

# ÁRVÍZVÉDELMI TÖLTÉSEK ÁLLÉKONYSÁG VIZSGÁLATA

Tímár Attila

kiemelt műszaki referens  
Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság

## KIVONAT

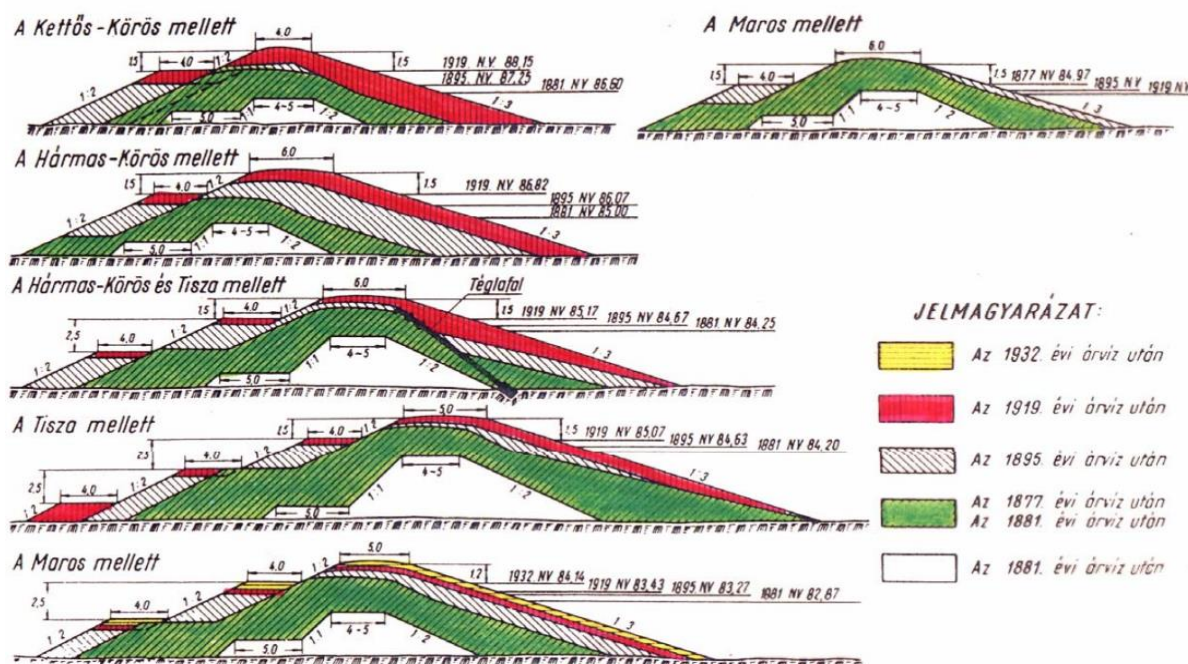
Magyarországon az árvizek biztonságos levezetését jelentős többséggel az árvízvédelmi töltések biztosítják. Ezen töltések nagy része földmű, melyre számos tényező hat, ami befolyásolja a védmű árvízvédelmi biztonságát. A dolgozat egy árvízvédelmi töltés állékonyság vizsgálatát mutatja be, különböző terhelések hatására.

**KULCSSZAVAK:** árvízvédelmi töltés, állékonyság, szivárgás, állékonyságvizsgálat, állékonyságszámítás

## Bevezetés

Hazánk árvizeinek biztonságos levezetését a 4200 km állami fővédvonal biztosítja. E fővédvonalaknak, mint töltéseknek a nagy része földmű, melyre számos tényező hat, ami befolyásolja a védmű árvízvédelmi biztonságát.

Az árvízvédelmi töltések kivétel nélkül anyagárból, a kötött fedőrétegek anyagának válogatás nélküli felhasználásával épültek, továbbá ugyanígy történtek a töltések többszörös megerősítései is. Ebből az építési eljárásból következik, hogy a töltések belseje majdnem kivétel nélkül heterogén.



1. ábra: Az árvízvédelmi töltések fejlesztése

## Árvizes jelenségek kialakulása

A fedőréteg anyagából épült töltésekben változik az anyagok kötöttsége és változik természetesen a beépítés tömörsége is. Ezek a minőség, és tömörségváltozások pedig azt 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 anyagsűrűsödéseknek és lazulásoknak kell bekövetkeznie, másodlagos hézagoknak, hajszálrepedéseknek kell kialakulnia. A következő árvizeknél természetesen a telítődés folyamatát és a duzzadások mértékét már ezek a másodlagos jelenségek is erősen befolyásolják, tovább növelik a töltés belsejének feldarabolódását és ezzel a töltés áteresztőképességét is. Akkor pedig, ha a töltésben valamilyen formában már határozottabb keresztzivárgások is ki tudnak alakulni, megindulhat a kilúgozódás és ezzel az egyes részek morzsalékos szerkezettűvé alakulása is. A töltés belseje tehát „járatoszá” alakulhat, elöregedhet. (Galli 1976)

A fentieket figyelembe véve elsősorban az altalaj és a töltésbe épített anyagok minősége határozza meg, milyen anyagok vízvezető-képessége szerint alakulnak ki az árvizes jelenségek.

A jelenségek, mint szivárgási folyamatok megítéléséhez és a védekezés módjának, mértékének meghatározásához elengedhetetlen a védvonalak altalajának és a töltés anyagának a hidraulikai ismerete.

Az árvízvédelmi töltések állékonysági biztonságát, tehát az altalaj hidraulikus törése és a mentett oldali rézsű megcsúszásának veszélye határozza meg.

