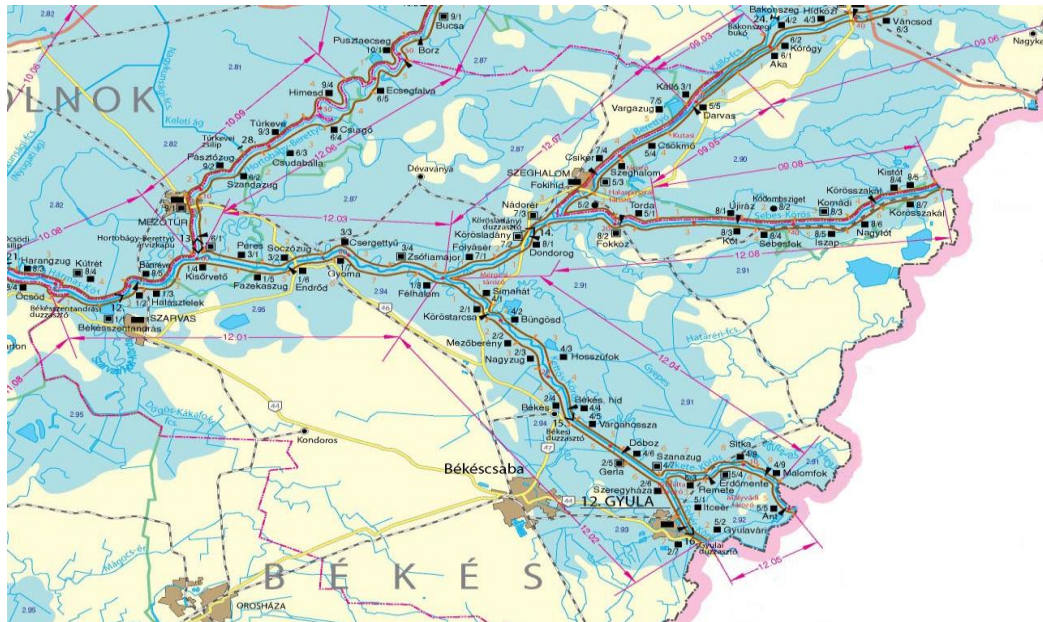
- **2.87. Nagy-Sárréti öblözet (9 település):** Szeghalom, Füzesgyarmat, Körösladány, Dévaványa, Ecsegfalva, Kertészsziget, Gyomaendrőd, Mezőtúr, Bucsa
- **2.91. Sarkadi öblözet (16 település):** Bélmegyer, Biharugra, Doboz, Komádi, Körösladány, Körösnagyharsány, Körösújfalva, Körösszakál, Kötegyán, Méhkerék, Okány, Sarkad, Sarkadkeresztúr, Tarhos, Vésztő, Zsadány
- **2.92. Remetei öblözet (3 település):** Gyula külterületei (Gyulavári, Dénesmajor, Városerdő)
- **2.93. Gyulai öblözet (1 település):** Gyula
- **2.94. Békési öblözet (8 település):** Békéscsaba, Békés, Gyula, Mezőberény, Köröstarcsa, Csárdaszállás, Murony, Gyomaendrőd
- **2.95 Körös-Tisza-Maros közti öblözet:** Szarvas, Gyomaendrőd, Békésszentandrás

Öblözet neve	Települések száma	Veszélyeztetett települések száma	Közigazgatási terület /ha/	Össz lakosság /fő/	Lakásállomány /db/
2.87. Nagy-Sárréti	9	8	145239	61797	27587
2.91. Sarkadi	16	13	104831	45269	20287
2.92. Remetei	3	3	8700	3 744	2 486
2.93. Gyulai	1	1	25580	30865	14228
2.94. Békési	8	8	115209	139329	64833
2.95 Körös-Tisza-Maros közti	3	3	35476	32200	11801

6. táblázat Az öblözeteken belül található terület és lakosság megoszlása
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

Árvízvédelmi szakaszok

Az Igazgatóság területén lévő árvízvédelmi öblözeteket (településeket, területeket) az árvizektől az árvízvédelmi szakaszok, azon belül is árvízvédelmi töltések védik, mentesítik. A KÖVIZIG területén lévő ártéri öblözeteket, árvízvédelmi szakaszokat (8. ábra), védvonalak hosszát az alábbi táblázat (7. táblázat) foglalja össze és mutatja be:



8. ábra A KÖVIZIG árvízvédelmi rendszere
forrás: Országos Vízügy Főigazgatóság [48]
(készítette: a szerző)

Öblözet neve	Árvízvédelmi szakasz száma, neve	Folyó	Védvonal helye	Védvonal szelvényei (m)	Védvonal hossza (m)	Árvízvédelmi öblözet védvonal hossza (KÖVIZIG) (m)
2.87. Nagy-Sárréti	12.07. Körösladányi	Sebes-Körös	Sebes-Körös jobb oldali töltése	0+000-14+013	14013	106739
		Berettyó	Berettyó jobb oldali töltése	0+000-21+313	21313	
	12.03. Zsófiámajori	Hármas-Körös	Hármas-Körös jobb oldali töltése	57+354-85+767	28413	
	12.06. Ecsegfalvai	Hortobágy-Berettyó	Hortobágy-Berettyó bal oldali töltése	0+000-43+000	43000	
2.91. Sarkadi	12.04. Dobozi	Kettős-Körös	Kettős-Körös jobb oldali töltése	0+000-36+193	36193	110218
		Fekete-Körös	Fekete-Körös jobb oldali töltése	0+000-16+059	16059	

	12.08. Fokközi	Sebes- Körös	Sebes-Körös bal parti töltése	0+000- 57+966	57966	
2.92. Remetei	12.05. számú Mályvádi	Fehér- Körös	Fehér-Körös jobb oldali töltés	0+000- 9+475	9475	29965
		Fekete- Körös	Fekete- Körös bal oldali töltés	0+000- 20+490	20490	
2.93. Gyulai	12.02. számú Mezőberényi	Fehér- Körös	Fehér-Körös bal oldali árvízvédelmi töltése	4+268 – 9+286	5018	5018
2.94. Békési	12.01. Szarvasi	Hármas- Körös	Hármas- Körös bal parti töltése	70+738- 85+030	14292	58618
	12.02. Mezőberényi	Kettős Körös	Kettő-Körös bal oldali töltés	0+000- 35+040	35040	
		Fehér- Körös	Fehér-Körös bal oldali töltés	0+000- 9+286	9286	
2.95. Körös- Tisza Maros közi	12.01. Szarvasi	Hármas- Körös	Hármas- Körös bal parti töltése	85+030- 36+000	49030	49030

7. táblázat A KÖVIZIG árvízvédelmi öblözetek belüli védvonalainak adatai
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

Árvízvédelmi készütségek

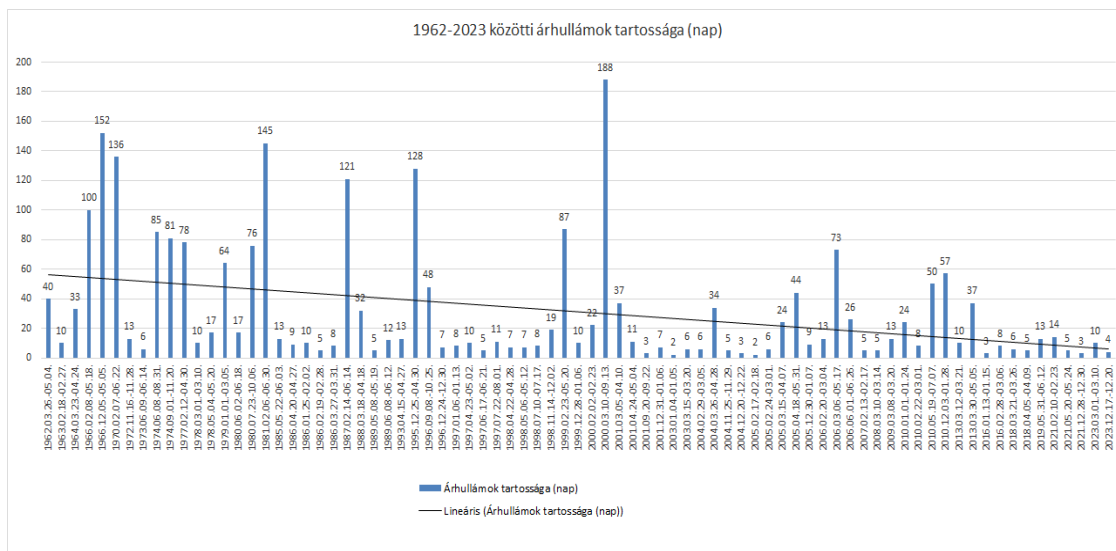
Az árvízvédelmi töltések fenntartásánál, fejlesztésénél figyelembe kell venni azon hatásokat (jelen esetben árvízvédelmi jelenségeket) melyek közvetlenül hatást fejtenek ki az elsőrendű fővédvonalra s, így a mentett oldali biztonságra, tehát végső soron az árvízi kockázatra. Ezen jelenségek, mint a mentet oldali kockázatnövelő hatások a védvonalakon kimutatható, számszerűsíthető a korábbi jelenségek ismeretében, továbbiakban ezeket az adatokat elemzem.

A Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság területén a nyilvántartások szerint 1962-2023 között 79 olyan árhullám vonult le, ahol készütséget kellett elrendelni.

Az árvízvédelmi készütségek közül I. fokú árvízvédelmi készütségekben 21 árvíz, II. fokú készütségekben szintén 21 árvíz volt, III. fokú készütséget pedig 37 árhullám érte el.

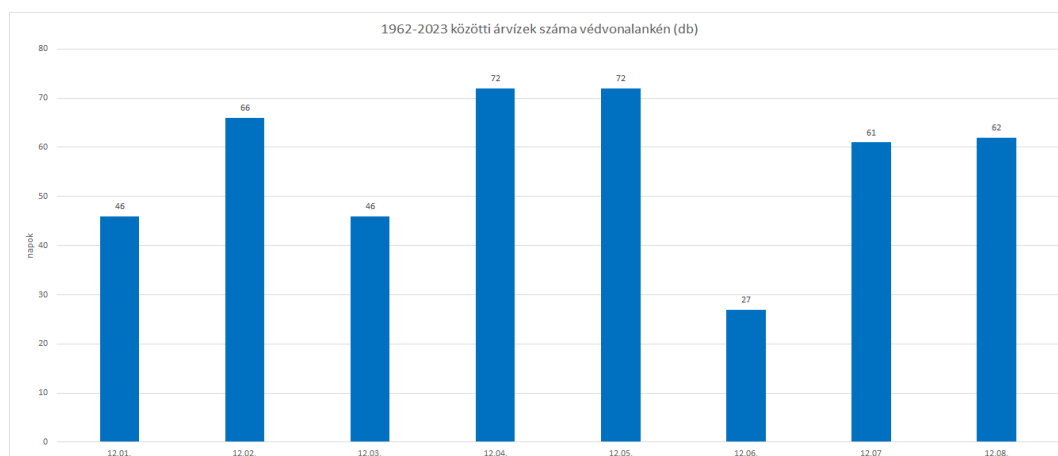
A 61 év alatt 44 olyan év volt, amikor árhullám vonult le a Körösökön, összesen ez idő alatt 79 árhullám. Az összes levonuló árhullámok tartóssága napokban kifejezve 2411 nap volt, mely a 61 évre vetítve átlagosan 42,3 nap, a 44 évben pedig 58,8 nap volt. A minimális tartósságot a

2003.01.04.-01.5. idő alatt és a 2005.02.17–02.18. idő alatt levonuló árhullám során alakul ki ami 2 nap volt. A maximális tartósság 188 nap volt amit pedig a 2000.03.10.-09.13. idő alatt levonuló árhullám produkált. Az átlagosan rövidülő árvízi tartósság trendje a 9. ábrából leolvasható.



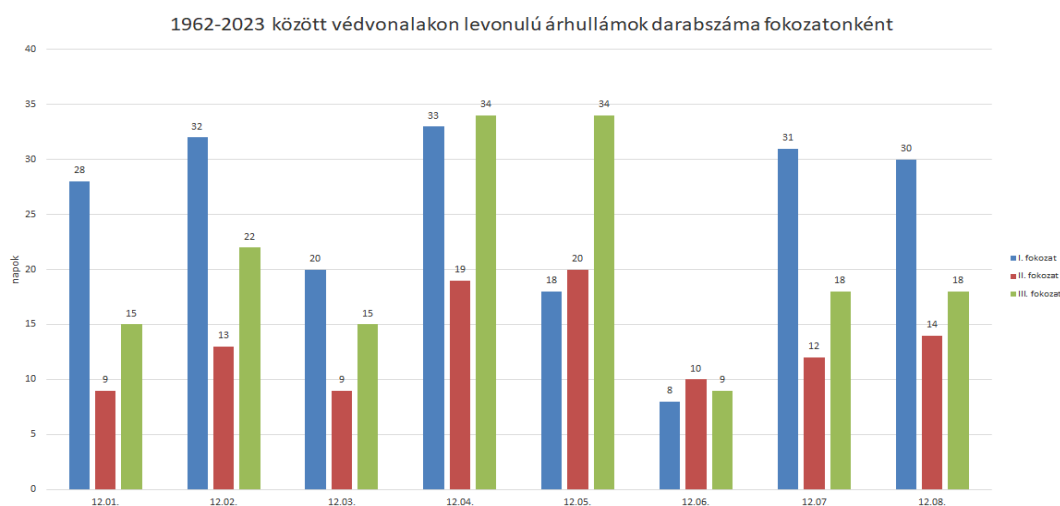
9. ábra Levonuló árhullámok tartóssága napokban
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A levonult árhullámok során (1962–2023 között) a 61 évben a 44 év alatt a védvonalakon összesen 452 alkalommal volt elrendelve árvízvédelmi készültség. A védvonalak közül a 12.04. és 12.05. védvonalakon volt a legtöbbször készültség elrendelve, ami 72 esetben volt. Legkevesebbszer a 12.06.-os védvonalon volt szükség árvízvédelmi készültségre. A vizsgált időszakban elrendelt árvízvédelmi készültségek védvonalankénti számát a 10. ábra mutatja be.



10. ábra 1962–2023 közötti árvizek száma védvonalanként
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

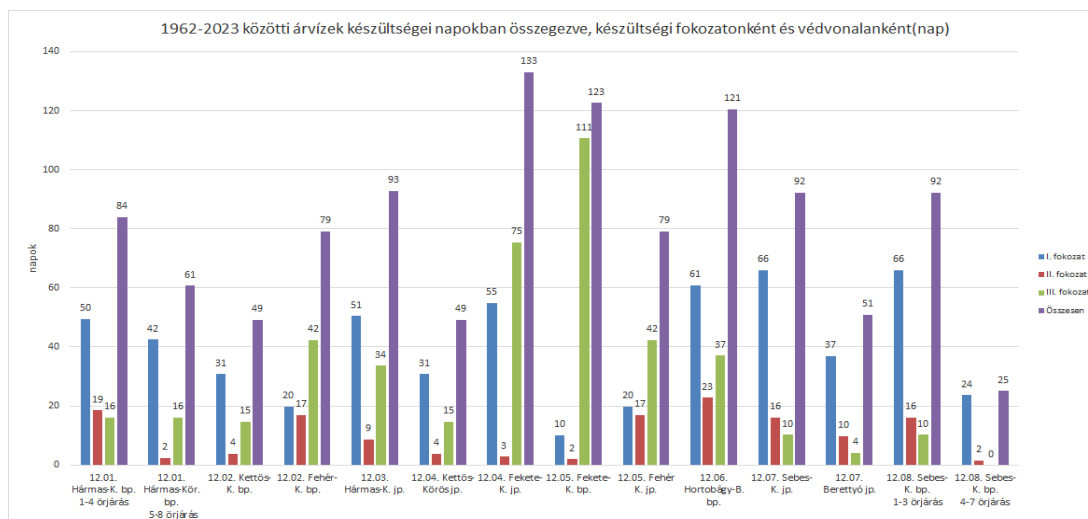
A védvonalakon elrendelt árvízvédelmi készültségek adatai alapján megállapítható, hogy a legtöbb esetben a 12.04 és 12.05 védvonalon, majd a 12.02, 12.07 és 12.08 védvonalon volt árvízvédelmi készültség elrendelve, így elrendelések tekintetében ezen védvonalak voltak a leginkább kitettek. Az elrendelt árvízvédelmi készültségek fokozatonkénti megoszlását a 11. ábra mutatja be. A fokozatonként összesen 200 I. rendű, 106 II. rendű és 165 III. rendű árvízvédelmi készültség volt elrendelve. III. rendű készültség a legtöbb alkalommal 12.04. és 12.05. védvonalon volt elrendelve, mindkét védvonalon 34-szer.



7. ábra 1962–2023 között védvonalanként levonóul árvizek fokozatonként
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A levonuló árhullámok közül 51 eset 1–30, 10 eset 30–60, 7 eset 60–90, 1 eset 90–120, 6 eset pedig 120–190 nap tartósságú volt.

A folyókon levonuló árhullámok miatti fokozatok elrendelése nem csak védvonalanként, hanem azon belül gátórjárásonként is el volt rendelve egyes védvonalakon. Ez azzal magyarázható, hogy az adott védvonalon belül az elrendelő vízmérce a helyi sajátosságokat figyelembe véve (pl.: távolság, mederesés, terepszint) máshol helyezkedik el. Ezt azt jelenti, hogy van olyan védvonal ahol védvonalon belül más időben kerül a készültségi fokozat elrendelésre. Így ebből az okból kifolyólag és a rendelkezésre álló adatok alapján ezeket az adatokat összegyűjtve az alábbi 12. ábra mutatja be.



8. ábra 1962–2023 között árvizek készütségei napokban összegezve
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A feni ábra alapján megállapítható, hogy a 61 év alatt az árvizek készütségeinek maximum napi értékei hogyan oszlanak meg a védvonalakon illetve gátörjárásokon, továbbá a I. II. és III. fokú készütségek napi maximum értékei is jól kivehetők védvonalanként. Így a levonuló árhullámok alapján kijelenthető, hogy a Fekete-Körös jobbparti (133 nap) és balparti (123 nap) árvízvédelmi töltés védvonal volt a legtöbb készütségi napban, azt követte a Hortobágy-Berettyó (121 nap), a Hármaskörös jobb part (93 nap), majd a Sebes-Körös jobb és balparti árvízvédelmi töltése 92 nap maximális tartósággal.

A 12. ábra alapján megállapítható, hogy az utóbbi 61 év során a Fekete-Körös jobb parti (75 nap) és bal parti (111 nap) védvonalain volt leghosszabb ideig III. fokú készütséggel járó árvízi terhelés.

Védvonalak kiépítettségének alakulása

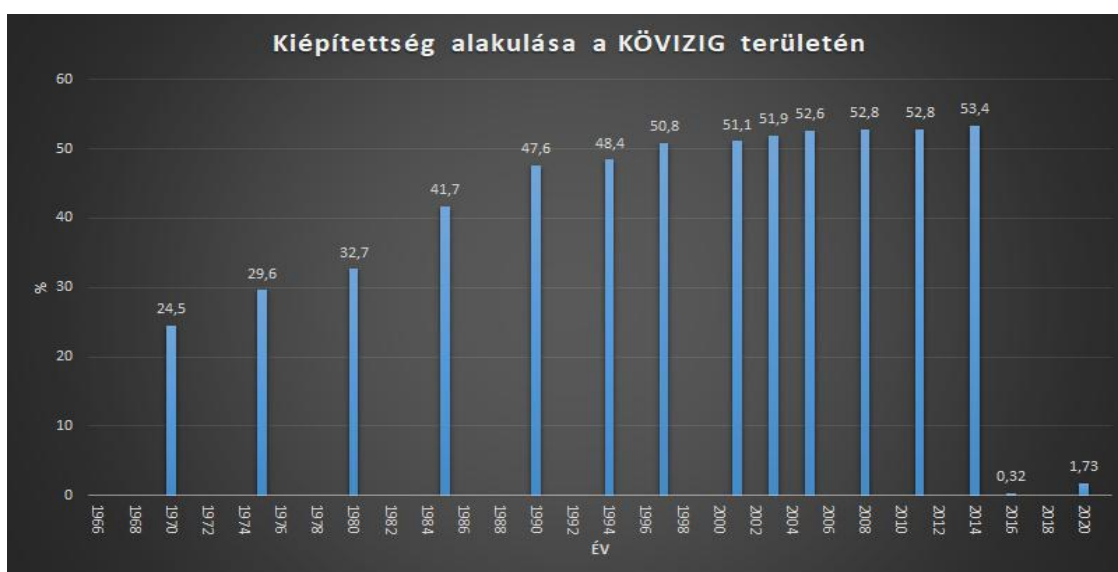
A 74/2014. (XII. 23.) BM rendelet szerinti mértékadó árvízszint alapján a KÖVIZIG védvonalainak kiépítettsége az alábbiak szerint (8. táblázat) alakul:

Védelmi szakasz	Összes hossz (km)	Előírásnak megfelelő (km)	Magassági hiányos (km)	Átlagos magassági hiány (m)	Keresztmetszet hiányos (km)	NKBT (nem bevédett)	Földmű (km)
12.01.	49,117	0	49,117	1,24	49,117	0,875	49,117
12.02.	44,307	0	44,307	1,28	44,307	9,996	44,307
12.03.	28,413	0	22,513	1,11	20,903	8,260	28,413
12.04.	52,022	0	52,022	1,32	52,022	12,444	52,022

12.05.	30,001	0	30,001	1,14	30,001	3,922	30,001
12.06.	43,000	0	43,000	0,71	43,000	1,725	43,000
12.07.	35,326	0	35,326	0,98	35,326	1,696	35,326
12.08.	57,966	0	57,966	1,00	57,966	13,815	57,966
Összesen	340,152	0	334,252	1,10	332,642	52,733	340,152

8. táblázat A KÖVIZIG árvízvédelmi védvonalainak kiépítettsége
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A fővédvonalak – az előírt jogszabályoknak megfelelő – kiépíttségének alakulása a 13. ábra szerint alakult a KÖVIZIG területén:



9. ábra Védvonalak kiépíttségének alakulása a KÖVIZIG területén
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A bemutatott árvízvédelmi rendszer védőképességét összefoglalva a következőképpen alakul:
Az elsőrendű árvízvédelmi fővédvonalak az átlagosan 100 évenként egyszer előforduló árvíz kivédésére 1985. december 31-ig 64,5%-a épült ki az előírt mértékre, a fennmaradó 35,5% (1490 km) az átlagosan 60—80 évenként egyszer előforduló árvizek ellen nyújtott védelmet.
A kiépíttség az évek folyamán fokozatosan nőtt, a 11/2010 (IV.28) KvVM rendelet szerinti mértékadó árvízszint magassági biztonságra 53,4%-os kiépítettséget ért el ami a legmagasabb kiépítettségi szint volt. A 74/2014. (XII. 23.) BM rendelet szerinti új mértékadó árvízszint alapján a védvonalak kiépítettsége 0,32%-ra esett vissza, mely jelenleg 1,73%-os kiépítettségi

állapotban van. A védvonalak kiépítettségét és azokba beépített védművek adatait az alábbi 9. táblázatban kívánom bemutatni:

Védelmi szakasz	Védvonal hossza (m)	Magassági hiány átlag (m)	NKBT szakasz (m)	NKBT szakasz javított (m)	Holtmeder keresztezés (m)	Holtmeder keresztezés (db)	Holtmeder keresztezés bevédett (db)
12.01.	49 117	1,24	8445	8177	6226	54	10
12.02.	44 326	1,28	16 799	4453	4850	59	15
12.03.	28 413	1,11	8955	1665	3522	43	7
12.04.	52 252	1,32	17 820	5106	5320	74	26
12.05.	29 965	1,14	3922	168	3138	43	5
12.06.	43 210	0,71	1935	996	6220	23	3
12.07.	35 326	0,98	2893	1197	3158	44	11
12.08.	57 966	1,00	14 568	730	6438	89	16
Összesen:	340 575	átlag.:1,0	75 337	22 492	38 872	429	93

9. táblázat Védvonalak bemutatása kiépítettség és beépített védművek szerint
forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
(készítette: a szerző)

A nem kellő biztonsági tényezőjű (NKBT) szakaszok a Vízügyi Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) 1980-as altalajokra vonatkozó kutatásai alapján kerültek meghatározásra geoelektromos mérés/szondázás és talajmechanikai fúrások alapján. Ezen szakaszok sajátossága, hogy a töltés altalaja túlzott vízáteresztő képességgel rendelkezik.

2.5. Összegzés és részkövetkeztetés és gondolatjelek

- A fejezet áttekintése alapján megállapítom, hogy Magyarország árvízvédelme történelmileg a társadalmi-gazdasági fejlődéssel szoros összefüggésben alakult ki.
- Rámutatok, hogy már a középkortól kezdve zajlottak ármentesítési munkálatok, azonban a valódi áttörést a 19. századi szabályozási programok hozták, amikor a folyók mederrendezése és töltésezése egységes elvek szerint indult meg. Igazolom, hogy a Vásárhelyi Pál nevéhez kötődő nagy folyamszabályozási koncepció közvetlenül megalapozta a mai árvízvédelmi rendszer térszerkezetét.

- Következtetésem szerint az ármentesítés nem csupán vízügyi, hanem országfejlesztési programként is sikeres volt: a mentesített területeken a mezőgazdaság, a közlekedés, az ipar és a településhálózat fejlődése vált lehetővé. Megállapítom, hogy az egykori ártéri területek társadalmi-gazdasági beépülése máig meghatározza az ország árvízbiztonsági kitétségét, hiszen ma is több százezer ember él olyan térségekben, amelyek biztonsága közvetlenül a védvonalak állapotától függ.
- A Körösök árvízvédelmi rendszerének történeti elemzése alapján megállapítom, hogy a térség szabályozási és töltésépítési munkálatai több szakaszban, jelentős mérnöki teljesítménnyel valósultak meg, és döntő szerepet játszottak a vízjárás szélsőségeinek kezelésében. A 19–20. századi fejlesztések ellenére a Körösök árhullámai továbbra is hevesek és rendkívül gyors lefolyásúak, ami fokozott terhelést jelent a védvonalak számára. A történeti árvízi adatok alapján igazolom, hogy a térségben többször fordultak elő rendkívüli árvízi helyzetek, amelyek a védekezési gyakorlatot és a műszaki beavatkozások szükségességét jelentősen befolyásolták.
- A fejezetben bemutatott statisztikai adatok alapján megállapítom, hogy a KÖVIZIG működési területén 61 év alatt 79 árhullám érte el a készültségi szintet, ami a térség hidrológiai kitétségét egyértelműen igazolja. Külön kiemelem, hogy bizonyos védvonalak – elsősorban a 12.04. és 12.05. szakaszok – különösen nagy terhelésnek vannak kitéve, mind a készültségek gyakorisága, mind a III. fokú védekezési időszakok tartóssága alapján.
- A védvonalak kiépítettségének értékelése során megállapítom, hogy a 74/2014. BM rendeletben rögzített új mértékadó árvízszintek bevezetése jelentősen lecsökkentette a védvonalak jogszabály szerinti megfelelési arányát. A jelenlegi 1,73%-os kiépítettségi szint azt jelzi, hogy a védművek magassági és keresztmetszeti hiányai kritikus fontosságú fejlesztési igényt támasztanak. Rámutatok továbbá, hogy a NKBT-ként nyilvántartott szakaszok általaj-problémái a védvonalak stabilitása szempontjából kiemelt kockázatot jelentenek.

Összességében megállapítom, hogy a Körösök árvízvédelmi rendszere stratégiai jelentőségű, ugyanakkor terheltsége, a vízjárás szélsőségei és a védvonalak részleges kiépítetlensége miatt sérülékeny. A múltbeli fejlesztések ellenére a jelenlegi helyzet indokolja a modern, kockázatalapú megközelítés alkalmazását, a részletes hidrológiai-geotechnikai vizsgálatokat, valamint a kritikus szakaszok mielőbbi megerősítését. E fejezet összegzéseként kijelentem,

hogy a térség átfogó árvízvédelmi értékelése megerősíti a kutatás további fejezeteiben kitűzött vizsgálatok szükségességét.

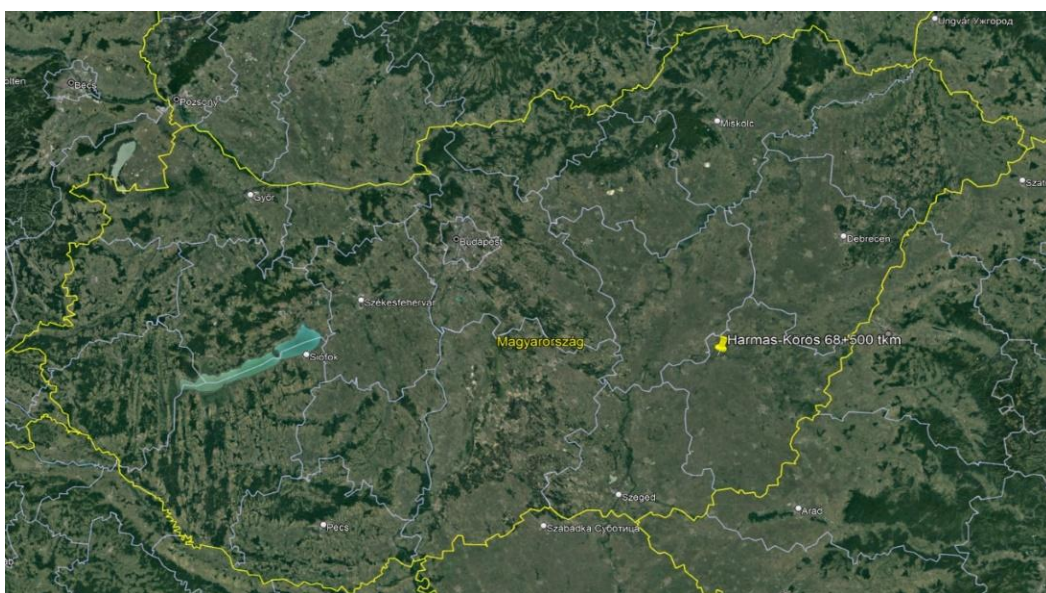
3. ÁRVÍZVÉDELMI TÖLTÉSEK ÁLLÉKONYSÁGVIZSGÁLATA

Vizsgálatom egy a Körösök völgyében lévő, talajmechanikai, geodéziai és geofizikai felmérések adatai alapján paraméterezett árvízvédelmi töltés állékonyságvizsgálatát mutatja be GEO5 geotechnikai szoftver részüállékonysági moduljával.

Számításaim különböző üzemi állapotok (pl.: vízzel telített talaj, tehergépjármű terhelés) figyelembevételével kerültek elvégzésre. Az elvégzett számítások szemléltetik, hogy milyen hatással van a védmű stabilitására maga az árvíz, illetve a védekezési tevékenységgel együtt járó üzemi terhelés.

A vizsgált töltésszakasz

A vizsgált szelvény a Hármas-Körös bal oldali töltésének a 68+500 tkm szelvénye (14. ábra), mely a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság 12.01 Szarvasi árvízvédelmi szakasz fővédvonalán található és a 2.95. számú Körös-Tisza-Maros közti ártéri öblözetet védi az árvízi elöntések ellen.



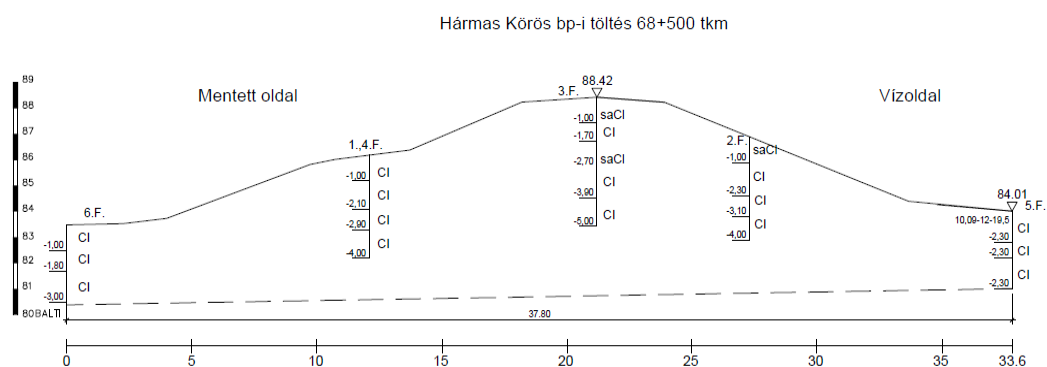
10. ábra A Hármas-Körös vizsgált töltésszakaszának elhelyezkedése

(forrás: Google Earth)
(készítette: a szerző)

3.1. A védmű anyagára vonatkozó adatok

A töltés anyaga különböző konzisztenciájú és plaszticitású agyagokból áll. A védmű keresztmetszete az árvizek után többszöri magasztás és keresztmetszeti erősítés eredményeként ún. „hagyma-szelvényre” alakult, amely – a korabeli kezdetleges építési technológia, a humuszleszedés hiányosságai miatt – kedvez a különböző réteg- és kontúrszivárgásoknak. Erre a jelenségre az árvízi tapasztalatok is utalnak.

Az Árvízi veszély-és kockázati térképezés keretében (ÁKK projekt) olyan töltésszakaszok kerültek kiválasztásra, melyek töltésszakadásra hajlamosak. A kiválasztott szelvényekben geodéziai és geotechnikai feltárás történt. A töltések belső szerkezetének minél részletesebb megismerése okán a töltés egy adott – kritikusnak vélt – keresztmetszetében több talajmechanikai feltárás készült, melyek mintavételét a vizsgált szelvényben végzett feltárások helyeit a 15. ábra, a mintavétel típusait a 10. táblázat mutatja be:



11. ábra A Hármas-Körös bal oldali töltés 68+500 tkm szelvényben végzett feltárások helyei
(készítette: a szerző)

Fúrások száma	Fúrás helye	Mintavétel típusa
1.	mentett oldali részsű	zavart
2.	védett oldali részsű	zavart
3.	töltéskorona	zavartalan
4.	mentett oldali részsű	zavartalan
5.	védett oldali töltésláb	zavart

6.	mentett oldali töltésláb	zavart
----	--------------------------	--------

10. táblázat Feltáró fúrások rendszere
(forrás: Víziterv Environ Kft. 2014) [49]
(készítette: a szerző)

A talajfeltárás Ø75 mm-es spirálfúróval rétegenként került elvégzésre, ahol legalább 1,0 m-enként zavart talajminta vétel történt. A minták helyszíni azonosítás után vizsgálat céljából laboratóriumba kerültek. A magmintavétel Ø40mm-es kiszűrő hengerrel készült, a feltáró fúrás által kimutatott talajrétegződés figyelembevételével. A feltárás a töltéslábnál 3,0 a töltéstartományban pedig 4,0–5,0 méter mély volt.

A laboratóriumi vizsgálatok során meghatározták az egyes minták víztartalmát, a durvaszemcsés rétegek szemeloszlási görbéit és a finomszemcsés rétegek konzisztenciahatárait. A zavartalan mintákból ezen túl megállapították a nedves és száraz térfogatsúlyokat, valamint a hézagtenyezőket. [50]

A vizsgált szelvényben végzett feltárások eredményeit a 11. táblázat mutatja be:

Vízfolyás neve		Hármas-Körös	
Partoldal		bal part	
Gátórjárás		12.01.05.	
Szelvéyszám		68+500	
Fúrás helye		Békés Megye, Gyomaendrőd 02319 hrsz.	
1.;4. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
Réteg		Mintavétel mélysége	Talaj megnevezése
határ	vastagság		
1,00	1,00	0,6	Szürkésbarna közepes agyag (Cl)
2,10	1,10	1,5	Barnásszürke közepes agyag (Cl)
2,90	0,80	2,5	Szürke kövér agyag (Cl)
4,00	1,10	3,5	Barnásszürke kövér agyag (Cl)
2. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,00	1,00	0,6	Barna homokos sovány agyag (saCl)
2,30	1,30	1,5	Barna közepes agyag (Cl)
3,10	0,80	2,6	Sötétszürke kövér agyag (Cl)
4,00	0,90	3,6	Barnásszürke kövér agyag (Cl)
3. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,00	1,00	0,5	Szürkésbarna homokos sovány agyag (saCl)
1,70	0,70	1,4	Barnásszürke közepes agyag (Cl)
2,70	1,00	2,4	Szürkésbarna homokos sovány agyag (saCl)

3,90	1,20	3,5	Barnásszürke közepes agyag (Cl)
5,00	1,10	4,5	Barnásszürke kövér agyag (Cl)
5. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,20	1,20	0,6	Szürkésbarna közepes agyag (Cl)
1,80	0,60	1,5	Barnásszürke kövér agyag (Cl)
3,00	1,20	2,5	Szürke közepes agyag (Cl)
6. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,00	1,00	0,6	Barnásszürke közepes agyag (Cl)
2,00	0,80	1,5	Szürkésbarna közepes agyag (Cl)
3,00	1,20	2,5	Barnásszürke közepes agyag (Cl)

11. táblázat A Hármás-Körös bal oldali töltés 68+500 tkm szelvényben végzett talajmechanikai feltárások eredményei
(forrás: Víziterv Environ Kft. 2014) [51]
(készítette: a szerző)

3.2. Talajfizikai adatok előállítása

A vizet tartó, kötött talajokból épült földművek ellenállása, állékonysága nagyban függ víztartalmuktól. Egy földmű maximális víztartalmát az őt alkotó talajok adott tömörsége és anyagi jellemzői által együttesen meghatározott telített víztartalom jelenti. Az állékonyságot befolyásoló talajfizikai jellemzők közül a kohézió rendkívül nagymértékben függ a nedvességtartalomtól. Tömör talajok telített állapotukban akár rendkívüli kohézióval is bírhatnak, míg extrém laza állapotban akár zérussá is válhat a telített állapothoz társuló kohézió. A talajok telítődése időfüggő folyamat, melyet a szivárgási tényező határoz meg.

A telített állapothoz tartozó talajmechanikai jellemzők (kohézió, belső súrlódási szög, térfogatsűrűség) meghatározására karakterisztikus értékeket kell képezni (csak a kohézióra és a belső súrlódási szögre). Mivel a kötött talajok esetében a kötöttség növekedésével nő a kohézió és a belső súrlódás meghatározásának bizonytalansága, ezért a variációs tényezőt az alábbi módon (12. táblázat) határoztam meg: [52]

Talajfizikai jellemző	Variációs tényező	
kohézió	$C_v=0,26+(I_p-10)/50*0,42$ $C_v=0,0084I_p+0,176$	Lumb (1970) $C_v= 0,26-0,68 I_p=10-60$
belső súrlódási szög	$C_v=0,06+(I_p-10)/50*0,05$ $C_v=0,001I_p+0,05$	Harr (1977) $C_v=0,06-0,11; I_p=10-60$

12. táblázat Talajfizikai jellemzők variációs tényezőinek meghatározása
(forrás: Kisházi Péter Konrád)

ahol I_p = a kötött talaj plasztikus indexe.

Mivel a variációs tényező nem más, mint a valószínűségi változó relatív szórása, azaz

$C_v = \frac{s_w}{w}$, vagyis a tapasztalati szórás és a várható érték hányadosa, valamint a karakterisztikus érték MSZ 15292 szerinti értéke:

$w_k = w \pm \frac{s_w}{2}$, ahol w_k = az adott paraméter karakterisztikus értéke, a w ugyanezen paraméter várható (átlag) értéke, az s_w pedig a tapasztalati szórása, ezért a karakterisztikus érték kifejezhető így is:

$$w_k = w \pm \frac{C_v \cdot w}{2} = w \left(1 \pm \frac{C_v}{2} \right) = w \mu$$

(forrás: Kisházi Péter Konrád)

A telített víztartalom meghatározása

A szükséges adatok:

- talaj ásványi szemcséjének fajsúlya (s)
 - laboratóriumi vizsgálatból,
 - laboratóriumi vizsgálat hiányában:

iszap	sovány agyag	közepes agyag kővér agyag
s [gr/cm ³]		
2,7	2,75	2,8

- talaj száraz térfogatsúlya (r_d)

A telített víztartalom számítása

$$w_t = \frac{s - \rho_d}{s \rho_d} 100 \text{ [%]}, \text{ ahol } r_d = \text{ a száraz térfogatsúly}$$

A telített víztartalom ismeretében

- a telített térfogatsúly: $\rho_t = \rho_d \left(1 + \frac{w_t}{100} \right)$ [gr/cm³, t/m³]

- a telített konzisztencia index: $I_{ct} = \frac{w_L - w_t}{I_p}$, ahol w_L = a folyási határ, I_p = a plasztikus index

A kötött talajok belső súrlódási szögének az osztályozó jellemzőkből becsülhető várható értéke Kopácsy szerint:

$$\varphi = 30 - 0,46I_p \text{ [}^\circ\text{]}$$

A fentiek ismeretében az osztályozó jellemzőkből telített állapotra vonatkozóan becsülhető kohézió várható értéke Jáky szerint:

$$c = \frac{10^{I_{ct}(1+0,03I_p)-0,7}}{2} \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ [t/m}^2\text{]}$$

ahol I_{ct} = a kötött talaj relatív konzisztencia indexe

(forrás: Kisházi Péter Konrád) [53]

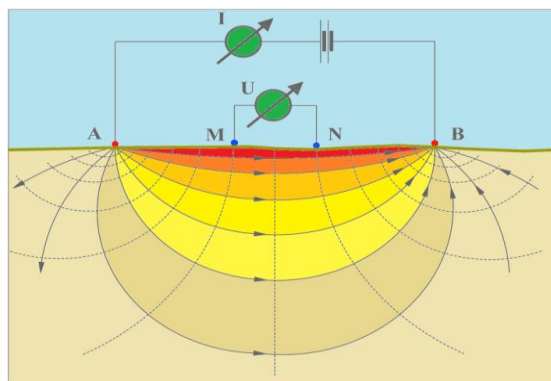
3.3. Mérésem célja

A mérés célja az volt, hogy a Hármas-Körös 68+500 tkm szelvényében a töltés belső szerkezetét minél részletesebben megismerhessük az állékonyságvizsgált érdekében.

A korábban elvégzett talajmechanikai fúrások, mint roncsolásos vizsgálatok által pontszerűen feltárt szelvények közötti területek talajviszonyai ismeretlenek voltak, ezért annak érdekében, hogy az állékonyságvizsgálathoz a töltés szerkezetét minél részletesebben megismerjem és pontosabban tudjam előállítani a szelvény rétegtrendjét, szükségesnek ítéltém az adott töltésszakaszt ERT (Electrical Resistivity Tomography, Elektromos Ellenállás Tomográfia) méréssel is megvizsgálni. E vizsgálatok, mint roncsolásmentes vizsgálatok betekintést adhatnak az árvízvédelmi töltés belső szerkezetébe és további értékelést adhat a biztonságos védekezés érdekében.

3.3.1.A mérés elve

A geofizikai műszerrel áramelektrodákon (jelölésük: A, B) át áramot bocsátunk a földbe, s így a kialakuló elektromos térben két potenciálelektroda segítségével (M, N) feszültségkülönbséget mérünk. A mérés során kiadott áram, valamint a mért feszültségkülönbség ismeretében számítható a látszólagos fajlagos ellenállás.

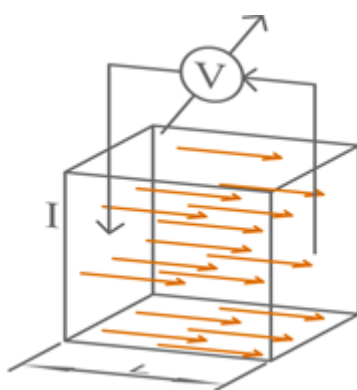


12. ábra Az egyenáramú geoelektromos ellenállásmérések elvi vázlata az áramvonalak (folytonos) és az ekvipotenciális (szaggatott) vonalak feltüntetésével
(forrás: Klembala Zsombor-Lukács Tamás-Virok András)

Egyenáramú fajlagos elektromos ellenállás szelvényezés

Az egyenáramú geoelektromos mérések (16. ábra) során a felszín alatti térrész elektromos ellenállását mérjük, és a kapott adatokból következtetünk a talajok és kőzetek anyagi minőségére és eloszlására.

Ha egy homogén test két egymással szemben lévő pontjára áramot vezetünk, akkor a testen átfolyó áram által létrehozott feszültségkülönbséget mérve kiszámíthatjuk a test elektromos ellenállását, amivel jól jellemezhetjük az adott tárgy anyagát. Legyen egy $L = 1$ m élhosszúságú kőzetkocka (17. ábra), ennek két ellentétes oldalán áthaladó $I = 1$ A áramerősség hatására $U = 1$ V feszültség lép fel, ekkor a kőzet ellenállása 1Ω , illetve a fajlagos elektromos ellenállása $1 \Omega\text{m}$. Ahol R a kőzet ellenállása, illetve ρ a kőzet fajlagos elektromos ellenállása.



13. ábra 1m élhosszúságú homogén testen átfolyó áram
(forrás: Klembala Zsombor-Lukács Tamás-Virok András)

A kőzetek/talajok döntő többsége az elektromos áramot elektrolitikusan (ionosan) vezeti. Ércceknél a fémes (elektronos) vezetés is jelentős. A kőzetek fajlagos ellenállása többek között

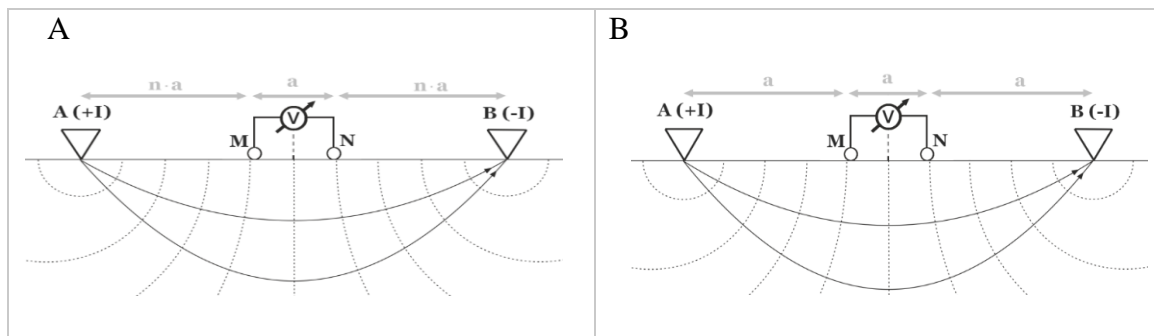
a következő tényezőktől függ: a nedvességtartalomtól, a pórusok vízzel való telítettségétől, az oldott sók minőségétől, az oldott sók koncentrációjától, közetszemcsék/talajszemcsék alak tulajdonságaitól, a kőzet/talaj szerkezeti tulajdonságaitól, a hőmérséklettől, a kőzetalkotó/talajalkotó ásványok fajlagos elektromos ellenállásától. A fentebb felsoroltak közül a legnagyobb súlya a kőzet fajlagos ellenállásának kialakítása során a kőzet/talaj víztelítettségének van.

Vertikális Elektromos Szondázás – VESZ

A módszer elve, hogy elektromos áramot bocsátunk a talajba az előzetesen elhelyezett elektródákon keresztül. Az itt kialakuló potenciáltér a közeg fajlagos elektromos ellenállásának függvénye lesz. Ezt potenciálektródák segítségével mérjük. A kibocsátott áram, a mérési elrendezésre jellemző együttható, valamint a mért potenciálkülönbség ismeretében kiszámolható az adott kőzetrészre jellemző látszólagos elektromos ellenállás. [54]

Elektróda elrendezések

A, B, M, N elektródák elrendezése többféle lehet, az egyes elrendezéseknek érzékenysége pedig irányfüggő lesz.

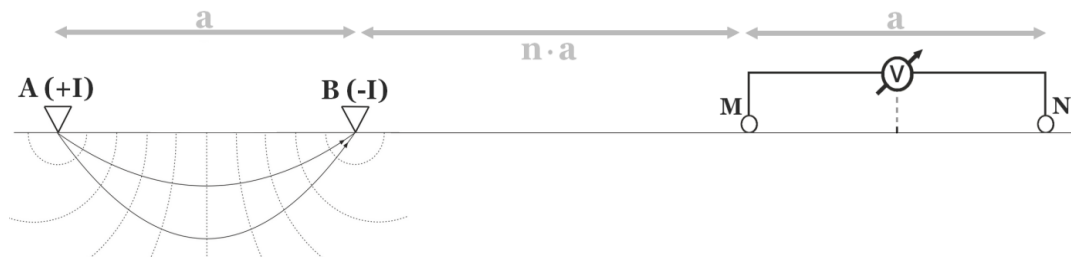


14. ábra A, Schlumberger-féle elektróda elrendezés, B, Wenner-féle elektróda elrendezés (forrás: Renner János et alii (1970) i.m.)

A Schlumberger elrendezésben (18./A ábra) az A és B közti távolság mindenképpen nagyobb, mint az M és N közti a távolság. $r_{AM} = r_{NB} = n r_{MN}$

A Wenner-elrendezésnél (18./B ábra) csupán annyi a különbség a Schlumberger-féléhez képest, hogy az egyes elektródák közti távolság mindenhol megegyezik: $r_{AM} = r_{NB} = r_{MN} = a$

Dipole-Dipole elrendezés



19. ábra Dipole-Dipole elektróda elrendezés

A Dipole-Dipole (19. ábra) elrendezésnél szintén négy elektródát használunk, csak a két mérőelektróda nem az áramelektrodák közt helyezkedik el. $r_{AB} = r_{MN} = a$, $r_{BM} = n \cdot a$

Multielektrodás mérési módszer

Ahogy a VESZ- méréseknél, a multielektrodás geoelektromos módszerek segítségével is a vizsgálni kívánt felszín alatti tartomány fajlagos ellenállásának nagyságáról és eloszlásáról kapunk képet. Ezen adatok birtokában próbálunk következtetni a felszín alatt elhelyezkedő struktúrákra. A multielektrodás mérések során, hasonlóan a VESZ- méréshez az elektródákat egy vonal mentén terítjük ki, azonban a VESZ- mérésekkel ellentétben, egyszerre négynél jóval több elektródát használunk, ugyanakkor egy adott pontra vonatkozó fajlagos ellenállásmérésnél itt is négy elektródát használunk. A műszerekben egy program futtatja végig a mérési sorozatot, hogy mikor mely elektródákkal történjen a mérés. Multielektrodás méréssel nem csak egy felszíni pont alatti tartományról, hanem egy felszíni vonal alatti síkról lesznek információink. Ha az elektródákat nem lineárisan, hanem a felszínen egy rácsháló mentén helyezzük el, akkor 3 dimenziós adatokat fogunk kapni a mért területről.

3.3.2. Mérés menete

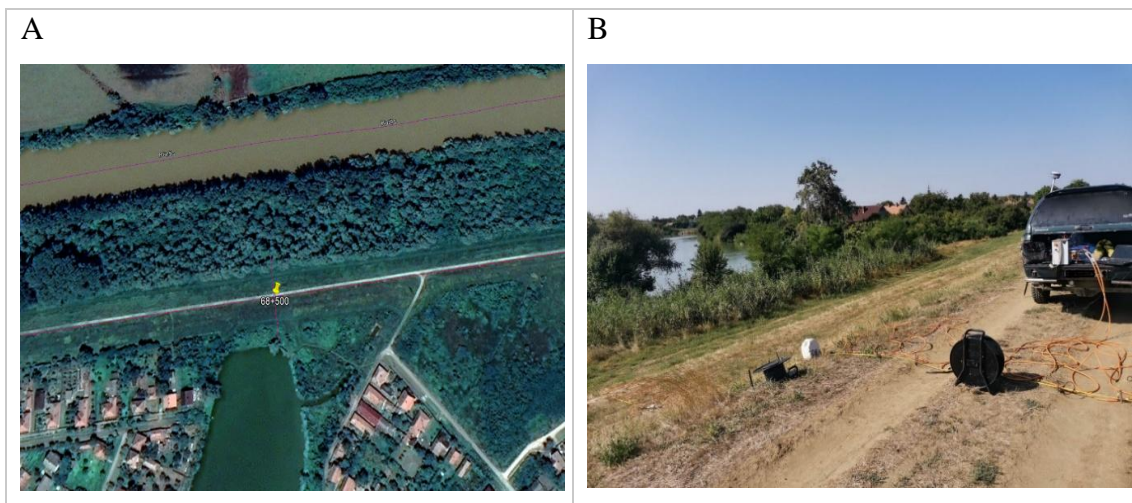
A terepi felvonulás és a vizsgálni kívánt terület kijelölését követően geodéziai felmérést történt. Az adatok feldolgozásához és értelmezéséhez elengedhetetlen, hogy a mérendő terület jellemző domborzati viszonyait pontosan ismerjük. Egy árvízvédelmi töltésen történő mérés esetében különösen fontos, hogy ismerjük a topográfiát, mert viszonylag hirtelen magassági változást tapasztalhatunk, amely bizonyos mértékben befolyásolja a mért értékeket és az értelmezést, főként rövid elektródatávolság választása esetén. Ezért geodéziai felmérés történt a kijelölt szelvényben egy Leica GNSS Smartworx GS14 vevővel és egy CS15 terepi controllerrel EOV koordinátarendszerben.

A multielektrodás mérés során elhelyezett elektrodák felmérésre kerültek annak érdekében, hogy azokhoz is külön-külön meglegyenek a koordináták.

A mérési terület

A mérési terület a Hármas-Körös bal oldali töltésének 68+500 tkm keresztmetszévényé (20./A ábra). A geometriát tekintve a töltés vertikális értelemben véve magasságiányos, horizontálisan megfelelő keresztmetszettel rendelkezik a hatályos jogszabályoknak megfelelően. Az árvízvédelmi töltés egy inhomogén „hagymaszelvényű” töltésszerkezettel rendelkezik, ami annak köszönhető, hogy a védművet folyamatosan fejlesztették és jelenlegi formáját egymásra halmozással érte el.

2021. augusztus 18.-ai mérést megelőző 2 napban csapadék nem hullott, a töltés koronája és rézsúje is kaszált állapotú, rövid fű borítottságú volt, ami közepesen ideális állapot a geofizikai mérés elvégzésére. A vizsgált időszakban a helyszíni szemle alapján megállapítottuk, hogy állatok sem bontották meg a területet.



20. ábra A; A vizsgált szelvény helye, B; A fajlagos ellenállásmérő mérés közben (készítette: a szerző)

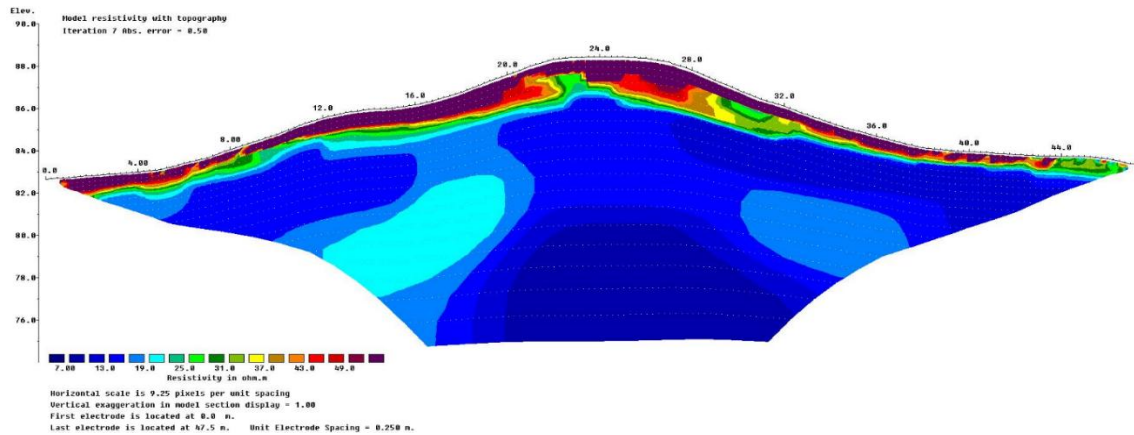
A geodéziai felmérést követően a geofizikai mérés következett (20./B ábra), ahol az volt a cél, hogy minél strukturáltabban tudjuk értelmezni a kapott adatokat. A munka során egy Iris Instruments gyártmányú Syscal Switch Pro 96 ERT műszer került alkalmazásra, 96 elektrodával, 0,5 méteres elektrodátávolsággal.

A vizsgálat Wenner-Schlumberger szekvenciával került elvégzésre, mely horizontálisan rétegzett közeg feltérképezésére használható.

Tevékenységünk során a töltéstestben nem találtunk olyan tárgyakat és eszközöket (antropogén eredetű objektumok), melyek az elektromos vezetőképességben változásokat okoztak volna

(pl.: fém és beton oszlopok, valamint törmelékek). A felmérés alapján megállapítottuk, hogy a töltéstestet különböző ellenállású anyagok alkotják.

A mérési eredmények fajlagos ellenállási képét az alábbi modellkép (21. ábra) szemlélteti:



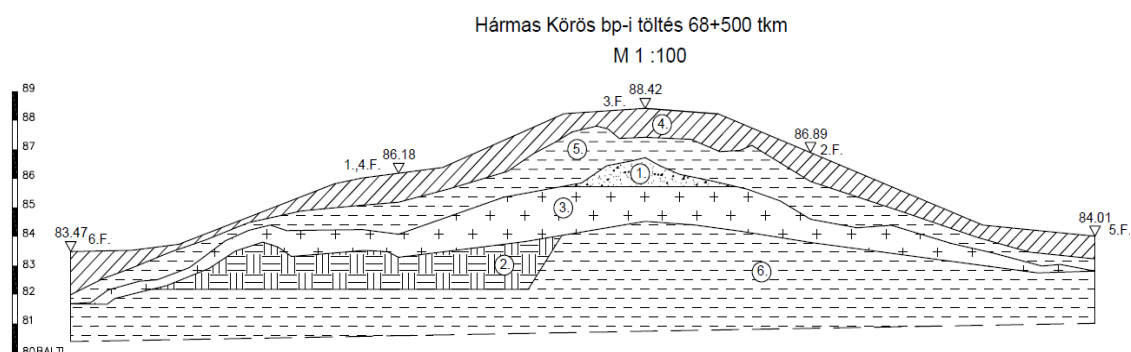
15. ábra Hármas-Körös bal part 68+500 tkm, fajlagos elektromos ellenállásszelvény (készítette: a szerző)

A 2D modellképen jól azonosíthatók a különböző ellenállású rétegek a felszín alatt. A fajlagos ellenállás szelvények kiértékeléséhez fontos tudni, hogy az egyes anyagokhoz rendelhető egy általános karakterisztikus ellenállás tartomány, ám ezt több effektus befolyásolhatja (pl.: víztelítettség, kompaktság, fémtartalom). Ezáltal nincs uniformizálható kiértékelése a szelvényeknek, mindegyik külön-külön megfontolást igényel.

A 2D modellképen jól látható, hogy a töltés felső (0,0–2,7 m között) talajrétegében 31,0–50,0 ohm ellenállású területek a jellemzőek, ami agyagos területre utal, melyet a talajmechanikai fúrásszelvények is igazoltak.

Rétegszelvények létrehozása

A vizsgált szelvényben vett furatminták laboratóriumi vizsgálatát követően meghatároztuk az állékonysági paraméterek (telített kohézió, belső súrlódási szög) karakterisztikus értékeit. A furatok helyeit, a feltárt talajok karakterisztikus értékeit, valamint a geofizikai mérések eredményeit figyelembe véve az alábbi rétegeket (22. ábra) határoztam meg:



*16. ábra A töltés rétegszelvénye
(készítette: a szerző)*

A töltéstartományban a rétegek részletes lehatárolását a talajmechanikai fúrások fúrásszelvényeire alapoztam: egymásra helyeztem a töltés keresztmetszét, a talajmechanikai fúrások függőleges rétegsorait és a geofizikai modell eredményeit.

A fenti információk egymásra vetítésével jól elkülöníthetőkké váltak az adott fúrás szelvény rétegei, melyek alapján a fajlagos ellenállási értékeket valamint a fúrások telített állapotához rendelhető kohézióját, belső súrlódási szögét és térfogatsúlyát figyelembe véve szerkesztettem meg a töltés rétegszelvényét, mely rétegek karakterisztikus értékeit az alábbi 13. táblázatban foglaltam össze:

Réteg	Telített kohézió (kPa)	Súrlódási szög (fok)	Térfogatsúly (telített) (kN/m ³)
Sorszám	c	ϕ	γ_t
1.	3,38	16	19,90
2.	20,73	12	20,50
3.	4,89	9	19,50
4.	6,97	15	20,60
5.	4,79	13	20,60
6.	2,81	10	19,20

*13. táblázat A rétegek karakterisztikus értékei
(készítette: a szerző)*

3.3.3. Állékonyságszámítás GEO5 modellel

A töltés állékonysági vizsgálatát Geo5 rézsúállékonysági modullal, azon belül is a hatályos EN 1997 szabvány szerinti biztonsági tényezővel számítottam.

A vizsgálatot Bishop-féle számítási eljárással végeztem el, amely az egyik legpontosabb vizsgálati módszer. [55]

A rézsúállékonysági számítások során az állékonyságvizsgálatot minden esetben a töltés telített állapotára vonatkozó talajmechanikai paraméterek alkalmazásával végeztem el az alábbiak szerint:

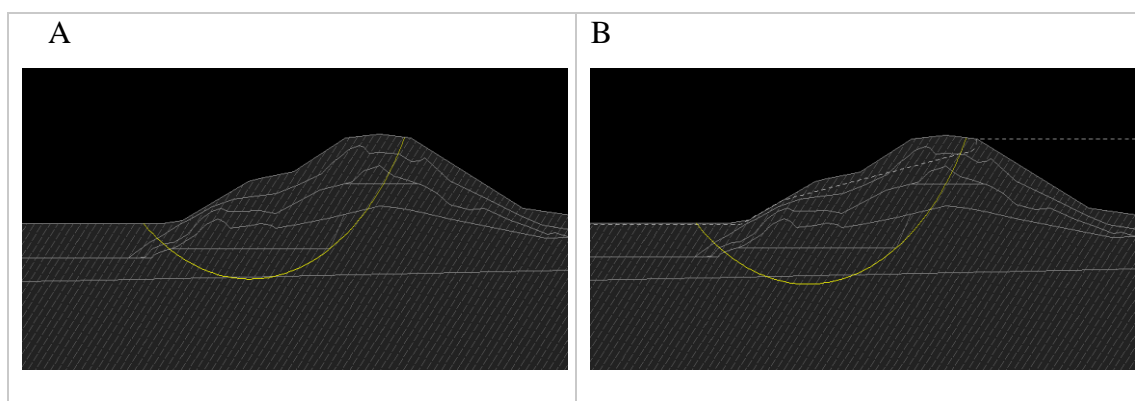
- terheletlen töltésnél;
- vízdali töltés-koronaélt elért vízszint esetén kialakult terhelésnél;
- tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás telített talajállapot esetében;
- tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás (vízterhelés nélkül).

A Hármas-Körös bo. 68+500 tkm szelvényben az eddig valaha mért legnagyobb vízszint (LNV) értéke 87,72 mBf., ami a töltéskorona vízdali éléhez képest (88,23 mBf.) 0,51 cm-rel alacsonyabban helyezkedett el, ami igazolja, hogy a Körösökön jelentős árvízszintek alakulnak ki, melyek következtében a töltések igen terheltekké válhatnak.

A töltéstestben kialakuló szivárgási görbét a Kozeny-Casagrande féle feltételezés szerint, szabályos keresztzivárgásként határoztam meg, melyet a töltésben lévő rétegek hasonlósága indokolt. [56]

Terheletlen töltés és Vízdali töltés-koronaélt elért vízszint esetén kialakult terhelés vizsgálata

A vizsgálat metszetképeit az alábbi 23. ábra és az állékonyságszámítás eredményeit a 14. táblázat mutatja be:



17. ábra A; a terheletlen töltés állékonyságvizsgálata a köríves csúszólap megjelenítésével, B; a vízdali töltés-koronaélt elért vízszint esetén kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap és a szivárgási útvonal megjelenítésével
(készítette: a szerző)

Vizsgált tényezők	Terheletlen töltés vizsgálata	Vízdali töltéskoronaélt elért vízszint esetén kialakult terhelés
-------------------	-------------------------------	--

Aktív erők összessége:	Fa = 347,71 kN/m	Fa = 371,17 kN/m
Passzív erők összessége:	Fp = 430,50 kN/m	Fp = 299,02 kN/m
Elcsúszási nyomaték:	Ma = 5462,56 kNm/m	Ma = 5875,69 kNm/m
Ellennyomaték:	Mp = 6763,12 kNm/m	Mp = 4733,49 kNm/m
Biztonsági tényező:	1,24 < 1,50	0,89 < 1,50
A rézsűállékonyság:	NEM MEGFELELŐ	NEM MEGFELELŐ

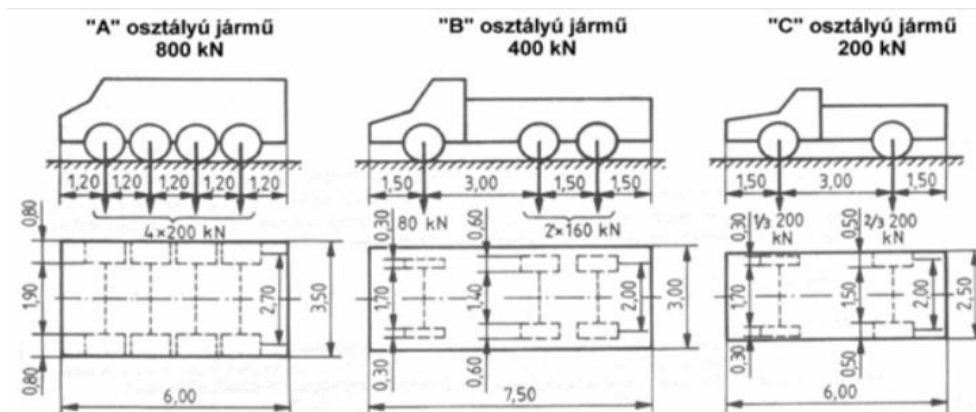
14. táblázat Telítetlen töltés állékonyságvizsgálati eredményei
(készítette: a szerző)

Tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás telített talajállapot esetében

Az árvízvédelmi töltés állékonyságát célszerű megvizsgálni teherforgalmi terhelés esetén is, mivel a töltés rendszeres terhelésnek van kitéve a rajta közlekedő gépjármű forgalomból adódóan. Különös állékonysági kockázatot jelenthet a kritikus védelmi helyzetekhez kötődő védelmi anyag szállítási igénye, mert adott esetben csak töltéskoronán és/vagy vízen végzett szállítással biztosítható hatékony, nagytömegű védelmi anyag szállítás.

A vizsgálatom során a járműterhet, mint esetleges terhet a „MSZ-07-3701/86: Közúti Hidak erőtani számítása” szabvány szerint vettem fel.

A teherosztályok járműsúlyait és méretadatait az alábbi 24. ábra és táblázat mutatja be:



JÁRMŰ		ELSŐ TENGYEL		TÖBBI TENGYEL	
OSZTÁLY	ÖSSZSÚLY [kN]	keréksúly [kN]	kerék felfekvési szélesség [m]	keréksúly [kN]	kerék felfekvési szélesség [m]
"A"	800	100	0,80	100	0,80
"B"	400	40	0,30	80	0,60
"C"	200	100/3	0,30	200/3	0,50

A kerék felfekvése a haladás irányában 0,20 m

18. ábra Az MSZ-07-3701-86 által meghatározott járműterhek és teherosztályok
(forrás: MSZ-07-3701-86 szabvány)

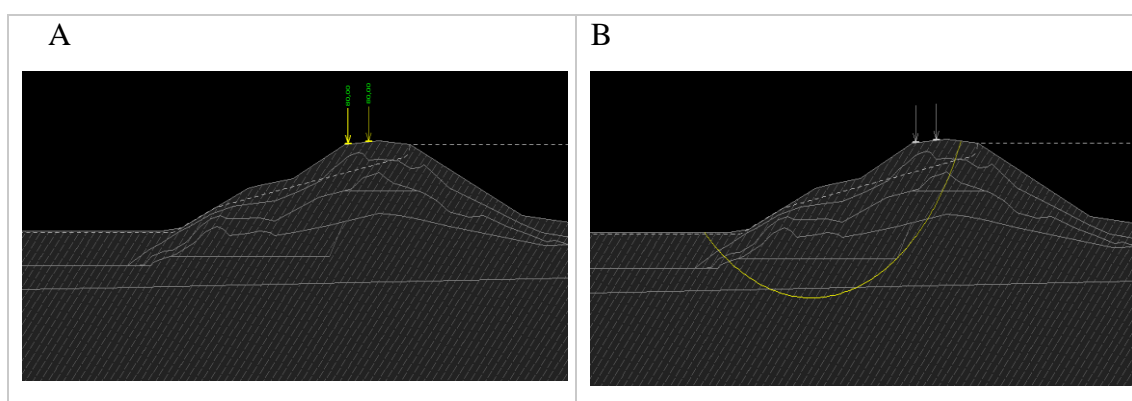
(készítette: a szerző)

A gépjárművek közül a „B” osztályú jármű terhet vettem, mivel e jármű, mint védelmi anyagot szállító tehergépjármű közlekedése valószínűsíthető leginkább a töltésen.

A jármű tengelyei közül a hátsó tengelyek súlyából adódó terhet vettem fel, ami 80 kN/kerék értékkel bírt, ami egy 160kN/tengelyű (80-80 kN/kerék) tehergépjármű terhelésének felelt meg. Nyomtávként 1,80 m-t vettem fel. A terhelést a legszélsőségesebb esetre tételeztem fel, amikor a gépjármű egyik kerékterhelését a mentett oldali rézsűélben vettem fel, mind telített talajállapot, mind vízterhelés nélküli töltés esetében is.

Tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás (vízoldali töltés-koronaélt elért vízszint esetén)

A vizsgálat metszetképeit az alábbi 25. ábra és az állékonyságszámítás eredményeit a 15. táblázat mutatja be:



19. ábra A; a vízoldali töltéskoronaélt elért vízszint és a tehergépjármű terhei megjelenítése a töltésen; B; a vízoldali töltéskoronaélt elért vízszint és a tehergépjármű terhei által kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap és a szivárgási útvonal megjelenítésével (készítette: a szerző)

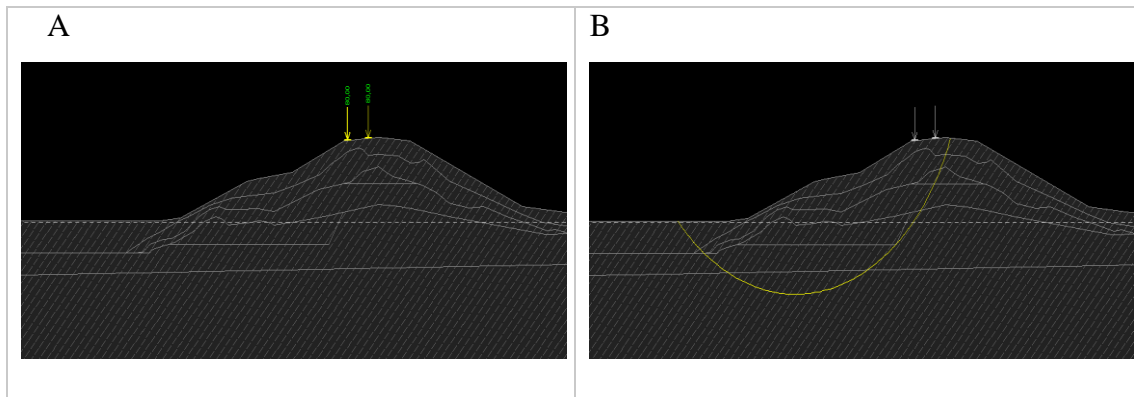
Vizsgált tényezők	vizsgálati eredmények
Aktív erők összessége:	$F_a = 385,47 \text{ kN/m}$
Passzív erők összessége:	$F_p = 297,88 \text{ kN/m}$
Elcsúszási nyomaték:	$M_a = 5562,34 \text{ kNm/m}$
Ellennyomaték:	$M_p = 4298,47 \text{ kNm/m}$
Biztonsági tényező:	$0,77 < 1,50$
A rézsűállékonyság:	NEM MEGFELELŐ

15. táblázat Tehergépjármű terhelés állékonyságvizsgálatai eredményei, vízterheléssel

(készítette: a szerző)

Tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás (vízterhelés nélkül)

A vizsgálat metszetképeit az alábbi 26. ábra és az állékonyságszámítás eredményeit a 16. táblázat mutatja be:



20. ábra A; a tehergépjármű terhei megjelenítése a töltésen; B; a tehergépjármű terhei által kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap megjelenítésével
(készítette: a szerző)

Vizsgált tényezők	vizsgálati eredmények
Aktív erők összessége:	$F_a = 424,53 \text{ kN/m}$
Passzív erők összessége:	$F_p = 394,02 \text{ kN/m}$
Elcsúszási nyomaték:	$M_a = 6159,87 \text{ kNm/m}$
Ellennyomaték:	$M_p = 5717,22 \text{ kNm/m}$
Biztonsági tényező:	$0,93 < 1,50$
A rézsúállékonyság:	NEM MEGFELELŐ

16. táblázat Tehergépjármű terhelés állékonyságvizsgálati eredményei, vízterhelés nélkül
(készítette: a szerző)

3.4. Összegzés és részkövetkeztetés

- A Hármas-Körös bal oldali töltésének 68+500 szelvényén elvégeztem a rézsúállékonysági vizsgálatokat Geo5 programmal, Bishop módszerrel, a geofizikai és geodéziai felmérések, valamint a laboratóriumi talajvizsgálatok eredményeire alapozva.

- A modellt telített állapotra készítettem el, mivel természetes és árvízi hatások mellett a töltés reálisan elérheti ezt az állapotot, és a telítettség eredményezi a legkedvezőtlenebb állékonysági paramétereket.
- Négy terhelési esetet elemeztem (telített önsúly, árvízszinttel kísért keresztzivárgás, járműterhelés, illetve ezek kombinációja), és megállapítottam, hogy a telített, árvízterhelés nélküli töltés biztonsági tényezője ($n=1,24$) nem felel meg az MSZ-15292 szabvány $n=1,5$ előírásának.
- Az árvízszint koronáig történő emelkedése esetén a biztonsági tényező $n=0,89$ -re csökkent, ami a töltés elégtelen állékonyságát jelzi; ilyen helyzetben mentett oldali bordás megtámasztás válhat szükségessé.
- Kiterjedt telítettség esetén a védekezés során azonnali erősítési beavatkozások indokoltak, valamint a korona terhelésének (gépmozgásnak) megtiltása.
- A modellszámítások alapján a töltéstest rézsűcsúszásra hajlamos, árvízvédelmi szempontból labilis, így indokolt a fejlesztés szükségességének vizsgálata.
- A talajfizikai jellemzők empirikus meghatározása miatt további, telített állapotú, zavartalan minták triaxiális vizsgálata ajánlott a fejlesztési döntések megalapozásához.
- A pontosított vizsgálatok hasonló eredménye esetén komplex erősítési beavatkozás (szivárgásgátlás, vízoldali tömörítés vagy őrfal/szádlemez, drénezett hossz-szivárgó, előterek rendezése, esetleg nyomáscsökkentő kútsor) válhat szükségessé.
- Figyelembe kell venni a beavatkozások jelentős költségigényét, valamint azt, hogy a jelen vizsgálatok egyetlen szelvényre terjednek ki; a kapott eredmények térbeli kiterjesztése további geofizikai és talajmechanikai vizsgálatokat igényel.
- A geofizikai adatokkal pontosított Geo5-ös modellalkotás alkalmas az árvízvédelmi töltések állékonysági problémáinak gyors azonosítására és a beavatkozási igényű szakaszok kijelölésére.

4. NAGYMINTA KÍSÉRLET ELVÉGZÉSE

A nagyminta kísérlet célja, hogy egy általam kiválasztott árvízvédelmi töltésszakaszon üzemi körülmények között lévő szimulált árvízi elöntés/terhelés mellett megvizsgálásra kerüljön az adott töltésszakasz mozgása (zsugorodás-duzzadás vizsgálat), szivárgása, a szivárgási folyamatok dinamikája és azok térbeli eloszlása. A vizsgálatok geodéziai mérésekből, geofizikai mérésekből, talajmechanikai feltárásokból és a töltéstartományban elhelyezett észlelő kutak vízszintjeinek méréseiből áll.

A töltések alakváltozásainak vizsgálata viszonylag egyszerűbb feladat, mint a felszín alatt végbemenő változások megismerése, így az utóbbi tevékenység jelentős kihívást jelent. A töltések szivárgásának folyamatát, dinamikáját már több kutatás során tanulmányozták, de azok során jellemzően kisminta kísérletek illetve számítógépes modellezések történtek.

Nagyminta kísérlet célja

Az üzemi körülményeket – mint szimulált árvízi elöntést – egy szádlemezekből kialakított medence biztosítja, melyben az árvízszint szabályozott körülmények között növelhető, ill. csökkenthető.

A kutatás során kapott mérési eredmények a töltések tönkremeneteli folyamatának jobb megértését, a gazdaságos, okos, jó védekezési gyakorlat támogatását szolgálják.

A kísérlet elvégzését a Kulturális és Innovációs Minisztérium; Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal, Kooperatív Doktori Program (2020) támogatta.

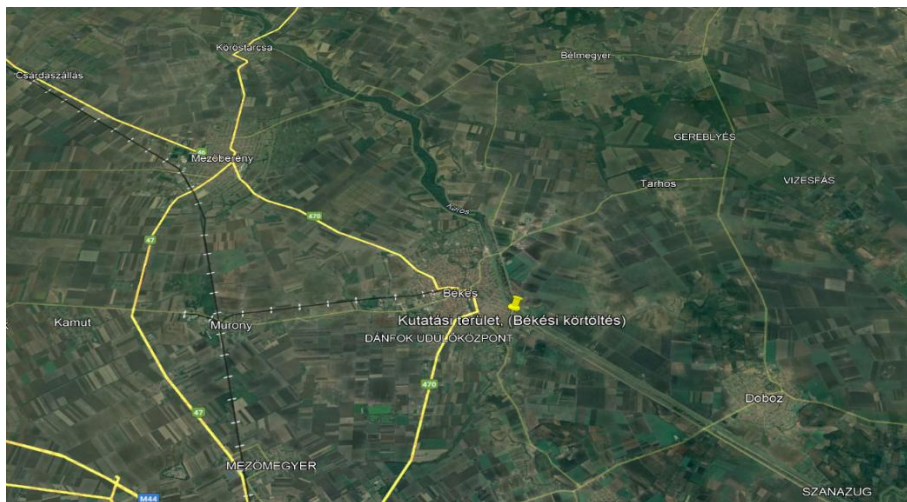
A Kooperatív Doktori Program keretében a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola részéről Padányi József, mint témavezető, a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság részéről Kisházi Péter Konrád Árvízvédelmi Osztály Osztályvezetője, mint vállalati szakértő, segítettek a támogatói, irányítási, ütemezési és a döntéshozói feladatokat.

4.1. Kísérleti helyszín

A kísérleti helyszín kiválasztása

A nagyminta kísérlet elvégzésére során célként került kitűzésre, hogy azt valós körülmények között végezzük. Helyszíne optimális esetben egy I. rendű árvízvédelmi töltés, vagy egy hasonló szerkezetű (keresztmetszetű, anyagszerkezetű) árvízvédelmi töltés.

A fentieket figyelembe véve került kijelölésre (27. ábra) Békés Város települési körtöltésének 10+080-10+120- tkm szakasza (Békés belterület 1877 helyrajzi szám), mely a 2.94 Békési ártéri öblözet I. kazettájában található, és Békés várost védi egy esetlegesen a településen kívül bekövetkező töltésszakadás következtében fenyegető árvízi elöntéstől.



21. ábra Kísérleti helyszín
(készítette: a szerző)

A védtöltés kijelölt szakasza 130-140 méter távolságra található a Kettős-Körös elsőrendű árvízvédelmi töltésétől, így ez a távolság és Békés Város árvízvédelmi terveiben leírt talajmechanikai adatok igazolják, hogy hasonló anyagokból és belső szerkezetből került kiépítésre, egymásra halmozással, mely a töltés többszöri erősítését jelenti. A töltés keresztmetszete is megfelelőnek bizonyult, hogy a kijelölt szakasz a kísérlet helyszíne legyen, mivel vízoldali rézsűje, mentett oldali rézsűje, koronaszélessége, magassága is nagymértékű hasonlóságot mutat egy I. rendű árvízvédelmi töltés ezen említett tulajdonságaihoz.

A kiválasztást követően a terület közmű térképes ellátottságát vizsgáltam meg, hogy van-e olyan létesítmény a terület környezetében, amely befolyásolhatja (korlátozhatja) a tervezett létesítmények kivitelezését és kutatás megvalósítását. Az e-közmű online térképen és a lekért földhivatali adatok alapján megállapításra került, hogy nincs ilyen közmű az ingatlanon, így a

kísérlet elvégzését közművek nem befolyásolják. A földhivatali adatok alapján az érintett terület, illetve a tervezett kísérleti helyszín Békés Város Önkormányzatának tulajdonában és kezelésében van, így egyeztetést kérelmeztem a település Polgármesterénél, mely során tervezett kutatás (kivitelezés, módszerek, célok) került bemutatásra. Az egyeztetés írásos hozzájárulással zárult a munkálatok elkezdéséhez és a kísérlet elvégzéséhez.

A kísérleti helyszín kialakításához szükséges mérési és kivitelezési munkákra a Kooperatív Doktori Program keretében külsős vállalkozók kerültek árajánlatok alapján kiválasztva és megbízva az elvégzendő feladatok ellátására. A munkálatokkal kapcsolatos egyeztetéseket és ellenőrzéseket magam végeztem.

4.2. Helyszíni alapfelmérések

A helyszíni alapfelméréssel kezdődött a kiviteli munka első része, mely tereprendezésből geodéziai felmérésből, talajmechanikai feltárásból és geofizikai felmérésekből állt. Ezen munkák elvégzésével indult meg a kísérleti helyszínre tervezett konkrét tervek elkészítése, ütemezése.

Tereprendezés, geodéziai felmérés

A kísérleti helyszín kijelölését, illetve területi lehatárolását megelőzőleg helyszíni alapfelmérés került elvégzésre. A lehatárolt területen kézi és gépi munkavégzéssel végrehajtott tereprendezés történt, mely a töltéskoronán lévő cserje és gyeptakaró (ez a munkavégzési folyamat időnként több alkalommal is elvégzésre került) gyérítésében öltött testet. A terület megtisztítását követően egy geodéziai GPS-el (Leica GNSS Smartworx GS14 vevővel és egy CS15 terepi controllerrel) kivitelezett geodéziai felmérés valósult meg.

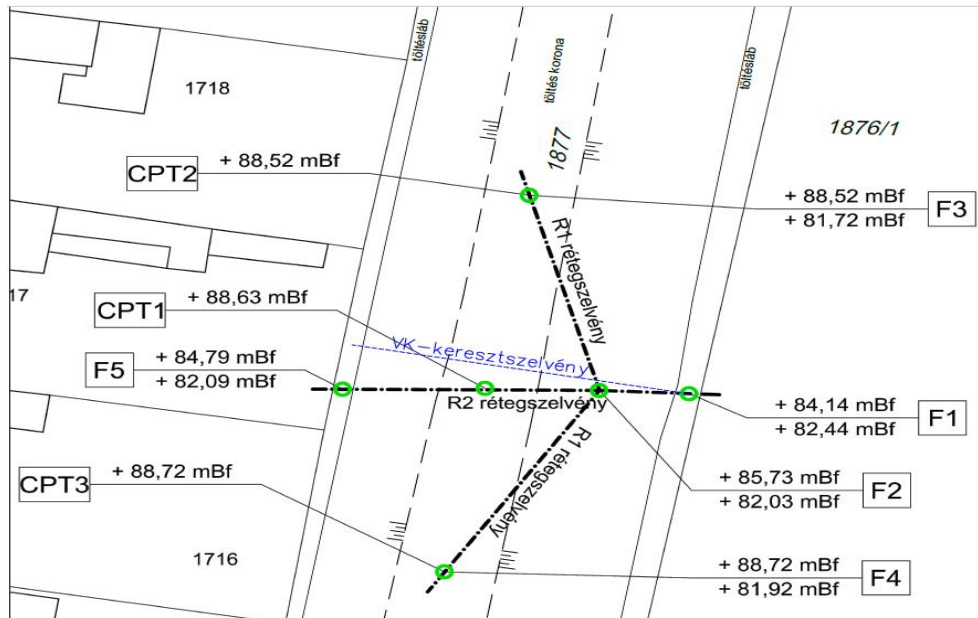
A felmérés során 3 kereszt-szelvényt 20-20 méteres távolsággal, 4 hossz-szelvényt 50 méteres hosszal lett felvéve, melyek során a hossz-szelvények közül 2 szelvény a töltéskoronán (1 szelvény a töltéskorona vízoldali koronaélben és 1 szelvény a töltéskorona mentett oldali koronaélben), 2 szelvény pedig a töltéslábak élében (1 szelvény a mentett oldali töltéslábnál, valamint 1 szelvény a töltés vízoldali töltéslábnál) került felvételre.

A mérési adatok feldolgozása EOV koordinátahelyesen AutoCAD szoftverrel történt, mely során helyszínrajz, kereszt- és hossz-szelvénye ke kerültek előállításra.

A geodéziai méréseket szerződés alapján Kocsor István okl. földmérő és térinformatikai mérnök végezte (földmérő ig. szám: 6297, GD-T/-04-00677), a kitűzési munkákat és az adatok feldolgozását közösen végeztük.

Talajmechanikai feltárás

Talajmechanikai feltárás során (28. ábra) 60 mm átmérőjű, 3 db 4,50 m és 2 db 8,00 m mélyfúrást készítettünk. A fúráshoz alkalmazott fúrastechnológia, folyadék öblítés nélküli, úgynevezett száraz geotechnikai fúrás volt. A 8,00 m mély fúrásokat gépi fúróval végeztük.



22. ábra Kísérleti helyszínen végzett talajmechanikai fúrások
(készítette: a szerző)

A gépi fúrásoknál fúróspirálról történt a mintavétel (29. ábra) ahol a spirálon való szétosztályozódás miatt a rétegváltások meghatározásánál elválasztható pontosság 2 dm (amely alapvetően talajtípus függő) volt. A 4,50 m mély fúrásokat kézi fúróval végeztük. A kézi fúrásnál 20 cm-enként került sor mintavételre így a talajréteg-váltások elválasztható pontossága dm-es. A fúrásokból talajrétegződésenként későbbi laborvizsgálat céljából zavart, és zavartalan talajmintákat vettünk. A helyszíni mintavételezés után a talajmintákat az MSZ EN ISO 22475-1 szerint kezelve, megjelölve és hermetikusan lezárva kerültek elszállításra, laboratóriumi vizsgálatra.



23. ábra Talajmechanikai fúrások mintavétele
(készítette: a szerző)

Az **F1 és F5 fúrási pontok** a töltés két oldalán a töltéslábnál lettek kijelölve. A terepszinttől számított 0,90 m-ig sötétbarna rozsdafoltos közepesen szerves enyhén meszes (2-5%) kövér agyag réteg került feltárássra, mely részben tömör részben morzsalékos állapotú. Alatta 2,00 m-ig tömör állapotú barna színű rozsdafoltos, közepesen szerves, közepesen meszes (5% feletti mésztartalom) kövér agyag réteg található. 2,00 m-től 2,60 m-ig szürke rozsdafoltos közepesen meszes (5% feletti mésztartalom) iszapos finom homok réteg található. A réteg merev állapotú. 2,60 m-től 4,50 m-ig szürke rozsdafoltos közepesen meszes (5% feletti mésztartalom) kövér agyag réteget tárt fel a fúrómester, mely tömör állapotú.

Az **F2 fúrás** a töltés „vízoldali” rézsújében létesült. Legfelső rétege 3,20 m-ig tart. A sötétbarna rozsdafoltos közepesen szerves enyhén meszes (2-5%) kövér agyag réteg morzsalékos állapotú. 3,20 m-től 4,50 m-ig tart a barna rozsdafoltos, közepesen szerves, közepesen meszes (5% feletti mésztartalom) kövér agyag, mely tömör állapotú.

Az **F3 és F4 fúrási pont** a töltéskoronán lett kijelölve. 6,00 m-ig tart a sötétbarna rozsdafoltos, közepesen szerves, enyhén meszes (2-5%) kövér agyag réteg. A rétegben kb. 3,00 m-ig morzsalékos állapotú a talaj, majd tömörre vált. 6,00 m-től 7,10 m-ig tártuk fel a barna színű rozsdafoltos, közepesen szerves, közepesen meszes (5% feletti mésztartalom) kövér agyag réteget, mely tömör állapotú. Alatta szintén tömör állapotú szürke színű rozsdafoltos, közepesen meszes (5% feletti mésztartalom) homoklisztes sovány agyag található 8,00 m-ig.

CPT szondázás

A CPT szondázás (cone penetration testing) azaz nyomószondázás során a talajszelvény és geotechnikai paraméterek kerültek meghatározására.

A CPT szondázás (30. ábra) szabványos vizsgálata során egy 10 cm² keresztmetszeti felületű, 60 °-os kúpszögű szondafejet sajtolunk le a talajba, állandó sebességgel, miközben mérjük a fajlagos csúcscellenállást (qc), a fajlagos palástsúrlódást (fs) és a pórusvíznyomás (u) értékét, melyet digitálisan rögzítettünk. A vizsgálatok megfeleltek az MSZ EN ISO 22476-1:2012 követelményeinek. A helyszínen 3 db CPT szondázás készült, melyek közül a CPT1 szelvény 4.7 méterig, a CPT2 szelvény 8.1 m, a CPT3 szelvény pedig 8.2 méterig terjedt.



30. ábra CPT szondázások mintavétele
(készítette: a szerző)

A talajmechanikai feltárásokat és a laborvizsgálatokat szerződés alapján a Konstrukt-Plan Kft. végezte.

A talajmechanikai fúrások és a CPT szondázások eredmények, valamint a laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy az árvízvédelmi töltés szerkezete igen vegyes, agyagos iszaptól az iszapos agyagig, sötét rozsdafoltos, közepesen szerves, enyhén meszes kövér agyag, barna rozsdafoltos, közepesen szerves, közepesen meszes kövér agyag,

szürke rozsdafoltos, közepesen meszes iszapos finom homok, szürke rozsdafoltos közepesen meszes kövér agyag váltakozása alkotja a töltés belső szerkezetét. E belső inhomogén szerkezet a Körösök vidékén lévő I. rendű árvízvédelmi töltésekre jellemző hasonlóságot mutat, ami alátámasztja, hogy a helyszín kiválasztása a kísérlet elvégzésére megfelelő.

4.3. Kísérleti helyszín kialakítása

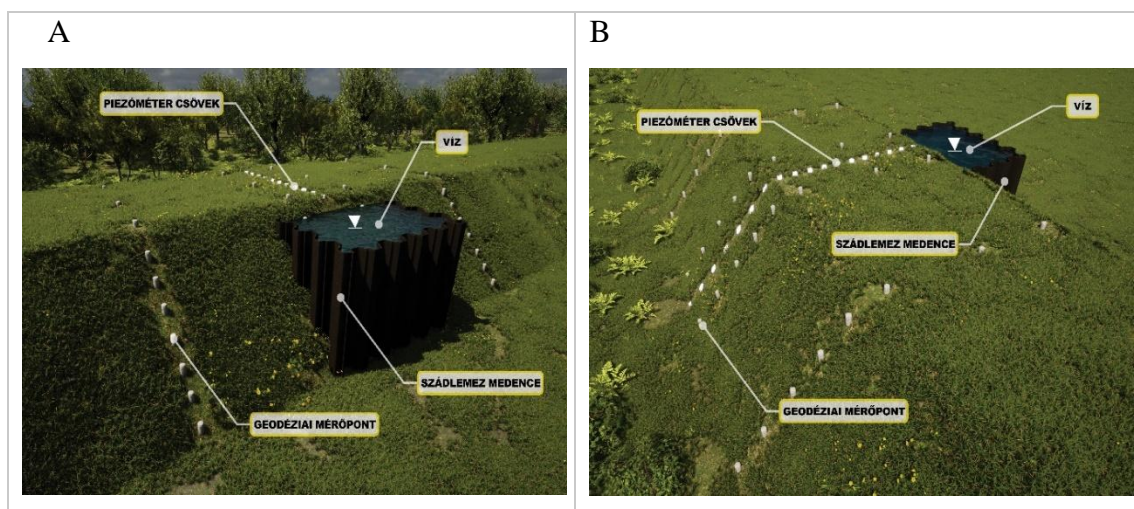
Az alapfelmérést követően meghatározásra kerültek azon konkrét munkafázisok, és azok ütemezése melyek szükségesek a kísérlet sikeres elvégzéséhez.

A tervezett kísérleti helyszín létrehozásához alábbi munkákat kellett elvégezni:

- Alappontokat, őrpontokat, mozgásvizsgálati pontokat kellett elkészíteni, kihelyezni.
- Piezométercsöveket kellett legyártani, elhelyezni a töltésbe.
- Szádlemezzel közrezárt medencét kellett kialakítani.
- Geofizika mérésekhez tereprendezeit, terület fenntartást kellett végezni.

A tervezett helyszínen geodéziai mérésekkel mozgásvizsgálatot, piezométer csövekkel és geofizikai mérésekkel szivárgásvizsgálatot kívántunk végrehajtani.

A tervezett kísérleti helyszínről terveket (32./A ábra, 34./A ábra, 35./A ábra), látványterveket (31. ábra) készítettem, melyek közül az utóbbiról pár kép az alábbiak szemléltetnek:

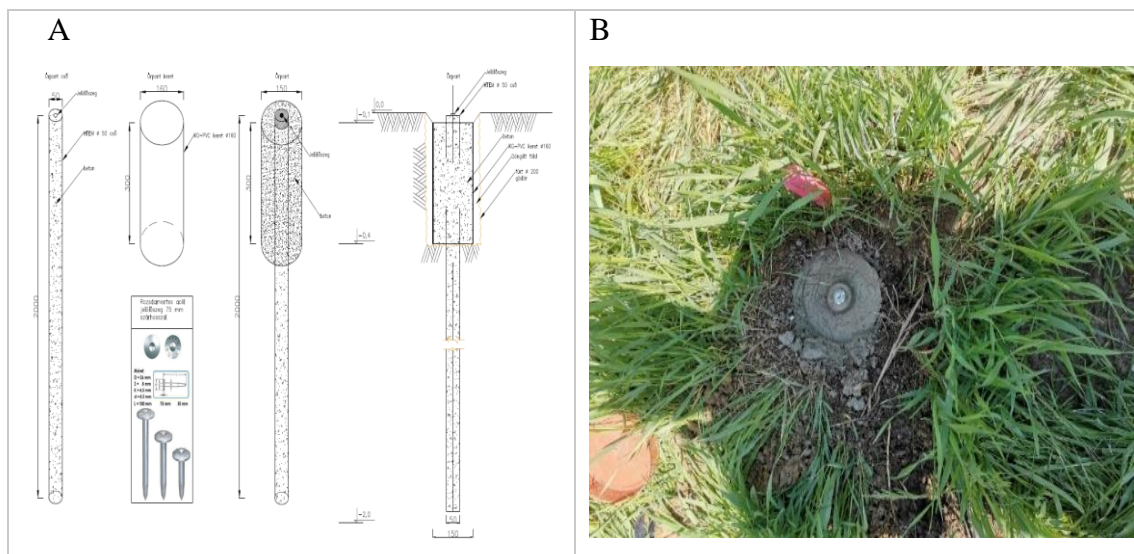


24. ábra Nagyminta kísérleti helyszín látványterve
(készítette: a szerző)

4.3.1. Alappont/őrpont kialakítása

A mozgásvizsgálati mérések elvégzéséhez, várható elmozdulási irányok és nagyságok figyelembe vételével együttes vízszintes és magassági alappont hálózat kerület kialakításra.