Az első a töltés alatti, az altalaj rétegeiben bekövetkező szivárgások, míg a második a töltésen keresztül a mentett oldali rézsűlábánál, rézsűn megjelenő szivárgóvizek hatására következhet be.

### ***Szivárgások altalajban***

A talajtörési folyamatokat nem csak a mentett oldali fedőrétegek alatt kialakuló felhajtóerő, vagy a víz kilépési gradiense határozza meg, hanem nagy a mentett oldali fedőrétegsor összetétele, minőségi jellege és vastagsága is meghatározza.

A vízvezető altalajokon fekvő, gyengén áteresztő, vagy vízzáró, de viszonylag vékony és gyökérlyukakkal, féregjáratokkal átszőtt kötött fedőrétegnél a töltésláb közelében zavaros, vagy tiszta vizű források, esetleg törpe buzgárok jelentkezhetnek, szélső esetben pedig a felhajtóerő a fedőréteget felszakíthatja.

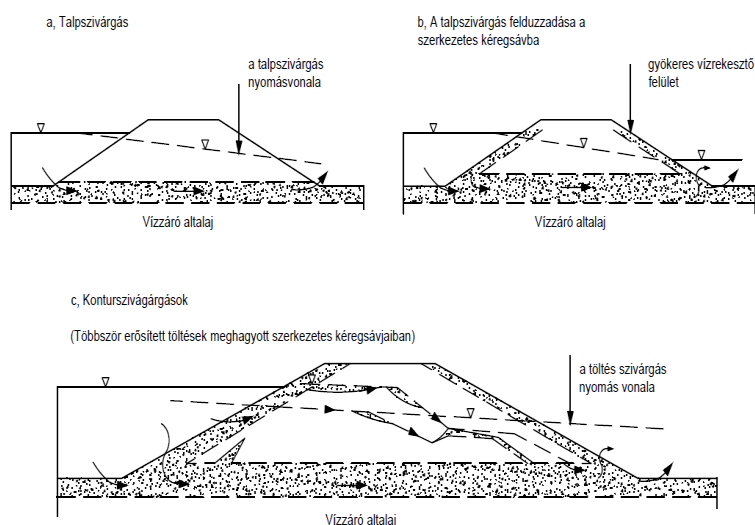
### ***Szivárgások töltésekben***

A töltéseken keresztüli szivárgások már nem mutatnak olyan egységes képet, mint az altalajban lejátszódó folyamatok. Sokkal több a befolyásoló tényezőjük is pl.: tömörség, homogenitás.

Hazai árvízvédelmi töltések heterogén szerkezetéből adódóan a vegyes anyagú töltések szivárgásával célszerűbb foglalkozni. A vegyes anyagú töltéseknél általában a szivárgások a töltés áteresztőbb részein, a töltés „járataiban” indulnak meg, és azonos típusú szivárgási vagy telítődési vonalak csak a nyomások keresztirányú kiegyenlítődése után alakulnak ki.

A vegyes anyagú töltésekben az átszivárgások hatása a mentett oldali rézsűlábánál, vagy a rézsű felületén mindig szabálytalanul, kisebb-nagyobb átnedvesedő foltokban jelentkeznek. A foltok mögötti járatokban azonban áramvonal sűrűsödés következhet be. Ezért a vegyes anyagú töltéseknél rézsű-hámlások, vagy töltés-csurgások mindig előfordulnak. (Galli et al. 1971)

Az árvizek alatt végzett vizsgálatok szerint a töltések heterogenitása a szivárgások szempontjából három formában jelentkezhet: szerkezetes „talpréteggént”, áteresztő „kontúrsávok” és áteresztő „járatok” formájában a 2. ábrán látható módon.



2. ábra: Az árvízvédelmi töltések fejlesztése (Forrás: Galli László)

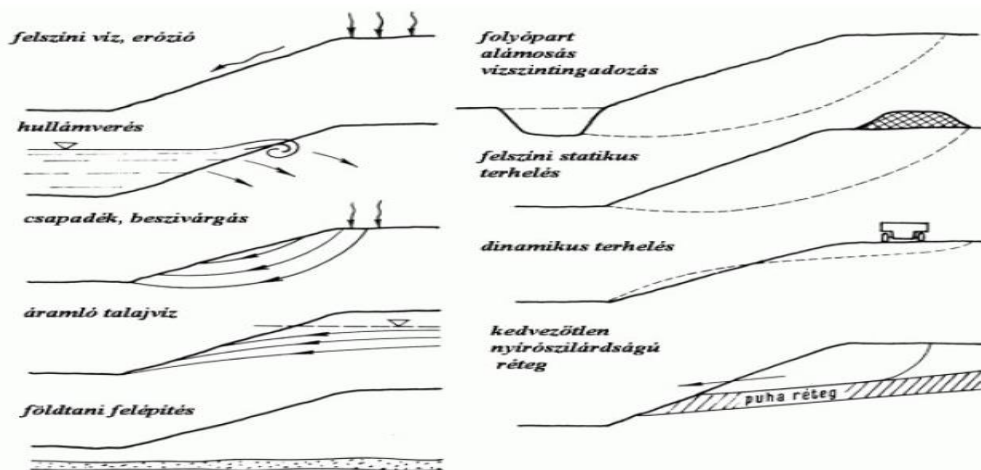
A töltésekben kialakuló szivárgásoknak a számbavétele azonban még nem elégséges ahhoz, hogy egy töltés állékonysági biztonsága megítélhető legyen. A szivárgások a felhajtó erők és a szivárgási nyomások növelésével, vagy a töltés anyagszilárdságának a lecsökkentésével válhatnak veszélyessé.