A mintaterülettől távolabb előre meghatározott helyszínen geodéziai kitűzéssel 4 db mélyalapozású, helyi betonozással készült alappont/örpönt (32. ábra) került kialakításra töltésen és a töltés előterén „vízoldalon”, továbbá egy örpönt a Békés III. szivattyútelepen került kijelölésre egy meglévő betonfelületen.

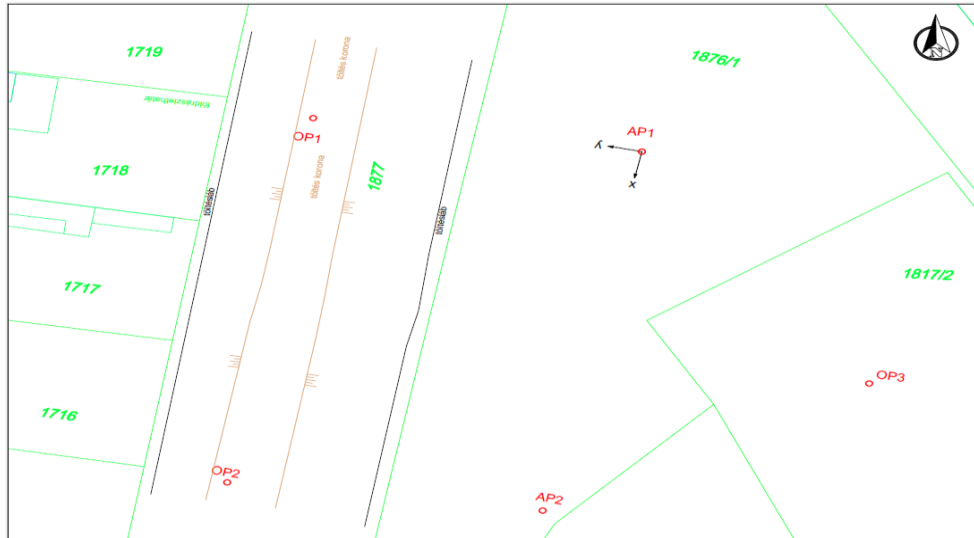


25. ábra Alappont/örpönt kialakításának terve és állandósítása
(forrás: Tímár Attila - Geodéziai örpönt terve 6/2022)
(készítette: a szerző)

Az alappont/örpönt állandósításának módja helyi talajviszonyokat figyelembe véve történt, 50 mm átmérőjű, 2 méter hosszú HTEM kibetonozott csőbe került rozsdamentes acél jelölő szeg, mely 160 mm KG-PVC keretbe öntött betongallért kapott. Az állandósítás során helyi kitermelt földanyag döngölésre, ún. beiszapolással visszakerült a pontmű mellé.

Az alappontok/örpöntök a mintaterületet körül ölelő hálózatot alkotnak. Helyi koordinátarendszert alkalmazva, a várható vízszintes elmozdulási irányokat figyelembe véve helyi (y) tengely a töltés hossz-tengelyével párhuzamos, helyi (x) tengely a töltés hossz-tengelyére merőleges, a (z) tengely értelemszerűen függőleges tengely. Az alappontok 3D-s koordinátái poláris koordináta- és trigonometriai magasságméréssel (Y, X, Z/M) lettek meghatározva. A meghatározás során a korszerű és kalibrált *Leica TS16 - Leica GMP111* mini fényvisszaverő prizmával és központosító libellával kiegészített - mérőállomást használtunk. A

4 geodéziai alap-/örpont (2 a töltés „vízoldali” előterén, AP1, AP2; 2 a töltés koronán, OP1, OP2; 1 a Békés III. szivattyútelepen, OP3) helyét illetve a mérőhálózat kialakítását az alábbi helyszínrajz (33. ábra) szemlélteti:



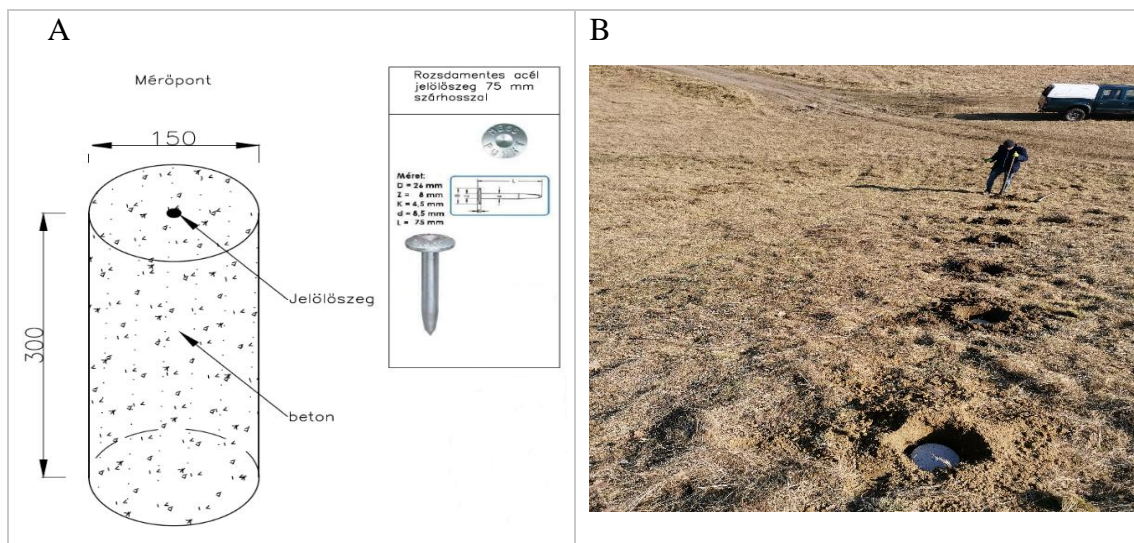
26. ábra Nagyminta mérőhálózat kialakítása
(készítette: a szerző)

Az alappontok/örpontok helyének geodéziai kitűzését, bemérését szerződés alapján Kocsor István okl. földmérő és térinformatikai mérnök végezte (földmérő ig. szám: 6297, GD-T/-04-00677), a munkákat és az adatok feldolgozását közösen végeztük.

A geodéziai vizsgálatokhoz alkalmazott geodéziai alappontok/örpontok legyártását és kihelyezését szerződés alapján a vállalkozó végezte, a helyi kivitelezési munkákat (gödörásás, fúrás, helyszíni betonozás, kézi tömörítés) közösen végeztük.

4.3.2. Mozgásvizsgálati pontok kialakítása

A vizsgált – majdan árvízi terhelés alatt lévő – töltésszakaszon két sorban, egyenként 15-15, valamint referenciaként lentebb és fentebb további egy-egy szelvényben, további 15-15 mozgásvizsgálati pont került állandósításra a töltésben (34. ábra).



27. ábra Mozgásvizsgálati pont kialakítása
(forrás: Tímár Attila - Geodéziai őrpont terve 6/2022)
(készítette: a szerző)

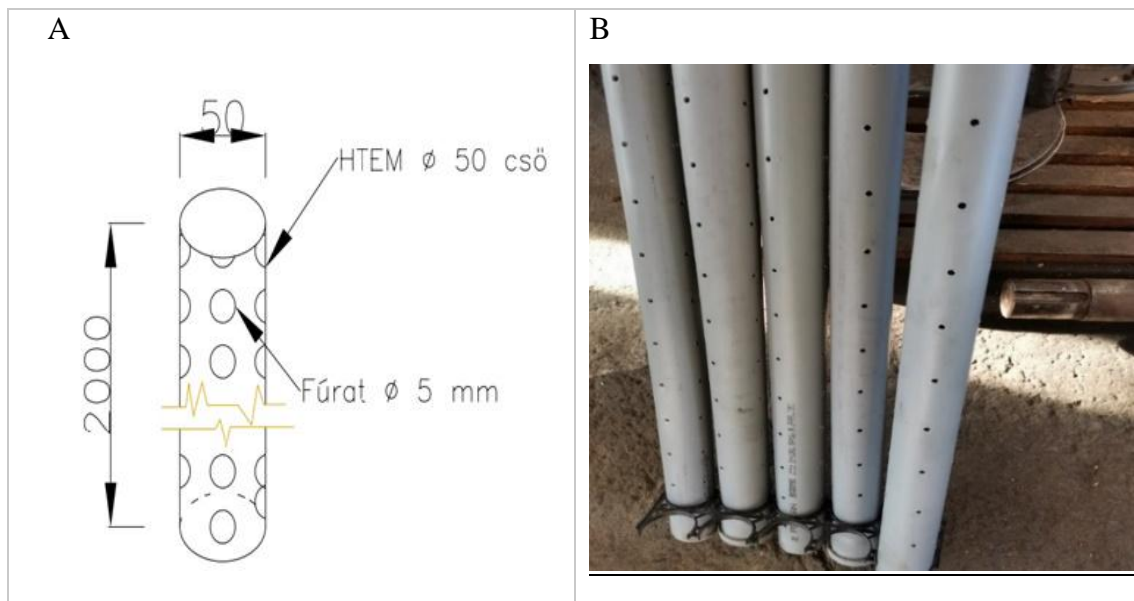
A mozgásvizsgálati pontok állandósítása töltés felszíni „kérgével” való együttműködés érdekében 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszú betonhengerek elhelyezésével valósult meg, mely hengerek központjába rozsdamentes acél jelölő szeg lett elhelyezve. Az állandósítás során a töltéstestbe előre meghatározott és geodéziai műszerrel kitűzött pontokon 400 mm mélységű gödör került kifúrásra STHLI BT 131 típusú földfúróval 250 mm átmérőjű fúrószárral. A mozgásvizsgálati pontokat az gödrökbe való behelyezést követően a helyi kitermelt földanyag kézi döngöléssel és beiszapolással visszakerült a pontmű mellé. Az állandósítást követő 60 napig a területen nem végeztünk geodéziai mérést, hogy az alap és mozgásvizsgálati pontok konszolidációja végbe mehessen.

A geodéziai vizsgálatokat szolgáló mozgásvizsgálati pontok legyártását és kihelyezését szerződés alapján a vállalkozó végezte, a helyi kivitelezési munkákat pedig (gödörfúrás, kézi tömörítés) közösen végeztük.

A mozgásvizsgálati pontok helyének geodéziai kitűzését, bemérését szerződés alapján Kocsor István okl. földmérő és térinformatikai mérnök végezte (földmérő ig. szám: 6297, GD-T/-04-00677), a munkákat és az adatok feldolgozását közösen végeztük.

4.3.3. Piezométercsövek kialakítása

A töltésben végbemenő szivárgásvizsgálatokhoz az árvízvédelmi töltés vízdoldali koronaélétől a mentett oldali töltéslábig 17 piezométer cső (35. ábra) került beépítésre. A csövek 2 méter hosszú HTEM csőből 5 mm átmérőjű perforálással kerültek kialakításra. A csövek helye előre kimért és geodéziai kitűzéssel kijelölt helyen kézi spirálfúróval 60 mm átmérővel került kifúrásra. A csövek egymástól 1,1 méter távolságra kerültek besüllyesztésre a töltéskoronába 2-4 méter mélységig.



28. ábra Piezométer csövek kialakítása
(készítette: a szerző)

A szivárgásvizsgálatokhoz szükséges piezométer csövek legyártását és kihelyezését szerződés alapján a vállalkozó végezte, a helyi kivitelezési munkákat, a kutak kialakítását (kútúrás kézi munkavégzéssel, csövek elhelyezése) közösen végeztük.

A piezométer kutak helyének geodéziai kitűzését, bemérését szerződés alapján Kocsor István okl. földmérő és térinformatikai mérnök végezte (földmérő ig. szám: 6297, GD-T/-04-00677), a munkákat és az adatok feldolgozását közösen végeztük.

4.3.4. Szádlemez medence kialakítása

A mérőhálózat kialakítása, a geodéziai mérőpontok konszolidációja után a kutatási területen kitűzésre került a 12,6 m x 6,6 méter befoglaló méretű, a vízdoldali töltéslábnál 4,80 m magas szádlemez medence (36. ábra) helye. A medence alakjelző sarokpontjainak kitűzését acél

mérőszalag és kitűzőrudak segítségével, egyenesre tűzéssel, a magassági kitűzést pedig a töltés vízdoldali koronaél magasságához viszonyított optikai szintezéssel hajtottuk végre.

A kivitelezés ismételt tereprendezéssel, a töltés és előterek gaztalanításával, kaszálásával kezdődött.

A medence kialakításához 2-8 méter hosszúságú LARSEN L601 szádlemezek kerültek leverésre, melyek hossza és leverési mélysége a rézsűfelületen a korona irányába 8 m-től 2 m-ig fokozatosan csökkent. A lemezek mennyiségei és hosszai a töltésláb vonalában 11 db. 8 méter hosszúságú, a töltéslábtól a vízdoldali koronaélig 21 db. lemez került leverésre melyek közül 8 db. 8 méteres, 6 db. 6 méteres, 4 db. 4 méteres és 3 db. 2 méteres hosszúságú volt. A medence másik oldalán szintén ilyen hosszúságú ilyen darabszámú lemezek kerültek leverésre. A lemezverés VR 8 és VR 19 levegős szádfalverő fejjel (35. A ábra) történt melyet egy Liebherr 35 tonnás autódaru (35. B ábra) mozgatott. A medence töltéskoronánál lévő éléhez két egymásra helyezett 6,5 méter hosszúságú lemez került, mely a medence munkavédelmi szempontú határolását szolgálta (biztonsági korlát). A szerkezet stabilitásának növelése okán a medence külső felületén U szelvényű kétsoros övgerenda (35. C ábra), valamint három, a szádpallókhöz hegesztéssel rögzített betonacél merevítés készült. A medencében lévő víz megtartása céljából a medence belső felületén kettős fóliator, homokzsáksor, cementpor, madzagos kócolás valamint vízzáró ragasztóval rögzített vízszigetelő szalag került beépítésre (35. D ábra).

A vízszigetelés kialakítása során a medence belső felületén a lemezek illesztésénél madzagos kócolás, valamint 3M ragasztószalagos szigetelés került felhelyezésre a lemezekre 2 m magasságig. A lemezek lábánál kézi döngölővel földtömörítés történt, majd a tömörített földre cementpor került kiszórásra, melyet követően fóliatorítás történt 2 rétegben. A fóliatorítás a lemezek felső részén rögzítve, majd a lemezek felületét követve került leengedésre a medence aljára mind a 2 rétegben. Minden egyes réteg végét kézzel kiásott árokba helyeztünk párhuzamosan a medence falával, melyet a fóliatorhelyezést követően kézi döngöléssel tömörítettünk majd tömörített homokzsáksorral zártunk le. A második fóliator szintén ezzel a megoldással került elhelyezésre, ráfedve az első fóliatorra. Ezen megoldások kialakítása volt szükséges ahhoz, hogy a medencében a lemezek közötti hézagoknál minimális vízvesztés érjünk el. De a medencében lévő vízszintmegtartás miatt így is napi szivattyús vízpótlást kellett végezni.



29. ábra Helyszíni fotók a LARSEN medencéről
(készítette: a szerző)

Helyszíni fotók a LARSEN medencéről (A) Liebherr 35 tonnás autódaru VR 19 levegős szádfalverő fejjel munka közben, (B) az elkészül LARSEN medence védett oldalon; (C) a medence szigetelt állapota; és (D) medence feltöltött állapotban

A szádlemez medence helyének geodéziai kitűzését, bemérését szerződés alapján Kocsor István okl. földmérő és térinformatikai mérnök végezte (földmérő ig. szám: 6297, GD-T/-04-00677), a munkákat és az adatok feldolgozását közösen végeztük.

A medence megvalósításához szükséges lemezverést, övgerenda készítését és felhelyezését, varratok elkészítését, vízzáróságához szükséges munkálatok elvégzését és a medencébe történő víz szivattyúzását a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság biztosította, mely támogatás volt a kísérelt elvégzéséhez.

A nagyminta kísérlet helyszínén kivitelezésre és elhelyezésre került összesen 4 geodéziai őrponthoz (+ 1 kijelölésre került), 60 geodézia mérőponthoz, 17 piezométercső (kút) és egy 12,7x6,6 m méretű LARSEN szádlemez medence, melyek felülnézeti elrendezését az alábbi (37. ábra) helyszínrajz szemlélteti:



30. ábra A nagyminta kísérlet helyszínrajza
(készítette: a szerző)

A kísérleti helyszínrajzon a P pontok a mérőpontokat, a K pontok a piezométercsövekből készített kutakat jelölik.

Az árvízi terhelés szimulálásához a víz megtartására alkalmas szádlemez határolású medence kialakítása történt. A lemezverési munkálatok idején, a káros rezgések okozta elmozdulások miatt nem végeztük geodéziai elmozdulási méréseket a mérési adatok pontatlanságai miatt.

A medence kialakítást követően a tényleges tapasztalatok alapján meghatározásra kerültek a medencében érvényes „árvízszint”.

A medencét egy igen intenzív áradásnak, a Körös-völgyben mért eddigi legnagyobb áradási ütemnek megfelelően (1970-es árvíz Fekete-Körös áradás 24 óra alatt 260 cm) töltöttük fel 10,8 cm/óra intenzitással. A feltöltés az előre meghatározott III. fokú árvízvédelmi készültségi szintre került elvégzésre, így ezzel a szinttel a medencében összesen 140,0 m³ vizet tartottunk meg.

4.4. Mérések

A nagyminta kísérlet keretében a medencében lévő vízszintet 32 napon keresztül tartottuk, mely tartósság a Körösökön levonuló árvizek során kialakult jelenségek tartóssági idejéből került meghatározásra. (Ami a levonult árvizek során kialakult jelenségek tartóssági idejének az átlaga).

A kísérelt során az alábbi mérési mennyiségek kerültek elvégzésre:

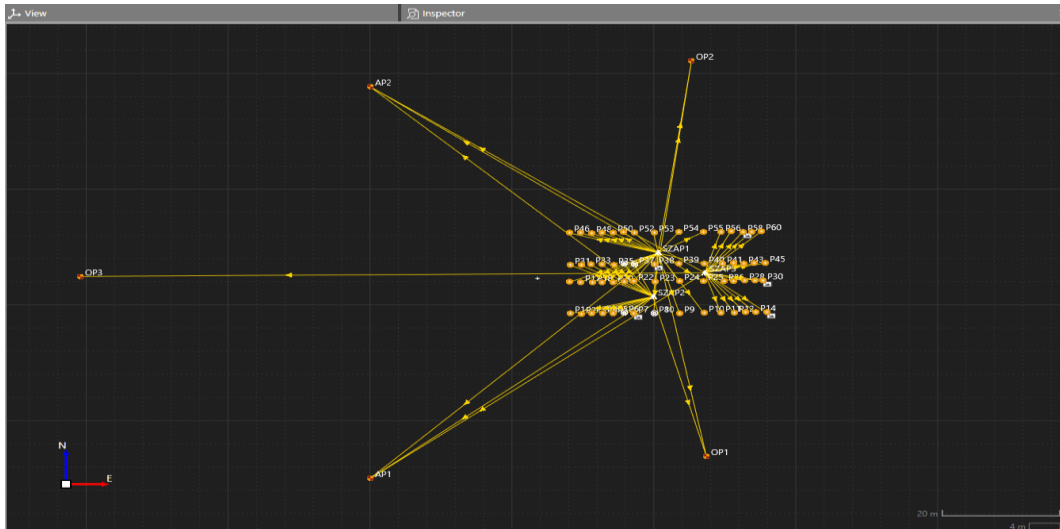
- Geodéziai mérés: 60 mérőponton összesen 840 adat (2520 mérés)
- Szivárgás mérés: 17 kútban 32 napon keresztül 544 mérés, adat
- Geofizikai mérés: 480 pontban összesen 5760 adat
- Talajmechanika: 5 db zavart, 3 db. CPT szondázás

A kísérlet során elvégzett mérések időben párhuzamosan történtek, de bemutatásukat külön-külön teszem meg a 4.4.1. Geodéziai mérések, 4.4.2. Szivárgás mérések, 4.4.3. Geofizikai mérések, fejezetek alapján.

4.4.1. Geodéziai mérések

Adatgyűjtés és feldolgozás

A kísérlet harmadik fázisában geodéziai mérések kerültek elvégzésre 4 keresztmetszvényben, szelvényenként 15 mozgásvizsgálati ponttal, melyek bemérését 4 kihelyezett és 1 kijelölt őrponttal végeztünk. A méréseket Leica TS16 I geodéziai mérőállomással végeztünk, amivel 1 másodperc alatt 1-3 mérést végeztünk. A 60 mérőponton összesen 840 mérést (480 feltöltés előtti száraz mérés, 180 feltöltés alatti mérés, 180 leeresztés utáni száraz mérés) hajtottunk végre, mely mérések meghatározási irányait az alábbi (38. ábra) ábra szemlélteti:



31. ábra Mozgásvizsgálati mérés meghatározási irányai
(készítette: a szerző)

Méréseink alkalmával egyidejűleg a mérőhálózat 3–4 alappontjára támaszkodtunk. A műszerálláspontok koordinátáinak kiszámítása szabadálláspontként történt. A 60 mozgásvizsgálati pont azonos álláspontból való bemérésére nem volt lehetőség, a helyi terep és időjárásviszonyoktól függően 2–4 szabadállásra volt szükség. A terhelés nélküli, nyugalmi szakaszban Leica GMP111 mini prizmával (39. A/B ábra), változó jelmagassággal (0,10–0,40–0,70 m) és fix kitámasztással végeztünk mérést.

A nedves mozgásvizsgálati pontok mérése (39. C/D ábra), GMP111 prizmával (változó jelmagasság: 0,10–0,40–0,70 m), és Leica GRZ4 360° prizmával (változó jelmagasság: 0,10–0,40–0,70 m) történt.

A	B
---	---



32. ábra Helyszíni fotók a geodéziai mérésekről
(készítette: a szerző)

Helyszíni fotók a geodéziai mérésekről: (A) mérés Leica TS16I mérőállomással, (B) száraz mozgásvizsgálati pontok mérése GMP111 prizmával, (C, D) nedves mozgásvizsgálati pontok mérése GMP111 prizmával és Leica GRZ4 360° prizmával.

Az elvégzett mérési ciklusok számát, idejét és körülményeit az alábbi 17. táblázat foglalja össze:

Mérési ciklus sorszáma	Mérés ideje	Mérési körülmények
1. mérés	2022.10.25.	A medence feltöltése előtt
2. mérés	2022.10.25.	A medence feltöltése előtt
3. mérés	2023.01.31.	A medence feltöltése előtt
4. mérés	2023.04.14.	A medence feltöltése előtt
5. mérés	2023.05.24	A medence feltöltése előtt

Mérési ciklus sorszáma	Mérés ideje	Mérési körülmények
6. mérés	2023.06.08.	A medence feltöltése előtt
7. mérés	2023.06.13.	A medence feltöltése előtt
8. mérés	2023.06.15.	A medence feltöltése előtt
9. mérés	2023.06.28.	A medence feltöltése előtt
10. mérés	2023.07.19.	A medence feltöltése után
11. mérés	2023.07.26.	A medence feltöltése után
12. Mérés	2023.08.02.	A medence feltöltése után
13. mérés	2023.08.10.	A medence leeresztés után
14. mérés	2023.08.15.	A medence leeresztés után
15. mérés	2023.09.05.	A medence leeresztés után

17. táblázat Geodéziai mérések ideje
(készítette: a szerző)

A vízterhelés előtti mozgásvizsgálati mérések célja, hogy a tényleges alapállapot, vagyis a töltés nyugalmi helyzete kvázi meghatározásra kerüljön. Mérési sorozatokat végeztünk a medence feltöltése előtt (9 mérés), a medence feltöltése után (3 mérés), majd ezt követően a medence leeresztés után (3 mérés).

A geodéziai mérések során 60 mérőponton összesen (2520 mérést végeztünk el melyből 840 adatot állítottunk elő.

Az mérések során kapott eredményeket három fő részre osztottam:

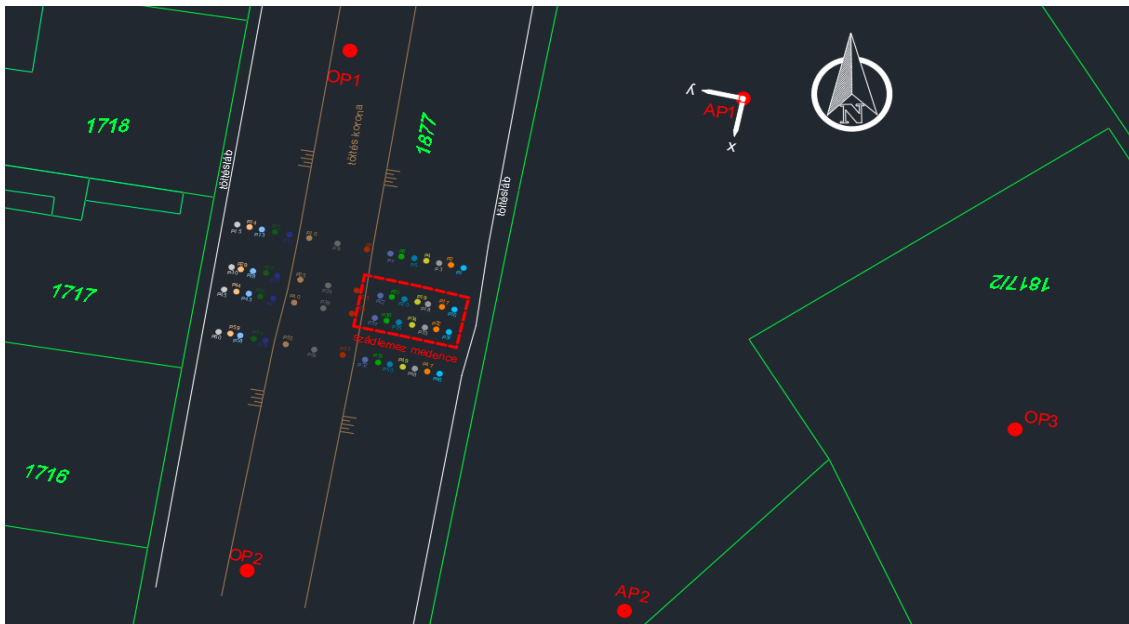
- A medence feltöltése előtti száraz mérések, mely során az időjárási körülményeknek kitett mérőpontok geodéziai elmozdulásait mértük (továbbiakban a koronán lévő mérések is).
- A medence feltöltése során a medencében lévő mérőpontok segítségével mértük a vízterhelés hatására bekövetkezett elmozdulásokat, alakváltozásokat.
- A mentett oldali rézsűn elhelyezett mérőpontokon a be- és átszivárgó vizek hatására bekövetkezett elmozdulásokat mértük.

A mérőpontok helyzetének bekövetkezett változásai a kialakított saját koordinátarendszerben, X,Y,Z koordinátákkal kerültek felmérésre. A Z elmozdulások pozitív értékei egy adott pont emelkedését, míg negatív értékei az adott pont süllyedését jelentik. Az árvízvédelmi töltés tengelyétől a vízoldal (medence) felőli pontokból kapott negatív értékkel rendelkező Y adatok a töltés duzzadását, míg a pozitív értékű Y adatok a töltés zsugorodását jelentik. A

töltéstengelytől a mentett oldali részsű felé eső pontok estében fordított az eljárás, tehát a negatív érték a zsugorodást míg a pozitív érték a duzzadást jelenti.

A pontok X, tehát oldalirányú elmozdulásai is mérésre kerültek, melyek negatív értéke É-i pozitív értéke pedig D-i irányú elmozdulást mutat.

A geodéziai mérések során használt koordinátarendszert és a kihelyezett őrpontokat az alábbi helyszínrajz (40. ábra) szemlélteti:



40. ábra Koordinátarendszer a kihelyezett őrpontokkal, alappontokkal és a mérőpontokkal (készítette: a szerző)

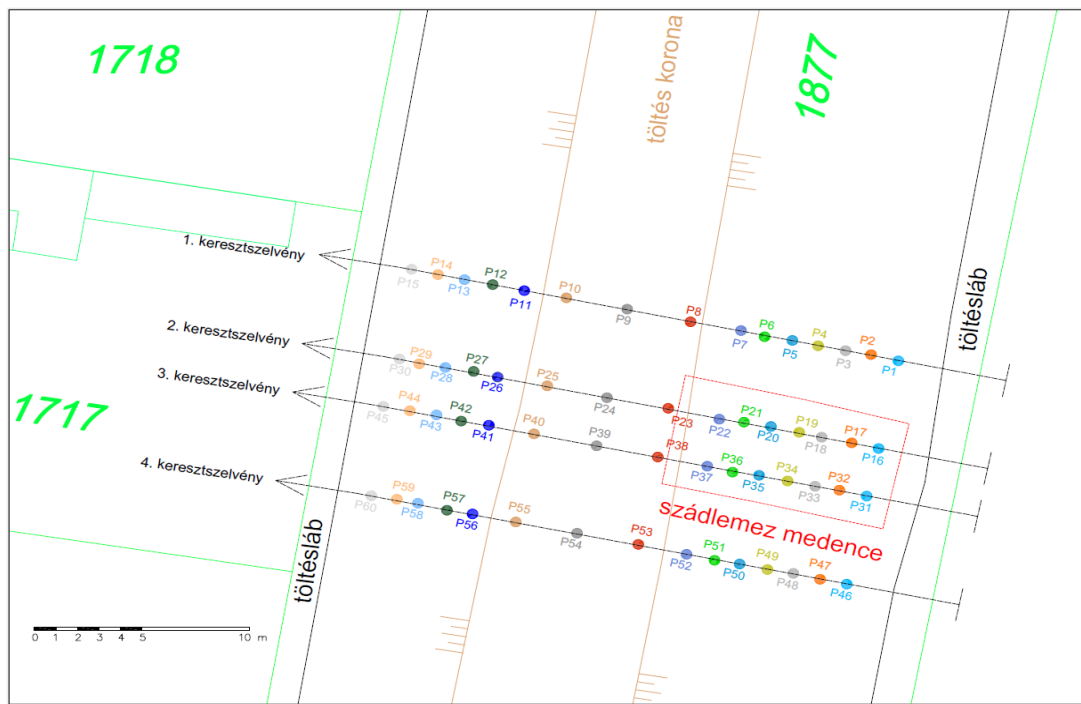
Eredmények

A vizsgált területen a töltéskoronára merőlegesen 4 keresztshelvény került (41. ábra) meghatározásra, melyeken keresztshelvényenként 15 geodéziai mérőpontból áll, így összesen 60 pontból. 1 keresztshelvényen belül 7 mérőpont a vízdoldali részsűn, 3 mérőpont a töltéskoronán, 5 mérőpont pedig a mentett oldalon található.

A keresztshelvények az alábbi pontokból állnak:

1. Keresztshelvény pontjai: P1; P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8; P9; P10, P11, P12, P13, P14, P15
2. Keresztshelvény pontjai: P16; P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23; P24; P25, P26, P27, P27, P28, P28, P29, P30
3. Keresztshelvény pontjai: P31; P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38; P39; P40, P41, P42, P43, P44, P45

4. Keresztszelvény pontjai: P46; P47, P48, P49, P50, P51, P52, P53; P54; P54, P55, P56, P57, P58, P59, P60



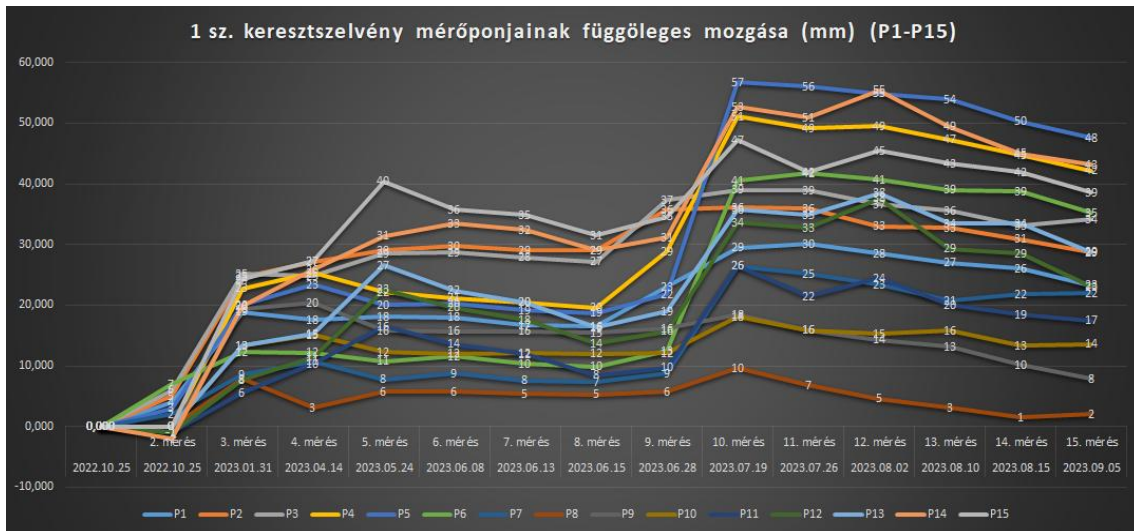
41. ábra Keresztszelvények helye a kísérleti helyszínen
(készítette: a szerző)

A 1. és 4. keresztmetszvény pontjainak mérési eredményeit referencia adatokként határoztam meg melyeket a medence vonalában lévő 2. és 3. keresztmetszvény pontjainak számításához használtam fel. A medencés keresztmetszvények pontjainak eredményeit Z magassági és X töltésre merőleges irányú mozgásra vizsgáltam meg, külön kezelve a vízdali részsűn lévő (medencében nedvesített) és a mentett oldali részsűn lévő (száraz) pontokat,.

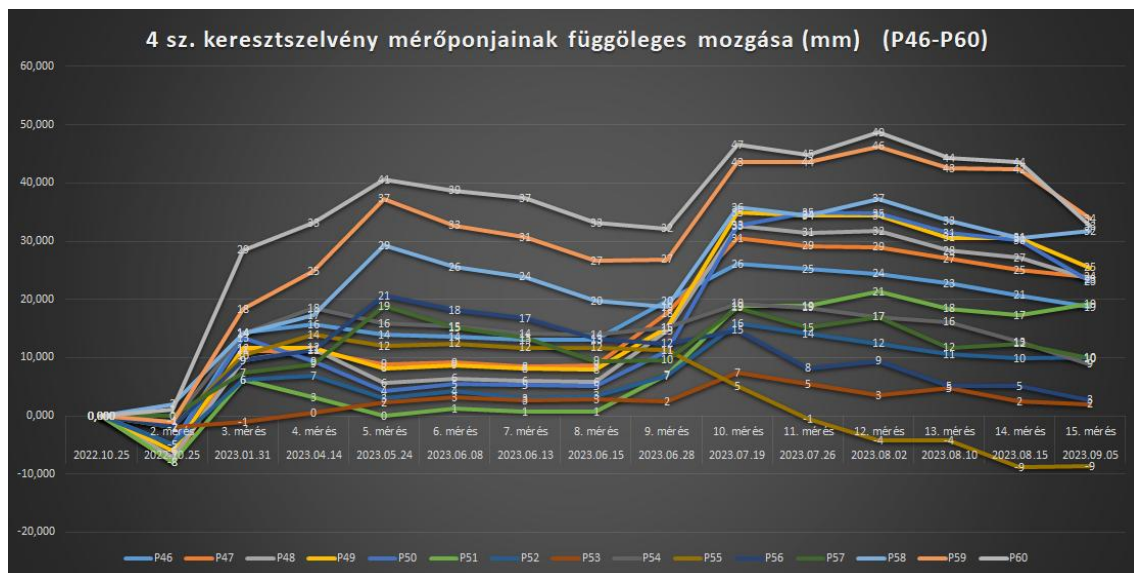
Z függőleges elmozdulások

Medencén kívüli pontok vizsgálata

A 1.; 4. keresztmetszvényekben lévő pontok Z magassági elmozdulásai (42. ábra, 43. ábra)



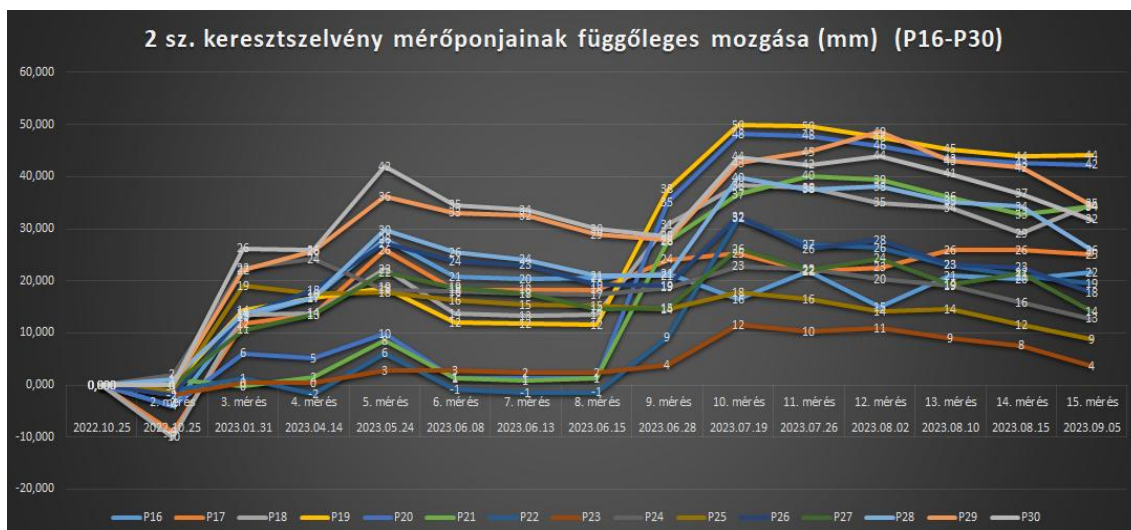
33. ábra K-1 keresztmetszvényben lévő pontok (P1–P15) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)



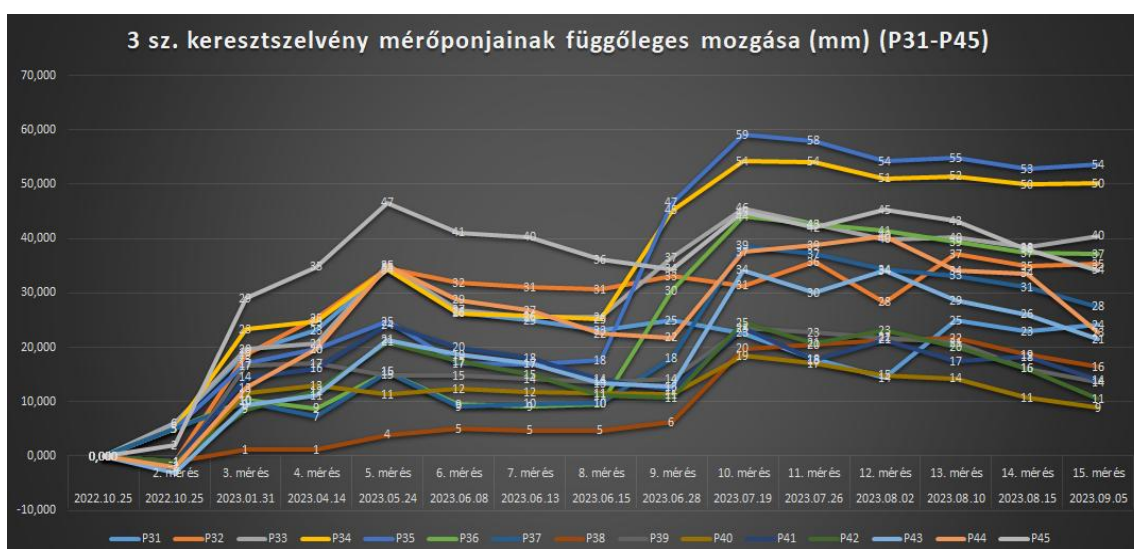
34. ábra K-4 keresztmetszvényben lévő pontok (P46–P60) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)

Medencét érintett pontok vizsgálata

A 2.-3. keresztmetszvényekben lévő pontok Z magassági elmozdulásai (44. ábra, 45. ábra)



35. ábra K-2 keresztaszelvényben lévő pontok (P16–P30) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)



36. ábra K-3 keresztaszelvényben lévő pontok (P31–P45) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)

A keresztaszelvények K-1, K-2, K-3, K-4 pontjainak Z irányú – függőleges – mozgásait megvizsgálva megállapítható, hogy az utolsó száraz mérés előtt is voltak elmozdulások minden szelvény minden pontján, de ezek a mozgások a konszolidáció illetve a természeti adottságok (hőmérséklet és csapadék) eredményeként következtek be. A medence feltöltése a 9. mérés után történt, így e mérés volt az utolsó száraz mérés, mely a későbbi kimutatások elemzéseinek alapadatát szolgálta.

A júniusi hónapban négy olyan mérést végeztünk ahol a pontok mozgásából arra lehetett következtetni, hogy a konszolidáció és az időjárási körülmények már nem befolyásolják a pontok mozgását, így a 9. mérés elfogadható volt a későbbiekre vonatkozó referencia mérésként.

A fenti keresztmetszvényekből kimutatott Z irányú elmozdulásokból megállapítható, hogy az 5. mérés (2023.05.24.) során a legtöbb pontban pozitív értékű elmozdulás volt tapasztalható, ami meteorológiai események és a természetes konszolidáció együttes következményének tudható be. Csapadék május 24 után nem volt tapasztalható a kísérleti helyszínen, így az a továbbiakban nem befolyásolta a mérési eredményeket.

A 9. mérés (2023.06.28.) volt ez utolsó olyan mérési sorozat amely száraz körülmények között történt, mivel 07.03-án a medence feltöltésre került. A feltöltést követően az első méréssorozat 07.19-én került elvégzésre, így a pontok 16 napon keresztül ki voltak téve a szimulált árvízi terhelés hatásának.

A két mérési sorozat között a grafikonokból jól kiolvasható a pontok elmozdulása, melyek közül a medencében lévő pontok P16–P17–P18–P18–P19–P21–P22; P31–P32–P33–P34–P35–P36–P37 mozdultak el a legnagyobb kiugró értékkel.

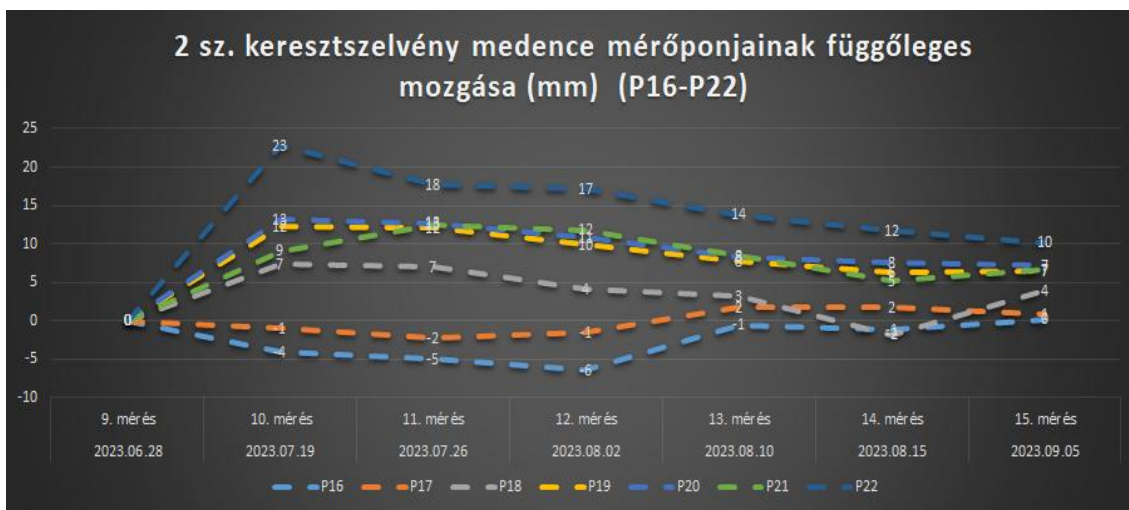
Vízoldali rézsűn lévő pontok (medencében nedvesített pontok) vizsgálata

K-2; K-3 szelvények részletes vizsgálata

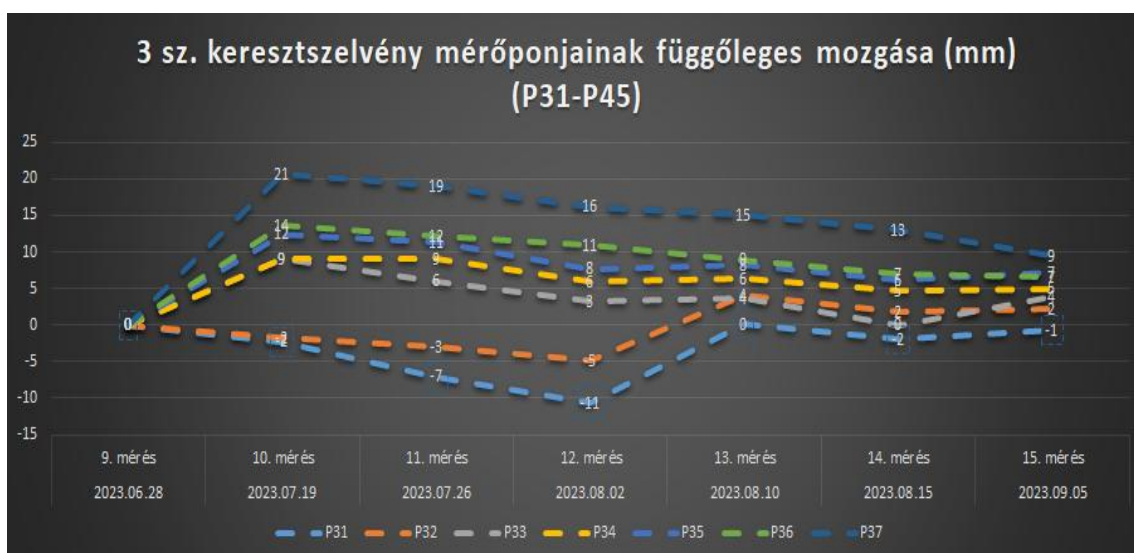
Medencén belüli pontok vizsgálata

A) adatait az alábbi grafikonok szemléltetik:

A két keresztmetszvény medencefeltöltéstől kezdődően, vízoldali rézsűn mért függőleges (Z irányú) elmozdulásainak (medencében nedvesített pontok) részletes adatait alábbi grafikonok (46. ábra, 47. ábra) és táblázat (18. táblázat) szemléltetik.



37. ábra K-2 keresztmetszvényben lévő pontok (P16–P30) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)



38. ábra K-3 keresztmetszvényben lévő pontok (P31–P45) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)

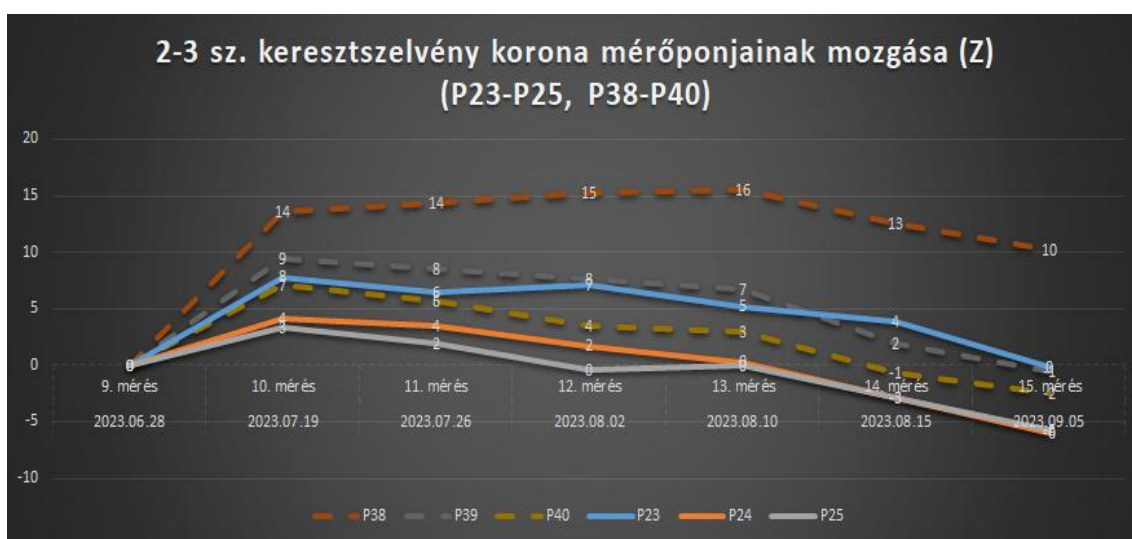
Szignifikáns elmozdulások a medencén belüli pontokon keletkeztek a víz áztató hatása miatt, a medencében lévő legalsó pontokon egy párhuzamos szelvényben (P16–P31), ahol a vízmélység 3,0 méter volt. Látható, hogy a vízterheléstől függőlegesen (Z) irányban fokozatos süllyedés volt tapasztalható az utolsó nedvesített mérésig mindkét pontban, továbbá hasonló elmozdulás volt megfigyelhető a P17–P32 pontoknál is (vízmélység:2,6 m) de kisebb elmozdulási értékkel.

A következő szelvényekben felfelé haladva a rézsún a koronaélig a többi pontpárnál emelkedés volt tapasztalható, melyet a fenti grafikonok mutatnak be. A pontok átlagos elmozdulási értékét pedig az alábbi táblázat foglalja össze:

Pontok	Vízmélység	Mérések és átlagos (Z) elmozdulás (mm)					
		10.	11.	12.	13.	14.	15.
P16;P31	3,0	-6	-12	-17	0	-3	-1
P17;P32	2,6	-3	-5	-6	6	4	3
P18;P33	2,2	16	13	7	7	-2	8
P19;P34	1,8	21	21	16	14	11	11
P20;P35	1,2	26	24	18	16	14	14
P21;P36	0,75	23	25	23	17	12	13
P22;P37	0,18	43	37	33	29	25	20

18. táblázat Mérések és átlagos (Z) elmozdulásai
(készítette: a szerző)

Koronán lévő pontok vizsgálata



39. ábra K-2-3 keresztaszelvényben lévő pontok (P23–P25, P38–P40) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)

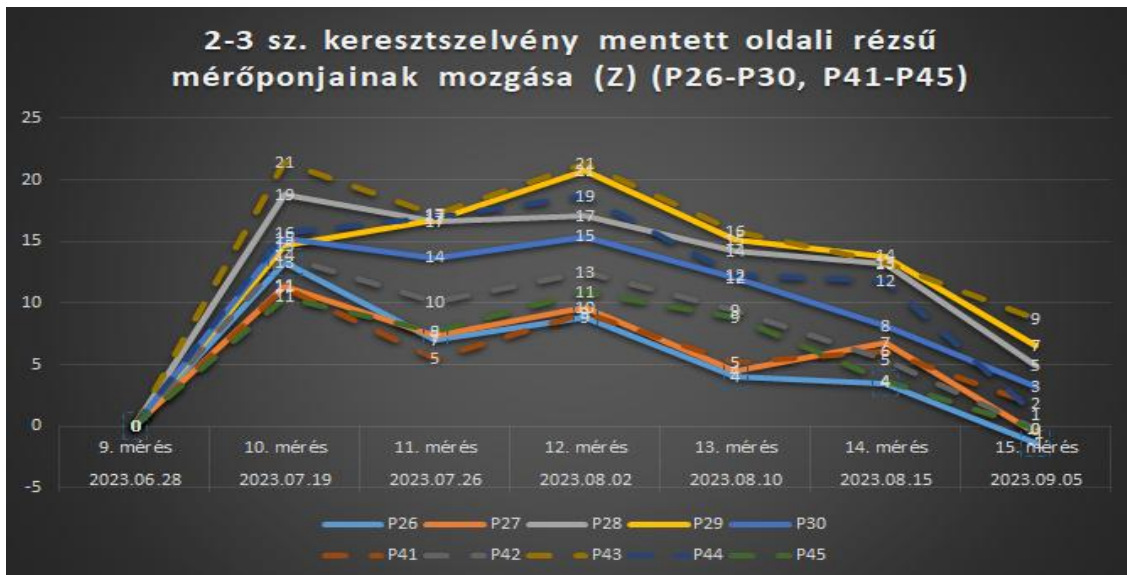
Mérés ideje	06.28.	07.19.	07.26.	08.02.	08.10.	08.15.	09.05.	Átlagos mozgás (mm)
Psz	9. mérés	10. mérés	11. mérés	12. mérés	13. mérés	14. mérés	15. mérés	
P23	0	8	6	7	5	4	0	4

P24	0	4	4	2	0	-3	-6	0
P25	0	3	2	0	0	-3	-6	-1
P38	0	14	14	15	16	13	10	12
P39	0	9	8	8	7	2	-1	5
P40	0	7	6	4	3	-1	-2	2

19. táblázat K-2-3 keresztaszelvényben lévő pontok (P23–P25, P38–P40) Z irányú elmozdulásai
(készítette: a szerző)

A koronán lévő pontok közül a P23–P38 pontpár mutat nagy elmozdulásokat, mely a medence közelségének tudható be. A többi pontpárnál nem volt tapasztalható kiugró, nagy elmozdulás. A medencén kívüli pontok közül ezen pontok környezetében volt a legtöbb munkavégzés (pl.: piezométer vízszintjeinek rögzítése és geofizikai mérések) de minden esetben és minden kihelyezett pontnál fokozott óvatossággal jártunk el a munkavégzések és mérések során, hogy a pontok mozgását külső tényezők ne befolyásolják, integritása megmaradjon. A pontok mozgását a fenti 48. ábra grafikonja, a pontok átlagos elmozdulási értékét pedig a 19. táblázat foglalja össze.

Mentett oldali rézsűn lévő pontok vizsgálata



40. ábra K-2-3 keresztaszelvényben lévő pontok (P26–P30, P41–P45) Z irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)

Mérés ideje	06.28.	07.19.	07.26.	08.02.	08.10.	08.15.	09.05.	Átlagos
Psz	9. mérés	10. mérés	11. mérés	12. mérés	13. mérés	14. mérés	15. mérés	mozgás (mm)
P26	0	13	7	9	4	4	-1	5
P27	0	11	7	10	4	7	-1	6
P28	0	19	17	17	14	13	5	12
P29	0	15	17	21	15	14	7	13
P30	0	15	14	15	12	8	3	10
P41	0	11	5	9	5	6	2	6
P42	0	14	10	13	9	5	0	7
P43	0	21	17	21	16	13	9	14
P44	0	16	17	19	12	12	1	11
P45	0	11	8	11	9	4	0	6

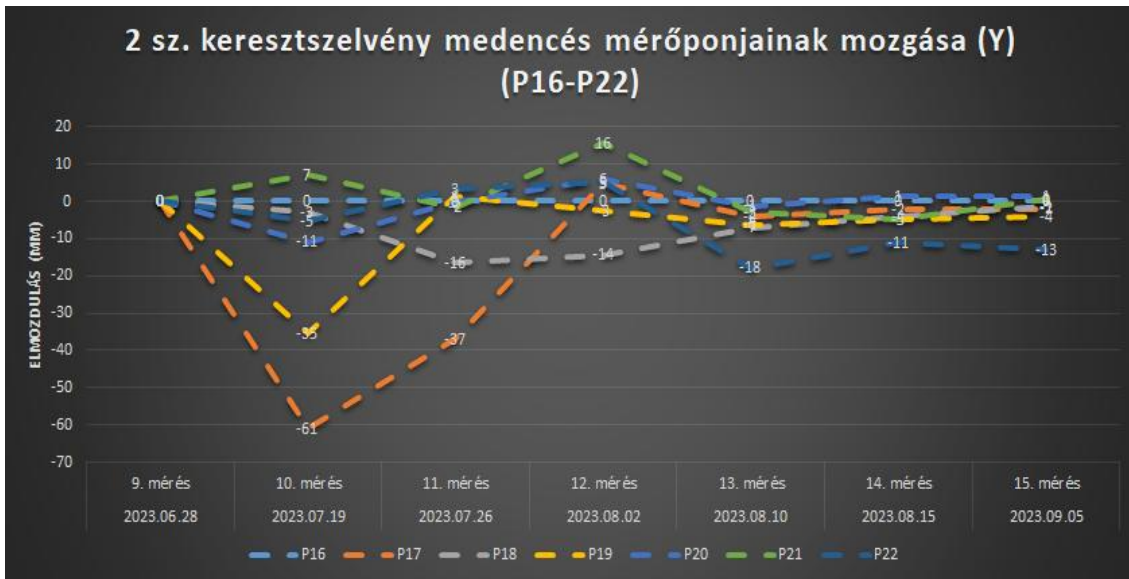
20. táblázat K-2-3 keresztshelvényben lévő pontok (P26–P30, P41–P45) Z irányú elmozdulásai
(készítette: a szerző)

Össességében elmondható, hogy méréseim során a vízterhelés hatására a rézsű aljában a rézsűfelület megsüllyedés és felfelé haladva a rézsűn a koronaélig emelkedés, vagyis duzzadás volt tapasztalható. A pontok átlagos elmozdulását a fenti 49. ábra és a 20. táblázat foglalja össze.

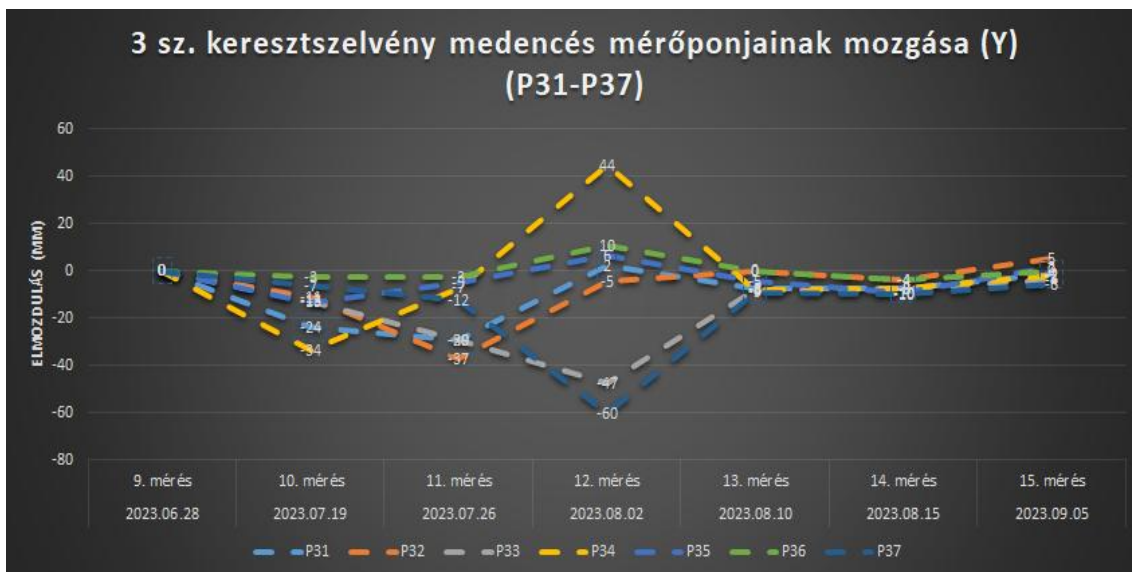
Y irányú elmozdulások

Az Y irányú elmozdulások a töltés tengelyvonalához viszonyított merőleges elmozdulások.

A 2.-3. keresztshelvényekben lévő pontok Y irányú (merőleges) elmozdulásait az alábbi 50. ábra és 51. ábra grafikonjai szemléltetik:



41. ábra K-2 keresztmetszvényben lévő pontok (P16–P22) Y irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)



51. ábra K-2 keresztmetszvényben lévő pontok (P31–P37) Y irányú elmozdulásai a mérések során
(készítette: a szerző)

A pontok átlagos elmozdulását az alábbi 21. táblázat foglalja össze:

Pontok	Víznyomás	Mérések és átlagos (Y) elmozdulás (mm)					
		10.	11.	12.	13.	14.	15.
P16;P31	3,0	-53	-53	5	-14	-15	-5
P17;P32	2,6	-72	-74	0	-4	-6	3

P18;P33	2,2	-16	-46	-62	-15	-12	-6
P19;P34	1,8	-69	-6	42	-14	-13	-6
P20;P35	1,2	-24	-6	12	-6	-8	3
P21;P36	0,75	4	-4	26	-3	-9	0
P22;P37	0,18	-12	-9	-55	-27	-21	-19

21. táblázat Mérések és átlagos (Y) elmozdulás (mm)
(készítette: a szerző)

A medencében lévő pontoknál a negatív értékű elmozdulások a töltéstől való elmozdulásokat mutatja, mely azt jelenti hogy a mérőpont a vízoldal felé mozdul el vagyis abba az irányba duzzad a töltés. Ezen mérések alapján megállapítható, hogy a P21, P36 pontpáron kívül minden pontpárnál erős elmozdulások tapasztalhatók a vízoldal irányába egészen a 12. utolsó mérésig ahol csökkenést mutat.

Térfogatváltozás

A mérések során kapott adatsort feldolgozva kimutathatóvá vált a 9. (alap) méréstől számított térfogatváltozások értéke (alpmérés 2D felülete: 385,45 m²) mely a töltésanyag zsugorodásának és duzzadásának hatására következett be. Az alábbi táblázatban (22. táblázat) kívánom bemutatni a mérések során kapott értékeket mely a bevágás mint zsugorodás, a töltés mint a duzzadás során bekövetkezett felületváltozást, a térfogatkülönbséget és az átlagos magassági elmozdulást mutatja be.

Mérések viszonyítása a 9. mérés felületéhez (385,45 m ²)	Bevágás (m ²) (zsugorodás)	Töltés (m ²) (duzzadás)	Térfogatkülönbség (m ³)	Átlagos magassági elmozdulás (mm)
9-10. vizes	0,08	4,70	4,62	12
9-11. vizes	0,12	3,91	3,80	10
9-12. vizes	0,25	3,63	3,39	9
9-13. száraz	0,19	2,98	2,80	7
9-14. száraz	0,37	2,50	2,13	6
9-15. száraz	0,59	1,78	1,19	3

22. táblázat mérőponok alapján mért térfogatváltozások
(készítette: a szerző)

A 9. volt az utolsó olyan mérési sorozat a mérőpontokon mikor a medence nem volt feltöltve. A feltöltést követően három mérési nap (10., 11., 12. nedves mérések) volt, mikor a medence fel volt töltve, majd a medence leengedését követően szintén három mérési nap (13., 14., 15. száraz mérések) következett. A mért értékekből jól kiolvasható, hogy a vízterhelés hatására térfogat növekedés következett be, mely során a legnagyobb duzzadási értéket az első (az összes mérés közül a 10. mérés) mérés adta. Ezt követően kisebb mértékben nőtt a térfogatváltozás a felületen, mely annak köszönhető, hogy a töltésben elindulhatott a szivárgás a mentett oldal irányában. A duzzadással párhuzamosan bevágás vagyis zsugorodások is történtek egyes helyeken, de a felületen a víz hatására a duzzadás volt jellemző nagyobb mértékben. A medence leeresztését követően a korábbi duzzadási értékekből kapott felületi növekedés ill. térfogati különbségek folyamatosan csökkentek elindult a töltés zsugorodási folyamata. Összességében elmondható, hogy a töltés térfogata árvíz alatt megnő, tehát duzzad, mely nem egyenletesen következik be a rézsűfelületen. Az árhullám levonulását követően a töltés zsugorodásnak indul a kiszáradás hatására.

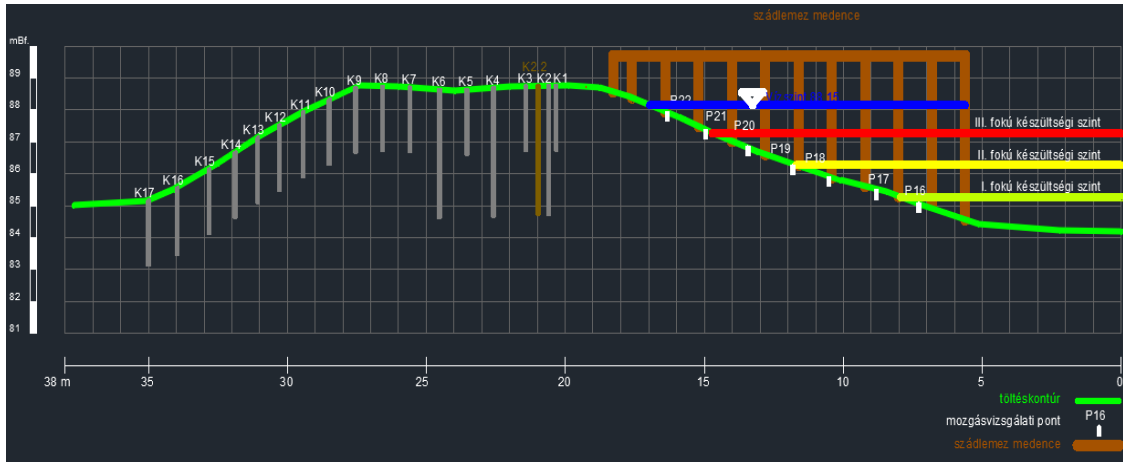
4.4.2. Szivárgásmérések

A kísérlet első fázisában szivárgásmérések kerültek elvégzésre a töltés egy keresztmetszeti vonalában elhelyezett 17 piezométerszőben (kútban). A kiválasztott keresztmetszeti vonal a töltésre merőleges szádlemez medence tengelyvonala (52. ábra).

A piezométerszővek az alábbiak szerint lettek elhelyezve:

- szádlemez medence tengelyvonalaiban, 1,1-1,3 méteres távolságra egymástól, a töltéstengelyre merőlegesen
- 8 kút a koronában:
 - három 4 m (K-2, K-4, K-6)
 - öt 2 m mély (K-1, K-3, K-5, K-7, K-8)
- 9 kút a mentett oldali rézsűben
 - kilenc 2 m mély (K-9, K-10, K-11, K-12, K-13, K-14, K-15, K-16, K-17)

A szivárgásmérést 32 napon keresztül végeztük, ami megegyezett a medencében lévő víz megtartási idejével.



42. ábra Vizsgált keresztmetszvény metszete piezométersövekkel, medencével és vízszinttel (készítette: a szerző)

A mérést egy a DATAQUA Elektronikai Kft. által gyártott és forgalmazott DA-OP optikai kézi szintmérővel (53. ábra) végeztem a mérési napokon reggel 8 órakor. A munka során a kútba leeresztésre került a szintmérő fejegysége, melyen található egy nagy fényerejű LED dióda, ami a vízszintet érzékelve piros színnel gyulladt fel, s ezzel egy időben került leolvasásra az eszközön lévő mérőszalagon a terepszinttől mért vízszint (23. táblázat) értéke, mely rögzítésre került.



43. ábra DATAQUA DA-OP optikai kézi szintmérő (készítette: a szerző)

A piezométer kutakban lévő vízszintek mérése 32 napon keresztül 2023.07.03–8.03. között:

Ssz.	Dátum	Mért kutak	Megjegyzés
1.	2023.07.03	K-17, K-16	Nyugalmi vízszintmérés
2.	2023.07.04	K-17, K-16, K-2	K-2 kútban megjelenik a víz

3.	2023.07.05	K-17, K-16, K-2, K-15	K-15 kútban megjelenik a víz
4.	2023.07.06	K-17, K-16, K-15, K-2, K-14	K-14 kútban megjelenik a víz
5.	2023.07.07	K-17, K-16, K-15, K-14, K-2	Vízszintmérés
6.	2023.07.08	K-17, K-16, K-15, K-14, K-2, K-2.2	K-2.2 furatban megjelenik a víz
7.	2023.07.09	K-17, K-16, K-15, K-14, K-2, K-2.2, K-13	K-13 kútban talajnedvesség
8.	2023.07.10	K-17, K-16, K-15, K-14, K-2, K-2.2, K-4;	K-4 kútban megjelenik a víz
9.	2023.07.11	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-2, K-2.2	Vízszintmérés
10.	2023.07.12	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-2, K-2.2	Vízszintmérés
11.	2023.07.13	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-2, K-2.2	Vízszintmérés
12.	2023.07.14	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-2, K-2.2, K-6,	K-6 kútban megjelenik a víz
13.	2023.07.15	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
14.	2023.07.16	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
15.	2023.07.17	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
16.	2023.07.18	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
17.	2023.07.19	K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2, K-19	K-19 kútban megjelenik a víz
18.	2023.07.20	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
19.	2023.07.21	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
20.	2023.07.22	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
21.	2023.07.23	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
22.	2023.07.24	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
23.	2023.07.25	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés

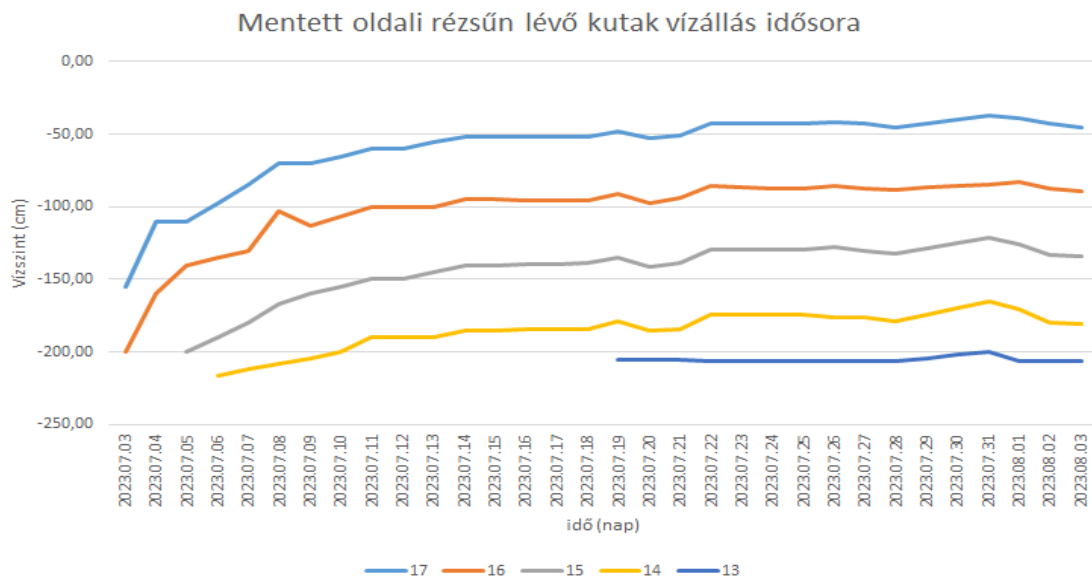
24.	2023.07.26	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
25.	2023.07.27	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
26.	2023.07.28	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
27.	2023.07.29	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
28.	2023.07.30	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
29.	2023.07.31	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
30.	2023.08.01	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
31.	2023.08.02	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés
32.	2023.08.03	K-19, K-17, K-16, K-15, K-14, K-4; K-6, K-2, K-2.2	Vízszintmérés

23. táblázat Piezométer kutakban lévő vízszintek mérések ideje
(készítette: a szerző)

A töltéstartásban elhelyezett kutak adatait két külön vízállás idősor alapján vizsgáltam meg. Az első idősor a mentet oldali rézsűben lévő, míg a második idősor a töltéskoronán elhelyezett kutak adatait dolgozza fel.

– idősor a mentett oldali rézsűben lévő kutak:

A mentet oldali rézsűben a töltés mentet oldali rézsűélétől lefelé haladva a mentet oldali töltéslábig kilenc 2 m mély (K-9, K-10, K-11, K-12, K-13, K-14, K-15, K-16, K-17) piezométer cső került elhelyezésre. A mérések első napján a medence feltöltése előtt a mentet oldali töltéslábnál lévő K-17, K-16 számú kutakban volt mérhető vízszint, ami a terület nyugalmi vízszintje volt, melynek értéke július 3-án –158 cm volt a terepszinttől mérve. A medence feltöltését követően és a benne lévő víztartás hatására a mentet oldalon a K-17, K-16, K-15, K-14 számú kutakban (54. ábra) alakult ki mérhető vízszint a 32 napon keresztül, valamint a mérések 7. napján–július 9-én, a K-13-es számú kút alján talajnedvesség volt tapasztalható. A mérések további napjain más kútban nem alakult ki mérhető vízszint, így a további napokon az eddig aktívvá vált kutakban lévő vízszintek mérése és rögzítése történt.



44. ábra Mentet oldali rézsűn lévő kutak vízállás idősorai
(készítette: a szerző)

A mérések során megállapítható volt, hogy a mentett oldali rézsűlábánál igen aktív vízszintemelkedés volt tapasztalható, ami a 32 nap alatt 43 cm-es értékkel közelítette meg a terepfelszínt. A 32 nap alatt a többi mért kútban is vízszintnövekedés volt tapasztalható, mely dinamikusan közelített a terephez és jelent meg a többi kútban is. Az árvízszint, mely 32 napig volt tartva és a töltéskorona alatt volt 1 méterrel, így is csak 4 kutat aktivizált a mentett oldalon és a rézsűben. A maximális vízszintet a K-13 számú kútban -200 cm-es értékkel (85,06 mBf.) lehetett rögzíteni, ami 3,09 m-rel van a 88,15 mBf. „árvízszint” alatt úgy, hogy a köztük lévő távolság 14,1 méter.

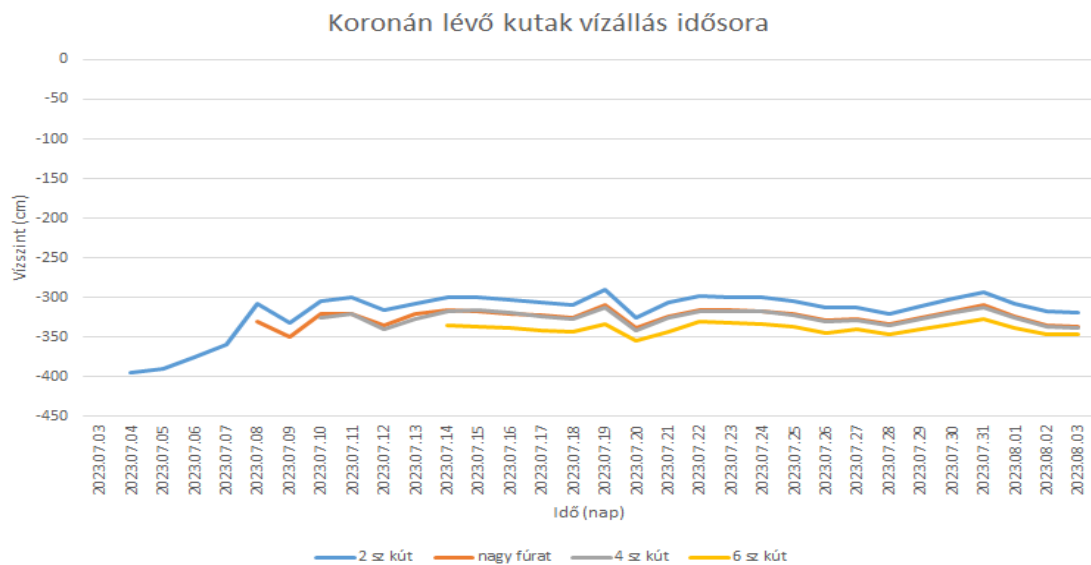
Ez annak tudható be, hogy a töltés belső magját lencsés szerkezetű, különböző nagyságú agyaghalmazok alkotják, melyet nem csak a talajmechanikai fúrások és a geofizikai mérések igazolják, hanem a töltés teljes keresztmetszetébe (mentett oldali részűben és a töltéskoronán is) lefúrt piezométer kutak elhelyezésekkor kinyert talajszemcsék is.

– idősor a töltéskoronán lévő kutak:

A töltéskoronán nyolc piezométer cső került elhelyezésre, amiből három 4 m (K-2, K-4, K-6), öt pedig 2 m mély (K-1, K-3, K-5, K-7, K-8) volt. Az elmondottakon túl egy talajmechanikai

furatban is rögzítésre kerültek vízszintek, mely 5,2 m mélységű volt és K-2.2. sorszámmal láttam el.

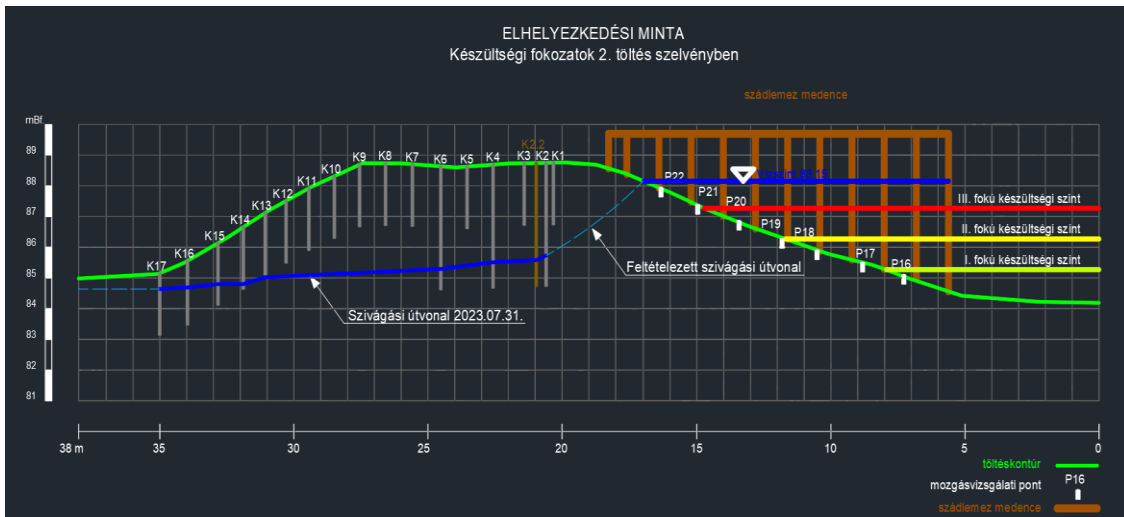
A mérések első napján a medence feltöltése előtt a kutakban nem volt mérhető vízszint, így ellenőrzésre került, hogy száraz állapotban voltak.



45. ábra Koronán lévő kutak vízállás idősorai
(készítette: a szerző)

A medence feltöltését követően és a benne lévő víztartás hatására az első mérhető vízszint értéke a K-2 számú kútban jelent meg -395 cm (84,76 mBf.) értékkel július 4-én, majd július 8.-án a K-2.2 furatban, július 10-én a K-4, július 14-én a K-6 számú 4 m mély kutakban jelent meg a víz (55. ábra). A sekélyebb mélységű kutakban nem jelent meg a víz, mivel a töltés inhomogén kemény agyagos lencsés szerkezete és a töltésanyag vízvezető képességéhez képest rövid idő miatt nem alakult ki a szabályos keresztzivárgás.

A töltés belső szerkezetében kialakult szivárgási útvonalakat az alábbi 56. ábra szemlélteti:



46. ábra Vizsgált keresztszelvényben kialakult szivárgási útvonál (készítette: a szerző)

Össességében megállapítható, hogy egy ilyen szerkezetes inhomogén töltésben egy 32 napos tartós árvíz hatására sem alakul ki a szabályos keresztzivárgás, még úgy sem hogy igen aktív áradással szimuláltuk a kialakuló árvízszintet, mely tetőző értéke III. fölötti volt. A koronában lévő kutakban sem volt tapasztalható kiugró vízszintnövekedés. Még 32 napnyi – állandó szintű – vízterhelést követően is a maximális kialakult vízszint csupán -290 cm (85,81 mBf.) volt a vízszéltől mindössze 3,6 m távolságban telepített K-2 kútban. A kút- és árvízszint differenciája 2,34 m volt. A nagyminta kísérlet mérései során további megállapításra került, hogy a mentett oldali töltéslábtól a rézsűn dinamikusan felfelé haladva érvényesül az árvíz áztató hatása mely gyöngíti a töltést és rontja annak állékonyságát. Tehát elsősorban azok a jelenségek alakulnak vagy alakulhatnak ki nagyobb valószínűséggel, melyek a töltés altalajához közelebbiek. Az árvízvédelmi jelenségek közül e jelenségek a szivárgások, melyek lehetnek talajforrások, talpszivárgások, fakadóvizek, töltésszivárgások, vagy akár buzgárok is mint a hidraulikai talajtörés okozói.

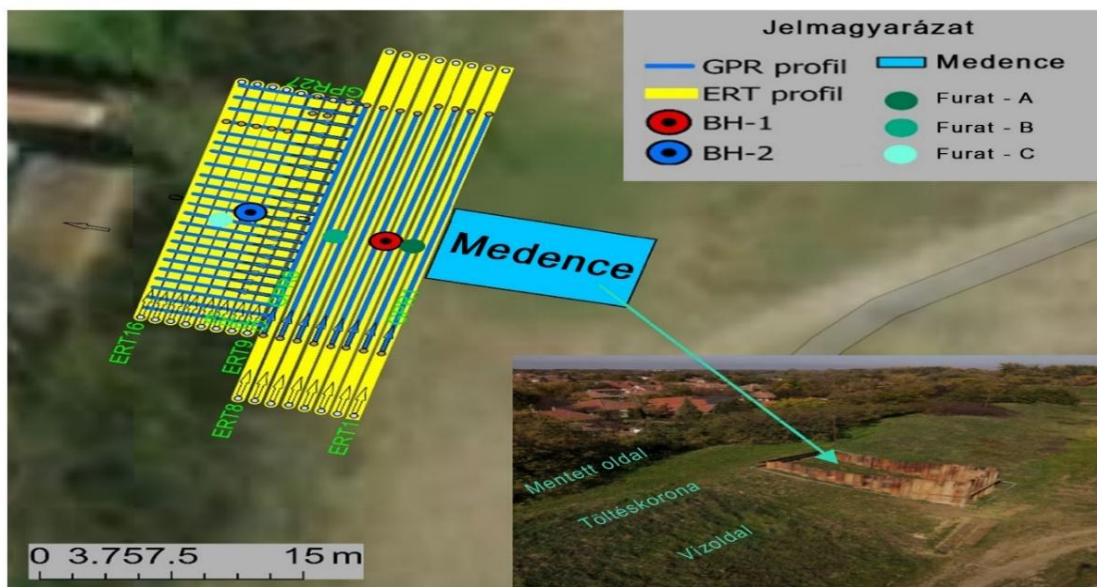
4.4.3. Geofizikai mérések

A vizsgálati helyszínen a kísérlet második fázisában geofizikai mérések kerültek elvégzésére. A mérésekhez a mérési napokon egy megfigyelőrendszer került kihelyezésre, mely rendszeres időközönként rögzítette a töltés szelvényében lévő fajlagos ellenállás értékeit, melyek a talaj nedvességtartalmát tükrözték. A szelvényenként kapott ellenállási képek időbeli összehasonlításával a töltés talajának vezetőképességében időszerű változások figyelhetők meg a kialakított medence feltöltését követően. A kapott ellenállási adatok betekintést nyújtanak a

töltés belső szerkezetében lévő olyan zónák kiterjedésére, térbeli eloszlására melyek jobb vízvezető képességgel bírnak, valamint hogy felmérésre kerüljön a töltés száraz és nedves körülmények közötti szivárgása. A mérések nagy felbontású elektromos ellenállás-tomográfiás (ERT) vizsgálattal került elvégzésre.

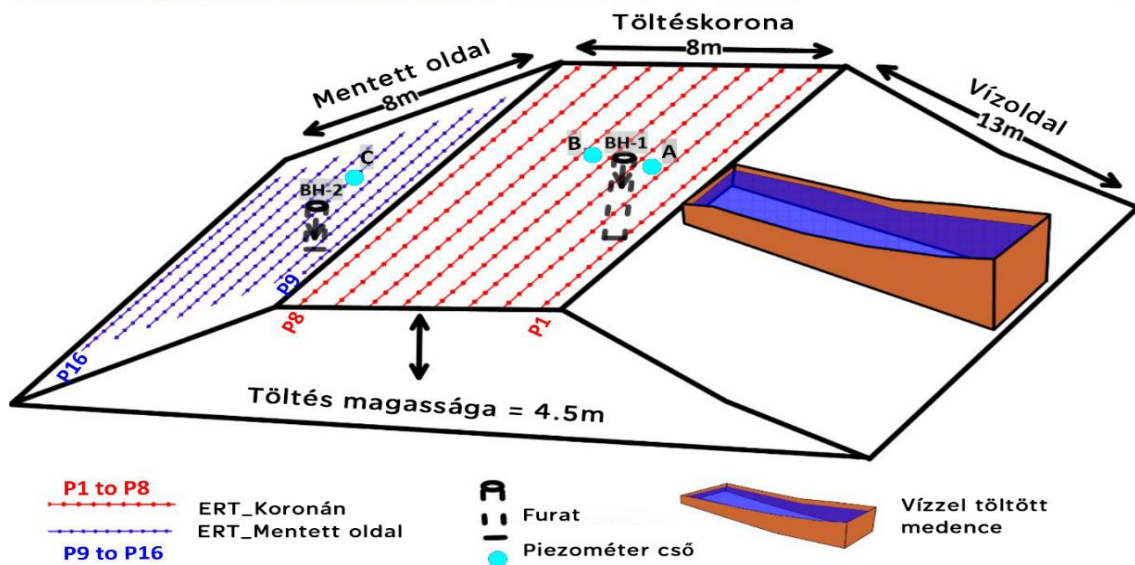
Elektromos ellenállás tomográfia és furatok

Az ERT mérések egy többelektródos rendszerhez csatlakoztatott GeoTom MK8E100 készülékkel történtek. A mérések a töltéskoronán és a mentett oldali rézsűn kerültek elvégzésre (57. ábra, 58. ábra), de a vízdoldali rézsűn (a medencén kívüli részen) nem, mivel jelentős 3D hatások valószínűsíthetők a medencében lévő víz valamint a medence anyaga miatt. Ezek a tényezők kevésbé illetve nem valószínűsíthetők az ERT felmérések során, a töltéskoronán és a mentett oldali rézsűn vízdoldali rézsűjén.



47. ábra A nagyminta kísérlet helyszínrajza a geofizikai szelvényekkel
(készítette: a szerző)

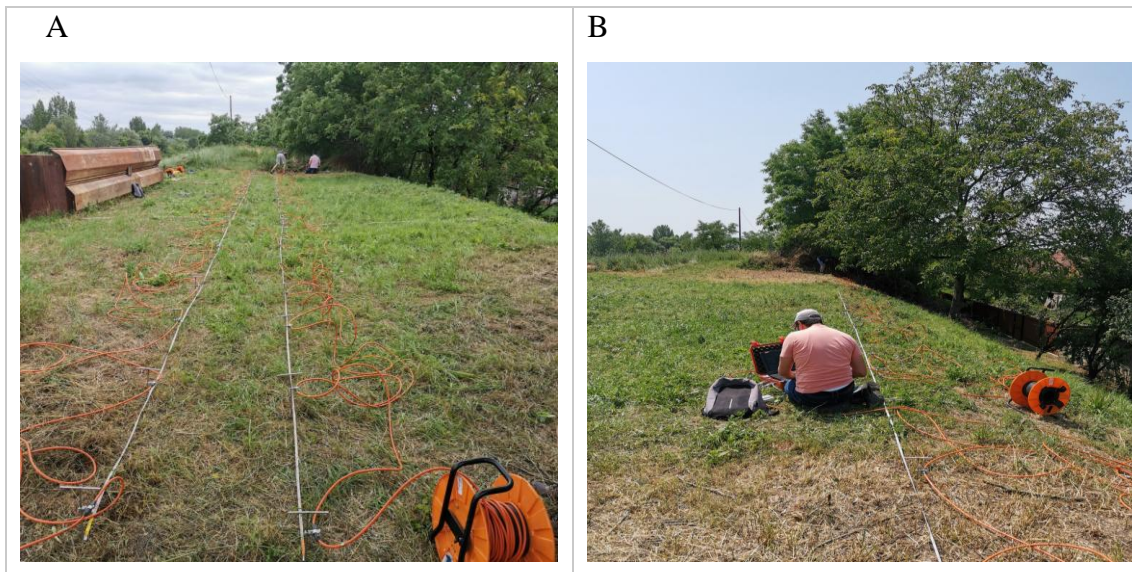
A töltéskoronán a mérések egyenként 36 m hosszú ERT profillal, 8 felvett szelvényben (ERT szelvények P1–P8.), a mérések a profilokban 37 elektródával, 1,0 m-es elektródatávolsággal kerültek elvégzésre.



48. ábra Geofizikai vizsgálatok helyszíni ábrázolása
(készítette: a szerző)

A mentett oldali a töltésrészében szintén 8 felvett szelvényben (ERT szelvények P9–P16.) kerültek elvégzésre a mérések, ahol a növényzet korlátozó hatása miatt a profilok hossza egyenként 24,0 m hosszban lett meghatározva, melyekbe 25 elektróda, 1,0 m-es kiosztással lett kihelyezve.

A töltéskoronán és a mentett oldalon kialakított profilok 1,0 m-es távolságra voltak egymástól (59. ábra), így egy olyan mérő rácshálót kaptunk, amiben a koronán 296, a mentett oldalon pedig 200 ponton mértünk, így egy mérés alkalmával összesen 496 pontból nyertünk adatokat. Ez a kialakítás lehetővé tette a töltéstartományban a szivárgások időbeli változásának megfigyelését.



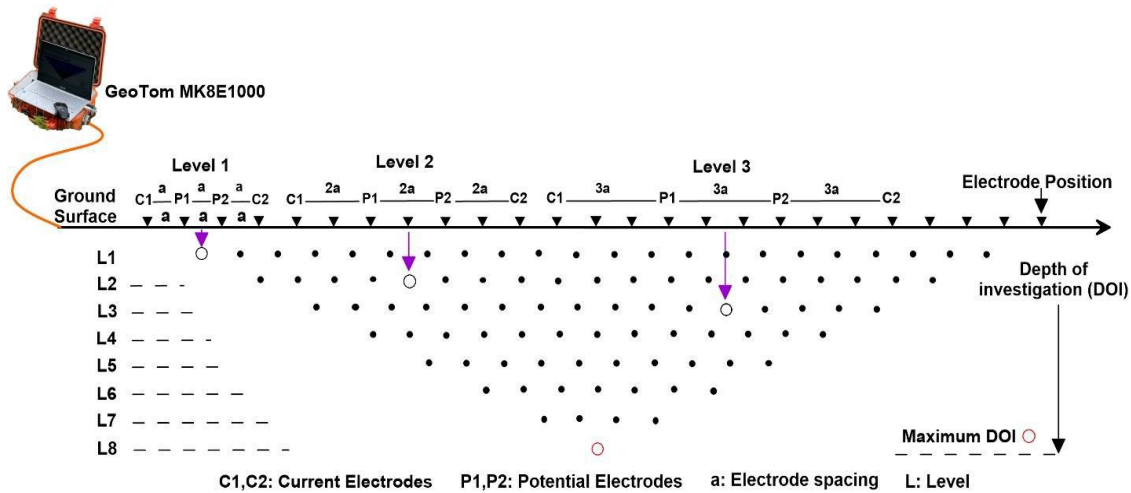
49. ábra Geofizikai mérések a helyszínen
(készítette: a szerző)

Az adatok megjelenítéséhez szükség volt a profilok kezdő-és végpontjainak összehangolására, mely Topcom Hiper Pro RTK rendszerrel végzett GPS térképezéssel valósult meg.

A töltéskorona minden egyes profiljánál függőleges irányban 210 helyen, 12,0 m, míg a mentett oldali profiloknál 92 pontban, 8,0 m mélységig terjedő adatpont került rögzítésre.

A fajlagos ellenállásmérést torzító természeti változások (pl.: csapadék nedvesítő hatása) minimalizálása érdekében a vizsgálatok nyáron kerültek elvégzésre. A mérési időszakban a területen nem hullott csapadék. Egy esetlegesen előforduló csapadékos időszakra felkészülve a közeli szivattyútelepen megfelelő méretű fólia került tárolásra, mellyel a töltéskorona és a mentett oldali rézsű mérési szakaszai kerültek volna lefedésre, ezzel gátolva a töltésbe való csapadékszivárgást.

A profilok adatpontjainak elhelyezését az alábbi 60. ábra szemlélteti, ami töltéskoronán lévő 2D- ERT profilt mutatja be.



60. ábra Töltéskoronán lévő 2D- ERT profil
(készítette: a szerző)

Az ERT-adattömeg a ResIPy v4.5.1 szoftverrel került feldolgozásra, amely az adatok hibás illeszkedését és a modell simaságát egyensúlyozó R2 és R3c v3.6.2 inverziós algoritmust alkalmazza. A mélységi mérésekhez tetraédres hálót alkalmaztunk.

Az időzített 3D ERT inverziós munkafolyamatunk előfeldolgozásból, feldolgozásból és utófeldolgozásból állt. Az előfeldolgozás magában foglalta az adatok előkészítését, a minőségértékelést, a kiugró értékek eltávolítását és a topográfia beépítését. A feldolgozás 3D háló létrehozását foglalta magába. Az utófeldolgozás során az egyes időképek ellenállás modelljeinek megjelenítése és a modell értékelése került elvégzésre.

A száraz és nedves körülmények között készült párhuzamos 2D ERT adatok kombinálásából 15 napra vonatkozó (24. táblázat) 3D modellek készültek, melyek lehetővé tették a töltésen keresztül átszivárgó vizek szivárgási folyamatának és szivárgási útvonalának felderítését.

Az eredmények – a ResIPy és a ParaViw szoftverek segítségével – egységes szintérméretet alkalmazva 3D modell képekkel kerültek ábrázolásra.

Mérés helye a koronán	ERT profil szám	Medence állapota	A mérés időpontja
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	üres	2023. 06. 15.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	feltöltés, vízzel teli	2023. 07. 03.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízzel teli	2023. 07. 04.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízzel teli	2023. 07. 05.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízzel teli	2023. 07. 06.

Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 07.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 10.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 11.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 13.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 14.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 19.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 21.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 25.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 07. 27.
Korona, mentett oldali rézsű	P1-P8, P9-P16	vízrel teli	2023. 08. 03.

24. táblázat Geofizikai mérések időpontjai
(készítette: a szerző)

Furatok és piezométerek

Az ERT vizsgálaton kívül két furat 5 cm átmérőjű fúrófejjel ellátott Eijkelkam fúrórendszerrel került kialakításra. A fúrásokból 40 cm-es mélységenként, furatonként összesen 8. zavartalan talajminta vételezés történt, melyek a nedvességtartalom méréséhez légmentesen lezárt zsákokban kerültek elszállításra a laboratóriumi vizsgálatra, ahol nedves- és száraz térfogatsűrűség, hidraulikus vezetőképesség mérés és szemcseméret elemzés történt.