Ezért a védvonalak biztonságának megítélésénél a szivárgások vizsgálatát mindig ki kell egészíteni a talajmechanikai értékelésével is. (Galli 1976)

### Töltések állékonysága

Az önsúly és a többletterhelések hatására a töltésekben nyírófeszültségek keletkeznek. Az árvízvédelmi töltésekben bekövetkező károsodások közül az egyik legveszélyesebb a suvadás, ami az árvízvédelmi töltés megcsúszását jelenti.

Ha a töltésben és a vele együtt dolgozó altalajban kialakulni képes bármely folytonos felület mentén kialakuló nyírófeszültségek elérik a felület által átmetszett talajok eredő nyírószilárdságát (nyírási ellenállását), talajtörés jön létre, és a földtömeg e folytonos felület(-ek) (csúszólap(-ok)) mentén lecsúszik. (Faur et al. 2011)



3. ábra: A rézsűk állékonyságára ható tényezők (Forrás: Faur Krisztina Beáta-Szabó Imre)

## Állékonyságvizsgálatok

A korábbi vizsgálataim és modellezéseim során az árvízvédelmi töltések állékonyságát vizsgáltam több szelvényben a KÖVIZIG területén belül. Ilyen vizsgálataim voltak a Kettős-Körös bal oldali 32+250 tkm szelvényének, valamint a Hármas-Körös bal oldali töltés 68+500 tkm szelvényének rézsűállékonyság-vizsgálata.

Célom volt, hogy a töltés belső szerkezetének minél pontosabb megismerése, mely adatai alapján egy modellező program (GEO5) segítségével állékonyságot számítottam különböző terhelések mellett.

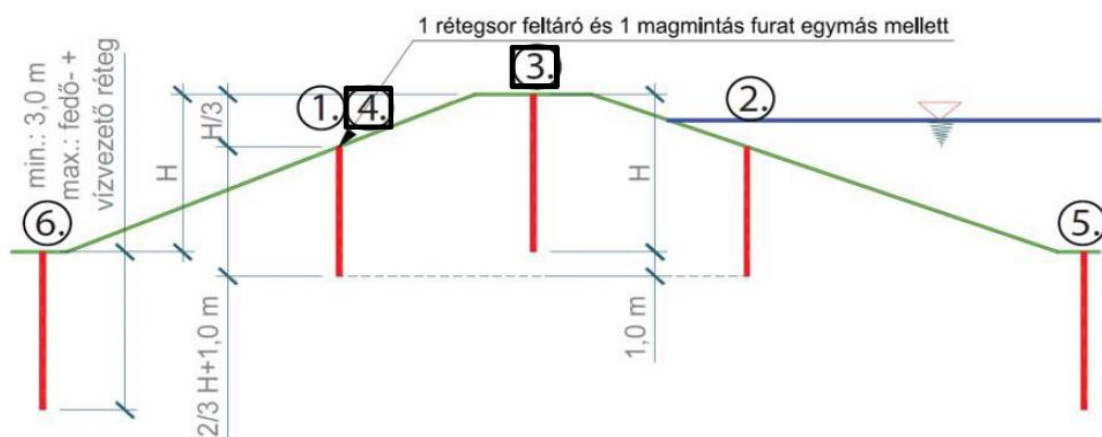
A töltés belső szerkezetét talajmechanikai vizsgálatok és geofizikai mérések alapján, a töltés keresztmetszetét pedig geodéziamérésekkel határoztam meg.

A geofizikai mérésekkel a talaj, mint töltés elektromos ellenállásának meghatározása volt a cél, ami viszont az ásványi összetételtől függ. Ha ismert a talajfajta (az ásványi jelleg), akkor a módszer alkalmas a nedves (viszonylag kisebb ellenállású) és száraz (nagy ellenállású) talajzónák elhatárolására. Ez a fajta vizsgálat a talajfajta meghatározására önmagában nem, csak a talajmechanikai fúrások eredményeinek kalibrálásával használható fel.

A belső szerkezet kellő megismerése érdekében a geofizikai vizsgálatokat olyan helyen végeztem ahol rendelkezésre állt minél több talajmechanikai feltárás illetve talajmechanikai adat.

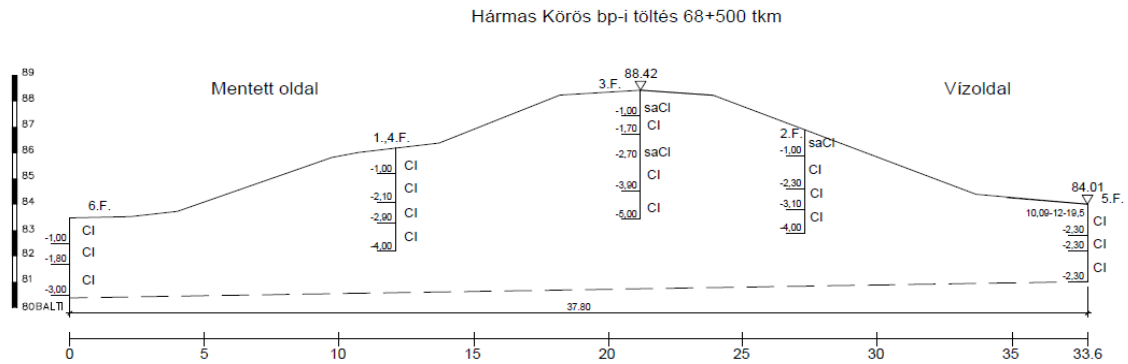
A Hármas-Körös bal oldali 68+500 tkm szelvénye az Árvízi veszély-és kockázati térképezés keretében (ÁKK projekt) töltésszakadásra hajlamos szakasznak lett kijelölve, ezért a kiválasztott szelvényben geodéziai és geotechnikai feltárás történt, ahol 1 szelvényben 6 talajmechanikai feltárást (4 zavart és 2 zavartalan) végeztek el.