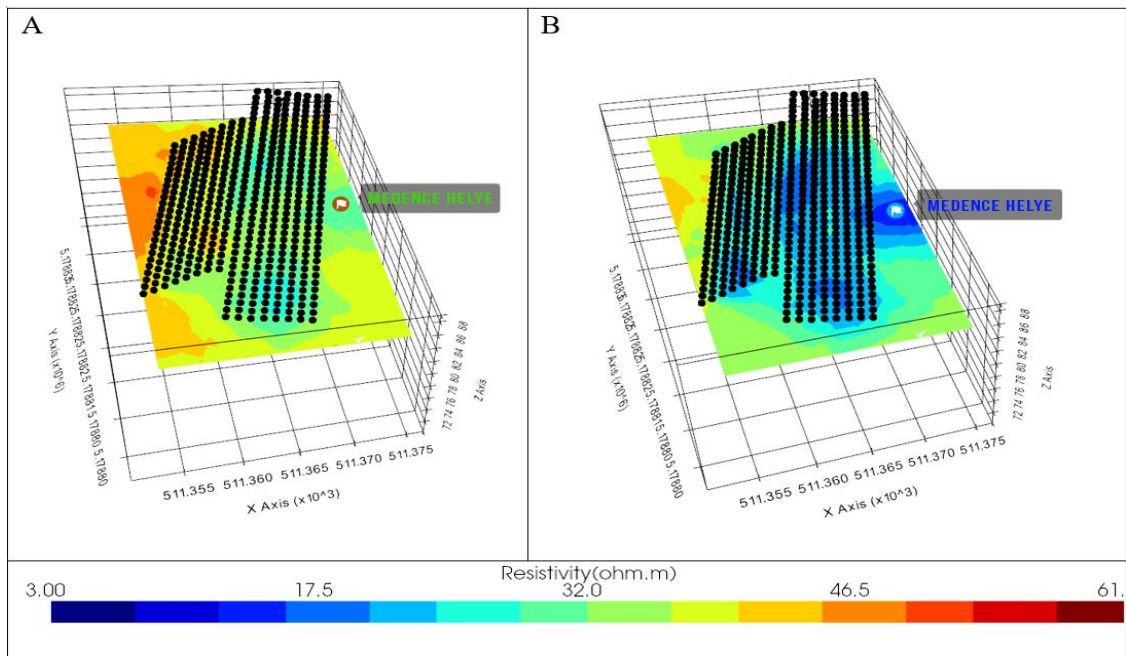
A két furat közül az 1. furat (BH-1) a töltéskoronában a 3. és 4. számú ERT profil között került kialakítva 5,2 m mélységgel (a szivárgásvizsgálatoknál ez volt a K-2.2. számú furat melyben szintén vízszintmérés történt). A 2. furat (BH-2) a mentett oldali rézsűn, közvetlenül a 12. ERT profilnál került kialakításra 3,8 m mélységgel (57. ábra; 58. ábra).

A két furatból nyert mintákon kívül az ERT vizsgálatokhoz felhasználásra került három piezométer kútban (A, B, C) mért vízszint adat is:

- a koronán a medencétől 2,5 m-re lévő K-2 sz. kút (A) ami a 2. ERT profilban,
- a koronán a medencétől 4,5 m-re lévő K-4 sz. kút (B) ami a 4. ERT profilban,
- valamint a mentett oldali rézsűben lévő K-14 sz. kút (C) ami a 13. sz. ERT profil vonalában található.

A felvett ERT szelvények kezdő- és végpontjainak, valamint az ERT profilok és fúrások EOV X,Y,Z koordinátáinak adatai szintén (RTK GPS) globális helymeghatározó rendszer segítségével kerültek összegyűjtésre, valamint összehangolásra.

A furatokban és piezométercsövekben időszakosan gyűjtött adatok összehasonlításra kerültek a megfelelő helyeken és időpontokban a 3D ERT modellekből levezetett vízszintekkel, az ERT pontosságának validálása érdekében (61. ábra).



61. ábra Mélységi szelettérképek a töltéstest 4 m-én
(készítette: a szerző)

Mélységi szelettérképek a töltéstest 4 m-én és a védett oldalon (A) a tartály feltöltése előtt és (B) után. A fekete pontok az elektródák helyét jelzik a töltéstesten. Az 5B. ábrán egy kék színű anomáliát a tartályból kiszivárgó vizet tükröző kisebb ellenállási értékek zónájaként értelmezzük.

Eredmények

A megfigyelőrendszer időközönként rögzítette a látszólagos fajlagos ellenállás értékeit, amelyek a talaj nedvességtartalmának változását tükrözték. Az ellenállástérképek időbeli összehasonlításával a talaj vezetőképességében időszakos – nem állandó – szivárgási tendenciák figyelhetők meg, a medence feltöltést követően jelentős növekedéssel.

A roncsolásmentes módszer alkalmazásával nyert látszólagos ellenállás adatok betekintést nyújtanak a töltésen belüli vízvezető zónák valós helyzetének és kiterjedésének időbeni változására.

A hidraulikai paraméterek változékonysága

A BH-1 furat alapján a töltéskorona talajának hidraulikai paraméterei jelentős függőleges változékonyságot mutattak a 30-340 cm-es mélységben (25. táblázat). A kezdeti víztartalom 10,1–15,5% között mozgott, a feltöltés után a felső rétegekben gyors nedvességtartalom csökkenés volt megfigyelhető (8% 30 cm-nél), míg a mélyebb rétegek magasabb nedvességtartalmat tartottak meg (18,5% 340 cm-nél). Az átlagos szemcseméret a mélységgel csökkent, ami a finomabb anyagra való áttérést tükrözi (a 30 cm-es 13,44 μm -ról a 80 cm-es 6,93 μm -re), ami korrelál a megnövekedett porozitással (340 cm-nél 52,9%-ig). A sűrűség értékei 1,39 és 1,61 g/cm^3 között változtak, a mélyebb rétegekben alacsonyabb sűrűséggel, ami a nagyobb porozitás miatt fordítottan növeli a permeabilitást és a telített hidraulikus vezetőképességet, ami kritikus tényező a szivárgási potenciál és a töltés általános stabilitásának megértéséhez. A várakozásoknak megfelelően a töltés legfelső részét érinti a nyári hőmérséklet emelkedése, amit a nedves állapotban csökkenő víztartalom százalékos értékei is bizonyítanak. Ez a hatás azonban a töltés első 80 cm-es szakaszára korlátozódik, és nem érinti a köztes vagy mélyebb részeket.

Ssz.	Mélység (cm)	Víztartalom a tartály feltöltése előtt (%)	Víztartalom a tartály feltöltése után (%)	Átlagos szemcseméret (D50)	Porozitás (m/m%)	Ömlesztett sűrűség (g/cm^3)	Telített hidraulikus vezetőképesség (m/s)
1	30	12,5	8	13,44	43,6	1,61	$1,3 \times 10^{-7}$
2	40	12,5	8,88	12,14	44,9	1,61	$2,4 \times 10^{-7}$
3	50	13,1	10,5	10,84	46,2	1,55	$2,4 \times 10^{-7}$
4	80	15,4	12,4	6,93	49,4	1,53	$4,7 \times 10^{-7}$
5	120	10,1	11	8,87	50,2	1,39	$5,1 \times 10^{-7}$
6	160	10,1	9,9	9,78	50,4	1,45	4×10^{-7}
7	200	10,3	11,9	10,3	45,9	1,46	$2,8 \times 10^{-7}$
8	340	15,5	18,5	11,97	52,9	1,44	$5,2 \times 10^{-7}$

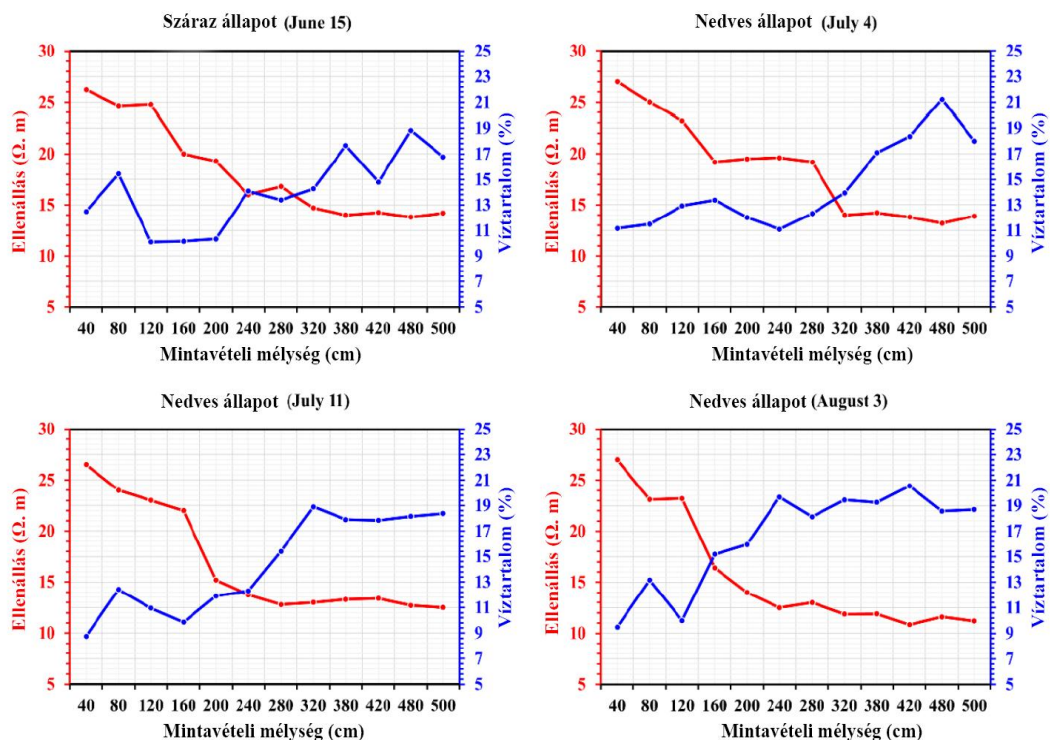
25. táblázat A töltéskorona talajának hidraulikai tulajdonságai különböző mélységekben (készítette: a szerző)

A telített hidraulikus vezetőképesség jelentősen változott, a tömörített felső rétegekben alacsonyabb értékekkel ($1,3 \times 10^{-7}$ m/s 30 cm-en), és magasabb értékekkel a kisebb térfogatsűrűségű és finomabb szemcseméretű, jobban áteresztő zónákban ($5,1 \times 10^{-6}$ m/s 120 cm-en). Ez a változékonyság azt jelzi, hogy bizonyos mélységekben a víz gyorsabb áramlásra hajlamosabb, ami kontúr szivárgásokhoz vezethet, és arra utal, hogy a töltéskorona anyaga nem víztartó. Ezek az eredmények jelentős inhomogenitásra utalnak az áteresztőképesség és a visszatartás tekintetében, a 3-4 m mélységben lévő zónák pedig különböző áramlást mutatnak.

Ezek a rétegek mint vízvezető rétegek kritikusak lehetnek a töltéstartásban, melyek a töltés állékonyságát veszélyeztethetik.

Ellenállás és nedvességtartalom dinamikája a töltéskorona talajában a BH1 adatai alapján

A 62. ábra a talaj nedvességtartalmának és fajlagos ellenállásának változásait mutatja a mélységeken (40–500 cm) száraz (június 20.) és fokozatosan nedvesebb körülmények között (július 4., július 11. és augusztus 3.). A fajlagos ellenállás és a nedvességtartalom között fordított összefüggés mutatkozott, amelyet a helyszín jellemzői és a mélység befolyásoltak. Száraz körülmények között a sekély rétegekben (pl. 40 cm) magas fajlagos ellenállás volt megfigyelhető, ami az alacsony nedvességtartalomra utal. A kezdeti nedvesedési szakaszban (július 4.) a töltéskorona középső szakasza közel stabil inverz választ mutatott, ami valószínűleg a nedvesség korona mentén történő újraelosztása előtti szivárgás kezdeti hatásainak köszönhető.



50. ábra Az ellenállás (piros vonal) és a nedvességtartalom (kék vonal) mélységfüggő változása száraz és nedvesített körülmények között. (készítette: a szerző)

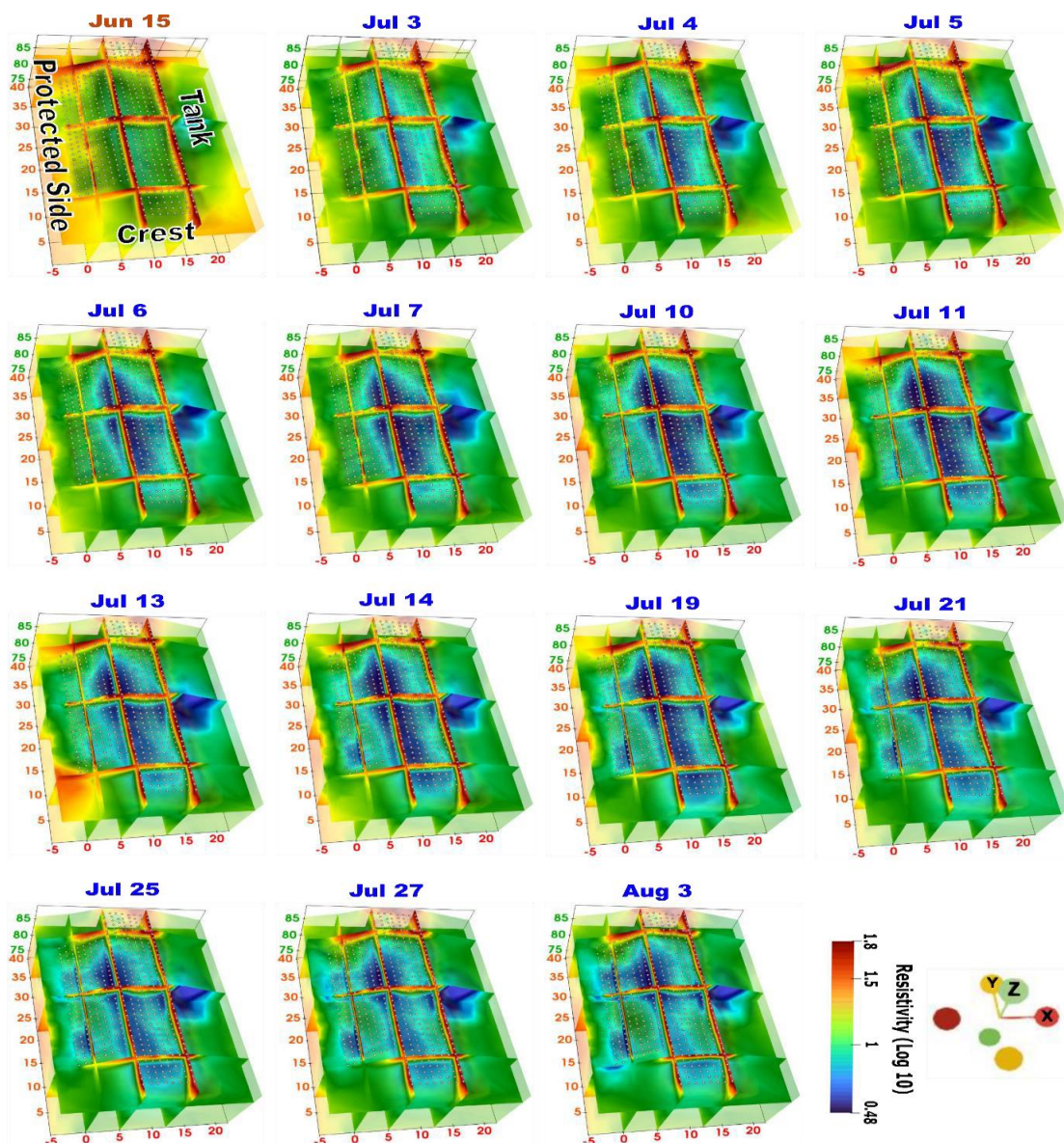
A nedvesedés előrehaladtával a fajlagos ellenállás fokozatosan csökkent, miközben a nedvességtartalom nőtt, különösen 80 cm alatt, ahol a léghőmérséklet hatása már minimálisra

csökkent. Ez a fordított kapcsolat stabilizálódott, ahogy a mélyebb rétegek közeledtek a telítettséghez a szivárgó víz hatására. A mélyebb rétegek (200–340 cm) körülbelül 20% nedvességet tartottak meg, és a finomabb szemcseméret és a nagyobb porozitás miatt alacsony, 9 Ω -m körüli fajlagos ellenállást tartottak fenn. Ezzel szemben a sekély rétegek (80 cm-ig) megnövekedett fajlagos ellenállást és csökkent nedvességtartalmat mutattak, amit valószínűleg a magasabb nyári léghőmérséklet befolyásolt. Ezek a megfigyelések rávilágítanak a beszivárgás során a töltésben kialakult nedvességtartalom és a töltés szerkezetén belüli ellenállás-változások közötti dinamikus kölcsönhatásra.

Összességében a 25. táblázat és a 62. ábra megállapításai hangsúlyozzák a töltéskorona hidraulikai heterogenitását, a mélyebb zónák pedig nem vízvisszatartó képességű, nem vízzáró zónákként működnek. E zónák megfigyelése tartósan nedves körülmények között elengedhetetlen ahhoz, hogy a szerkezeti instabilitás megelőzése érdekében a szivárgás alatti intenzív telítettséggel jellemezhető zónákat leképezzük.

Dinamikus vízszivárgás és szivárgási útvonalelemzés: 3D ERT

A 63. ábrán látható 3D időbeli elektromos ellenállás-tomográfia (ERT) nagy felbontású, dinamikus képet nyújtott a töltés belső reakciójáról a szabályozott vízbeszivárgásra, nyomon követve az ellenállás változását a száraz alaphelyzettől (június 15.) a fokozatos nedvesedésig (július 3. és augusztus 3. között).



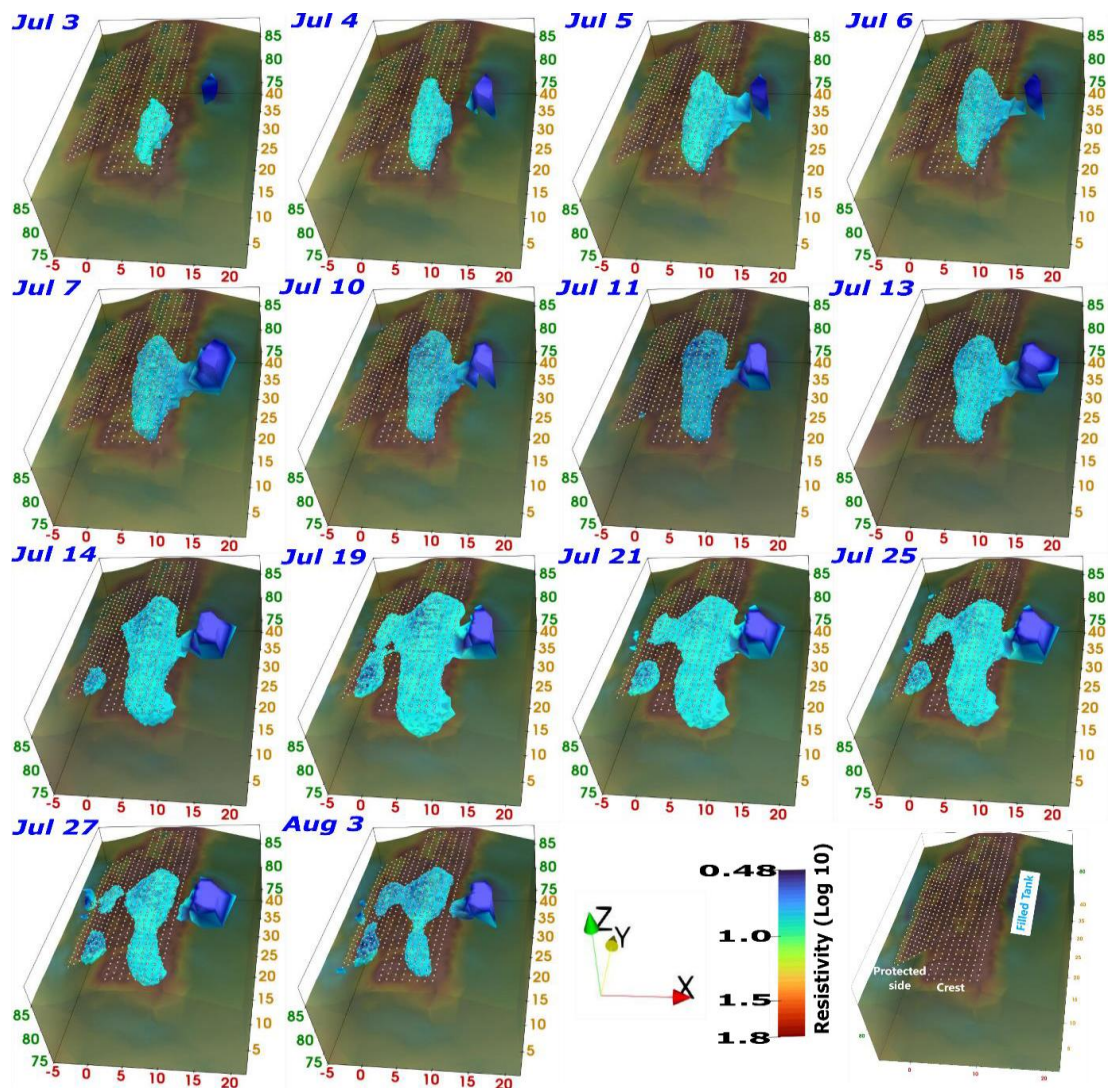
51. ábra ERT-mérések 3D időbeli modelljei
(készítette: a szerző)

Az ERT-mérések 3D modelljei, amelyek a töltésszerkezeten belüli ellenállás eloszlást mutatják száraz (június 15.) és nedves körülmények között (július 3-augusztus 3.). A modelleket a töltés koronájáról és védett oldaláról készült 16 párhuzamos 2D profil összevonásával és a ResIPy szoftver R3c kódjával történő 3D inverzióval történő invertálással lett létrehozva, amelyek képi megjelenítése ParaView program segítségével történt. A medence helye a modell jobb oldalán található.

A június 15-ei száraz alapállapot képkockáján, ahol a sárga-piros színek a szárazabb területeket jelölik, melyek magas ellenállást jeleznek, a kék-zöld színek az alacsonyabb ellenállási területeket tükrözik.

Az ellenállási értékek 11,13 és 61,07 Ω -m között mozogtak, ami tömör és telítetlen anyagokra utal. A töltésen belüli érintett zónák alacsony ellenállásának időbeli tér felszín alatti feltérképezése a 0,8 Ω -os log10 ellenállási küszöbértékkel mérve július 3-tól augusztus 3-ig. A sötétkék szín a vízzel feltöltött tartály előfordulását jelzi.

Három jól elkülönülő zóna figyelhető meg: egy magas fajlagos ellenállású felszíni réteg (50–61 Ω -m), egy köztes réteg (30–45 Ω -m) és egy mélyebb, alacsony fajlagos ellenállású réteg (11–20 Ω -m). A beszivárgás előrehaladtával a következő képkockák (64. ábra) a töltés szerkezeti integritását veszélyeztető kritikus nedvességvándorlási mintázatokat tárnak fel.



52. ábra Szivárgások 3D időbeli modellképei
(készítette: a szerző)

A kiválasztott szelvényeken (X: 12 m, 5 m, 0 m; Y: 22 m, 35 m, 8 m; Z: 83 mbf.) végzett mérések eredményei jól ábrázolják a töltés dinamikus nedvesedését, átázását. Ezek a

megjelenítések olyan ellenállás-anomáliákat mutatnak, amelyek a töltéstestbe szivárgó vízre utalnak.

A szivárgásnál a legfontosabb események közé tartozik a július 4-ei gyors nedvesedés és a július 21-ei stabilizált állapot kezdete.

A korai nedvesedési szakaszban (július 3–7 között) a kezdeti nedvesség behatolása jelentősen csökkentette az ellenállást, különösen a töltésmagban. Az átlagos fajlagos ellenállás csaknem 10%-kal csökkent, a töltés közepén lokálisan akár 15%-kal is csökkenhetett a kiindulási értékhez képest. A 0,8 Ω -m-os ellenállásküszöbértékkel végzett izofelületi térképezés szivárgási zónákat és preferenciális útvonalakat mutat a töltéskorona és a védett oldal mentén. Ez a térképezés a szivárgás időbeli alakulását szemlélteti, kezdve a medencéből a töltésen keresztül történő átszivárgással. A szivárgási zóna kiterjedt áramlási útvonalakat alakított ki, amelyek oldalirányban folytatódtak a töltéskoronán keresztül. Július 14-re a szivárgás fokozódott, elérte a védett oldalt, mielőtt oldalirányban tovább terjedt volna.

Egy valós árvízi eseménynél a töltésben oldalirányú szivárgás a töltésben lévő vízvezető zónák például az egymásra halmozás során kialakult rétegek között lehetséges, de ez minimálisnak tekinthet, mivel a töltést az árvíz áztató hatása a teljes hosszabban áztatja. Ezen okok miatt magyarázható a június 14-e és július 14-e közötti oldalirányú terjedés zónája is, mely a rétegek közötti hosszirányú terjedésre utal.

A köztes nedvesedési szakaszban (július 10–19.) a töltésmagban és a védett oldalon jelentős ellenálláscsökkenés következett be, a legfontosabb területeken 16–17%-kal csökkent az alapvonalhoz képest. A telített zónákban a fajlagos ellenállás értékei elérik a 8-10 Ω -m értéket. A felszíni térképezés (10. ábra) kiemeli az alacsony fajlagos ellenállású zónák oldalirányú és függőleges kiterjedését, amely a kritikus teherbírású területeket foglalja magában.

A telítettség július 19-én elérte a kritikus szintet, amikor az ellenállás egyes régiókban 8 Ω -m alá zuhant, ami potenciális belső eróziót vagy szerkezeti károsodást jelez. A köztes szakasz végén, július 19-én a legtelítettebb területeken a fajlagos ellenállás értéke 5 Ω -m alá csökkent, ami a töltés stabilitása szempontjából kritikus küszöbértéket jelent. A magban és az alapon lévő tartósan alacsony fajlagos ellenállású területek a legnagyobb szerkezeti feszültségnek kitett területeket jelezték. A július 19-ei telítettségi csúcspont különösen jelentős. Ez kritikus küszöbértéket jelent a töltés stabilitása szempontjából, mivel a tartósan alacsony fajlagos ellenállású területek súlyos gyengeséget jelent a töltés állékonysága, mely során a töltés véd képességé nagymértékben gyengülhet.

A késői nedvesedési és stabilizálódási szakaszban (július 21–augusztus 3.), július 21-e után a töltés nedvesített szakasza fokozatosan stabilizálódott kialakult a keresztiszivárgás a vizsgált szelvényben.

Következtetések

Ez a kísérleti rész az árvízvédelmi töltések szivárgási dinamikájának nyomon követésére az időbeli változására ad választ egy szimulált árvízi elöntés esetében egy általam kiválasztott töltésszakaszon 3D elektromos ellenállás-tomográfia (ERT) méréssel mérve.

A nagyfelbontású geofizikai képalkotás eredményeinek fúrás- és hidraulikai adatokkal való integrálásával igazoltam, hogy egy árvízvédelmi töltésben elvégzett roncsolásmentes vizsgálat alkalmazásával igen nagy pontossággal lehetséges a dinamikus ellenállás-változások rögzítése, a kritikus áteresztőképességi zónák azonosítása, a nedvesített területek lehatárolása.

A fő megállapítások a töltések egyes szakaszai között eltérő hidraulikai jellemzőket mutattak: a töltésmag magasabb telítési sebességet (0,53 m/nap), de alacsonyabb észlelési arányt (0,78 m/nap), míg a mentett oldalon magasabb átlagos szivárgás észlelési arányt (1,30 m/nap), de alacsonyabb telítési sebességet (0,110 m/nap) mutatott. Ezek az eredmények az árvíz kockázatkezelés szempontjából hasznos ismereteket nyújtanak, és rávilágítanak a töltés belső szerkezetében a szivárgások során létrejövő sérülékenységekre a töltések stabilitására nézve.

4.5. Összegzés és részkövetkeztetés

- A nagyminta kísérlet összegzéseként megállapítom, hogy a valós üzemi körülmények közé helyezett, szimulált árvízi terhelés értékes és korábban hazai viszonylatban nem, vagy csak részlegesen vizsgált információkat szolgáltatott az árvízvédelmi töltések viselkedéséről. A kísérlettel igazoltam, hogy egy összetett, inhomogén szerkezetű, több rétegű töltéstartományban az áztatásra adott válaszfolyamat – legyen az duzzadás, süllyedés vagy szivárgás – térben és időben egyaránt jelentős eltéréseket mutat.
- Megállapítom, hogy a 32 napig fenntartott, intenzíven növelt és tartósan magasán tartott árvízszint hatására a töltéstartomány függőleges irányban jól érzékelhető alakváltozást szenvedett. A rézsű aljában süllyedés, a középső és felső részeken pedig duzzadás

következett be, mely tendenciák egyértelműen igazolják a töltés anyagának vízérzékenységét. A mérési eredmények alapján megerősítem, hogy a töltés térfogata árvízi terhelés hatására növekszik, majd a vízszint csökkenésével ismét zsugorodik, vagyis a töltés dinamikusan reagál a nedvesedési-kiszáradási ciklusokra.

- Szivárgási vizsgálataim megerősítették, hogy az inhomogén, lencsés szerkezetű töltésekben még tartós árvízi terhelés mellett sem alakul ki gyors, szabályos keresztzivárgás. Megállapítom, hogy a víz a töltéstartományban nagyon eltérő mértékben és sebességgel hatol előre: a mélyebb, jobb vízvezető zónákban lassan, a felszínhez közelebb pedig inkább oldalirányú terjedéssel. A piezométerek adatai alapján bizonyítható, hogy a mentett oldali rézsű lábát éri el leghamarabb a szivárgó víz, és itt mutatkozik a legnagyobb vízszintemelkedés, ami az árvízvédelmi jelenségek (pl. fakadóvíz, talpszivárgás, buzgár) szempontjából kritikus.
- A geofizikai mérések alkalmazásával igazoltam, hogy az elektromos ellenállás-tomográfia alkalmas a szivárgási útvonalak és nedvesedési zónák nagy pontosságú, időbeli nyomon követésére. A 3D ERT modellek alapján kimutattam, hogy a víz nem homogén módon terjed, hanem jól elkülöníthető, mélyebben húzódó vízvezető csatornában, amelyek szerkezeti gyengeséget hordoznak magukban. A mérések bizonyították, hogy a tartós árvízi terhelés alatt a töltésben kialakuló alacsony fajlagos ellenállású zónák a szerkezeti stabilitás szempontjából veszélyeztetettek, különösen akkor, amikor az ellenállás értéke kritikus szint alá csökken.

Összegzésképpen megállapítom, hogy a nagyminta kísérlet sikeresen demonstrálta az árvízvédelmi töltések valós és dinamikus viselkedését, és igazolta, hogy az ilyen vizsgálatok elengedhetetlenek a töltések tönkremeneteli folyamataiban szerepet játszó tényezők megértéséhez. A geodéziai, szivárgási és geofizikai vizsgálatok összehangolt alkalmazása egyértelműen rámutatott a töltések leginkább veszélyeztetett zónáira, a szivárgási folyamatok sebességére és jellegére, valamint arra, hogy az anyagintegritásra és hosszú távú állékonyságra nézve mely tényezők hordozzák a legnagyobb kockázatot.

E fejezet eredményei bizonyítják, hogy a modern mérési és monitorozási módszerekkel a töltések állapota valós időben értékelhető, a kritikus jelenségek pedig előre azonosíthatók, ami alapvető jelentőségű a megelőző védekezés és a kockázatcsökkentés szempontjából.

5. ÁRVÍZVÉDELMI RENDSZEREK ÉRTÉKELÉSE JELENSÉGEK ALAPJÁN

Az árvízvédelmi töltések fenntartásánál, fejlesztésénél figyelembe kell venni azon hatásokat (jelen esetben árvízvédelmi jelenségeket) melyek közvetlenül befolyásolják az elsőrendű fővédvonalak állékonyságát, így a mentett oldali biztonságot, végső soron az árvíz kockázat mértékét. A hazai gyakorlat szerint az árvíz kockázat a tönkremeneteli valószínűség és a relatív eseménykár szorzata. A relatív eseménykár a bekövetkezett kár és az abból származó újjáépítési vagy pótlási érték hányadosa.

Az árvízi jelenségek, mint mentett oldali kockázatnövelő hatások a védvonalakon kimutathatók, a korábbi jelenségek ismeretében számszerűsíthetők. A továbbiakban ezeket az adatokat elemzem.

5.1. Árvízvédelmi jelenségek

Árvízi jelenségnek nevezzük azokat a víznyomás hatására az árvízvédelmi töltésben kialakuló vízmozgással kapcsolatos folyamatokat, melyek veszélyeztetik a töltések állékonyságát, az árvízvédelmi töltés károsodását, legrosszabb esetben átszakadását okozhatják.

A töltésállékonyság szempontjából a legfontosabb tényezők:

- a vízzáró fedőréteg vastagsága;
- az esetleges vízvezető réteg hidraulikus talajtörésnek ellenálló, folytonos és minél laposabb szemeloszlása ($U > 3,5$, $d_{10} > 0,1$);
- megfelelő töltésalapozás;
- a várható terheléshez igazodó méretre kiépített, állékony töltéstest:
 - kellően tömör, repedésszegény, minél homogénebb, töltésépítésre alkalmas kötött talajú, amely:
 - szerves alkotóktól mentes;
 - folyási határa, azaz a $w_L < 60$ %
 - nem diszperzív;
 - nem szikes;
 - nem kotort zagy;
- minden részében funkcióképes, jó állapotú szerkezetes töltés.

Az árvízvédelmi jelenségek kialakulásához főbb tényezők:

- tartós árvízi terhelés;
- jelentős árvízi terhelés;
- vízvezető réteggel bíró altalajú védvonalon az árvízi terheléshez képest vékony fedőréteg vagy a fedőréteg teljes hiánya;
- rossz minőségű kötött altalaj (diszperzív vagy szikes);
- kedvezőtlen szemeloszlású vízvezető réteg(-ek) jelenléte az altalajban;
- nem megfelelően alapozott töltéstest;
- a nem megfelelően beépített töltésanyag
- az árvízvédelmi töltés homogenitásának hiánya;

Árvízvédelmi töltéseink nagy része a 19. században, kezdetleges építési technológiával, alapozási és tömörítési előírások figyelmen kívül hagyásával épült.

Tekintettel arra, hogy a talajmechanika, mint önálló tudományág alapjait Karl Terzaghi 1920-as években fektette le és hazánk első talajmechanikai laboratóriumát dr. Jáky József műegyetemi professzor 1930-ban hozta létre, az árvízvédelmi töltéshez, mint földmű tervezéshez illetve építéséhez dr. Kézdi Árpád professzor munkásságának köszönhetően a 20. század '50-es éveitől készül hazánkban talajmechanikai szakvélemény, ezért csak az utóbbi időkben derült ki, hogy a töltés eredeti vonalozása kedvezőtlen adottságú területeket is több helyen is keresztez.

Kedvezőtlen területek lehetnek, ahol az altalajban szerves anyagok illetve tőzeges rétegek találhatóak; ahol a kötött altalaj diszperzív tulajdonságot mutat; ahol felszín közeli laza, szemcsés finom homok, homoklisztes homok rétegek találhatóak; ahol holtmeder keresztezések találhatóak.

5.2. Gyakori veszélyforrások

Az árvízi jelenségek kialakulásánál a leggyakoribb veszélyforrásokat a töltés testben lévő nem jó minőségű talajok, a töltéseket keresztező holtmedrek, és a töltésben kialakuló repedések jelentik, melyek az alábbiak lehetnek:

Talajok: Szerves tőzeges altalaj (könnyen talajtörés alakulhat ki az alacsony nyírószilárdsága miatt); Folyós homok (a közel azonos méretű szemcsékből áll, a szilárdságát kis hidraulikai erőhatásokra is elveszítheti, folyóssá válhat, ha vízzel telített és laza állapotú); Szikes talajok

(Szikes anyagok a vizet lassan veszik fel, de nagy mennyiségben; vízzel telített állapotban tejfölszerűen folyóssá válnak, és nyírószilárdságukat elveszítik); Diszperzív talajok (diszperzív az a kötött talaj, melyben a belső felületi erők kicsik, emiatt belső erózióra hajlamos.) [57]

Holtmedrek

Az árvízvédelmi töltések holtmeder-keresztezésére irányuló kutatások az 1980. évi Körös-völgyében történt hosszúfoki töltésszakadást követően kezdődtek el az árvízvédelmi töltések védőképességének fokozása érdekében. [58]

A topografikus viszonyok alapján országosan összesen 2994 db ősmeder keresztezes került lokalizálásra (átlagosan kilométerenként 1,4 db).

A keresztezéseket pontrendszer alapján I–IV. veszélyességi csoportba sorolták (az I. csoport jelenti a legveszélyesebb altalaj rétegződést).

A keresztezések veszélyességének meghatározására a VITUKI dolgozott ki módszert, melyek alapján az értékelés szempontjai a következők voltak:

- a meglevő töltésen tapasztalt árvízi jelenségek,
- földmű távolsága folyómedertől,
- altalaj áteresztőképességi együtthatója,
- töltés és ősmeder keresztezési, morfológiai jellemzői stb.

A keresztezesek veszélyességének meghatározása során: 446 db I., 978 db II., 1286 db III., 284 db IV. veszélyességi csoportba tartozó keresztezést lokalizáltak országos szinten. [58]

A holtmedrek keresztezése (65. ábra) országos program keretén belül 1983-ra a Körösök fővédvonalait teljes egészében felderítették, ahol a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság területén 423 darab holtmeder-keresztezést lokalizáltak.



53. ábra A Sebes-Körös és holtmeder-keresztezéseinek egymásra halmozott térképe [59]
(készítette: a szerző)

A holtmedrek keresztezési helyeinek lokalizálására és rendszerezésére, különböző évszakokban készült légi fotókat készítettek, valamint topográfiai térképeket használtak fel.

A mezőgazdasági területeken a vegetációs időszakon kívül, valamint csapadékosabb időjárások során jobban lokalizálhatók voltak a holtmedrek helyei.

A keresztezések helyeit légi felvételek, valamint infra távérzékelési eredmények értékelése alapján lokalizálták, majd veszélyességi szempontok szerint rangsorolták őket:

1. Talajmechanikai feltárás nélkül morfológiai (ideiglenes) minősítés alapján:

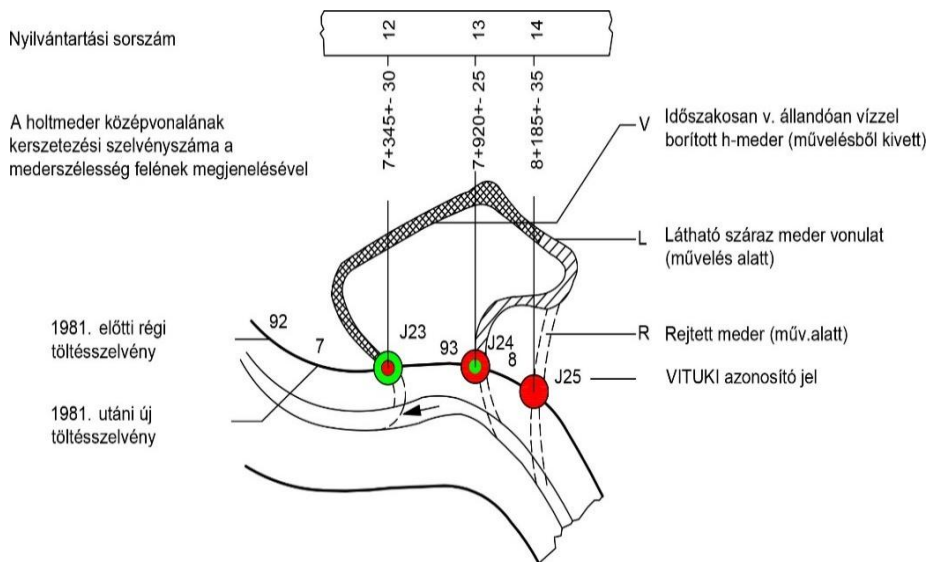
A minősítés pontozással történt, ahol a töltés és az ősmeder keresztezését vizsgálták az alapján, hogy a töltés az ősmeder homorú, domború vagy esetleg egyenes partját metszi, valamint ellenőrizték a beszivárgási hely és a töltéstengely közötti távolságot is.

A pontozások kiértékelése alapján négy különböző osztályba sorolták ideiglenesen a keresztezéseket.

2. Talajmechanikai feltárás utáni talajmechanikai (végleges) minősítés:

A talajmechanikai fúrások eredményei alapján I.-III. veszélyességi fokozatba sorolták a keresztezéseket.





A keresztezések minősítését a 66. ábra, a pontozások kiértékelésének minősítését a 67. ábra mutatja be.






54. ábra Holtmedrek minősítése [60]
 (forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
 (készítette: a szerző)

HOLTMEDER KERESZTEZÉSEK MINŐSÍTÉSE

a, talajmechanikai feltárás nélküli morfológiai (ideiglenes) minősítés (VITUKI)

-  I.o. fokozattan veszélyes
-  II.o. fokozattan veszélyes
-  III.o. fokozattan veszélyes
-  IV.o. fokozattan veszélyes

b, talajmechanikai feltárás utáni talajmechanikai (végleges) minősítés

-  I.o. fokozattan veszélyes
-  II.o. fokozattan veszélyes
-  III.o. fokozattan veszélyes

55. ábra Keresztezések minősítése [61]
 (készítette: a szerző)

A holtmeder-keresztelés az árvízvédelmi jelenségek kialakulásának egyik gyakori veszélyforrása. Ezek a medrek rendszerint valamilyen terepmélyedéssel kapcsolatosak, azonban nem minden terepi mélyvonulat jelenthet holt medret, valamint nem csak kizárólag holtmedreknél alakulhat ki árvizes jelenség.

A Vízügyi Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) 1980-as, altalajokra vonatkozó kutatásai alapján a holtmedrektől függetlenül számos nem kellő biztonsági tényezőjű (NKBT) töltésszakaszokat határoztak meg geoelektromos mérés/szondázás és talajmechanikai fúrások eredményeinek együttes kiértékelése alapján.

Ezen szakaszok sajátossága, hogy vagy a töltéstest vagy/és az altalaj számított állékonysága nem felel meg a szabvány által megkívánt értéknek.

Árvízvédelmi töltésekbe az elmúlt időszakban számos beavatkozás történt (drénszivárgók, megcsapoló kutak, fóliaszigetelések, résfalak, szádlemezverések) az árvizes jelenségek megakadályozására és egyben a töltések állékonyságának növelése érdekében.

Töltésrepedés

A töltések repedése (68. ábra) évek óta az árvédelmi földművek egyik sarkalatos hibája. A repedések keletkezése, helyének megismerése, a várható káros hatások csökkentése a védekezésre való felkészülés fontos eleme. Különösen fontos probléma a repedések megjelenése, vagy megléte árvíz alatt.-A töltésrepedések kialakulásának leggyakoribb három oka a zsugorodási repedés, árvízen kívüli időben; kezdődő suvadás húzási repedés; duzzadási repedés, árvíz alatt.

A Körösök völgyében a töltésbe építve sok helyen található kötött, kövér agyagok, melyek áteresztő képessége kicsi, a vizet lassan veszik fel, de a vízfelvétel folytán megduzzadnak, majd a víz lassú leadása után hasábosan repedezetté válnak. A duzzadás hatására a kötött rétegen fekvő, későbbi beépítésű rétegekben is repedések, lazulások keletkeznek. Ezek a repedések gyakran a töltéstengellyel parhuzamosan, akár több száz méteres összefüggő járatokká is alakulhatnak. [62]

A	B
---	---



56. ábra Töltésrepedések
 (forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
 (készítette: a szerző)

A repedések a víz felvételekor sem záródnak teljesen össze, így a későbbi árvizek alkalmával a repedések koncentrált vízmozgás kialakulását okozhatják, mivel a repedések létrejöttével megszűnt a töltés anyag folytonossága, ami pedig a suvadás kialakulását könnyítheti meg.

A töltésrepedés olyan jelenség, mely árvíz nélkül is kialakulhat. Az időjárás hosszú száraz periódusa során is kialakulhat töltésrepedés, melyek a földmű állékonyságát veszélyeztetik.[62]

Az árvízvédelmi töltésekben elsősorban hosszirányú repedések alakulnak ki, de a zsugorodás térfogati jellemző ezért keresztirányú repedések is kialakulhatnak.

A töltés repedések kialakulásának legfőbb okai, hogy a talajt a 19. és a 20. században végzett földmunkánál nem történt kellő mértékű tömörítés, így sok hézag maradt benne; továbbá hogy a töltéseket magas víztartalmú anyagokkal építették meg, így a töltések kiszáradásakor jelentősen zsugorodtak.

Árvíz ideje a védekezés szempontjából az alábbi repedéseket különböztetjük meg:

- beavatkozást nem igénylő repedés: **duzzadási repedés**, mely nem igényel azonnali beavatkozást, ellenben folyamatos megfigyelést igen, mert a repedésben kialakuló víznyomás suvadás kialakulásához vezethet.
- azonnali beavatkozást igénylő repedés: **kezdődő suvadás** (rézsúcsúzás vagy altalajtörés) húzási repedése, ami azonnali intézkedést, beavatkozást igényel.

Duzzadási repedések olyan töltéseknél alakulhat ki, ahol erősen kötött talajú agyag található a töltés belsejében, mely a hosszan tartó árvíz hatására megduzzad és így a töltés külső részét

szétfeszíti. Árvíz ideje alatt a levonuló árvíz során az apadó ágnál is elfordulhat repedés, melyek a víz oldali részsűn megjelenő **húzási repedés**. Hosszantartó magas vízállást követően intenzív apadás hatására alakul ki. [62]

Az árvízvédelmi töltésekben bekövetkező károsodások közül az egyik legveszélyesebb a *Suvadás vagy rézsűcsúszás (69. árba)*, ami az árvízvédelmi töltés megcsúszását jelenti.



57. ábra A, Töltéscsúszás a Hármas-Körös jobb part 0+500 tkm szelvényben 2006; B, Tarpai rézsűcsúszás 2001 [6]

Ha a töltésben és a vele együtt dolgozó altalajban kialakulni képes bármely folytonos felület mentén önsúly és a többletterhelések hatására kialakuló nyírófeszültségek elérik a felület által átmetszett talajok eredő nyírószilárdságát (nyírási ellenállását), talajtörés jön létre, és a földtömeg ezen folytonos felület(-ek) (csúszólap(-ok)) mentén lecsúszik. [62]

5.3. Az árvízvédelmi jelenségek és kialakulásuk

Az árvíz az árvízvédelmi töltést, mint védvonalat négyféleképpen gyengítheti, illetve teheti tönkre:

- töltést alulról megkerülve, az altalajon át a mentett oldalra törve;
- töltés testen át vagy a víz oldalt megbontva;
- mentett oldalról;
- töltés koronánál magasabbra emelkedve, azon átömölve.

Az árvízvédelmi töltéseken a vízterhelés, mint igénybevétel mechanikai (hullámzás, átbukó víz) hatásokat, valamint belső szerkezeti (szivárgási, átázási) hatásokat idéznek elő. Ezen hatások mint igénybevételek különböző árvízvédelmi jelenségek kialakulását eredményezik, melyeket a töltéstre és az azzal együtt dolgozó altalajra ható igénybevételek és a talajok belső ellenállásai határoznak meg.

Az igénybevételek lehetnek:

- külső víz nyomása,
- a töltéstartest belsejében kialakuló víznyomások,
- a fedőréteg, illetve átmeneti rétegre ható felhajtó erő,
- az esetleges statikus és dinamikus terhelések (a tárolt anyagok, a jáművek okozta terhelés, a cölöpözés, a szádfalazás dinamikus hatásása).

A kialakuló jelenségeket az altalaj és a töltéstartest ellenállása határozza meg, mely függ a talaj vízfelvételi mértékétől, a belső surlódásától, kohéziótól, nyírószilárdságtól, valamint a talaj vízáteresztő képességétől.