A talajfeltárás  $\varnothing 75$  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. Magminta vétel  $\varnothing 40$ mm-es kiszúró hengerrel készült, a feltáró fúrás alapján a talajrétegződés figyelembevételével. A feltárás a töltéslábnál 3 méter mélységben történt, a töltéstestben pedig 4-5 méter mélységig tartott.



4. ábra: Feltáró fúrások a szelvényben (Forrás: Bálintné-Németh 2014)

A laboratóriumban közvetlen vizsgálattal meghatározták az egyes minták víztartalmát, a durvaszemcsés rétegek szemeloszlásai és a finomszemcsés rétegek konzisztenciahatárait. A zavartalan mintákból ezen túl megállapították a nedves és száraz térfogatsúlyokat, valamint a hézagtényezőket. (Bálint et al. 2014)



5. ábra: A Hármas-Körös bal oldali töltés 68+500 tkm szelvényben végzett feltárások helyei  
 Forrás: a szerző szerkesztése

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. (Kisházi 2010)

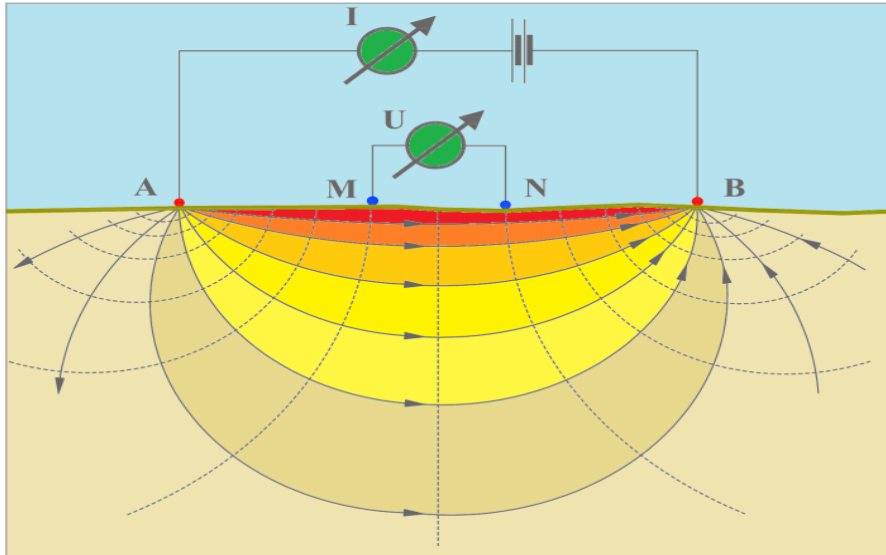
A telített állapothoz tartozó talajmechanikai jellemzők (kohézió, belső súrlódási szög, térfogsűrűség) meghatározására karakterisztikus értékeket képeztem (csak a kohézióra és a belső súrlódási szögre), mivel a kötött talajok esetében a kötöttség növekedésével nő a kohézió és a belső súrlódás meghatározásának bizonytalansága.

A talajmechanikai adatokat ismerve került elvégzésre a geofizikai vizsgálat az adott szelvényben.

A korábban elvégzett talajmechanikai fúrások, mint roncsolásos vizsgálatok közötti területek ismeretlenek voltak, ezért annak érdekében, hogy az állékonyságvizsgálathoz a töltés szerkezetét minél részletesebben megismerjem és pontosabban tudjam előállítani a szelvény rétegtrendjét, szükségesnek ítélt meg az adott töltésszakaszt geofizikai módszerekkel is megvizsgálni.

E vizsgálatok betekintést adhatnak az árvízvédelmi töltés belső szerkezetébe (a talajmechanikai fúrásokkal kalibrálva) és további értékelést adhat a biztonságos védekezés érdekében.

A geofizikai mérés elve az, hogy 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.

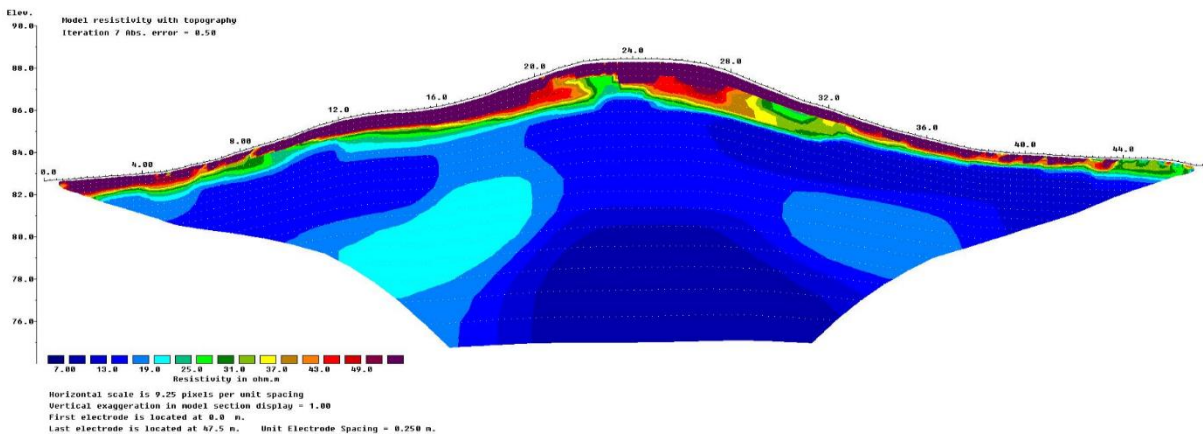


6. ábra: Az egyenáramú geoelektromos ellenállásmérések elvi vázlata az áramvonalak (folytonos) és az ekvipotenciális (szaggatott) vonalak feltüntetésével  
 Forrás: Klembala Zsombor-Lukács Tamás-Virok András

A 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 méréssel nem csak egy felszíni pont alatti tartományról, hanem egy felszíni vonal alatti síkról lesznek információink.

A Hármas Körös 68+500 tkm szelvényének vizsgálata Wenner-Schlumberger (elektrodák közti távolsága megegyező) szekvenciával került elvégzésre, mely horizontálisan rétegzett közeg feltérképezésére használható.

A mérési eredmények fajlagos ellenállási képét az alábbi modellkép szemlélteti:



7. ábra: Hármas-Körös bal part 68+500 tkm, fajlagos elektromos ellenállásszelvény  
 (Forrás: Tímár 2021)

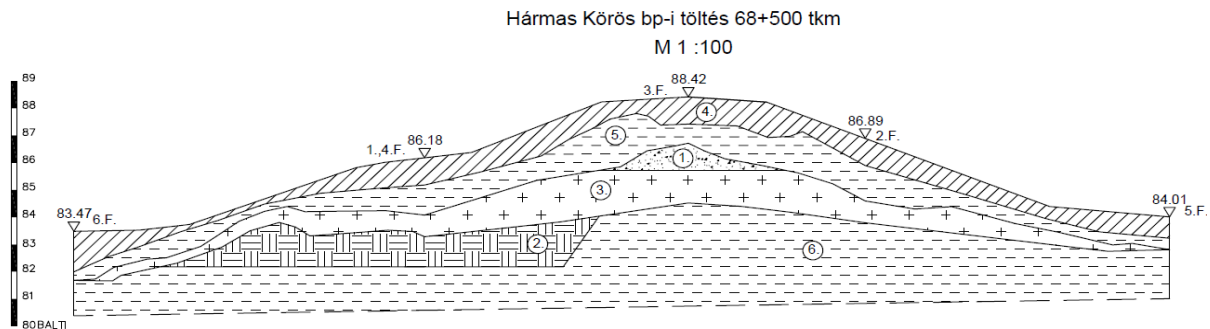
A 2D modellképen jól azonosíthatók a különböző ellenállású rétegek a felszín alatt. A fajlagos ellenállás szelvények kiértékeléséhez fontos tudni, hogy az egyes anyagokhoz rendelhető egy általános karakterisztikus ellenállás tartomány, ám ezt több effektus befolyásolhatja (pl.: víztelítettség, kompaktság, fémtartalom). Ezáltal nincs uniformizálható kiértékelése a szelvényeknek, mindegyik külön-külön megfontolást igényel. (Tímár 2021)



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. (Tímár 2021)

### Rétegszelvények létrehozása

A vizsgált szelvényben vett furatminták laboratóriumi vizsgálatát követően meghatározásra kerültek a karakterisztikus értékek (telített kohézió, súrlódási szög). A furatok helyeit, karakterisztikus értékeiket, valamint a geofizikai mérések eredményeit figyelembe véve az alábbi rétegek kerültek meghatározásra:



8. ábra: A töltés rétegszelvénye (Forrás: Tímár 2021)

A töltéstartományban a rétegek részletes lehatárolását a talajmechanikai fúrások fúrásszelvényeire alapoztam: egymásra helyeztem a töltés keresztmetszényét, a talajmechanikai fúrások függvényeinek rétegsorait és a geofizikai modell eredmény mezőit.

A fenti információk egymásra vetítésével jól elkülöníthetők váltak az adott fúrási szelvények rétegei, melyek alapján a fajlagos ellenállási értékeket valamint a fúrások telített kohézióját, súrlódási szögét és térfogatsúlyát figyelembe véve szerkesztettem meg a töltés rétegszelvényét.

Réteg	Telített kohézió (kPa)	Súrlódási szög (fok)	Térfogatsúly (telített) (kN/m <sup>3</sup> )
Sorszám	c	$\phi$	$\gamma_t$
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

1. táblázat: A rétegek karakterisztikus értékei (Forrás: Tímár 2021)

### Állékonyságszámítás

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

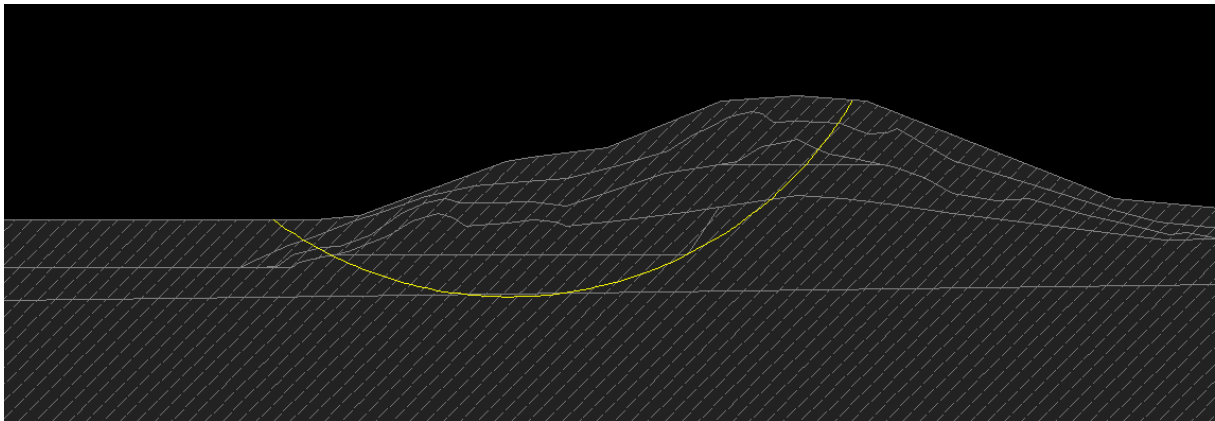
A vizsgálatot Geo5 rézsűállékonysági modullal, Bishop-féle számítási eljárással végeztem el, amely az egyik legpontosabb vizsgálati módszer. (Tímár 2021)