A víznyomás hatására a töltéstartestben és az altalajban alakulhatnak ki jelenségek, melyek a következők lehetnek:

A töltéstartestben végbemenő folyamatok:

- átázás,
- szivárgás (rétegszivárgás, talpszivárgás, kontúrszivárgás),
- csurgás,
- duzzadás, zsugorodás, repedés,
- rézsúhámítás (esetleg csúszás),
- a töltéstartest erózió, megfolyósodás

Az altalajban kialakulható jelenségek pedig:

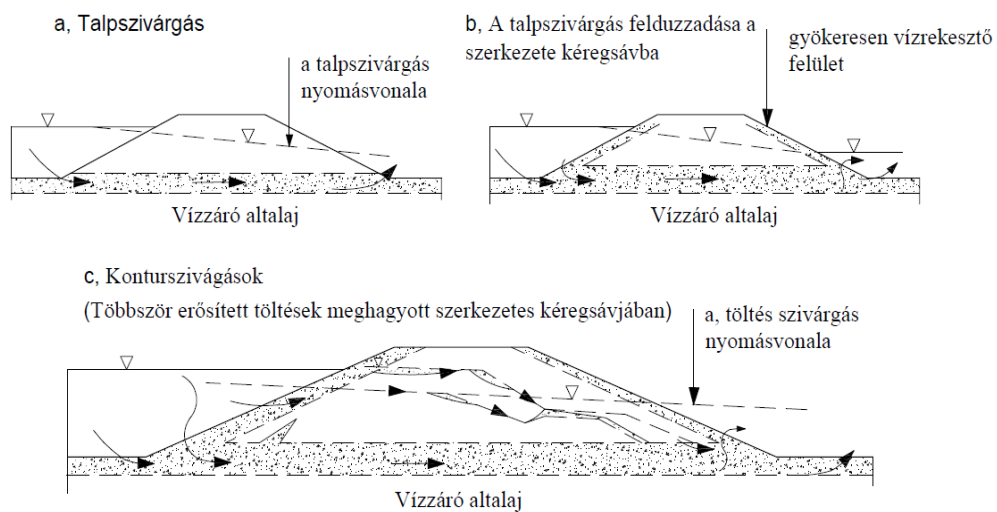
- fakadóvíz,
- csurgás,
- a mentett oldali talaj felpuhulás,
- szikes fedő megfolyósodás,
- fedőréteg felpúposodás,
- fedőréteg felszakadás,
- talajforrás (törpe buzgár),
- valódi buzgár,
- hidraulikus talajtörés

Szinte minden egyes árvíznél kialakulhat a szivárgás és csurgás, melyeket az alábbiak szerint különböztetünk meg. [63]

Szivárgások

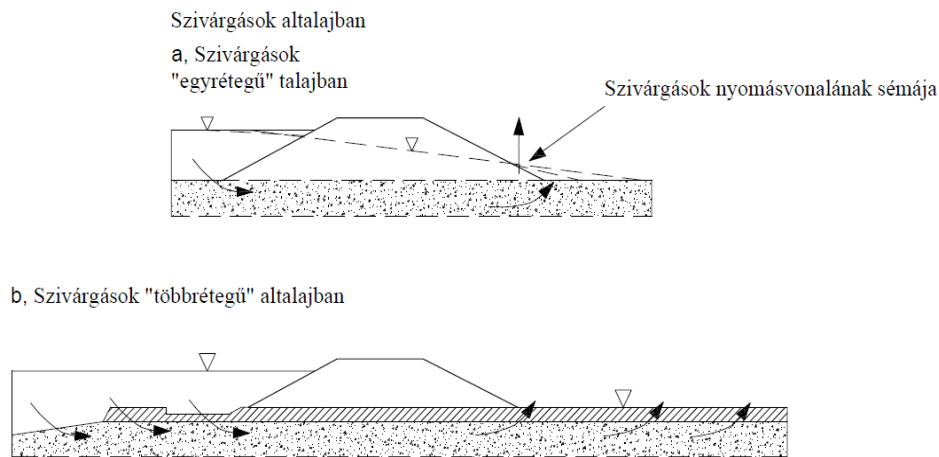
Rétegszivárgás

Az egymásra halmozott, rétegzett töltésben az átázási jelenségek gyakori megjelenési formája a rétegszivárgás, amikor a szivárgás egy olyan rétegben indul meg melynek jobb a vízvezető rétege, vagyis a szivárgási tényezője (70. ábra). A rétegzett töltéstestben olyan szivárgások is kialakulhatnak, mikor a szárazt rétegek közötti réteg telítődik meg vízzel és a benne fellépő víznyomás meghaladja a felette és alatta lévő rétegekben kialakult értéket és megindul a szivárgás. Talpszivárgás a rétegszivárgásnak egy különleges esete, amikor a töltés alapozásában szivárgás alakul ki. Kialakulásának oka a humuszos fedőréteg eltávolításának hiánya, valamint a nem megfelelően tömörített első réteg. Kontúrszivárgás az árvízvédelmi műtárgyak, földben haladó keresztezések vagy töltésépítési fázisok felületén kialakuló szivárgás. [64]

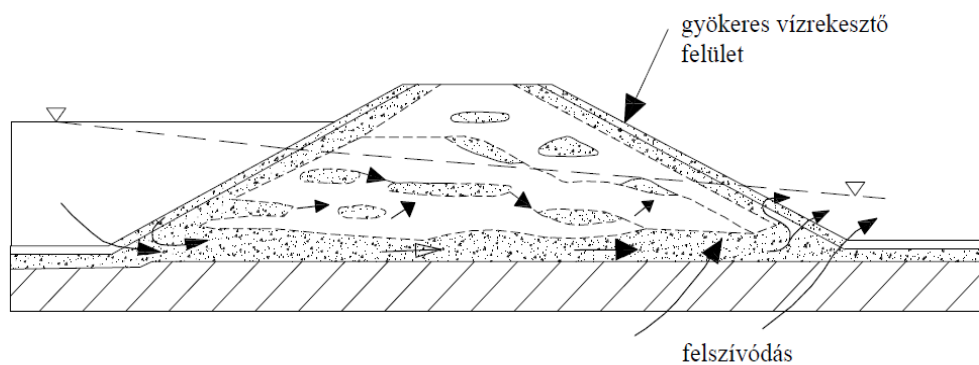


58. ábra Szivárgások heterogén anyagú töltésekben [65]

Altalajszivárgás (71. ábra) esetében a vízvezető altalajban, vagy vízvezető réteget tartalmazó altalajban intenzív szivárgás indul meg árvíz idején a mentett oldal felé, ahol a legnagyobb víznyomás jelentkezhet.



71. ábra Szivárgások altalajban [65]



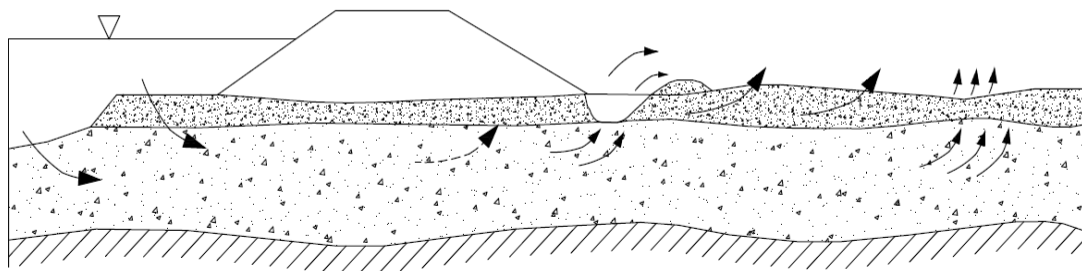
59. ábra Összetett szivárgások heterogén anyagú (járatos) töltésekben és altalajban [65]

Fakadóvíz az altalaj természetes szivárgásának eredménye (72. ábra), mely árvízi víznyomás hatására először a mentett oldal mélyedéseit tölti fel, majd összefüggő vízfelületet képez. Csurgások az árvízvédelmi töltés mentett oldalán az árvízi terhelés hatására megjelenő koncentrált, tisztavízű vízkifolyás, mely során valamilyen járat alakul ki a mentett oldal felé a töltéstestben. A csurgások kialakulásának klasszikus este a féregjárat.

Talajforrások kialakulása kétrétegű altalajok esetén – amennyiben a víztartó réteg (kavicsos/durva homok) felett homokos fedőréteg található – az intenzív felszivárgás és a szerkezeti fellazulás az egyrétegű altalajokra jellemző módon megy végbe.

A víztartó rétegből érkező szivárgás a fedőréteg teljes szelvényében fellazulást okozhat. A kilépési sebesség növekedésével lokálisan megindul a szemcsék lebegtetése, ami talajforrás (buzgár) kialakulásához vezet.

Buzgárosodás (többrétegű altalajban)



60. ábra Talajforrás (buzgárosodás) [65]

Kétrétegű altalaj esetén a horizontális vízmozgás a vízvezető rétegre korlátozódik, így a mentett oldalon a víz függőlegesen tör fel a homokos fedőrétegen keresztül. Ebben a rétegrendben a kilépési gradienst nem a töltés alatti áramlás, hanem a fedőréteg alatti víznyomás (felhajtóerő) és a rétegvastagság aránya határozza meg. Amennyiben ez az érték meghaladja a fedőréteg kritikus gradienst, a vízvezető réteg állapotától függetlenül bekövetkezik a talajforrás (73. ábra) (buzgárosodás).

A mentett oldali buzgár csak akkor veszélyezteti a töltés állékonyságát, ha a folyamat a vízvezető rétegre is áttér. Ha a vízvezető réteg szivárgási hossza megfelelő, ez nem következik be. A biztonsági sávon kívüli buzgároknál ezért elegendő a szemcseelszállítás megakadályozása a kialakult egyensúly fenntartásához.

Kritikus veszélyt a töltéslábnál megjelenő talajtörés jelent: itt a víz a töltéstalp alól kimoshatja az anyagot, ami a szivárgási út lerövidüléséhez és a folyamat vízvezető rétegre való gyors, hátráló kiterjedéséhez vezet.

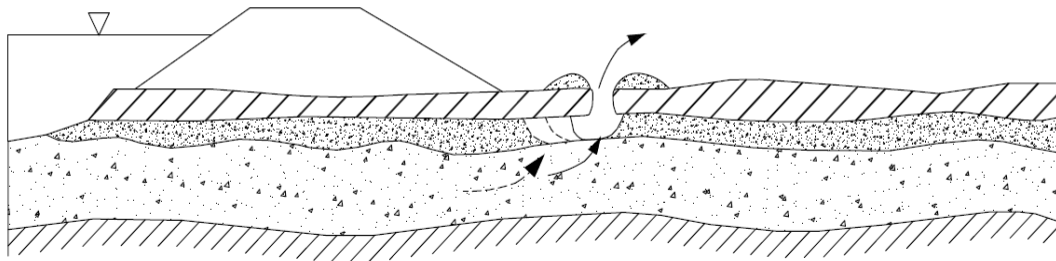
A valódi buzgár a háromrétegű altalajok (vízvezető réteg, finom homok átmeneti réteg és kötött fedőréteg), illetve a kötött réteggel fedett, heterogén szemmegoszlású, erősen járatos vízvezető rétegek jellemző jelensége. Keletkezési mechanizmusa hasonlít a törpebuzgárhoz, ám lefolyása és veszélyessége alapvetően eltér attól.

A valódi buzgár folyamatát a vízvezető rétegben fellépő nyomás indítja el: a víz a kötött fedőréteg folytonossági hiányain keresztül tör a felszínre, miközben magával sodorja az átmeneti réteg vagy a járatos szakaszok finomabb szemcséit.

Háromrétegű altalaj esetén a bőséges vízutánpótlás és a rövid szivárgási út miatt a sebesség nem csökken, így a kisodródás folyamatos marad. Emiatt a fedőréteg alatt kezdetben sugárirányban növekvő üreg alakul ki. Kedvezőtlen rétegződés vagy a vízoldal közelsége esetén ez az üreg hátrálni kezd a töltés felé. Ez a folyamat önmagát gerjeszti: a szivárgási út

rövidülésével a víz sebessége tovább nő, amíg a buzgár el nem éri és alá nem üregeli a töltést, vagy az altalaj teljes szerkezeti törését nem okozza.

Valódi buzgár (háromrétegű altalajban)



61. ábra Valódi buzgár (háromrétegű altalajban) [65]

A valódi buzgár (74. ábra) a védművek legveszélyesebb jelensége. Egy kritikus árvízszint elérésekor – amint a kilépő víz sebessége képes megbontani az átmeneti réteg anyagát – a folyamat hirtelen indul meg és gyorsan eszkalálódik. Mivel a hátráló erózió üteme kiszámíthatatlan, azonnali beavatkozás nélkül a jelenség rövid időn belül töltésszakadáshoz vezethet.

A buzgár rendszerint ott tör fel, ahol a változó vastagságú kötött fedőréteg vagy az átmeneti réteg a legvékonyabb, illetve ahol a vízvezető réteg járatai a felszín közelébe érnek. Kialakulásához elengedhetetlen, hogy a víz valamilyen folytonossági hiányon (például gyökérmomokon vagy féregjáratokon) keresztül koncentráltan törhessen utat magának. Emiatt a buzgárok megjelenése esetleges: a pontos helyszínt a fedőréteg rejtett járatainak elhelyezkedése határozza meg.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a száraz időszakot követő árvizek idején – a fedőrétegben lévő nyitott járatok miatt – jóval több buzgár alakul ki, mint csapadékos időben, amikor a duzzadás hatására ezen utak nagy része lezárul (ezt igazolják az 1954–55-ös felső-dunai árvízi statisztikák is). Bár a folyamathoz minden esetben háromrétegű altalaj szükséges, a vízszállító réteg anyaga nem korlátozódik kizárólag kavicsos homokra.

5.4. Árvízvédelmi jelenségek elleni védekezés

A levonuló árhullámok során a védműveken árvízvédelmi jelenségek alakulnak ki, mely jelenségek próbára teszik a szakemberek felkészültségét a védekezési időszakban. A jelenségek elleni védekezést csak az elméletben és gyakorlatban megfelelően felkészült védekező

személyzet tudja elvégezni, hiszen ők tudják a segéderőt megfelelően irányítani a sikeres védekezés érdekében. Az árvízvédekezés mindig megkívánta azon szakemberek szakmai tudását, akik már kellő tapasztalattal rendelkeztek nem csak elméleti hanem gyakorlati szinten is, hiszen az elméleti tudás gyakorlattal párosulva már számos alkalommal sikeresnek bizonyult a védekezés érdekében.

A gyakorlati tudások elsajátítására a magyarországi vízügyi szakágazatban a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság területén, Szolnokon lévő Milléri szivattyútelep és zsilip közelében került megvalósításra a „Karcagi Gábor Árvízvédelmi Gyakorlópálya” nevű oktatási központ. A gyakorlópálya (75. ábra) az „Árvízvédelmi védvonalak mértékadó árvízszintre történő kiépítése, védvonalak terhelésének csökkentése a Közép-Tiszán a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területén” című, KEHOP-1.4.0-15-2015-00008 azonosító számú projekt keretein belül valósult meg. [66] [67]



*62. ábra Milléri Karcagi Gábor gyakorlópálya madártávlatból
(forrás: Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság)*

A tanpálya legfontosabb létesítménye az egyedi, hatszög alakú árvédelmi töltés, amit egy kisebb övgát és egy szivárgó övcsatorna vesz körbe. A hatszög alakú medencét két víztestre választja egy vasbeton fal, aminek felső részén egy korláttal ellátott járófelület szolgál a gyakorlatok irányítására, illetve itt található a szabályozó ill. működtető mágnesszelepek is, melyek segítségével különböző gyakorlatokhoz, árvízi jelenségek szimulálásához szükséges vízmennyiséget szabályozhatjuk. [66]

A gyakorlópálya főbb létesítményei:

- Vízkivételi szivattyúállás.
- Kiszolgáló rész: parkoló, raktár, anyagdepó.
- Övások és övgát.
- Hatszög alakú árvízvédelmi töltés, zsilip.
- Az I. és II. medence, elválasztó vb. fal, mely a töltések által körülzárt teret két medencére osztja.

A gyakorló pályára főbb paramétereit az alábbi 26. táblázat mutatja be:

A gyakorló pályára főbb paramétereit	
Teljes átmérő:	86,84 m
Hatszög alakú töltés	31 m
Töltéskorona szél.:	5 m
Töltésrészsű:	külső: 1:3, belső 1:2
A töltéskorona szintjei és a töltés magasság:	
<u>I. medencénél</u>	
egy szakasz 84,83 mBf.	1,6 m
két szakasz 85,03 mBf.	1,8 m
<u>II. medencénél</u>	
mindhárom szakasz 85,43 mBf.	2,2 m
Töltéskorona hossza:	123,6m
Medence tér:	1200 m ³

26. táblázat A gyakorló pályára főbb paramétereit
(forrás: Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság)

A gyakorló pályán végrehajtható gyakorlat célja, hogy a védekezési időszakon kívül a képzésben résztvevők számára elméleti áttekintést és gyakorlatorientált képzés keretében alkalmat biztosítson a védekezési módszerek tervezési, szervezési és irányítási feladatainak elsajátításához. [66]

A gyakorlatok során a résztvevők két oktatási modult sajátíthatnak el, melyek közül az „A” a töltéskoronát meghaladó árvizek elleni védekezési módszerek, a „B” pedig az árvízi jelenségek kezelésének elsajátításával ismerteti meg a képzés alanyait.

A modulokra osztott képzési tematikát az alábbi táblázat (27. táblázat) mutatja be:

A gyakorlatok során elvégzendő feladatok:	
<u>A modul;</u> Töltéskoronát meghaladó árvizek elleni védekezési módszerek	<u>B modul;</u> Árvízi jelenségek gyakorlása elleni védekezési módszerek

<ul style="list-style-type: none"> • Nyúlgát építése homokzsákból • Nyúlgátépítése pallós megtámasztással • Mobilgát építése EUR raklapból • Árvízvédelmi fal építése IBS • Kulisszanyílás elzárása • Talpszivárgás bevédeése 	<ul style="list-style-type: none"> • Hullámverés elleni védelem • Védekezés elhabolt rézsű esetén • Védekezés árvízvédelmi zsilip kontúrszivárgása ellen • Védekezés csurgás ellen • Védekezés buzgár ellen • Védekezés mentett oldali suvadás, rézsűcsúszás ellen • Drénátemelő szivattyú telepítése • Víztelenítő szivattyú telepítése
---	--

27. táblázat A gyakorlatok során elvégzendő feladatok
(forrás: Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság)

A gyakorlópályán az alapvető árvízkarok elleni védekezés gyakorlati elsajátítására nyílik lehetőség, az építési és a bontási munkálatokat is beleértve. Ugyanitt lehetőség nyílik a sötétedést követő munkavégzés elsajátítására is, amely többnyire fénytornyok és vonalvilágító egység felállításával valósulhat meg. [66] [67]

A vízügyi szakágazat a gyakorlópálya használata érdekében oktatási tematikát dolgozott ki, amely során az árvízvédelmi feladatokat valóság-hű körülmények között lehet gyakorolni. Ebben a munkában is volt szerencsém részt venni, valamint oktatói tevékenységet is ellátni. Összefoglalóan elmondható, hogy a milléri gyakorlópálya nagy segítséget nyújt a szakember utánpótlás elősegítésében, hiszen a védekezéshez szükséges elméleti tudások oktatása már a vízügy megalakulása óta többször megtörtént, de a gyakorlati tudásokat ezidáig csak éles helyzetben lehetett elsajátítani. Véleményem szerint a gyakorlati tudás ez esetben nem csak a védekezés során szükséges jelenségek elleni védekezést jelenti, hanem egy-egy az adott helyen az adott időben a gyors helyzetfelismerés mellett a gyors döntéshozó képességet és az műszaki irányítási feladatokat is magába foglalja, ami közvetlen hatással van hazánk sikeres árvíz elleni védelmére.

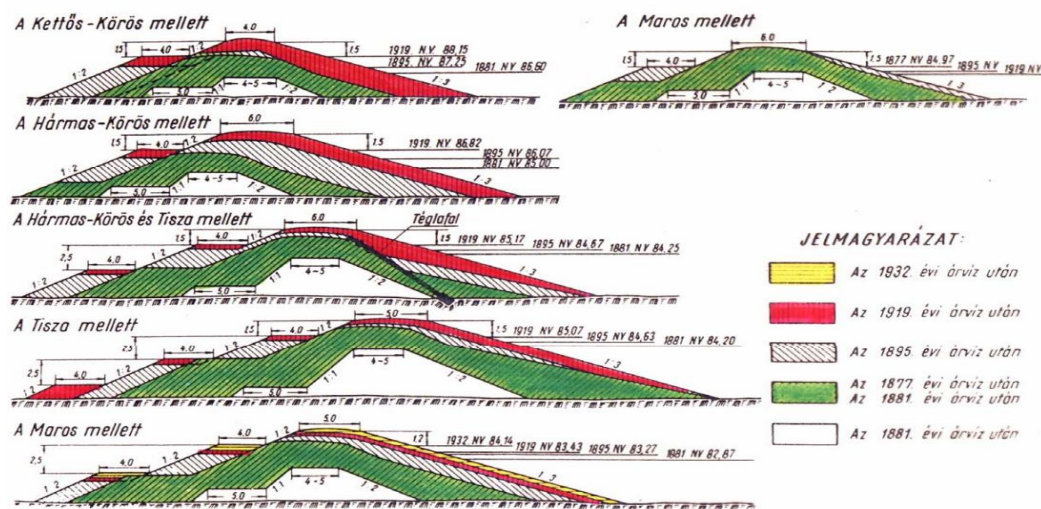
5.5. Árvízvédelmi rendszerek értékelése

Az árvízi védekezés kritikus pontja az árvízvédelmi töltések védelme. A töltéseken történő védekezés elsősorban a magassági hiány pótlásával történik, de tartós árvizek esetén a legnagyobb problémát – a magassági hiány után – az árvízvédelmi jelenségek okozzák. Ezek

azok a munkálatok, amelyekkel egy tartós árvíz vagy esetleg egy nem megfelelő (szerkezetű) töltésnél kialakuló jelenségek ellen kell fellépni.

Árvizes jelenségek kialakulása

A Körösök árvízvédelmi töltései kivétel nélkül anyagárokából, a kötött fedőrétegek anyagának válogatás nélküli felhasználásával épültek. Az '50-es évek előtt hasonló módon történtek a töltések többszörös megerősítései (76. ábra) is. Ebből az építési eljárásból következik, hogy a töltések belseje majdnem kivétel nélkül heterogén.



63. ábra Az árvízvédelmi töltések fejlesztése [68]

Árvízvédelmi jelenségek jelölése nyilvántartási tervben

Jelenségek nyilvántartása az 1970-es évektől

Az árvíz idején az állékonyságot veszélyeztető káros jelenségeket a 10/1997 KHVM rendeletben előírtaknak megfelelően jelzőzászlóval kell megjelölni. Ha a jelenség fokozott megfigyelést igényel, akkor sárga, ha azonnali beavatkozást igényel, akkor piros zászlóval kell ellátni az észlelt jelenség helyét.

Az észlelt jelenségek minden árvíz után az aktualizált árvízvédelmi tervbe nyilvántartásba kerülnek, a vízfolyás szelvéyszámával és az árhullám időszakával a 77. ábrán látható módon.

- Passzív (a szivárgó víz szivárgási térbe jutásának mérséklése/megakadályozása).

A védműveket a beépítés helye szerint az alábbiak szerint csoportosítjuk:

- töltéstbe épített mű: célja hogy a töltéstestben végbemenő szivárgási folyamatok ellen aktív vagy passzív módon védekezzünk;
- altalajba épített mű: célja hogy az altalajban végbemenő szivárgási folyamatok ellen aktív vagy passzív módon védekezzünk.

A beépített műtárgyak kategorizálását a 28. táblázat tartalmazza:

Töltéstestben		Altalaj	
Aktív	Passzív	Aktív	Passzív
Drénszivárgó Homokszivárgó Kőszivárgó Szivárgópaplan Kavicsszivárgófal	Résfal Szádlemez Fólia Szigetelőfal	Nyomáscsökkentő kút Galéria	Terhelőszőnyeg Résfal Szádlemez

28. táblázat: beépített műtárgyak kategóriái
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

A töltéstestben lejátszódó szivárgások elleni passzív védelem legelterjedtebb módja a szivárgásgátló fal építése a töltéstestben, mely lehet téglafal, résfal vagy akár szádlemez is. Ezen műszaki megoldásokat az alábbiakban kívánom röviden bemutatni és szemléltetni:

Szigetelőfalak a töltésekben

A szivárgások elleni védekezés gyanánt már a 1885-1914 között is épültek védművek a töltésekben. Ezen védművek a töltéstestben elhelyezett vízzáró téglafalak voltak, melyeket a Kettős-Körös jobb oldali töltésébe építettek be és ezen védművek akkoriban új megoldást jelentettek a 90%-os szikes anyagú talaj és a töltéstest átázása során kialakuló szivárgások és csurgások ellen.

A töltéskorrekció során feltárt, napjainkban mementóként meghagyott, szabadon lévő téglafal helye és jelenlegi állapota az alábbi képeken látható (79. ábra).



66. ábra Kettős-Körös jobb oldali árvízvédelmi töltése 18+350-18+600 tkm között feltárt tégla fal
(készítette: a szerző)

Önszilárduló résfalak

Kaparólánccal húzott résbe gravitációsan, illetve injektált módon juttatják a kötőanyagot a tervezett résfal különböző mélységű mezőibe ahol a talajjal összekeveredve önszilárduló módon résfallá (80. ábra) alakul. A résfal a vízszivárgásokat akadályozza meg.

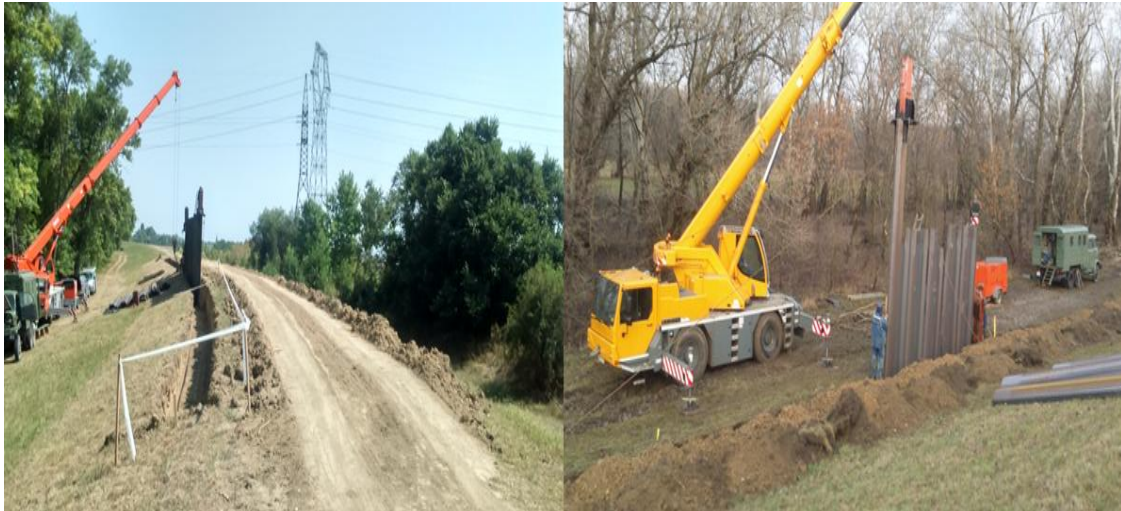


67. ábra Résfalépítés a Hármas-Körös töltésén
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

Szádlemezfal

A szádlemezfal (81. ábra) a vízszivárgásokat akadályozza meg úgy a töltéstartományban, mint az altalajban.

A jellemzően acél anyagú lemezeket jellemzően hidraulikus vagy pneumatikus verőfejjel juttatják a talajba.



*81. ábra Szádlemez építése a Hortobágy-Berettyó töltésén és töltéslábánál
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)*

Drénszivárgók (galériák)

Drénszivárgó a (82. ábra A) szivárgások elleni aktív védelem egyik módja, mely a töltéstartományban átszivárgó vizeket gyűjti össze az árvízvédelmi töltés mentett oldali töltéslábánál és vezeti el onnan egy szivárgócsatornába.

Az altalaj megcsapolása céljából készített drénszivárgó neve galéria.

A	B
---	---



68. ábra A, Drénszivárgó kivitelezése a Fekete-Körös mentett oldali töltéslábánál; B, Nyomáscsökkentő kút a Fehér-Körös mentett oldali előterén
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette: a szerző)

Nyomáscsökkentő kút

A nyomáscsökkentő kút (82. ábra B) olyan mentett oldali megcsapoló rendszer, mely az altalajból a vizet kivezetve lejjebb viszi a szivárgás nyomásveszteségi vonalát, ez által eltűrhető (veszélytelen) mértékűre csökkenti az altalajt terhelő felhajtóerőt a mentett oldalon.

A fenti védművek beépítettségét a KÖVIZIG védvonalai az alábbi 29. táblázat tartalmazza:

Védművek száma védvonalanként									
Kategória	12.01.	12.02.	12.03.	12.04.	12.05.	12.06.	12.07.	12.08.	Összesen
Passzív védelem töltésben	48	11	4	14	2	2	1	7	89
Aktív védelem töltésben	8	9	10	16	4	11	2	3	63
Passzív védelem altalajnál	0	0	0	3	0	1	0	0	4
Aktív védelem altalajnál	0	1	0	5	0	0	0	0	6
Összesen:	56	21	14	38	6	14	3	10	162

29. táblázat védművek beépítettségének kategóriák szerinti megoszlása védvonalanként
(készítette: a szerző)

A szivárgások elleni védelem legelterjedtebb módja a passzív védelem, mely a 162 védműből 89-et tesz ki (Résfalak, szádlemezek, fóliák és szigetelőfalak), melyek együttes hossza is a legtöbb.

A beépített műtárgyak védvonalankénti kategorizálását az alábbi 30. táblázat tartalmazza:

Védművek hossza (m)									
Kategória	12.01.	12.02.	12.03.	12.04.	12.05.	12.06.	12.07.	12.08.	Összesen
Passzív védelem töltésben	8352	3488	4290	4640	184	741	233	1362	23 290
Aktív védelem töltésben	2479	5215	5325	7485	526	4889	179	313	26 411
Passzív védelem altalajnál	0	0	0	340	0	85	0	0	425
Aktív védelem altalajnál	0	86	0	1093	0	0	0	0	1179
Összesen:	10 831	8789	9615	13 558	710	5715	412	1675	51 305

30. táblázat A beépített műtárgyak védvonalankénti kategorizálása
(készítette: a szerző)

Árvízvédelmi jelenségek a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság területén

A Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság vízgyűjtőjén (8 védvonalon) az elmúlt 57 évben 20 olyan árhullám vonult le, mely során árvizes jelenség alakult ki és azok adatai dokumentálásra kerültek.

A nyilvántartási adatok szerint ez idő alatt (57 év alatt) összesen 3798 jelenség került dokumentálásra, melyek összesen 1 283 806 méter tesznek ki a 8 védelmi vonalon.

Az adatokat védelmi szakaszonként az alábbi 31. táblázat tartalmazza.

Védvonal	57 év alatt a kialakult jeleségek hossza összesen (m)	57 év alatt a kialakult jeleségek száma összesen	A védvonal fajlagos jeleségek fajlagos hossza (m)
12.01	304 486	685	445
12.02	179 730	488	368
12.03	91 821	371	247
12.04	292 057	776	376
12.05	158 521	434	365
12.06	122 779	511	240
12.07	65 982	302	218
12.08	68 430	231	296

31. táblázat Árvízvédelmi jelenségek megoszlása védvonalaként
(készítette: a szerző)

A fenti táblázat (31. táblázat) adatai alapján az elmúlt 57 évben több mint 500 árvízi jelenséget regisztráltak a 12.04, 12.01 és 12.06 jelű védvonalakon. A jelenségek összesített hossza alapján a 12.01 és 12.04, míg a fajlagos hosszúság tekintetében a 12.01, 12.04, 12.02 és 12.05

védvonalak bizonyultak a legveszélyeztetettebbnek, ami jelentős kihívást jelentett a védekezés során. [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76]

Jelenségek kategorizálása

A jelenségek adatai külön dokumentálásra kerültek, melyek 5 fő csoportba kategorizáltam, melyek a következők:

- Töltéstartestben végbemenő szivárgás (szivárgás, csurgás, átázás)
- Töltéstartesten kívüli szivárgás (talpszivárgás, fakadóvíz, altalajfelpuhulás, talajforrás)
- Hullámverés (szél által kellett hullámverés elleni védelem)
- Buzgár (hidraulikus talajtörés)
- Töltésszakadás

Az eddig dokumentált jelenségek számának kategóriák szerinti eloszlását védvonalanként az alábbi táblázat (32. táblázat) tartalmazza:

Jelenség csoport	Árvízvédelmi védvonal								Összesen db.
	12.01.	12.02.	12.03.	12.04.	12.05.	12.06.	12.07.	12.08.	
Töltéstartestben kialakult szivárgások száma	108	117	51	135	113	140	40	40	744
Töltéstartesten kívüli szivárgások száma	558	369	318	600	295	324	262	178	2 904
Hullámverések száma	10	1	0	0	0	46	0	13	70
Buzgárok száma	9	1	2	39	17	1	0	0	69
Töltésszakadások száma	0	0	0	2	9	0	0	0	11
Összesen	685	488	371	776	434	511	302	231	3 798

32. táblázat Árvízvédelmi jelenségek kategóriák szerinti megoszlása védvonalanként (db.)
(készítette: a szerző)

A fenti 32. táblázat a védővonalakon kialakult jelenségek típusainak számát mutatja, ahol kimutatható, hogy a töltésen kívüli szivárgások (fakadóvíz, altalajszivárgás, talajszivárgás) száma volt a legmagasabb az egyes védővonalakon. Az adatsorokat megfigyelve megállapítható, hogy a 12.04, 12.01, 12.06. számú védővonalakon alakult ki a legtöbb jelenség. [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76]

A következő táblázat (33. táblázat) a jelenségek számának eloszlását mutatja be a védvonalak hossza szerint.

Jelenség csoport	Árvízvédelmi védvonal								Összesen (m)
	12.01.	12.02	12.03	12.04	12.05	12.06	12.07	12.08	
Töltéstartestben szivárgás (m)	30 755	44 221	9394	45 396	37 758	50 295	9994	4847	232 660
Töltéstartesten kívüli szivárgás (m)	269 737	135 358	82 425	246 395	119 400	58 923	55 988	61 169	1 029 395
Hullámverés (m)	3985	150	0	0	0	13 560	0	2414	20 109
Buzgár (m)	9	1	2	150	1363	1	0	0	1526
Töltésszakadás (m)	0	0	0	116	0	0	0	0	116
Összesen	304 486	179 730	91 821	292 057	158 521	122 779	65 982	68 430	1 283 806

33. táblázat Árvízvédelmi jelenségek kategóriák szerinti megoszlása védvonalanként (m)
(készítette: a szerző)

Az adatokat megvizsgálva látható, hogy a töltéstartesten kívüli szivárgások adják a legtöbb észlelt jelenséget, mind esetszámra, mind hosszra. [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76]

A fent bemutatott, dokumentált jelenségek az árvízvédelmi vonalak (töltések) állékonyságát gyengítik így az árvízi biztonságot veszélyeztetik, mely ellen védekezni szükséges.

A jelenségek elleni védekezések minden árvízvédelmi eseménynél minimum megfigyelést, de akár beavatkozást is igényel, melyhez igen nagy emberi és anyagi erőforrás szükséges.

A Körös-vidék árvízvédelmi töltései egy-egy árvizes esemény során fokozatosan ki vannak téve az árvizek áztató hatásának, melyek következményei a hidraulikus talajtörések és a szivárgással érintett kötött talajok nyírószilárdságának akár kritikus mértékig történő csökkenése és az emiatt kialakuló stabilitásvesztés (suvadás, töltésszakadás).

A szivárgásokat az időjárási körülményeken kívül (csapadék, hőmérséklet) a kialakult vízszint mellett az árhullám tartóssága (árvízi terhelés mellett eltöltött napok száma) is nagymértékben befolyásolja.

5.6. Összegzés és részkövetkeztetés

- A fejezetben elvégzett elemzések alapján megállapítom, hogy a Körös-vidéki árvízvédelmi rendszer működését és a védvonalak állékonyságát alapvetően az árvízi jelenségek típusa, gyakorisága és tartóssága határozza meg. A dokumentált adatsorok

egyértelművé teszik, hogy a töltésekben és az altalajban kialakuló szivárgási folyamatok jelentik a legnagyobb kockázatot, és ezek befolyásolják leginkább a védekezési igényeket.

- Megállapítom, hogy az árvízi jelenségek döntő része a töltéstesten kívül, az altalajban alakul ki (talpszivárgás, fakadóvíz, talajforrás), ami alátámasztja azt a gyakorlati tapasztalatot, hogy a rézsűn jelentkező felszíni tünetek csupán a mélyebb szerkezeti problémák felszíni megnyilvánulásai. A 57 év alatt rögzített 3798 jelenség közül a töltéstesten kívüli szivárgások messze a leggyakoribbak, és ezek okozzák a legtöbb hosszan elnyúló, nagy kiterjedésű beavatkozást igénylő problémát. Ebből arra következtetek, hogy a térségben az altalaji hidraulikai viszonyok jelentik a védelmi rendszer kritikus sebezhetőségi pontját.
- A vizsgált időszak alapján megállapítom, hogy a 12.01. és a 12.04. jelű védvonalak a leginkább terheltek – mind az előforduló jelenségek számát, mind azok hosszát tekintve –, és ezen szakaszok árvízi sérülékenysége kiemelkedő. Ugyancsak megállapítom, hogy a buzgárok megjelenése több esetben is ezekhez a védvonalakhoz köthető, ami azt mutatja, hogy a kritikus altalaji rétegek vastagsága és szemcseösszetétele ezen a térségen kedvezőtlenebb, és a hidraulikus talajtörés bekövetkezése gyakoribb veszélyt jelent.
- A gyakorlatban alkalmazott védekezési módszerek elemzése alapján rámutatok, hogy a korábbi árvízi eseményekből gyűjtött tapasztalatok egyértelműen igazolják: a védekezés hatékonyságát jelentős mértékben a helyszíni döntések gyorsasága és szakmai megalapozottsága határozza meg. Ennek megfelelően kiemelt jelentősége van a gyakorlatorientált képzésnek, amelyet a Milléri Karcagi Gábor Árvízvédelmi Gyakorló pályán végzett oktatások biztosítanak. Megállapítom, hogy a gyakorló pályán nélkülözhetetlen eleme a hazai árvízvédelem szakember-utánpótlásának és a védekezési tudás átadásának.
- Az árvízvédelmi védművek elemzése alapján igazolom, hogy a beépített műtárgyak többsége passzív szivárgásgátló megoldás (rézfal, szádlemez, fólia), ami arra utal, hogy a térségben elsősorban a szivárgások megakadályozása a cél, nem pedig azok biztonságos levezetése. Ugyanakkor a szivárgási adatok azt mutatják, hogy bizonyos helyeken aktív megoldásokra (drénszivárgó, nyomáscsökkentő kutak) is szükség van, különösen ott, ahol az altalaji felhajtóerő a töltés stabilitását veszélyezteti.

Összegzésként megállapítom, hogy a Körös-vidéki árvízvédelmi rendszer legnagyobb kihívását a heterogén szerkezetű töltések és az inhomogén altalaji viszonyok jelentik. A múltban

dokumentált jelenségek alapján igazolom, hogy a jövőbeni fejlesztések fő irányait a szivárgásbiztonság növelésének, a hidraulikus talajtörés elleni védelemnek, valamint a kritikus védvonalak megerősítésének kell meghatározni. A védekezési tapasztalatok, a jelenségek térbeli mintázata és a védművek állapota alapján kijelentem, hogy a rendszer megbízhatósága jelentős mértékben növelhető a célzott infrastrukturális beavatkozások, a korszerű műszaki megoldások és a továbbfejlesztett védekezési gyakorlat összehangolt alkalmazásával.

6. TELEPÜLÉSEK VESZÉLYEZTETETTSÉGE AZ ÁRVÍZVÉDELMI VÉDVONAL TÖNKREMENTELI VALÓSZÍNŰSÉGEK ALAPJÁN

6.1. Árvízi veszély és kockázati térképezés

Magyarország a 2004. évi Európai Unió csatlakozását követően, az Európai Parlament és a Tanács 2007/60/EK Irányelve az árvízi kockázatok értékelésének témakörét a tagállamokra egységesen kötelező jelleggel irányozta elő. Hazánkban a 178/2010. (V. 13.) Korm. rendelet a vizek többletéből eredő kockázattal érintett területek meghatározásáról, a veszély- és kockázati térképek, valamint a kockázatkezelési tervek készítéséről, tartalmáról írja elő, hogy előzetes kockázatbecslést, árvízi veszély- és kockázati térképeket kell készíteni, valamint az árvízi kockázatok kezelésére kockázat csökkentő intézkedéseket kell kidolgozni.

Magyarországon ez a munka az Országos Vízügyi Főigazgatóság koordinálása mellett 2010-ben kezdődött meg. Az Irányelv alapján, 2011-ben elkészült az előzetes kockázatbecslés, mely előzetesen kijelölte az árvízzel veszélyeztetett területeket. 2013-ban elkészült az előzetes kockázatbecslés, illetve a területi veszély- és kockázati térképek első változata. A tervezés során a vízügyi ágazat figyelembe vette a folyókon kialakuló vízszinteket, valamint az árvízvédelmi töltések meghibásodásának lehetőségeit is. Az ártéri öblözeti szintű veszélytérképek országos szinten aggregálásra kerültek.

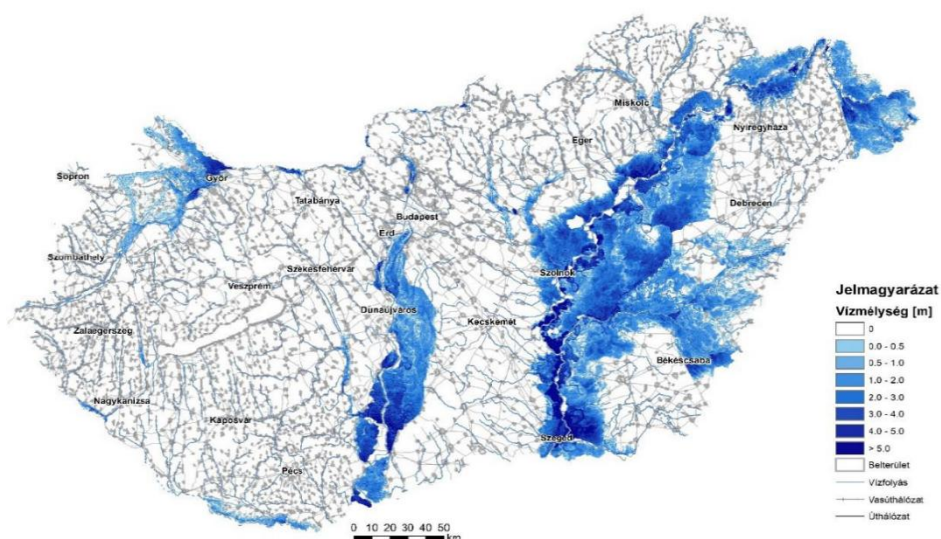
A vizsgált események köre a nagy valószínűségű (30 éves visszatérési idő), közepes valószínűségű (100 éves visszatérési idő), valamint az 1 ezrelékes előfordulási valószínűséghez tartozó árhullámokból keletkező bekövetkezhető töltésszakadások elöntési hatásaira terjedt ki. Az egyes veszélytérképek bemutatják a területek elöntésének, a kialakulható elöntési vízmélységek várható előfordulási valószínűségét, a kockázati térképek pedig megjelölik az elöntés által veszélyeztetett területeken a vagyoni, humán, ökológiai, örökségvédelmi kockázatokat. [77]

Az előirányzott intézkedések költségei, kockázatcsökkentő hatásai (vagyoni, emberi, kulturális, környezeti) mellett, közös szakértői munka során meghatározásra kerültek az egyes árvízi intézkedés típusok általános jellemzői, kiemelve az árvízvédelmi célját, a víztestre gyakorolt

előzetesen becsült kedvező és kedvezőtlen hatásait, valamint az esetlegesen szükséges hatáscsökkentő, kompenzációs lehetőségeket. Az Árvízi Kockázatkezelési Terv keretében elkészültek 151 ártéri öblözetre (4300 km védvonal által határolt, mintegy 36 000 km² területre, 1500 szakadási változat vizsgálatával), 109 kisvízfolyásra (2965 km hosszban) továbbá 3150 km hosszú folyószakasz menti nyílt ártérre, valamint a belvízzel veszélyeztetett területekre az ár-és belvízi veszély- és kockázati térképek. A munka további eredménye a korszerű egységes metodika alapján, a 72 ártéri öblözetre elkészített árvíz-lokalizációs terv. Magyarország Árvízi Országos Kockázatkezelési Tervét a Kormány 2016. március 25-én elfogadta. Az Árvízi irányelvben foglaltaknak megfelelően, a terveket 6 évente kell felülvizsgálni, amelyek 2021-re megújítva ismét elkészültek. [80]

Az Árvízi Irányelv és Lokalizációs tervek elkészítésében, koordinálásban és felülvizsgálatában a KÖVIZIG területére vonatkozóan szakágazati vezetőként vettem részt. Véleményem szerint a veszély és kockázati térképek és kockázatkezelési tervek felülvizsgálata tovább pontosította hazánk árvízvédelmi stratégiai irányait, mely módszertani szempontból három csoportra, előntési-, veszélyeztetettségi- és kockázati térképezésre osztva készültek el. Az ország területét 8 tervezési egységre bontva kerültek megvizsgálásra, ahol az érintett területekre meghatározásra kerültek a kockázatok, ahol kockázat alatt alapvetően a károk várható értékét értjük. A vagyoni kockázat a védett ártereken összegezve évente mintegy 159 milliárd Ft/év, a kisvízfolyásokra összegezve kb. 11 milliárd Ft/év, nyílt ártereken is több mint 5 milliárd Ft/év. [79]

A modellezés eredményei az öblözetenként és országos szinten is előálló előntési (83. ábra) térképek



83. ábra Az ártéri öblözetek országos maximális 1%-os (100 évente egyszer előforduló árvíz) elöntés térképe
(forrás: Országos Vízügyi Főigazgatóság)

Az öblözeti térképek sosem egy szakadás elöntését mutatják, hanem az összes elöntésre vonatkozó burkoló felületét és kumulált elöntési magasságát. Az elöntéstérképeket a felülvizsgálat során is három valószínűség szerint különböztetjük meg.

Az öblözeti elöntéstérképek összegzésével egyúttal lehatárolható országos szinten a potenciális maximum elöntés, amely az elvégzett munka egyik fontos részeredménye.

A szakadasonként előálló elöntéstérképek és a hozzájuk tartozó valószínűségek alapján előállíthatók a veszélytérképek. A veszélytérképek megmutatják, hogy különböző vízmélység kategóriában milyen valószínűséggel alakulhatnak ki elöntések. Így lehatárolhatóak a különböző veszélyeztetettségű területek. [78]

Töltésszakadások

Töltésszakadásnak nevezzük azt a folyamatot, ahol a töltés úgy megy tönkre, hogy annak folyamatossága megszűnik azzal, hogy egy nyílás alakul ki rajta, melyen az árvíz a mentett oldalt el tudja árasztani. A Körösök völgyében eddig 420 töltésszakadást jegyeztek fel [68], melyek közül az egyik legjelentősebb töltésszakadás az 1980-as Kettős-Körös töltésszakadás (84. ábra).



69. ábra Kettős-Körös jobboldali töltése 16+125 tkm szelvényben töltésszakadás
(forrás: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság)
(készítette Vízzy Zsigmond)

Árvízvédelmi töltéseknél a tönkremeneteli mechanizmusok a típusai a következők:

Hullámozás (elhabolás); magasságiány (töltésmeghágás); csurgás (járaton belüli elmosás); buzgár (hidraulikai talajtörés); suvadás (rézsúcsúszás); átvágás (külső behatás).

A tönkremeneteli mechanizmusok megismerése miatt fontos, hogy megtudjuk azokat az okokat amik miatt az adott töltések tönkremennek, valamint a tönkremeneteli mechanizmusok száma, arány fontos a töltésszakadások tönkremeneteli valószínűségének becsléséhez.

A tönkremeneteli valószínűség számítható egy keresztmetszetre, majd a keresztmetszetek alapján töltésszakaszra, védvonalra, vagy egy öblözetre.

A tönkremeneteli valószínűség becsléséhez a módszerek az alábbi 34. táblázatban találhatóak:

Tönkremeneteli mechanizmus	Alkalmazható becslési módszerek
<ul style="list-style-type: none">➤ Altalajtörés➤ Rézsúcsúszás➤ Meghágás➤ Hidraulikus talajtörés➤ Hullámozás hatása➤ Humán tevékenység➤ Töltés keresztezések (műtárgyak is)➤ Vízoldali elmosás➤ Diszperzív talaj➤ Földrengés hatása	<ul style="list-style-type: none">➤ Műszaki becslés➤ Megtörtént események statisztikája➤ Döntési fa alkalmazása➤ Monte-Carlo szimuláció➤ Számítás

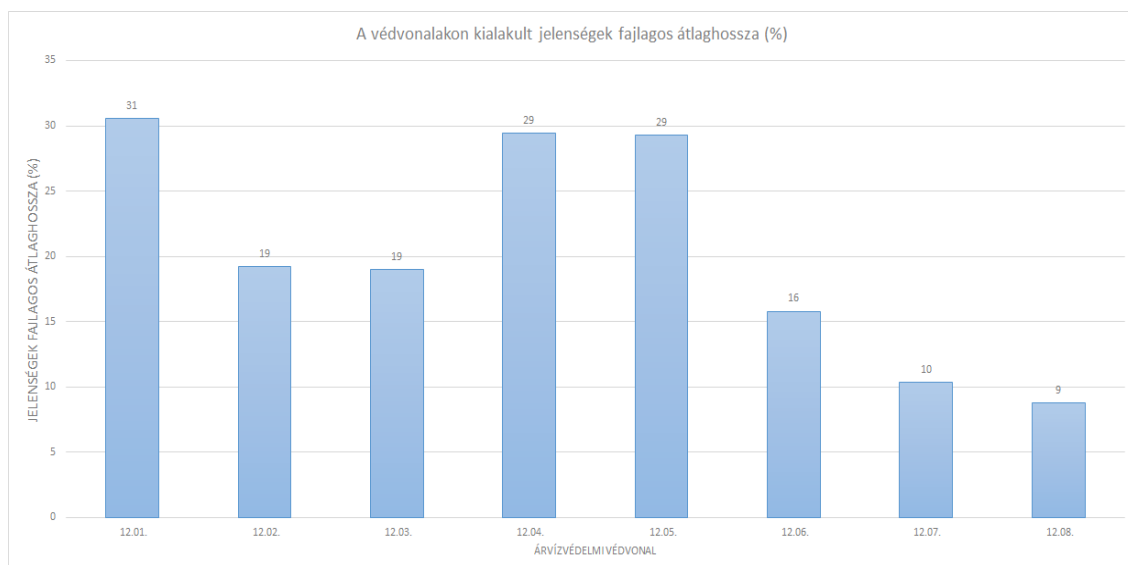
34. táblázat: Tönkremeneteli mechanizmusos és becslési módszerek
(forrás: Dr. Nagy L. Gátszakadások a kárpát-medencében) [114]

6.2. Az árvízvédelmi töltések tönkremeneteli valószínűsége, értékelése

A tönkremeneteli valószínűség becslését megtörtént események statisztikája alapján végeztem el, ahol az észlelt árvízvédelmi jelenségeket, mint a tönkremeneteli mechanizmusok eseményeit (adatait) dolgoztam fel és annak alapján határoztam meg egy-egy védvonalra.

A Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság védvonalain kialakult jelenségeinek adatai felhasználva a védvonalak veszélyességét és terheltségét az alábbi 85. ábra mutatja be, mint az árvízvédelmi jelenségek fajlagos átlaghosszát védvonalanként.

A fajlagos átlaghossz az eddig kialakult jelenségek átlaghosszának és a védelmi vonal hosszának százalékban kifejezett hányadosa.



70. ábra A védvonalakon kialakult jelenségek fajlagos átlaghossza (%)
(készítette: a szerző)

A grafikonból kiolvasható, hogy az eddig kialakult jelenségek szerint a 12.01 védvonal, vagyis a Hármas-Körös alsó szakasza a legterheltebb, melynek fajlagos átlaghossza 31%, majd a 12.04. Kettős-Körös és a Fekete-Körös védvonal követezik 29%-kal valamint a 12.05 Fekete-Körös és Fehér-Körös 29%-kal.

A 12.01. védvonalon a kiugró érték a Hármas-Körösön kialakuló tartós árvizekkel (2–12 hét, átlagos tartósság 37 nap) magyarázható (a Tisza visszaduzzasztó hatása miatt), mely során az árvíz védvonalat terhelő hatása miatt több jelenség alakulhat ki.

A 12.04. védvonalon a töltés talajtani adottságai játszhatnak szerepet a kialakuló jelenségek számában (árvizek átlagos tartóssága 21 nap). Már korabeli feljegyzések is igazolják, hogy ezen a védvonalon a töltés szikes talaja miatt sok általaj és töltésszivárgás alakult ki. Ezt igazolja az is, hogy első alkalommal itt védekeztek szivárgások ellen ahol is téglafalat építettek a töltéstestbe.

A 12.05. védvonalon a gyors áradó tendencia miatt kialakuló nagy vízoszlop miatt alakulhat ki sok jelenség (árvizek átlagos tartóssága 21 nap).

A védvonalakon kialakult jelenségek tartósságát, fajlagos átlaghosszukat figyelembe véve veszélyességi kategóriákat (fokozatokat) határoztam meg (35. táblázat).

A kialakult fajlagos jelenség hosszak %-os értékeket IV. kategóriába osztottam, kategóriánként 10 %-os növekedési lépcsővel, melyek az alábbiak:

Fajlagos jelenséghossz %	Kategória
1-10%	IV.
10-20%	III.
20-30%	II.
30-40%	I.

35. táblázat Fajlagos jelenség hossz kategóriák
(készítette: a szerző)

A védvonalakon kialakult jelenség hosszakból meghatározott fajlagos átlaghossz alapján kategorizáltam a védvonalakat az alábbi 36. táblázat szerint:

Védvonal	Jelenségek fajlagos átlaghossza %	Kategória
12.01	31	I.
12.02	19	III.
12.03	19	III.
12.04	29	II.
12.05	29	II.
12.06	16	III.
12.07	10	IV.
12.08	9	IV.

36. táblázat Védvonalak fajlagos jelenség hossz kategóriák
(készítette: a szerző)

A védvonalak további értékelését a jelenségek átlagos tartóssága alapján végeztem el, amire alapozva veszélyességi kategóriákat (fokozatokat) határoztam meg.

A kialakult jelenségek tartósságait figyelembe véve négy kategóriát hoztam létre, kategóriánként 10 napos tartósságnövekedési lépcsővel, melyeket az alábbi 37. táblázat mutat be:

Jelenségek tartósság (nap)	Kategória
1–10	IV.
10–20	III.
20–30	II.
30–50	I.

37. táblázat Jelenségek tartósságának kategóriái
(készítette: a szerző)

A védvonalakon kialakult jelenségek tartósságaiból meghatározott átlagos tartósságok alapján az alábbiak szerint (38. táblázat) kategorizáltam a védvonalakat:

Védvonal	Átlagos tartósság (nap)	Kategória
12.01	37	I.
12.02	25	II.
12.03	35	I.
12.04	21	II.
12.05	21	II.
12.06	44	I.
12.07	34	I.
12.08	38	I.

38. táblázat Védvonalak jelenségeinek tartóssági kategóriái
(készítette: a szerző)

A végvonalak végleges értékelését, a védvonalak veszélyességi kategorizálását a jelenségek fajlagos átlaghossz- és a tartósság szerinti kategória átlagolása alapján végeztem el az alábbi 39. táblázat szerint:

Védvonal	Jelenségek fajlagos átlaghossz kategória	Tartósság szerinti kategória	Védvonal vesz. kategória
----------	--	------------------------------	--------------------------

12.01	I.	I.	I.
12.02	III.	II.	II.
12.03	III.	I.	II.
12.04	II.	II.	II.
12.05	II.	II.	II.
12.06	III.	I.	II.
12.07	IV.	I.	III.
12.08	IV.	I.	III.

39. táblázat Védvonalak veszélyeztetett kategóriái
(készítette: a szerző)

Megállapítások

A fentiek alapján megállapítható, hogy a jövőbeni árvízi fejlesztések súlypontját a Hármas-Körösre kell helyezni.

A Hortobágy-Berettyó is nagy figyelmet igényel. Esetében tekintettel kell lenni speciális, ár- és belvíztározási funkciójára is.

A Kettős-Körös jobb parti védvonal '90-es években megkezdett, ám azóta megtorpant erősítési munkáit célszerű lenne befejezni, mert az elmaradások a minden szempontból terheltebb alsó szakaszt érintik.

6.3. Védvonalakon kialakuló szakadási változatok és elöntési térképek

A mentett oldali területeket az árvízvédelmi töltések védik az esteleges elöntésektől, ezért a mentesített területet azok szakadásából kiömlő eredő vizek veszélyeztethetik. A lokalizációs feladat végrehajtása során a Körösök völgyében (Fehér-Körös, Fekete-Körös, Berettyó, Sebes-Körös, Hármas-Körös, és a Hortobágy-Berettyó védvonalain) egy esetleges töltésszakadás esetén bekövetkező elöntéseket, azok hatásai kerültek meghatározásra. A veszélyeztetettség illetve az elöntés mértéke különböző szakadási helyek feltételezésével, az ott kiömlő víz területi elöntésének modellezésével, az adott szelvény magassági, keresztmetszeti kiépítési mértékét figyelembe véve kerültek meghatározásra. [89]

A KÖVIZIG területén hat árvízvédelmi öblözet található, melynek az igazgatóságot érintő (a Nagy-Sárréti és a Körös-Tisza-Maros közti öblözetek más igazgatóságok területeire is

áttérjednek) teljes területe 3089,7 km², összesen 314 350 lakos él rajta. A lokalizációs vizsgálatok során összesen 73 töltésszakadás hatása lett modellezve és értékelve [81] [82] [83] [84] [85] [86] [87] [88]

Az öblözetekhez tartozó veszélyeztetett területek és azokhoz tartozó szakadási számok, valamint az öblözetekhez tartozó lakosságok részletes adatait az alábbi 40. táblázat mutatja be:

Ssz.	KÖVIZIG öblözet	Az öblözet előntéssel veszélyeztetett területe (km ²)	Szakadások száma	Lakosság (fő)
1.	2.87. Nagy-Sárréti	1216	21	61 797
2.	2.91. Sarkadi	1077	24	45 269
3.	2.92. Remetei	87	9	3744
4.	2.93. Gyulai	101	3	30 865
5.	2.94. Békési	297	8	139 329
6.	2.95. Körös-Tisza-Maros közti	311,7	8	33 346

40. táblázat KÖVIZIG öblözetekhez tartozó adatok
(készítette: a szerző)

A szakadási helyek adatait az alábbi táblázatok (41., 42., 43., 44., 45., 46 táblázatok) és ábrák (86., 87., 88., 89., 90., 91. ábrák) szemléltetik öblözetenként:

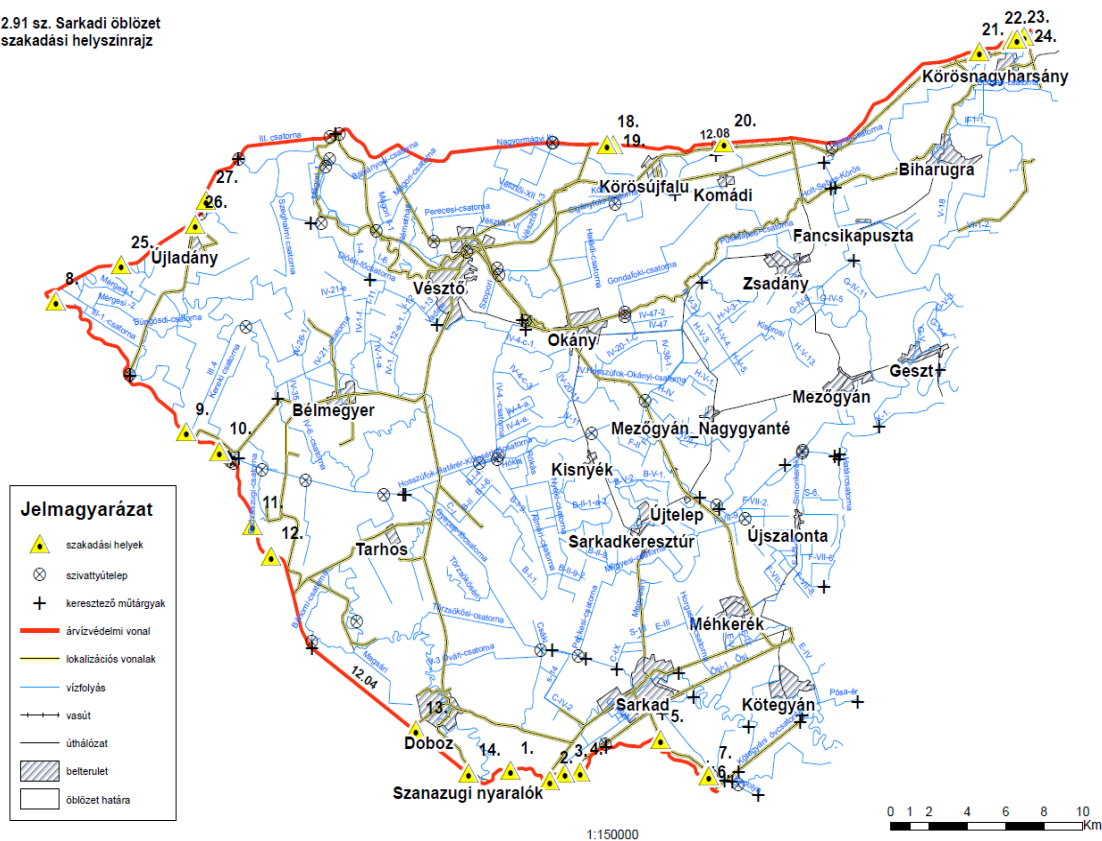
2.87. számú Nagy-Sárréti öblözet

2.87. számú Nagy-Sárréti öblözet szakadási változatok				
Sorszám	Változat száma	Kazetta száma	Árvízvédelmi töltés	Szelvény(tkm)
1.	16.	II.	Sebes-Körös jp.	1+690
2.	18.	III.	Berettyó jp.	3+646
3.	8.	I.	Hortobágy-Berettyó bp.	5+774
4.	19.	III.	Berettyó jp.	8+640
5-6.	17.	II.	Sebes-Körös jp.	10+100
6.	4.	III.	Hortobágy-Berettyó bp.	12+236
7.	20.	III.	Berettyó jp.	14+630
8.	21.	III.	Berettyó jp.	18+980
9.	5.	III.	Hortobágy-Berettyó bp.	27+155
10.	6.	III.	Hortobágy-Berettyó bp.	37+324
11.	7.	III.	Hortobágy-Berettyó bp.	42+385

9.	9.	II.	Kettős-Körös jp.	11+340
10.	10.	II.	Kettős-Körös jp.	13+525
11.	11.	III.	Kettős-Körös jp.	17+980
12.	12.	III.	Kettős-Körös jp.	19+900
13.	13.	III.	Kettős-Körös jp.	31+890
14.	14.	III.	Kettős-Körös jp.	35+350
15.	18.	I.	Sebes-Körös bp.	33+660
16.	19.	I.	Sebes-Körös bp.	33+980
17.	20.	I.	Sebes-Körös bp.	39+940
18.	21.	I.	Sebes-Körös bp.	54+890
19.	22.	I.	Sebes-Körös bp.	56+780
20.	23.	I.	Sebes-Körös bp.	57+030
21.	24.	VI.	Sebes-Körös bp.	57+440
22.	25.	V.	Sebes-Körös bp.	4+170
23.	26.	II.	Sebes-Körös bp.	8+618
24.	27.	II.	Sebes-Körös bp.	10+030

41. táblázat: 2.91. számú Sarkadi öblözet szakadási változatok [92]

2.91 sz. Sarkadi öblözet szakadási helyszínrajz



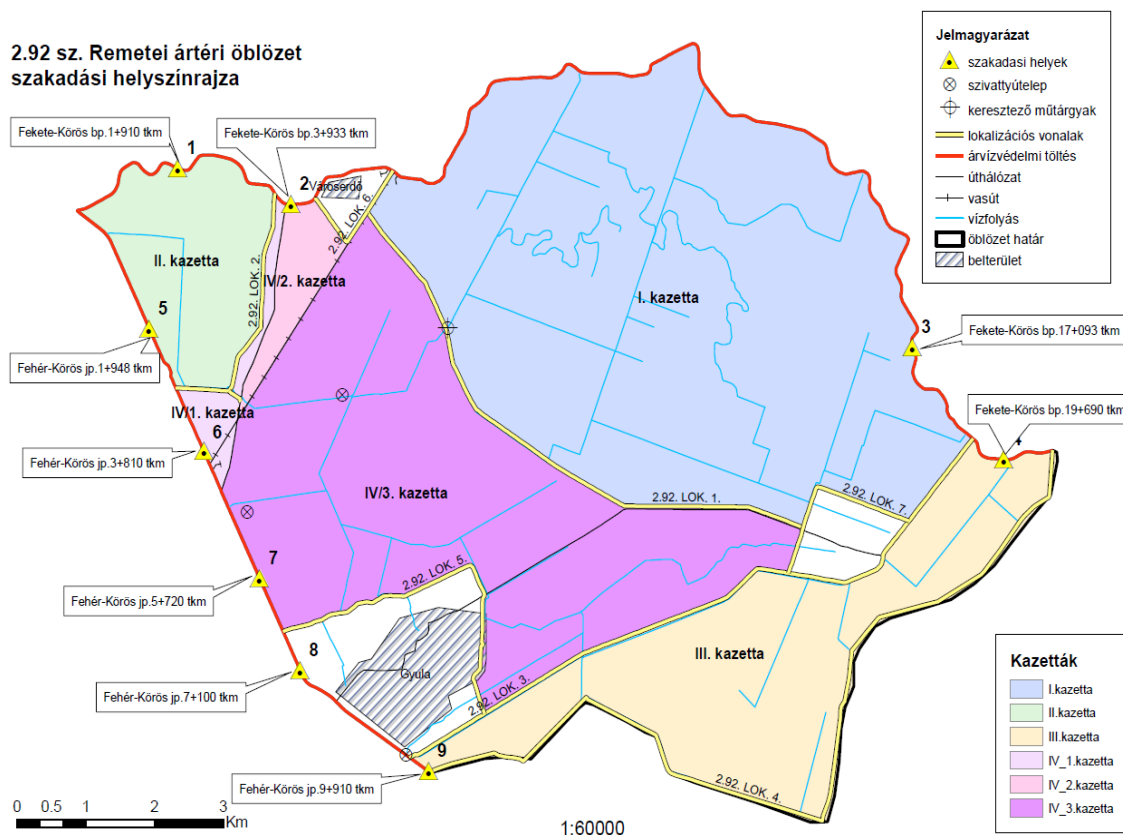
72. ábra: 2.91 sz. Sarkadi öblözet szakadási helyszínrajz [93]

2.92. számú Remetei árréti öblözet

2.92. számú Remetei árréti öblözet szakadási változatok

Sorszám	Változat száma	Kazetta száma	Árvízvédelmi töltés	Szelvény(tkm)
1.	1	II.	Fekete - Körös bp.	1+910
2.	2	IV/2.	Fekete - Körös bp.	3+933
3.	3	I.	Fekete - Körös bp.	17+093
4.	4	III.	Fekete - Körös bp.	19+690
5-	5	II.	Fehér - Körös jp.	1+948
6-	6	IV/1.	Fehér - Körös jp.	3+810
7.	7	IV/3.	Fehér - Körös jp.	5+720
8.	8	-	Fehér - Körös jp.	7+100
9.	9	III.	Fehér - Körös jp.	9+440

42. táblázat: 2.92. számú Remetei öblözet szakadási változatok [94]



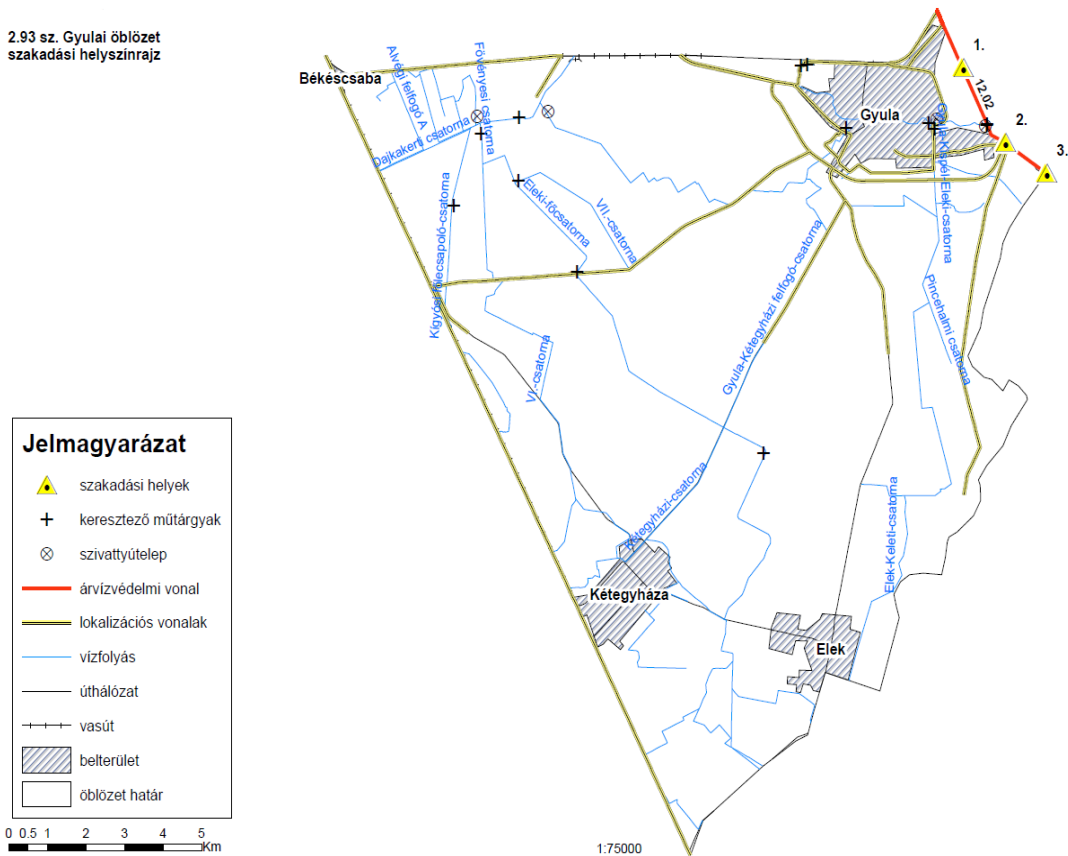
73. ábra: 2.92 sz. Remetei ártéri öblözet szakadási helyszínrajza [95]

2.93. számú Gyulai ártéri öblözet

2.93. számú Gyulai ártéri öblözet szakadási változatok				
Sorszám	Változat száma	Kazetta száma	Árvízvédelmi töltés	Szelvény(tkm)
1.	1.	-	Fehér-Körös	5+785
2.	2.	-	Fehér-Körös	7+981
3.	3.	-	Fehér-Körös	9+280

43. táblázat: 2.93. számú Gyulai öblözet szakadási változatok [96]

2.93 sz. Gyulai öblözet
szakadási helyszínrajz

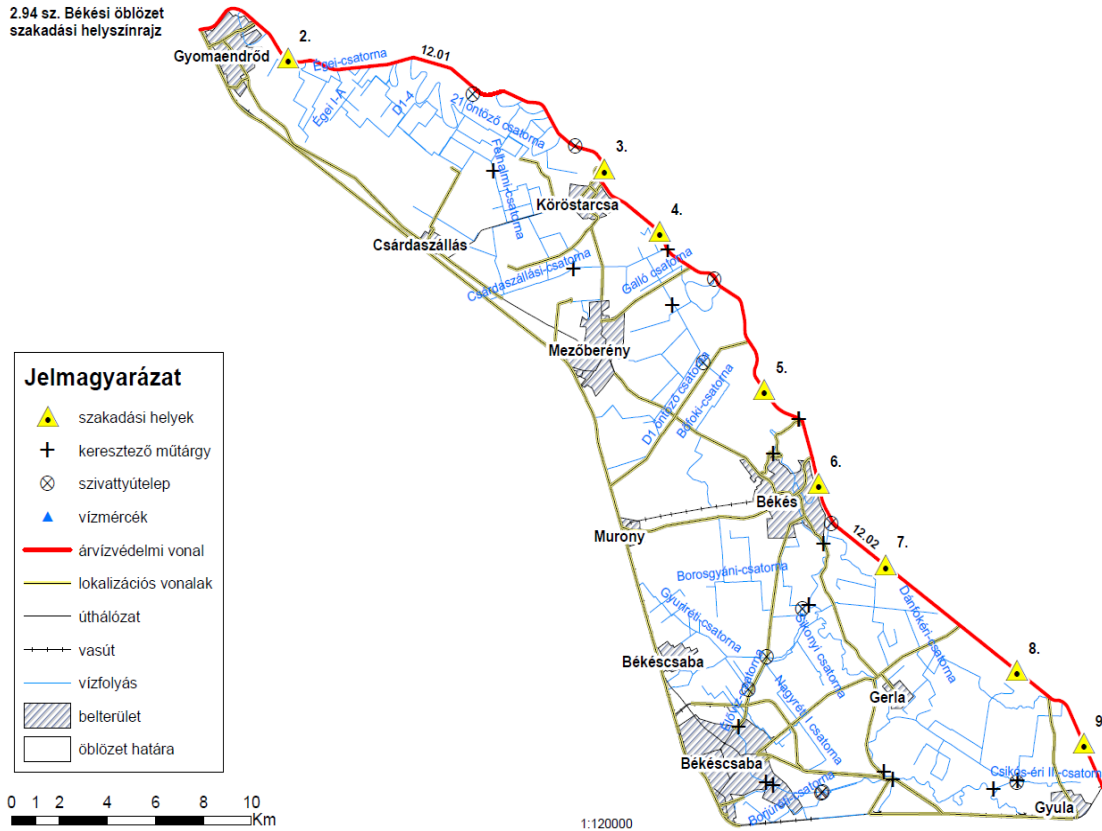


74. ábra: 2.93 sz. Gyulai öblözet szakadási helyszínrajz [97]

2.94. számú Békési árréti öblözet

2.94. számú Békési árréti öblözet szakadási változatok				
Sorszám	Változat száma	Kazetta száma	Árvízvédelmi töltés	Szelvény(tkm)
1.	9.	II.	Fehér-Körös bp.	2+424
2.	3.	I.	Kettős-Körös bp.	5+518
3.	4.	I.	Kettős-Körös bp.	9+222
4.	5.	I.	Kettős-Körös bp.	17+490
5.	6.	-	Kettős-Körös bp.	22+092
6.	7.	II.	Kettős-Körös bp.	26+453
7.	8.	II.	Kettős-Körös bp.	33+312
8.	2.	I.	Hármas-Körös bp.	75+465

44. táblázat: 2.94. számú Békési öblözet szakadási változatok [98]

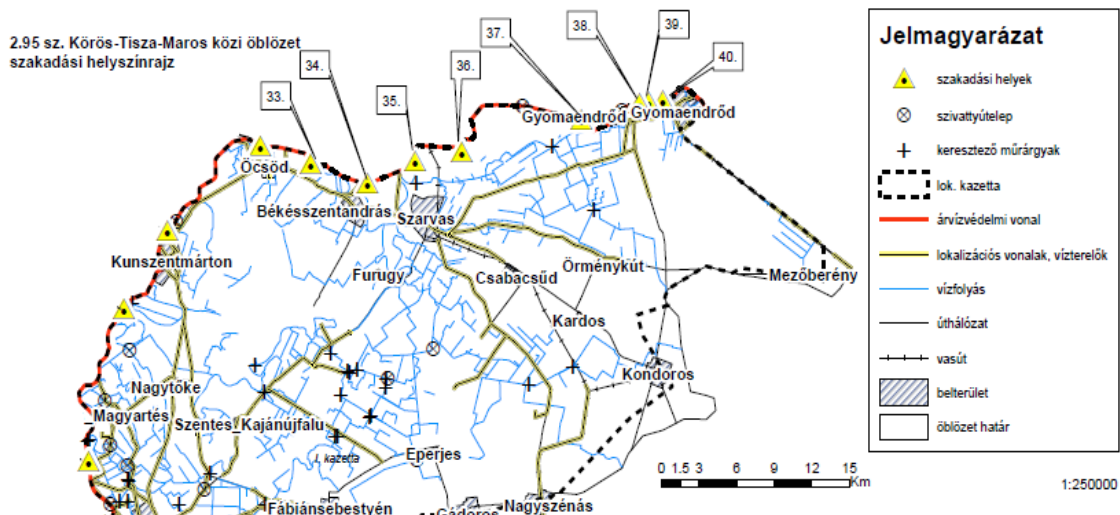


75. ábra: 2.94 sz. Békési öblözet szakadási helyszínrajza [99]

2.95. Körös-Tisza-Maros közti árréti öblözet

2.94. számú Körös-Tisza-Maros közti árréti öblözet szakadási változatok				
Sorszám	Változat száma	Kazetta száma	Árvízvédelmi töltés	Szelvény(tkm)
1.	33.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	36+362
2.	34.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	41+222
3.	35.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	45+432
4.	36.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	50+286
5.	37.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	62+774
6.	38.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	68+515
7.	39.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	69+258
8.	40.	2.95. I.	Hármas-Körös bp.	70+402

45. táblázat: 2.95. számú Körös-tisza-Maros közti öblözet szakadási változatok [100]



761. ábra: 2.95. sz. Körös-Tisza-Maros közti öblözet szakadási helyszínrajza [101]

A fent bemutatott minden egyes szakadás modellezéséhez felhasználásra került az adott öblözet DDM 5 digitális terepmodellje és az érintett árvízvédelmi töltés(-ek) naprakészen nyilvántartott jellemző geometriai adataival, amely kiegészült a lokalizáció szempontjából lényeges és a DDM-ben nem szereplő vonalas létesítmények geometriai, valamint az esetenként rendelkezésre állt LIDAR felmérés adataival.

Az adott folyószakaszt terhelő hidraulikus hatást a MÁSZ-szal (Mértékadó Árvízszint) azonos tetőző vízszintű olyan árhullámkép jelentette, melynek apadó ága megegyezik a mértékadó szelvényhez kiválasztott vízmérce hosszú idejű adatsoraiból származtatott tényleges apadási görbék felső burkoló görbéjével. A szakadási helyek a relatíve legalacsonyabb mentett oldali töltéslábbal jellemezhető szelvényeknél lettek kiválasztva, így biztosítva a szakadásokon kiömlő vízhozam (és ezzel együtt víztömeg) maximális mértékét. Ez a megfontolás a biztonság irányába történő modellezési célt testesített meg.

A szakadási szélesség a korábban bekövetkezett eseményekből leszűrt gyakorlati tapasztalatok alapján lett felvéve. Valamennyi esetben terepszintig mélyült szakadás figyelembevételével történt a számítás.

A fenti adatokból modellezéssel készültek el a szakadási változatokra az elöntési térképek és annak megfelelően a lokalizációs terv.

Mindegyik szakadási helyre és változatra vonatkozóan meghatározásra került:

- a szakadási helyen jelentkező terhelő vízszint,
- a terhelő vízmélység,

- az árvízvédelmi töltés szakadási szélessége,
- a maximálisan kifolyó vízhozam,
- az öblözetbe kifolyó víztömeg,
- a kifolyási idő,
- az elöntés időbeli előrehaladása,
- az ártéri öblözet elöntési vízmélységei,
- az ártéri öblözet pontjaira vonatkozó árvíz elérési idők.

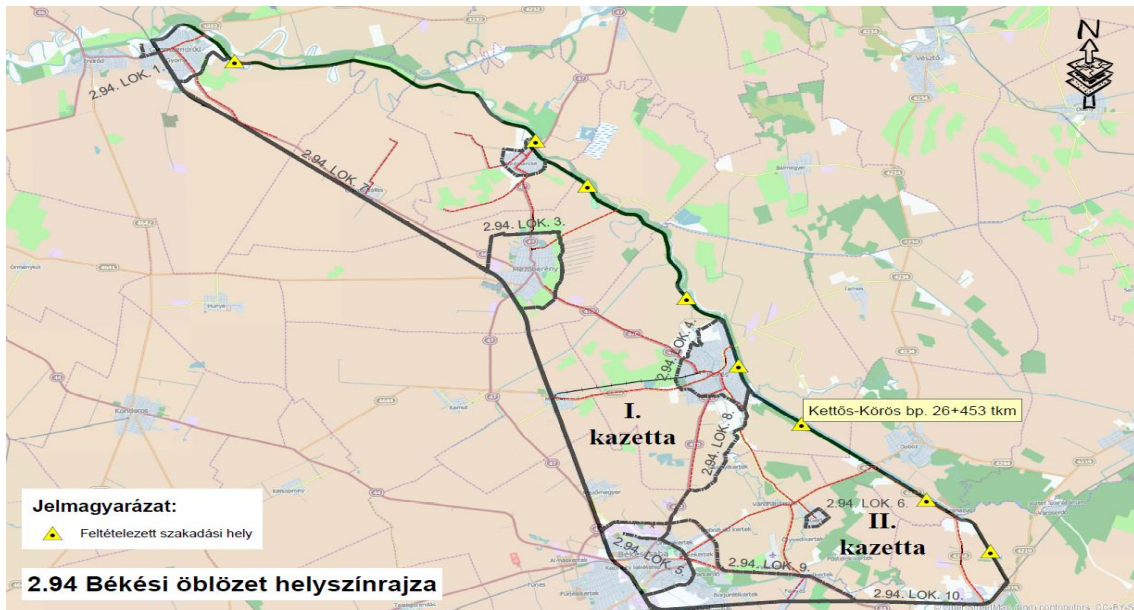
A szakadásokból bekövetkezett elöntéseket ill. lokalizációs lehetőségek bemutatását egy az általam kiválasztott Kettős-Körösi szakadásból az alábbiakban kívánom bemutatni:

A 2.94. számú Békési ártéri öblözet Kettős-Körös 26+453 tkm szakadási helye:

Az elöntés modellezéshez az alábbi peremfeltételek kerültek felvételre (47. táblázat) ami alapján az elöntés modellezése került elvégzésre

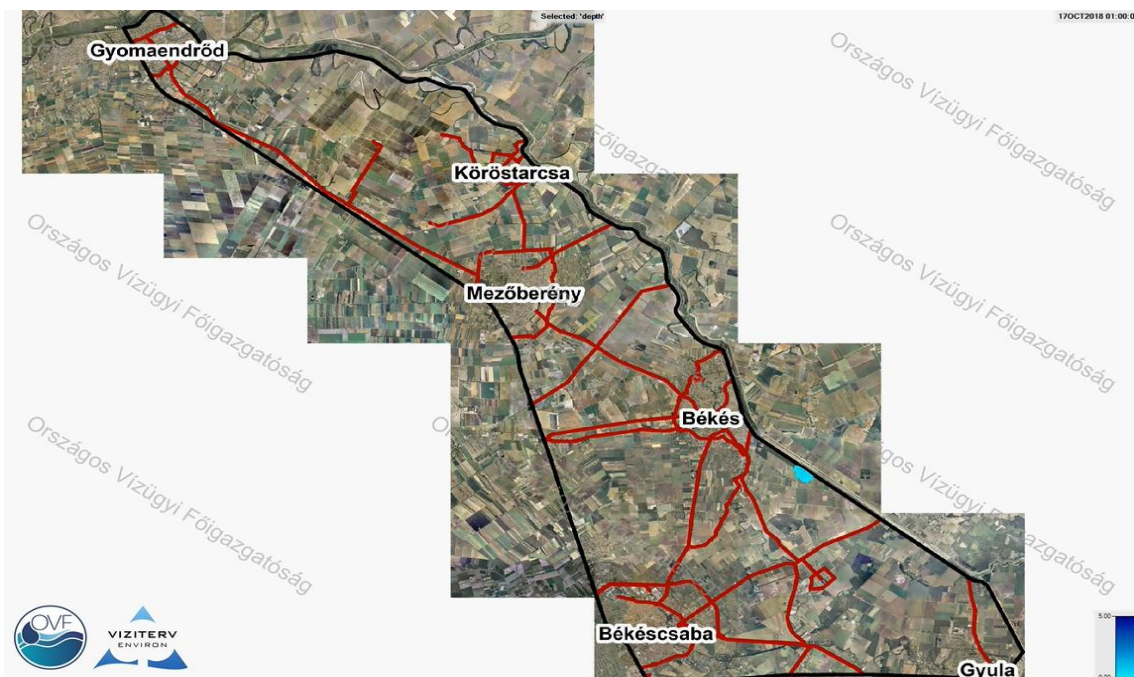
2.94. számú Békési ártéri öblözet 7. szakadási változat adatai										
Árvízvédelmi töltés	Szelvény (tkm)	Koronaszint (mBf)	Töltésláb (mBf)	MÁSZ (mBf)	Terhelő vízszint (mBf)	Terhelő vízmélység (m)	Szakadási szélesség (m)	Max kifolyó vízhozam (m ³ /s)	Kifolyó vízmennyiség (millió m ³)	Felvett kifolyási idő (óra)
Kettős-Körös bp.	26+453	91,59	86,11	92,18	93,03	7,275	90	510,58	290,15	396

46. táblázat: 2.94. számú Békési ártéri öblözet 7. szakadási változat adatai [102]

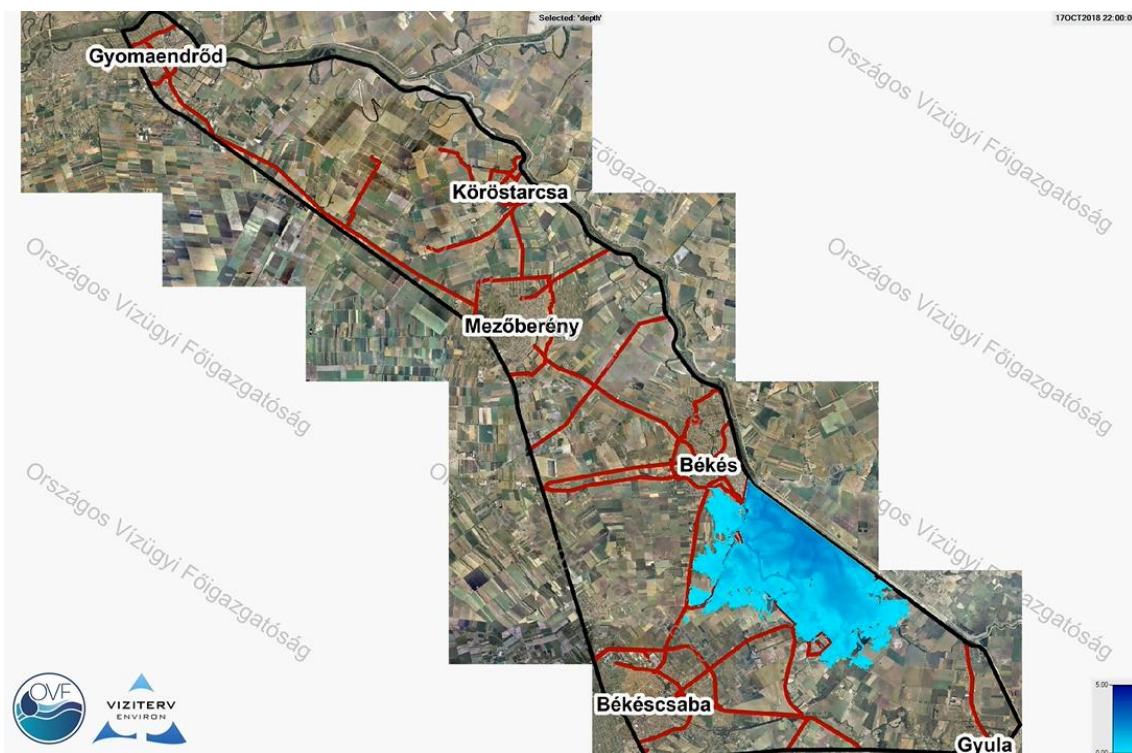


77. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadási helyszínrajza [103]

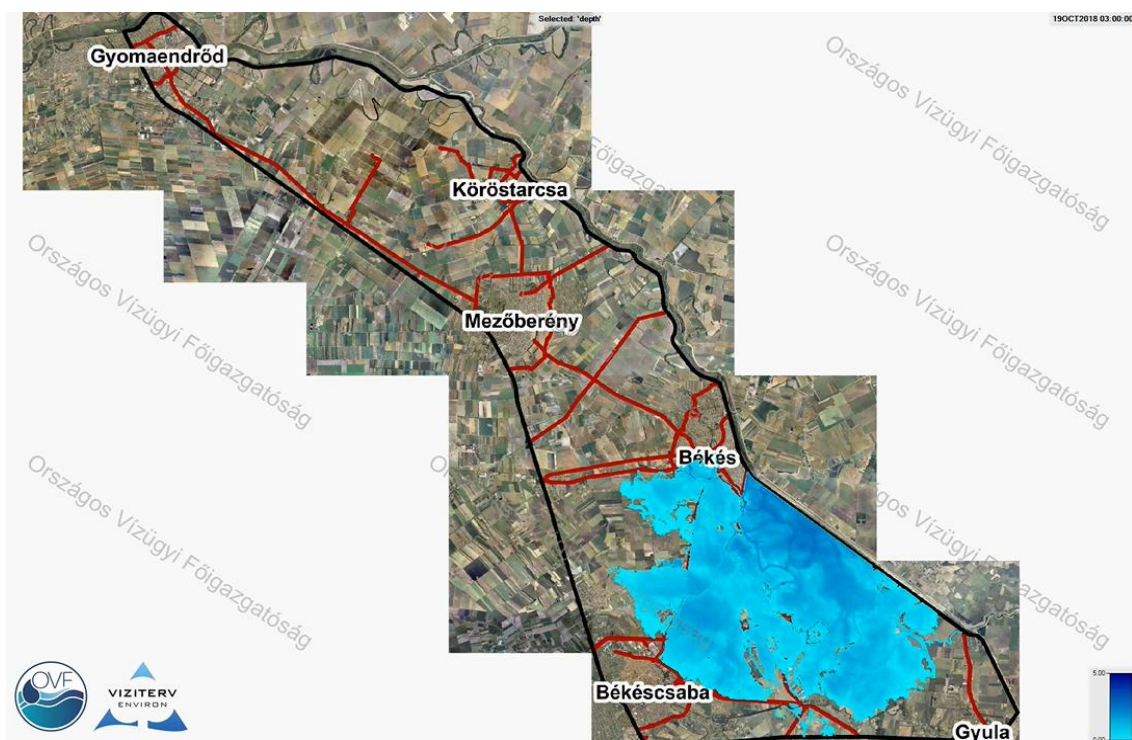
A Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szelvényben felvett szakadási helyen (92. ábra) kifolyó víz szétterüléséből eredően előálló elöntés mértékét a 93. ábra a 0., a 94. ábra a 22., a 95. ábra az 51., a 96. ábra a 124., a 97. ábra pedig a 332. órában (ekkor áll elő a szakadás miatt maximálisan elöntött terület) mutatja be.