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

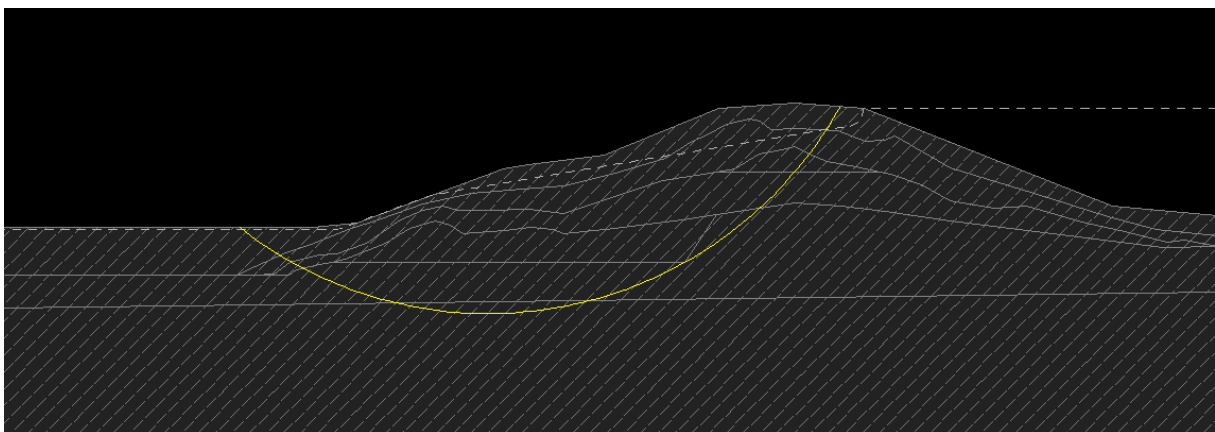
1. terheletlen töltésnél;
2. vízdali töltés koránélét elért vízszint esetén kialakult terhelésnél;
3. tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás telített talajállapot esetében;
4. tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás (vízterhelés nélkül).

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 terhelteké válhatnak.

A töltéstartestben kialakuló szivárgási görbét a Kozeny-Casagrande féle feltételezés szerint, szabályos keresztzivárgásként határoztam meg, melyet a töltésben lévő rétegek hasonlósága indokolt. (Galli 1976)



9. ábra: Terheletlen töltés állékonyságvizsgálata a köríves csúszólap megjelenítésével (Forrás: Tímár 2021)



10. ábra: A vízdali töltéskoránélét elért vízszint esetén kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap és a szivárgási útvonal megjelenítésével (Forrás: Tímár 2021)

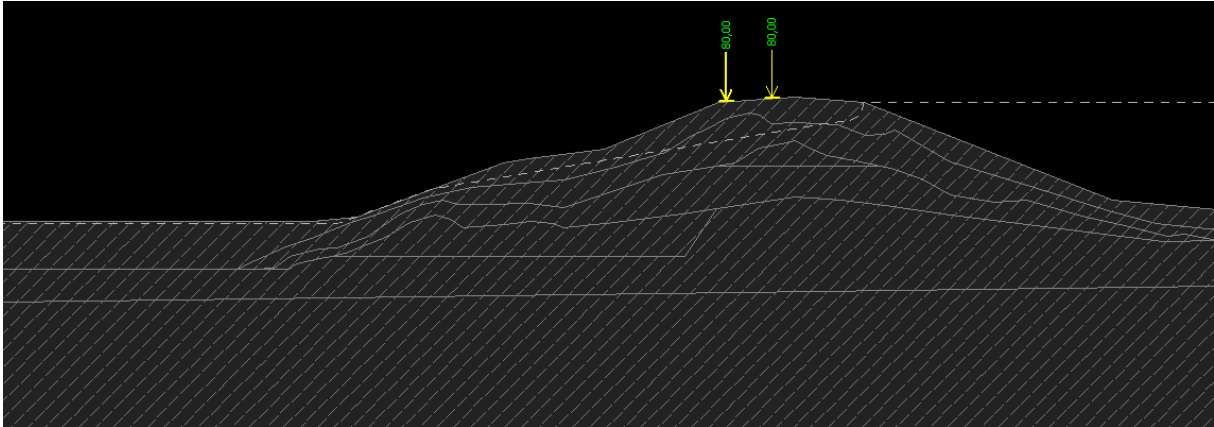
#### **Tehergépjármű terhelés esetén állékonyságszámítás telített talajállapot esetében**

Az árvízvédelmi töltés állékonyságvizsgálatát teherforgalmi terhelés esetén is megvizsgáltam, mivel a töltés rendszeres terhelésnek van kitéve a rajta közlekedő gépjármű forgalomból adódóan. A vizsgálatom során a járműterhet, mint esetleges terhet a „MSZ-07-3701/86: Közúti Hidak erőtani számítása” szabvány szerint vettem fel.