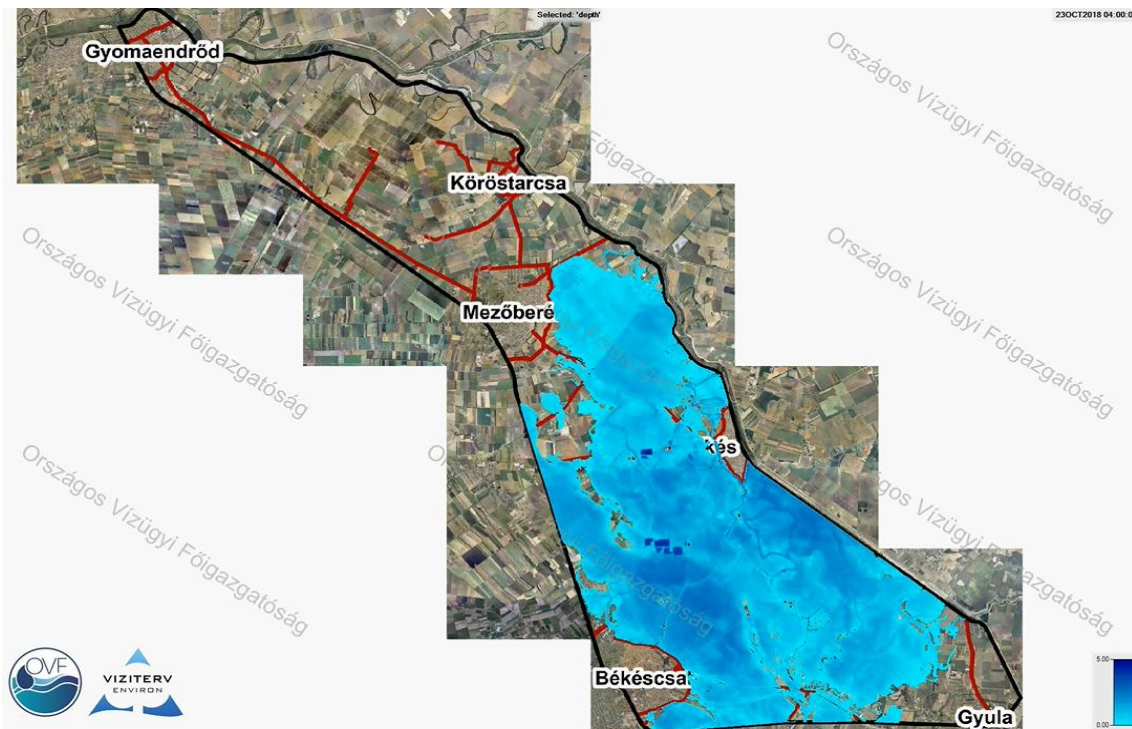
93. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás modellezése a 0. órában [104]
(készítette: a szerző)



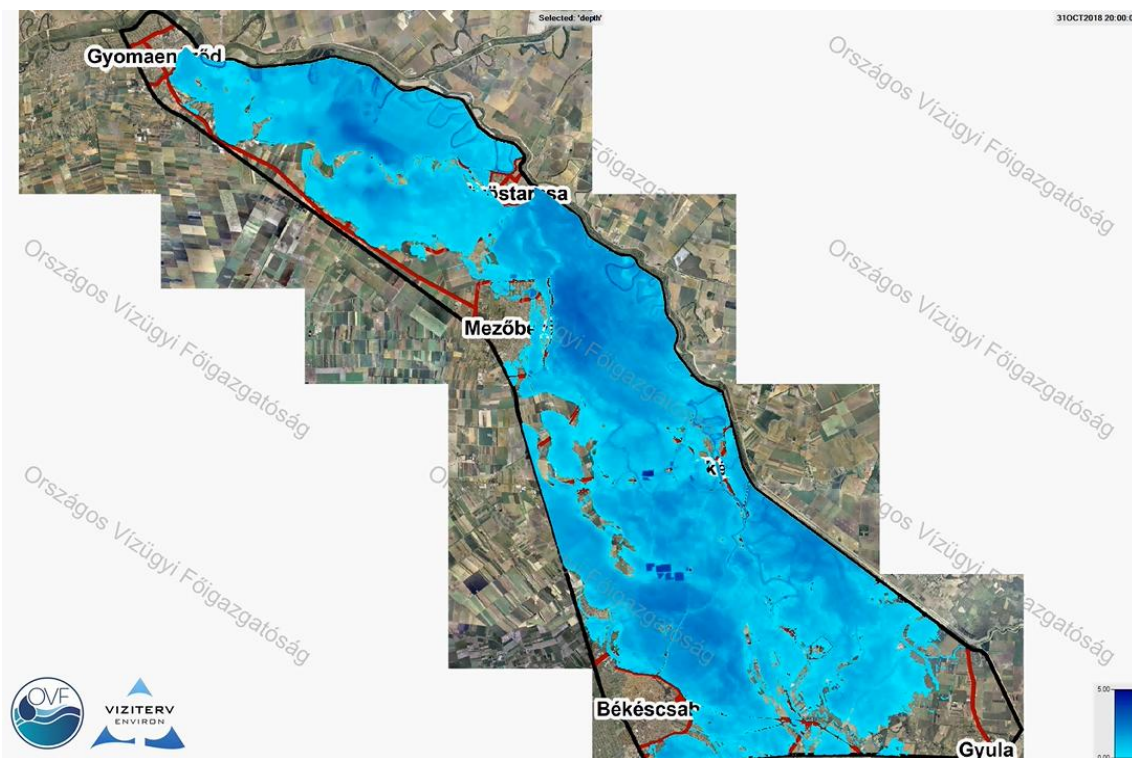
784. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás modellezése a 22. órában [105]
(készítette: a szerző)



795. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás modellezése az 51. órában [106]
(készítette: a szerző)

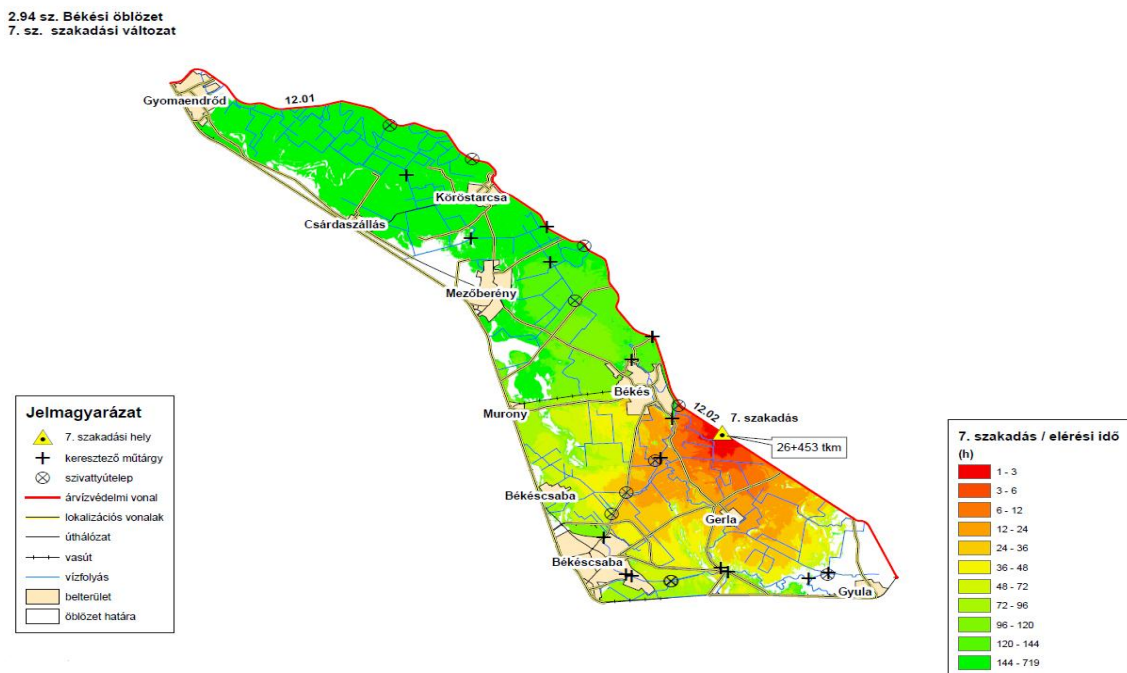


806. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás modellezése a 124. órában [107]
(készítette: a szerző)

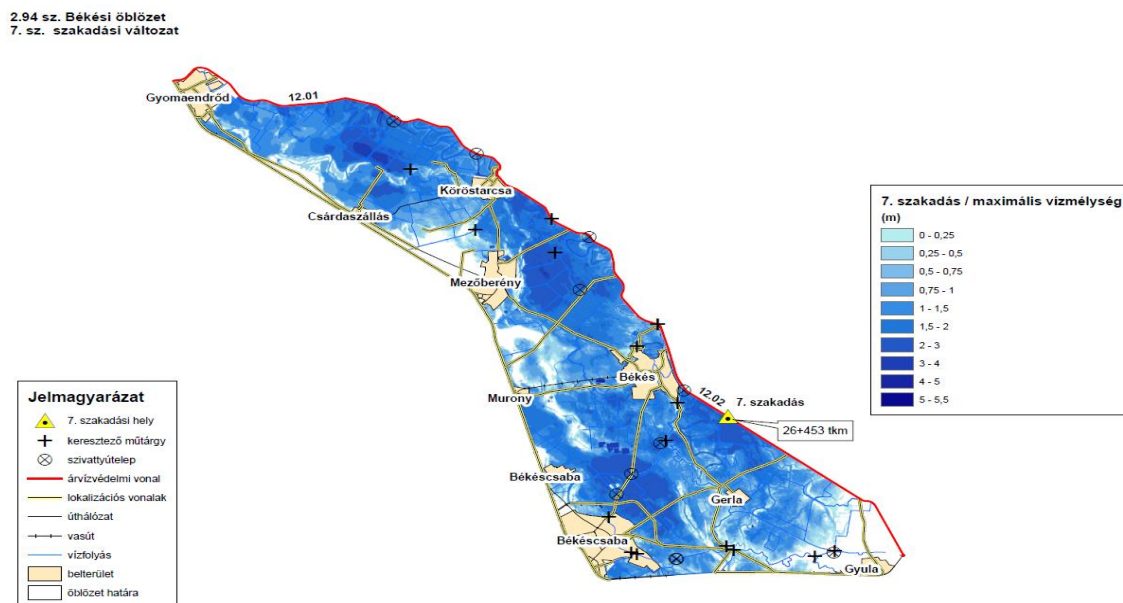


817. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás modellezése a 332. órában [108]
(készítette: a szerző)

A fenti ábrákon látható, hogy a szakadást követően a mentesített ártéren milyen a kiömlött víz szétterülési folyamata az öblözetben mely, utakat, vasutakat, épületeket, és településeket veszélyeztet. Ezen előntés időfüggvényét a 98. ábra mutatja be, ahol jól kivehető mely területek védelme érdekében mennyi idő áll rendelkezésre a szakadás kezdetétől. A 99. ábra az öblözetben kialakult maximális vízmélységeket szemlélteti.



828. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás elérési idők [109]



839. ábra: Kettős-Körös bp. 26+453 tkm szakadás során kilakult max. vízmélységek [110]

6.4. A települések katasztrófavédelmi besorolása

A katasztrófák elleni védekezést, mint nemzeti ügyet Magyarországon a 2011. évi CXXVIII. törvény és a 235/2011. (XI.10.) Korm. rendelet szabályozza. Hazánk településeinek katasztrófavédelmi besorolását pedig a 44/2021. (XII.16.) BM rendelet szabályozza. A szabályozás lényege, hogy települések veszélyeztetettségi besorolását a valós helyi sajátosságokra jellemző veszélyeztető hatások felméréseivel, tehát a kockázat azonosításával kell kezdeni, majd a rendelkezésre álló információk alapján a kockázatelemzés és értékelés tapasztalati útján kell meghatározni a katasztrófavédelmi osztályba sorolást, amely alapján egy település I., II., vagy III. osztályba sorolású lehet. [111]

A települések védelmi osztályba sorolására már 1995-ben sor került a lakosság életének és anyagi javainak megóvása érdekében. Ezen osztályba sorolás még polgári védelmi szempontú volt, mely alapvetően honvédelmi kockázatokon alapuló besorolási rendszer alapján készült el. A jelenlegi szabályozási rendszer már a besorolási szempontok újszerű megközelítésében rejlik, melyet az elmúlt évek eseményei, így a nagy kiterjedésű árvizek, a vörösiszap-katasztrófa, az előző rendszer felülvizsgálata, a lakosságot érintő kockázatok, valamint a megváltozott veszélyforrásokhoz való igazítások tettek szükségessé. [112]

A települések osztályba sorolásához a kockázati mátrix nyújt segítséget, amely az elmúlt évek eseményeinek figyelembevételével, valamint az uniós tapasztalatokra építve került

megalkotásra. A kockázati mátrix (100. ábra) egy olyan kétdimenziós diagramm, amelynek függőleges tengelyén a veszélyeztető hatás következménye, vízszintes tengelyén a veszélyeztető hatás bekövetkezési valószínűsége található. A diagramm segítségével megállapítható, hogy egy adott veszélyeztető hatás mekkora kockázatot jelent az adott településre. Alkalmazásával az ország minden egyes települése a valós veszélyeztetettség alapján kerül besorolásra.

A kockázatelemzést – az adott településen a helyi sajátosságokra és jellemzőkre tekintettel – a veszélyforrások mindegyikére el kell végezni, figyelembe véve azok egymásra gyakorolt hatásait is. A településen jelenlévő veszélyeztető hatások közül a meghatározott legmagasabb osztályt kell alapul venni. Több, azonos besorolást eredményező veszélyeztető hatás esetén javasolt a települést eggyel magasabb osztályba sorolása.

Hatás	Bekövetkezési gyakoriság			
	Ritka	Nem gyakori	Gyakori	Nagyon gyakori
Nagyon súlyos	II. osztály	II. osztály	I. osztály	I. osztály
Súlyos	III. osztály	II. osztály	II. osztály	I. osztály
Nem súlyos	III. osztály	III. osztály	II. osztály	II. osztály
Alacsony mértékű	III. osztály	III. osztály	III. osztály	III. osztály

100. ábra: Kockázati mátrix a 234/2011. (XI.10.) Korm. rendelet 2. melléklete alapján [113]

A veszélyeztető hatások szintjének meghatározásánál a hatásonkénti legrosszabb scenárióval kell számolni, míg a bekövetkezés jövőbeni gyakoriságának meghatározásánál az elmúlt években bekövetkezett események gyakoriságát is figyelembe kell venni.

Ha a vizsgált esemény nem következett be

- 10 éven belül, akkor ritka,
- ha 5–10 év között bekövetkezett, akkor nem gyakori,
- ha 3–5 év között gyakori,
- ha 3 éven belül bekövetkezett, akkor nagyon gyakori

gyakorisági kategóriába kell sorolni

Az új típusú besorolási eljárás alapján Magyarország mind a 3176 település besorolásra került így az eljárások alapján 155 település I., 1325 a II., 1696 település III. osztályba került.

Figyelembe véve a lokalizációs tervekben meghatározott elöntéseket, új típusú besorolást dolgoztam ki, mely a településeket öt kockázati kategóriába (I–V.) sorolja. A besorolás alapja a települést érintő öblözetben belüli elöntések és a feltételezett töltésszakadások számának hányadosa. Az elöntési kockázati kategóriákat az alábbi 48. táblázat tartalmazza:

Hányados érték	Kategória
0,0–0,2	V.
0,2–0,4	IV.
0,4–0,6	III.
0,6–0,8	II.
0,8–1,0	I.

48. táblázat: elöntési kockázati kategóriák
(készítette: a szerző)

Az ártéri öblözetekben lévő településekhez rendelt elöntési kockázati kategóriákat az alábbi 49. táblázat foglalja össze:

Ártéri öblözet száma, neve	Települések	Öblözetben belüli szakadás (db)	Öblözetben belüli elöntés (db)	Elöntési Kockázat értéke	Elöntési Kockázat kategória
2.94., Békési	Gyula – (Szt.Pál falva, Kolbászfalu)	8	2	0,25	IV.
	Gyula, Szanazugi üdülők	8	5	0,63	II.
	Békéscsaba–Gerla	8	5	0,63	II.
	Békéscsaba–Fényes	8	5	0,63	II.
	Békéscsaba	8	5	0,63	II.
	Békéscsaba–Mezőmegyer	8	6	0,75	II.
	Murony	8	7	0,88	I.
	Békés	8	8	1,00	I.
	Mezőberény	8	6	0,75	II.
	Köröstarcsa	8	8	1,00	I.
	Csárdaszállás	8	7	0,88	I.
Gyomaendrőd–Gyoma	8	7	0,88	I.	
2.95., Körös-Tisza-Maros közti	Békésszentandrás	8	8	1,00	I.
	Gyomaendrőd	8	7	0,88	I.
	Szarvas	8	8	1,00	I.

2.93., Gyulai	Gyula	3	3	1,00	I.
	Békéscsaba	3	2	0,67	II.
	Elek	3	0	0,00	V.
	Kétegyháza	3	0	0,00	V.
2.92., Remetei	Gyulavári	9	6	0,67	II.
	Dénesmajor	9	6	0,67	II.
	Gyula–Városerdő	9	7	0,78	II.
2.87., Nágy-Sárréti ártéri	Füzesgyarmat	13	4	0,31	IV.
	Kertéssziget	13	9	0,69	II.
	Bucsa	13	9	0,69	II.
	Ecsegfalva	13	7	0,54	III.
	Szeghalom	13	4	0,31	IV.
	Dévaványa	13	4	0,31	IV.
	Körösladány	13	4	0,31	IV.
	Mezőtúr	13	5	0,38	IV.
2.91., Sarkadi	Vésztő	24	21	0,88	I.
	Okány	24	7	0,29	IV.
	Körösújfalú	24	4	0,17	V.
	Zsadány	24	2	0,08	V.
	Biharugra	24	1	0,04	V.
	Körösnyáras	24	3	0,13	V.
	Bélmegyer	24	21	0,88	I.
	Körösladány (Újladány)	24	17	0,71	II.
	Tarhos	24	15	0,63	II.
	Doboz	24	11	0,46	III.
	Sarkad	24	8	0,33	IV.
	Sarkadkeresztúr	24	3	0,13	V.
	Kötegyán	24	3	0,13	V.
	Méhkerék	24	3	0,13	V.

49. táblázat: települések elöntési kockázati kategóriák
(készítette: a szerző)

6.5. Összegzés és részkövetkeztetés

- A fejezetben bemutatott elemzések alapján megállapítom, hogy a Körös-vidéki árvízvédelmi öblözetek településeinek veszélyeztetettsége döntően az árvízvédelmi töltések tönkremeneteli valószínűségétől, valamint az esetleges töltésszakadásokból bekövetkező elöntések térbeli és időbeli lefolyásától függ. A vizsgálat igazolta, hogy a települések árvízi kitettsége nem kizárólag a vízrajzi adottságok függvénye, hanem elsősorban a védvonalak állapota, szerkezeti tulajdonságai, valamint a múltban bekövetkezett árvízi jelenségek gyakorisága és tartóssága határozza meg.
- Megállapítom, hogy a védvonalak veszélyességi kategóriáinak meghatározása – a fajlagos jelenséghossz és a jelenségek tartósságának együttes értékelésével – megbízható alapot ad a tönkremeneteli valószínűségek becslésére. A kapott eredmények szerint a 12.01. (Hármas-Körös), valamint a 12.04. és 12.05. jelű védvonalak tekinthetők a legkritikusabbaknak, ahol a múltbeli jelenségek intenzitása és tartóssága kiemelkedően magas. Ezek a szakaszok indokolják leginkább a célzott fejlesztéseket és megerősítéseket.
- A településekre vonatkozó elöntési kockázati kategóriák meghatározásával igazoltam, hogy az öblözetekben fekvő települések veszélyeztetettsége jelentős különbségeket mutat. A modellbe bevont 73 szakadási változat eredményei szerint több település – például Murony, Békés, Szarvas, Gyomaendrőd, Békésszentandrás, Gyula – rendkívül magas (I.) elöntési kockázatba sorolható, míg mások esetében a kockázat alacsonyabb (IV–V. kategória). Megállapítom, hogy a magas kategóriába sorolt települések esetében az elöntés gyorsan terjed, a vízmélységek jelentősek, és a beavatkozási idő rendkívül korlátozott.
- A modellezési eredmények alapján megállapítom, hogy a települések árvízbiztonsága szempontjából a víz elérési ideje az egyik legkritikusabb tényező. Olyan területek esetén, ahol az elöntés a szakadás után néhány órán belül megjelenik, a lokalizációs lehetőségek erősen korlátozottak, ezért a védekezés csak előre tervezett, azonnal mobilizálható erőforrásokkal hajtható végre. Ezzel szemben azokban az öblözetekben, ahol az elöntés előrehaladása lassabb, a településeknek több idejük van a reagálásra, ami csökkenti a kockázatot.
- Következtetésként megállapítom, hogy a teljes vizsgálati terület árvízveszélye országos szinten is kiemelkedő. Az öblözetek összesített elöntési kockázata alapján a Körös-vidék több települése jelentős kitettséggel bír, amelyet a jelenlegi jogszabályi besorolás nem

minden esetben tükröz kellő részletességgel. A települési szintű kockázati besorolás finomítása – az általam alkalmazott öt kategóriás rendszerrel – pontosabb képet ad a helyi veszélyeztetettségről, és egyértelművé teszi, hogy mely területeken szükséges elsődlegesen fejlesztések, védekezési kapacitásbővítés vagy a védművek megerősítése.

Összességében megállapítom, hogy az árvízi kockázatok települési szintű értékelése szorosan összefügg a védvonalak állapotával és tönkremeneteli valószínűségével. A fejezet eredményei alátámasztják, hogy a Körös-vidéki árvízvédelmi rendszerben a jövőbeni beruházásoknak és védelempolitikai döntéseknek elsősorban a legveszélyeztetettebb védvonalakra és településekre kell összpontosítaniuk, különös tekintettel a lokalizációs lehetőségek fejlesztésére, a védművek célzott megerősítésére és a gyors reagálási képesség javítására.

7. ÖSSZEGEZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Doktori értekezésemben részletesen foglalkoztam a hazai vízkárelhárítás legfontosabb és általam legaktuálisabbnak ítélt kérdéseivel. Kutatásom során komplex megközelítést alkalmaztam annak érdekében, hogy feltárjam az árvízi jelenségek és az árvízvédelmi biztonság közötti okozati összefüggéseket. Rávilágítottam arra, hogy a levonuló árhullámok során fellépő hidrodinamikai folyamatok nem csupán statikus terhelést jelentenek, hanem olyan dinamikus jelenségeket generálnak, amelyek alapvetően befolyásolják a védművek stabilitását és a védett területek biztonsági szintjét.

Kutatómunkám egyik pillérét az árvízvédelmi töltések állékonysági vizsgálata alkotta. Numerikus modellező programok segítségével szimuláltam a különböző intenzitású vízterhelések hatásait, számszerűsítve a töltéstestek kitérttségét. A szimulációs eredményeket egy Nagyminta kísérlet keretében helyszíni mérésekkel vizsgáltam, amelyek révén részletes adatokat nyertem a töltésekben zajló szivárgási folyamatokról és a szerkezeti mozgások természetéről. Ezen empirikus adatok igazolták a töltéstestek árhullám alatti viselkedésének törvényszerűségeit.

Munkám gyakorlati jelentőségét növeli a lokális gyenge szakaszok azonosítására kidolgozott módszertanom. Igazoltam, hogy a védelmi rendszer hatékonysága nem csupán a kiépítettségen múlik, hanem a kritikus pontok (lokálisan gyenge pontok) célzott detektálásán és

megerősítésén. Bebizonyítottam, hogy ezen lokális hiányosságok felszámolása a költséghatékonyság elvét szem előtt tartva – relatíve alacsony ráfordítás mellett – is képes radikálisan csökkenteni a mentett oldali kockázatokat és a potenciális károk mértékét.

Végezetül kutatásom kiterjedt az öblözeti szintű sebezhetőség vizsgálatára is. Számításaimmal és elemzéseimmel meghatároztam azokat a településeket, amelyek egy esetleges töltésszakadás vagy elöntés esetén a legmagasabb kockázati besorolás alá esnek. Ezen megállapítások alapvető fontosságúak a jövőbeli operatív védekezési tervek és a térségi fejlesztési stratégiák megalapozásához.

7.1. Új tudományos eredmények

- *Számításokkal* kellő alapot adtam ahhoz, hogy az árvízvédelmi kockázati térképezések és a hozzá kapcsolódó lokalizáció tervezés újszerű metodikával kerüljön fejlesztésre, a jelenségek adatainak integrálásával az alapadatokba. **Bizonyítottam**, hogy ezen fejlesztési megoldásokat, vizsgálatokat nem csak lokálisan, öblözeti szinten, hanem VIZIG szinten is lehet implementálni, amely az árvízvédelmi rendszer biztonságát növeli.
- Elemzéseimre alapozva **megállapítottam**, hogy a lokálisan gyenge szakaszok feltérképezésével differenciáltan kezelhető a védvonalak állékonyságának növelése, ezért ezen árvízvédelmi rendszerek, hatékony fejlesztéséhez paradigmaváltás szükséges, melynek alapját a kockázati értéken alapuló (mint feltérképezett lokális gyengeségek) árvízvédelmi tervezése adja.
- **Gyakorlati vizsgálatokkal**, nagyminta kísérlet elvégzésével **meghatároztam**, az árvíz során, az árvízvédelmi töltésekben végbemenő szivárgási folyamatokat, valamint vízterhelés hatására bekövetkező alakváltozási folyamatokat, melyek nagy segítséget nyújtanak a továbbiakban a védművek tervezésénél, valamint a védekezés hatékonyságának növelésében.
- *Számításokkal bizonyítottam*, a települések kockázati besorolását – öblözeti szinten – a várható elöntések figyelembevételével.
- Kutatásaimra alapozva **bizonyítottam**, hogy a jövőben alkalmazandó árvízvédelmi fejlesztések esetében, a töltésfejlesztésnél célszerű alkalmazni a vizsgálataim eredményeit, növelve ezzel a védekezés hatékonyságát, a lokálisan gyenge szakaszoknál is.

7.2. A kutatási eredmények gyakorlati felhasználhatósága

Doktori értekezésemben részletezett kutatási eredmények gyakorlati felhasználhatóságát az alábbiakban foglalom össze:

- Támogatja a vízkárelhárítás és katasztrófavédelmi szakterület felelős vezetőinek döntéshozatalát, valamint hozzájárulhat a kockázati értéken alapuló árvízvédelmi töltések ill. szakaszainak meghatározásához.
- Adatokkal és számításokkal alátámasztott információkat tartalmaz az árvízvédelmi töltések árvízi terhelés alatti mozgásokról (zsugorodás-duzzadás), valamint a töltésekben árvízi terhelés alatt kialakult szivárgási folyamatokról.
- Adatokkal és számításokkal alátámasztott információkat tartalmaz az árvízvédelmi töltések veszélyességi kategóriáiról, és a települések elöntésének valószínűségéről is a Körös-Vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területén öblözeti szinten.
- Alapul szolgálhat Magyarország árvízvédelmi rendszerének jövőbeni fejlesztéseinek tervezésében különös tekintettel a Körös-Vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területén.

7.3. Ajánlások

Kutatási eredményeim megfontolását és a mindennapi munkavégzésbe történő beépítését az alábbiaknak ajánlom:

- vízügyi kutatásokkal foglalkozó oktatási és kutató intézmények oktatóinak, kutatóinak és hallgatóinak,
- hazai vízkárelhárításban dolgozó kollégáknak,
- önállóan védekező települések polgármestereinek és műszaki kollégáinak,
- az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a Vízügyi Igazgatóságokon dolgozó, árvízvédelmi fejlesztések meghatározásával foglalkozó kollégáinak.

7.4. További kutatási javaslatok

Az árvízvédelmi töltések vizsgálatában használt technológiák gyors fejlődése új lehetőségeket nyit az adatok gyűjtésében és értelmezésében. Ezért érdemes olyan kutatási irányokat ill. célhelyeket kijelölni, amelyek az általam elvégzett nagyminta kísérletben bemutatott különböző mérési módszerek összehangolt alkalmazását végezzük az árvízvédelmi biztonság céljából. Fontos cél lehet olyan adatfeldolgozási eljárások fejlesztése, amelyek képesek többféle forrásból származó információt egyesíteni.

Ígéretes kutatási terület a mesterséges intelligencia alkalmazása, például mintázatok felismerésére és ezen mintázatok alapján a veszélyforrások feltérképezése.

További kutatási lehetőséget kínál annak vizsgálata, a fixen telepített automatizált mérések elvégzése, lokálisan gyenge ill. veszélyeztetett fővédvonalon, annak érdekében hogy az adatok megbízhatósága javuljon.

Végül érdemes lenne az összehangolt felmérésekből kapott adatok alapján egy új elöntési térképét létrehozni és abból mélyebben elemezni az elöntési adatokat.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Egyesült Nemzetek Szervezete Fenntartható Fejlődési Keretrendszere és Fenntartható Fejlődési Céljai URL: <https://ensz.kormany.hu/agenda-2030> Letöltés ideje: 2025. 03. 14.
- [2] Kvassay Jenő Terv, Nemzeti Vízstratégia, Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest 2015, URL: https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/CE3BFF09-6D1B-4C8F-88B3-CDF70D2AF133/KJT_151120.pdf.
- [3] Az Európai Parlament és a Tanács 2007/60/EK Irányelve (2007. október 23.) az árvízveszélyek értékeléséről és kezeléséről
- [4] Galli L. Az árvízvédelmi földművek állékonyságának vizsgálata, Budapest: Országos Vízügyi Hivatal 1976. 50. old.
- [5] Dr. Nagy L. Árvízvédekezés a településeken, Budapest 2010. 5-8. old., 110 old.
- [6] Dr. Nagy L. Gátszakadások a kárpát-medencében, Budapest 2017
- [7] Zákányi Balázs: Gátszivárgás meghatározása SEEP2D modullal . - In: A Miskolci Egyetem közleményei. A sorozat Bányászat, ISSN 1417-5398 , 2007. 72. köt., 257-267. p
- [8] Imre E: Az árvízvédelmi gátakban lejátszódó vízáramlás modellezése. HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY 2009/2. 62-65.o. (2009)
- [9] Zákányi B., Szűcs P., Nyiri G., Esettanulmányok a Lázberci-víztározó és háromszerkezetes árvízvédelmi gát és általajának szivárgás-hidraulikai modellezésére. Műszaki Földtudományi Közlemény, 83. kötet, 1. szám (2012), pp. 277-287
- [10] Nyiri G., Zákányi B., Szűcs P., Nagy G., Kiss T.,: Árvízvédelmi töltések, völgyzáró gátak általajának hidraulikai modellezése és állékonyságvizsgálata. Hidrológiai Közöny 2017.97.évf.4 sz. 48.-58.o.
- [11] Nyiri G., Árvízvédelmi töltések, és völgyzárógátak hidraulikai modellezése és állékonyságvizsgálata, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Hidrogeológiai-mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, diplomamunka 2015.
- [12] Hajnal G, Barta E., Veczán É.: Szivárgási tényező meghatározása kisminta kísérletekkel. Mérnökgeológia-Közetmechanika 2011 (Szerk: Török Á. & Vásárhelyi B.) pp. 1-19.

- [13] Jobbágy R., Hajnal G., Vasvári V.: A szivárgási tényező meghatározása terepi vizsgálatokkal. Hidrológiai Közlöny 2010 (90. évfolyam) /3. szám. pp.23-31.
- [14] Dr. Stelcer Károly, A tudományos kutatás szerepe a védekezésben, Vízügyi közlemények 1971. évi 3. füzet, 1970 Tiszavölgyi árvíz
- [15] P. Michalis et. all., Subsurface Condition Assessment of Critical Dam Infrastructure with Non-invasive Geophysical Sensing,
https://strathprints.strath.ac.uk/81835/1/Michalis_Sentenac_EES_2021_Subsurface_condition_assessment_of_critical_dam_infrastructure_with_non_invasive_geophysical_sensing.pdf
- [16] Diaa Elsayed Hamed Abdallah Hamed Sheishah, PhD Dissertation 2023 Szeged,
https://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/11801/1/230625_PhD%20thesis.pdf
- [17] Völgyesi I.: Szivárgási tényező, vízmozgás , Árvízvédekezés a gyakorlatban, Budapest 2004. pp. 61-70
- [18] Kálmán Eszter, Mérési tapasztalatok a Budapest 4. metró Bocskai úti állomás szellőző alagút építésénél. Doktori kutatások a BME építőmérnöki karán 2007.
https://geovil.hu/wp-content/uploads/2018/11/1_BME.pdf
- [19] KÖVIZIG (Kocsor István): A KÖVIZIG kezelésében lévő kiemelt jelentőségű vízártésképzések műszaki megfigyelése
- [20] Berek Tamás: A vízbiztonsági tervezés szerepe a fenntartható vízgazdálkodásban, Műszaki Katonai Közlöny, XXVI. évfolyam, 2. szám, 2016, 32-48. oldal
- [21] Padányi József: A katonai erő alkalmazásának tapasztalatai az árvízi védekezésben, Magyar Rendészet, különszám, 2013, 157–164. oldal
- [22] Tóth Rudolf–Hornycsek Júlia: Gondolatok a katasztrófa-elhárítás logisztikai kérdéseiről, Polgári Védelem Szemle MPVSZ, Budapest 2008. 1. sz. 88–99. oldal, ISSN: 17 88–216
- [23] Muhoray Árpád: A katasztrófavédelem aktuális feladatai, Hadtudomány (online) 3-4. szám, 2012, 1-17. oldal, ISSN: 1588-0605
- [24] Muhoray Árpád: Katasztrófa megelőzés I., Nemzeti Közszerológiai Egyetem, egyetemi jegyzet, kiadó: NKE Szolgáltató Nonprofit Kft., Budapest, 2016. ISBN: 978-615-5527-85-2
- [25] Földi László: A klímaváltozás által jelentkező új kihívások a kritikus infrastruktúrák védelmében. Fejezetek a kritikus infrastruktúra védelemből. Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest 2013, 274. oldal, ISBN: 978-963-08-6926-3.
- [26] Szilávik Lajos: A Tisza árvízvédelmi rendszerének megújítása: a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése. A Szegedi nagyárvíz és újjáépítés III. fejezet, Vízügyi Múzeum és Könyvtár, Budapest és a Móra Ferenc Múzeum, Szeged, 2004, ISBN: 963 7217 69

- [27] Szilávik Lajos: A Tisza árvízvédelmi rendszerének megújítása: a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése. A Szegedi nagyárvíz és újjáépítés III. fejezet, Vízügyi Múzeum és Könyvtár, Budapest és a Móra Ferenc Múzeum, Szeged, 2004, ISBN: 963 7217 69
- [28] Szilávik Lajos: Ideas on the current problems of flood defence in Hungary. Hidrológiai Közöny, 79. évfolyam, 4. szám, 241–260. oldal
- [29] Szilávik Lajos: Árvizek szükségeltározása. Vízügyi Közlemények, 80. évf., 1. szám, 1998, 21-66. oldal
- [30] Szilávik Lajos: Árvízvédelem. In: Somlyódy, L. (szerk.): A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest 2002, 205-243. oldal
- [31] Szilávik Lajos: Árvízi szükségeltározók tervezése és üzemeltetése. Vízügyi Közlemények, 65. évf., 2. szám, Budapest 1983, 188-219. oldal
- [32] Zarkóczy Zoltán: Árvízvédelem. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest 1987, 51-52. oldal.
- [33] Zarkóczy Zoltán: Árvízvédelem. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest 1987, 54-56. oldal.
- [34] Zarkóczy Zoltán: Árvízvédelem. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest 1987, 56-57. oldal.
- [35] Dr. Dobó Kristóf: Differenciált árvízvédelem Magyarországon, doktori (PhD) értekezés pp.27.
- [36] Zarkóczy Zoltán: Árvízvédelem. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest 1987, 57-58. oldal.
- [37] Dr. Dobó Kristóf: Differenciált árvízvédelem Magyarországon, doktori (PhD) értekezés pp.23.
- [38] Dr. Dobó Kristóf: Differenciált árvízvédelem Magyarországon, doktori (PhD) értekezés pp.27.
- [39] Zarkóczy Zoltán: Árvízvédelem. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest 1987, 61-64. oldal.
- [40] Dr. Szilávik Lajos, Galbáts Zoltán, Kiss Attila, Kisházi Péter Konrád, Dr. Rátky István : A Fehér-, Fekete- és Kettős-Körös Árvizei, Árvízvédelmi rendszere és a Kisdelta szükségeltározó Vízügyi Közlemények, LXXXI. évfolyam, 1994. évi 4. füzet
- [41] <https://www.khesz.hu/a-koros-vidékrol/>

- [42] VÍZRAJZI Atlasz Sorozat 18. Hármás-Körös, VITUKI Budapest 1974. pp. 4
- [43] 12.NMT.03. Fehér-és Kettős-Körös nagyvízi mederkezelési terve
- [44] VÍZRAJZI Atlasz Sorozat 18. Hármás-Körös, VITUKI Budapest 1974. pp. 4
- [45] <https://www.kovizig.hu/koros-videki/carousel/udvozoljuk-honlapunkon>
- [46] Dr. Szlávik Lajos, Galbáts Zoltán, Kiss Attila, Kisházi Péter Konrád, Dr. Rátky István : A Fehér-, Fekete- és Kettős-Körös Árvizei, Árvízvédelmi rendszere és a Kisdelta szükségátározó Vízügyi Közlemények, LXXXI. évfolyam, 1994. évi 4. füzet
- [47] VÍZRAJZI Atlasz Sorozat 18. Hármás-Körös, VITUKI Budapest 1974. pp. 4
- [48] Országos Vízügy Főigazgatóság, Magyarország Árvízvédelmi Művei 2014, ISBN 978-963-12-2222-7
- [49] Bálintné Hegedűs Katalin–Németh Gyula: Árvízi töltések geotechnikai gyengepontjainak vizsgálata és numerikus modellezése az árvízi veszély és kockázati térképezési projekt keretében, Viziterv Environ Kft. (2014) 4.
- [50] Bálintné Hegedűs Katalin–Németh Gyula: Árvízi töltések geotechnikai gyengepontjainak vizsgálata és numerikus modellezése az árvízi veszély és kockázati térképezési projekt keretében, Viziterv Environ Kft. (2014) 4.
- [51] Tímár Attila: Árvízvédelmi töltések állékonyság vizsgálata. Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III., in: Hausner Gábor (szerk), Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó (2022), pp 415-440
- [52] Kisházi Péter Konrád: Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázati terv készítése (2010), 7-8
- [53] Kisházi Péter Konrád: Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázati terv készítése. 2010. 10
- [54] Klembala Zsombor-Lukács Tamás-Virok András: a keresztes-halom komplex geofizikai felmérése. OTDK-pályamunka. Budapest, 2019.
- [55] Tímár Attila: Kettős-Körös bal oldali 32+250 tkm szelvényének rézsúállékonyság vizsgálata. Műszaki Katonai Közlöny. Budapest, 2021.
- [56] Galli László: Az árvízvédelmi földművek állékonysági vizsgálata, Országos Vízügyi Hivatal (1976), 214
- [57] Dr. Nagy L., Gátszakadások a kárpát-medencében, Budapest 2017 pp.234
- [58] Tímár Attila: Árvízvédelmi töltések potenciális veszélyforrásai a Körösök-vidéken HADMÉRNÖK 15. évfolyam (2020) 1. szám pp 107-119.

- [59] Magyar Királyság (1819–1869) Második katonai felmérés térkép és műholdas térkép 50–50%-os átlátszósággal egymásra halmozott térképe,” *mapire.eu*, [Online].
Elérhető: www.mapire.eu (Letöltve:2025.08.12.)
- [60] Árvízvédelmi tervek, Holtmeder keresztezések nyilvántartási terve, jelmagyarázat; Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [61] Árvízvédelmi tervek, Holtmeder keresztezések nyilvántartási terve, jelmagyarázat; Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [62] Dr. Nagy L., Védekezés az árvízvédelmi gátak suvadása ellen, Budapest 2007 pp. 35-46
- [63] Dr. Nagy L., Gátszakadások a kárpát-medencében, Budapest 2017, pp. 321-354
- [64] Dr. Nagy L., Árvízvédekezés a településeken, Budapest 2010. pp. 109-150
- [65] Galli László: Az árvízvédelmi földművek állékonysági vizsgálata, Országos Vízügyi Hivatal (1976), 50-75
- [66] Kara Róbert, Lovas Attila, Csibrán Zoltán: KÖTIVIZIG területén tervezett Karcagi Gábor Árvízvédelmi Gyakorló-pálya bemutatása előadás diasor, Magyar Hidrológiai Társaság, Országos Vándorgyűlés, Gyula, 2018., URL:
http://hidrologia.hu/vandorgyules/36/word/0314_kara_robert.pdf
- [67] Dr. Dobó Kristóf: Differenciált árvízvédelem Magyarországon, doktori (PhD) értekezés pp.45.
- [68] Dr. Nagy L., Gátszakadások a kárpát-medencében, Budapest 2017, pp. 200
- [69] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1201-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [70] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1202-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [71] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1203-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [72] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1204-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [73] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1205-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [74] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1206-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság

- [75] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1207-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [76] Árvízvédelmi tervek, Észlelt árvízi jelenségek, JEL-1208-III, Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság
- [77] Dr. Dobó Kristóf: Differenciált árvízvédelem Magyarországon, doktori (PhD) értekezés pp.46.
- [78] Dr. Dobó Kristóf: Differenciált árvízvédelem Magyarországon, doktori (PhD) értekezés pp.47.
- [79] Szigyártó Zoltán: A továbbfejlesztett Vásárhelyi-terv vésztározóinak létesítményei és berendezései. Hidrológiai Közöny 86. évf., 1. szám, 2006, 7-15. oldal.
- [80] Szlávik Lajos: Árvízvédelem. In: Somlyódy, L. (szerk.): A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest 2002, 205-243. oldal.
- [81] 12. 01. Szarvasi árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [82] 12. 02. Mezőberényi árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [83] 12. 03. Zsófiamájori árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [84] 12. 04. Dobozi árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [85] 12. 05. Mályvádi árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [86] 12. 06. Ecsegfalvai árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [87] 12. 07. Körösladányi árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [88] 12. 08. Fokközi árvízvédelmi szakasz. Műszaki leírás KÖVIZIG [Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság]
- [89] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békés ártéri öblözet pp.13.
- [90] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.87. számú Nagy-Sárréti öblözet 3.1. melléklet
- [91] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.87. számú Nagy-Sárréti öblözet 3.2. melléklet
- [92] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.91. számú Sarkadi öblözet 3.1. melléklet

- [93] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.91. számú Sarkadi öblözet 3.2. melléklet
- [94] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.92. számú Remetei öblözet 3.1. melléklet
- [95] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.92. számú Remetei öblözet 3.2. melléklet
- [96] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.93. számú Gyulai öblözet 3.1. melléklet
- [97] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.93. számú Gyulai öblözet 3.2 melléklet
- [98] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet 3.1. melléklet
- [99] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet 3.2. melléklet
- [100] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.95. számú Körös-Tisza-Maros közti öblözet 3.1. melléklet
- [101] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.95. számú Körös-Tisza-Maros közti öblözet 3.2. melléklet
- [102] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet 3.1 melléklet, 7. szakadási változat adatai
- [103] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet, 7. szakadási változat helyszínrajza
- [104] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet, 7. szakadási változat modellezési futtatása 0 órában
- [105] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet, 7. szakadási változat modellezési futtatása 22 órában
- [106] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet, 7. szakadási változat modellezési futtatása 51 órában
- [107] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet, 7. szakadási változat modellezési futtatása 124 órában
- [108] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet, 7. szakadási változat modellezési futtatása 332 órában
- [109] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet 4.1.1. melléklet, 7. szakadási változat elérési idők
- [110] Árvíz- Lokalizációs terv 2021, 2.94. számú Békési öblözet 4.1.1. melléklet, 7. szakadási változat max. vízmélységek
- [111] Tóth Ferenc, Harmati István, Cseh-Szakál Tímea, Kockázatbecslési eljárás Magyarországon pp.1. <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/454-kockázatbecslesi-eljaras-magyarorszagon.pdf>

- [112] Tóth Ferenc, Harmati István, Cseh-Szakál Tímea, Kockázatbecslési eljárás Magyarországon pp.3. <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/454-kockázatbecslesi-eljaras-magyarorszagon.pdf>
- [113] Tóth Ferenc, Harmati István, Cseh-Szakál Tímea, Kockázatbecslési eljárás Magyarországon pp.4. <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/454-kockázatbecslesi-eljaras-magyarorszagon.pdf>
- [114] Dr. Nagy L. Árvízvédekezés a településeken, Budapest 2010. 322 old.

9. A TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

LEKTORÁLT KÖNYV, PÁLYÁZAT, JEGYZET

1. Tímár Attila: Kettős-Körös árvízvédelmi töltésének geofizikai vizsgálata
Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből II., in: Hausner Gábor (szerk), Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, pp 333-347 (2021)
2. Tímár Attila: Árvízvédelmi töltések állékonyság vizsgálata
Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III., in: Hausner Gábor (szerk), Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, pp 415-440 (2022)
3. Tímár Attila: Árvízvédelmi töltések empirikus szivárgás- és mozgásvizsgálata
Húsz év a katonai műszaki tudományok szolgálatában
Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, pp 241-255 (2023)

LEKTORÁLT SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK Magyarországon megjelenő idegen nyelvű folyóiratban

4. Tímár Attila AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science, Flood Protection Phenomena at the Körösvidék

Magyar nyelvű (MTA besorolás szerinti A, B, C, D kategóriájú) mértékadó folyóiratban

5. Tímár Attila: Árvízvédelmi töltések potenciális veszélyforrásai a Körösök-vidéken *HADMÉRNÖK 15. évfolyam (2020) 1. szám pp 107-119.*

6. Tímár Attila: A Kettős-Körös bal oldali 32+250 tkm szelvényének rézsűállékonyság vizsgálata in: Dr. Kovács Zoltán (szerk) Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY, 31 (2). pp. 127-139. (2021.)

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni őszinte köszönetemet mindazoknak, akik bármilyen formában hozzájárultak az értekezés elkészítéséhez. Külön hálával tartozom tudományos témavezetőmnek dr. Padányi Józsefnek.

Külön köszönetet mondok Kisházi Péter Konrádnak, aki szakmai iránymutatásával, támogatásával elősegítette és támogatta a munkámat.

Köszönettel tartozom a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóságnak azon munkatársainak, akik kutatásaim során eszközökkel, szakmai tanácsokkal, biztatással és ötleteikkel segítettek munkámat és mindazoknak, akik szabadidejükből áldoztak rám, hogy segítségemre legyenek a terepi mérések lebonyolításában és az adatok feldolgozásában.

Külön köszönöm a Kulturális és Innovációs Minisztérium; Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal, Kooperatív Doktori Program (2020) támogatását, amivel a nagyminta kísérleteket el tudtam végezni.

Végezetül köszönöm a Katonai Műszaki Doktori Iskola vezetőinek, oktatóinak és adminisztratív munkatársainak az évek során nyújtott támogatást és segítséget, amely elengedhetetlen volt a doktori képzés során.

Nélkülük e dolgozat nem jöhetett volna létre.

11. MELLÉKLETEK

1. melléklet

Kohéziós táblázat — az értekezés hipotéziseinek, célkitűzéseinek és tudományos eredményeinek egymásra épülése:			
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
<p>Az árvédelmi földművek szerkezetének és állapotának jelenleg használt eszköztára bővítésre szorul, hogy részletesebb információk birtokában lehessen elvégezni a művek állékonyságszámításait</p>	<p>Feltételezem, hogy az árvízvédelmi töltések szivárgási és állékonysági vizsgálatához szükség van a töltések feltárásának módszertani fejlesztésére.</p>	<p>Céлом korszerű vizsgálatok és térinformatikai módszerek alkalmazása és bevezetése a töltések tönkremenetelének vizsgálati folyamatába.</p>	<p>Hármas-Körös bal oldali töltésének 68+500 tkm keresztmetszvényét mintaterületnek tekintve GNNS felmérési technológiával kiegészített ERT (Electrical Resistivity Tomography) méréssel tártam fel a szelvény talajszerkezetét. Ez a technológia részletes 3D-s feltárást tesz lehetővé.</p>
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
<p>Nincs olyan metodikai iránymutatás, mely iránytűként szolgálhatna az árvízzel terhelt töltések védőképességének elemzéséhez, a védekezési munkák esetleges korlátainak kimutatásához.</p>	<p>Feltételezem, hogy az árvízvédelmi jelenségek kialakulásánál a védvonalon és az altalajon történő szivárgások hatást gyakorolnak a védvonal állékonyságára, és annak csökkentő hatása a mentett oldalon alakul ki elsősorban.</p>	<p>Céлом a töltések tönkremeneteléhez vezető szivárgási folyamatok töltésállékonyságra és a védekezési erőforrások mozgatási lehetőségeire gyakorolt hatásának numerikus modellezéssel történő elemzése és értékelése.</p>	<p>Munkám során bemutattam egy hatékony, többparaméteres talajmechanikai adatbecslő eljárást, melynek birtokában akkor is lehetséges realiztikus eredményű állékonyságszámítás, ha nem történtek nyírószilárdsági jellemzők megállapítására irányuló célvizsgálatok. Modellszámításokkal igazoltam, árvízi terhelés nélkül is kerülhet kritikus állékonysági</p>

			helyzetbe egy földmű. Számításaim kimutatták, adott esetben le kell tiltani a védekezési időszakban szükségessé váló, védtöltésem tervezett anyagszállításokat.
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
Jelenleg nem ismertek olyan részletes mérések eredményei, melyek az árvíz alatti szivárgások és töltéstest alakváltozások időbeni folyamatait bemutatnák.	Feltételezem, hogy árvizes időszak alatt az árvízvédelmi töltések vízterhelés hatására elmozdulások (zsugorodások-duzzadások) keletkeznek, melyek befolyásolhatják a töltés állékonyságát, szivárgását.	Céлом, hogy egy nagyminta kísérlet során szimulált árvízi terhelés mellett szivárgás- és mozgásvizsgálatot végezzek el. Ezek eredményei alapján meghatározhatom a védvonalak tönkremenetelének dinamikáját	A nagyminta kísérlet alapján megállapítható, hogy egy ilyen szerkezetes inhomogén töltéstben egy 32 napos tartós árvíz hatására sem alakult ki a szabályos keresztiszvárgás, a szivárgási viszonyokat a töltéstest belső repedéshálózata határozta meg. Elsősorban azok a jelenségek alakulnak vagy alakulhatnak ki nagyobb valószínűséggel, melyek a töltés altalajához közelebbiek
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
Az árvíz kockázat kezelési, a lokalizációs, valamint a fejlesztési és árvízvédelmi tervek készítése során egyaránt alapvető fontosságú a lokálisan gyenge szakaszok és a védvonalak védőképességének meghatározása.	Feltételezem, hogy az árvízvédelmi töltések árvízvédelmi jelenségeinek, mint kockázatok statisztikai feldolgozása segít abban, hogy beazonosításra kerülhetnek a védvonalainkon a lokálisan gyenge szakaszok, valamint ezen kockázatok alapján meghatározhatók védvonalak védőképessége.	Céлом az árvízvédelmi töltések tönkremenetelének feltárása és elemzése a Körösök-vidéken.	Kutatásaim eredményeként bemutatásra kerültek az 1969-től napjainkig dokumentált árvizes jelenségek, az árvízi jelenségek kezelése céljából beépített művek műszaki megoldásai. Kategóriákba soroltan ismertettem az árvízi jelenségek kezelését célzó védművek védvonalankénti számát, valamint kiépített összhosszát.

			A védvonalakon beépített állékonyságnövelő művek és a jelenségek hossza alapján megállítható, hogy számos olyan szakasz/hely van még a védvonalakon amely beavatkozást igényel.
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
A települések katasztrófavédelmi besorolása során ugyan figyelembe veszik az árvízi kitettséget, de jelenleg még nincs konkrét, kidolgozott protokoll az árvíz -mint műszaki- kockázati tényező egységes figyelembevételére.	Feltételezem továbbá, hogy a védvonalak védőképessége és lokalizációs tervei alapján az öblözetekben lévő települések árvíz kockázati besorolása értékelhető.	Célom, hogy a modellezési eredmények alapján javaslatok készítsék az árvízvédelmi védvonal tönkremeneteli valószínűségének becslésére és az öblözetekben lévő települések katasztrófavédelmi besorolására	Kutató munka során kigyűjtöttem és statikisztikát készítettem a Körösökön levonóul árhullámokról és az árvízvédelmi töltéseken kialakult jelenségekről, kialakult hossz és a tartósság tekintetében, mely árvízvédelmi védvonal tönkremeneteli valószínűségének becsléséhez hozzájárul. Kutatásaim eredményeként kigyűjtöttem és bemutatásra kerülnek a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság áltéri öblözeteiben lévő települések árvízi elöntések kockázati kategóriái melyekre új típusú besorolást dolgoztam ki.