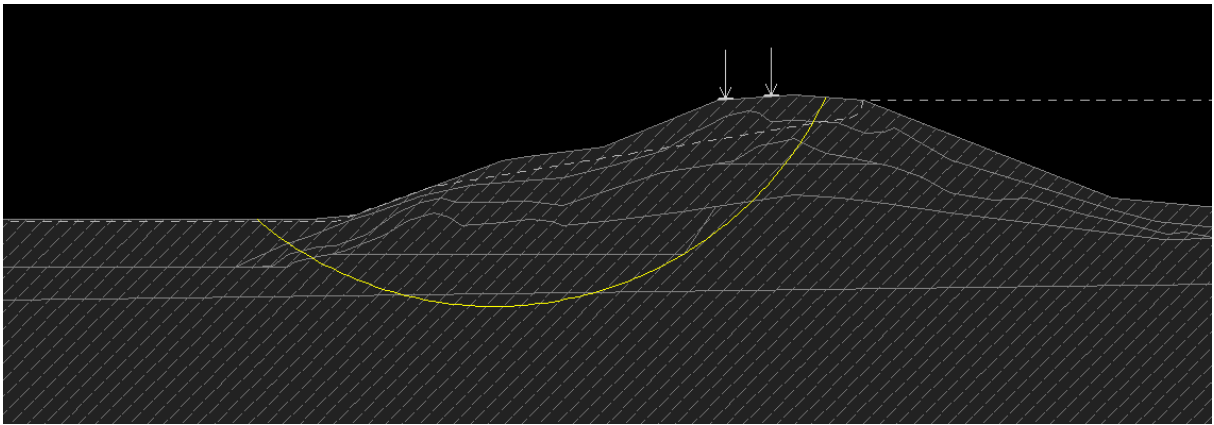
A jármű tengelyei közül a hátsó tengelyek súlyából adódó terhet vettem fel, ami 80 kN/kerék értékkel bírt, ami egy 160kN/tengelyű (80-80 kN/kerék) tehergépjármű terhelésének felelt meg. Nyomtávként 1,80 m-t vettem fel. A terhelést a legszélsőségesebb esetre tételeztem fel,



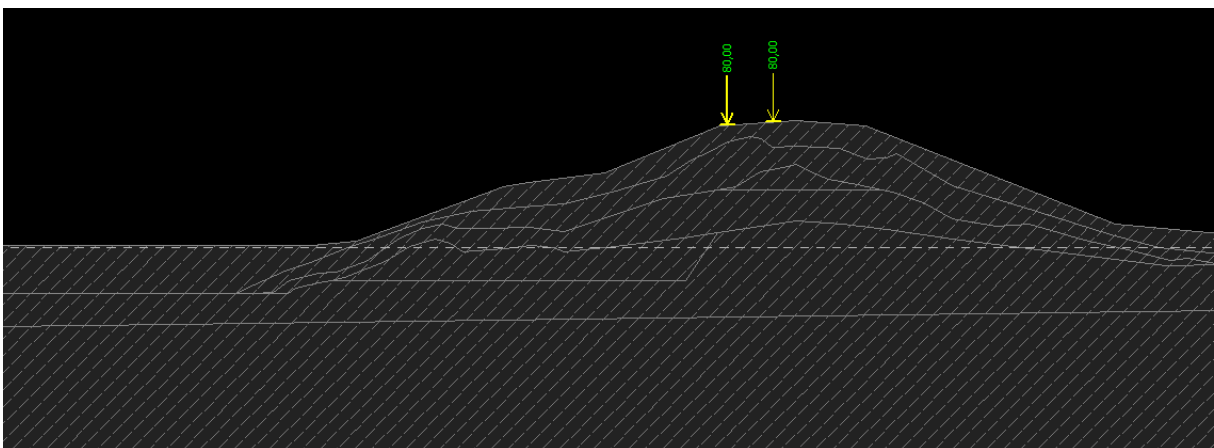
amikor a gépjármű egyik kerékterhelés értékét a mentett oldali részüélben vettem fel, mind feltett talajállapot, mind vízterhelés nélküli töltés esetében is.



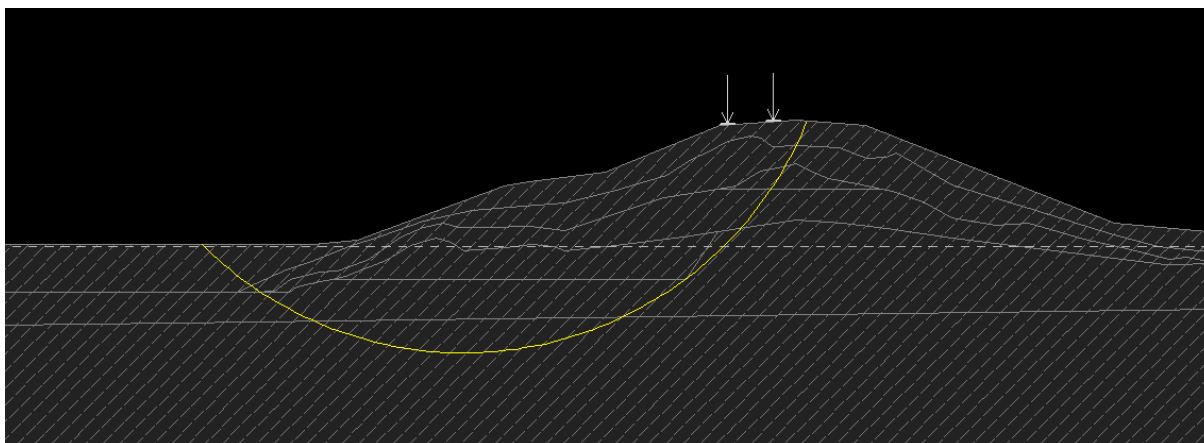
11. ábra: A vízdali töltéskoránélt elért vízszint és a tehergépjármű terhei megjelenítése a töltésen (Forrás: Tímár 2021)



12. ábra: A vízdali töltéskoránélt elért vízszint és a tehergépjármű terhei által kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap és a szivárgási útvonal megjelenítésével (Forrás: Tímár 2021)



13. ábra: A tehergépjármű terhei megjelenítése a töltésen (Forrás: Tímár 2021)



14. ábra: A tehergépjármű terhei által kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap megjelenítésével (Forrás: Tímár 2021)

## Eredmények

Az állékonyságvizsgálatot az alábbi terhelési esetekre végeztem el:

1. árvíz nélküli, de telített állapotú önsúly;
2. telített állapotú önsúly és a töltés vízdali töltéskoronaélét elérő árvízszint melletti szabályos keresztzivárgás;
3. telített állapotú önsúly, a töltés vízdali töltéskoronaélét elérő árvízszint melletti szabályos keresztzivárgás és a mentett oldali koronaélen futó szélső kerekű közúti „B” osztályú tehergépjármű;
4. telített állapotú önsúly, és a mentett oldali koronaélen futó szélső kerekű közúti „B” osztályú tehergépjármű;

Vizsgálatok száma	Aktív erők összessége (kN/m)	Passzív erők összessége (kN/m)	Elcsúszási nyomaték (kN/m)	Ellennyomaték (kN/m)	Biztonsági tényező	Rézsúállékonyság
1.	347,71	430,50	5462,56	6763,12	1,24 > 1,50	NEM MEGFELELŐ
2.	371,17	299,02	5875,69	4733,49	0,89 > 1,50	NEM MEGFELELŐ
3.	385,47	297,88	5562,34	4298,47	0,77 > 1,50	NEM MEGFELELŐ
4.	424,53	394,02	6159,87	5717,22	0,93 > 1,50	NEM MEGFELELŐ

2. táblázat: Az állékonyságszámítások eredményei

A terhelési esetek vizsgálata révén megítélhető a töltés állékonysága, a töltéskorona védekezés során megengedhető terhelése, valamint az állékonyságnövelő fejlesztések szükségessége és jellege.

A vizsgálatok során megállapítható, hogy a telített állapotú vízterhelés nélküli árvízvédelmi töltés  $n=1,24$  biztonsági tényezővel bíró rézsúállékonysága nem felel meg az MSZ-15292 szabvány által előírt  $n=1,5$  biztonságnak, viszont jóval felette van az állékonyság határhelyzetét jelentő  $n=1,0$ -nek, vagyis teljesen telített, árvízi terhelés nélküli állapotban nagy valószínűséggel kellően stabil állapotú a szelvény. De mivel a kapott biztonsági tényező alatta marad a szabvány által megköveteltnek, ezért indokolt a szelvény fejlesztése, megerősítése.

Az árvízszint megjelenésével, amikor az árvízszint eléri az árvízvédelmi töltés vízdali koronáját, (ezzel a töltés nyúlgát építés nélkül eléri a maximális terhelhetőségét árvízvédekezés során) a biztonsági tényező drasztikusan lecsökkent, a kapott állékonysági tényező  $n=0,89$  volt, vagyis a töltéstest nem bírja el ezt a terhelést. Harmadfok feletti árvíz alkalmával nagy valószínűséggel szükségessé válhat a mentett oldali töltésrészű bordás megtámasztással történő megerősítése. A beavatkozás elrendelése előtt célszerű árvíz alatti közvetlen feltárással meggyőződni a töltéstest telítettségének mértékéről.

## **Összefoglalás**

Eddigi vizsgálataim során a Hármaskörös bal oldali töltésének 68+500 töltéskilométer szelvényének állékonyságával végeztem oly szintű vizsgálatot, hogy a talajmechanikai és a geofizikai mérések kalibrálásával határoztam meg a töltés belső szerkezetét állékonyságvizsgálathoz.

Az általam elvégzett vizsgálati módszer a Geo5 szoftverrel valamint geofizikai vizsgálatokkal együttesen alkalmazva nagy segítséget nyújt az árvízvédelmi töltések rézsűállékonyságának gyors számításához a biztonsági tényező meghatározásához. A vizsgálati módszerrel kimutathatóvá válhatnak azon szakaszok, melyen a közeljövőben beavatkozásokat, valamint fejlesztéseket kell elvégezni az árvízvédelmi biztonság érdekében

## **Felhasznált irodalom**

Galli László: Az árvízvédelem földműveinek állékonysági vizsgálata. Országos Vízügyi Hivatal, (1976), 49-50.

Galli László-Szilvássy Zoltán-dr. Zsuffa István: Szivárgás-vizsgálatok az árvíz alatt. Vízügyi Közlemények 1971. évi 3. füzet. 212-213.

Faur Krisztina Beáta-Szabó Imre: Geotechnika 7, Digitális Egyetem (2011), 1

Bálintné Hegedűs Katalin–Németh Gyula: Árvízi töltések geotechnikai gyengepontjainak vizsgálata és numerikus modellezése az árvízi veszély és kockázati térképezési projekt keretében, Vízterv Environ Kft. (2014) 4.

Tímár Attila: Árvízvédelmi töltések állékonyság vizsgálata: Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből II. 2021.

Kisházi Péter Konrád: Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázati terv készítése (2010), 7-8

Tímár Attila: Kettős-Körös bal oldali 32+250 tkm szelvényének rézsűállékonyság vizsgálata. Műszaki Katonai Közlöny. Budapest, 2021.