

Árvízvédelmi töltések állékonyságvizsgálata

Absztrakt

Magyarországon az árvizek biztonságos levezetését jelentős többséggel az árvízvédelmi töltések biztosítják. Ezen töltések nagy része földmű, amelyre számos tényező hat, ami befolyásolja a védmű árvízvédelmi biztonságát. A cikk egy árvízvédelmi töltés állékonysági vizsgálatát mutatja be, különböző terhelések hatására, a GEO5 geotechnikai szoftver rézsűállékonysági moduljával. A vizsgálat során végzett számítások szemléltetik, hogy a terhelések milyen hatással vannak a védműre egy-egy árvizes időszakban.

Kulcsszavak: árvízvédelmi töltés, talajmechanika, állékonyság, geofizika, GEO5, rézsűcsúszás

Stability Tests of Flood Protection Dikes

The safe runoff of floods in Hungary is mostly ensured by the flood protection dikes. These are mostly earthworks, with several factors having impact on them. The article presents the stability tests of a flood protection dike for different loads using the slope stability module of GEO5 geotechnical software. The calculations of the tests show the impacts of loads of a flood period on these structures.

Keywords: flood protection dike, soil mechanics, stability, geophysics, GEO5, slope slide

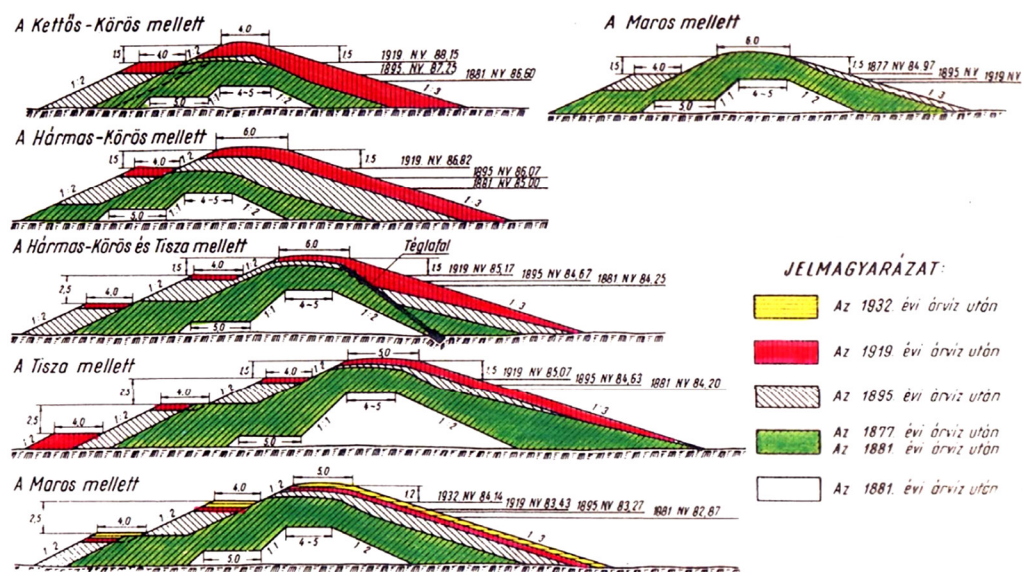
Bevezetés

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. Az árvízvédelmi töltések egyik legfontosabb tulajdonsága az állékonyság, amelyet nagymértékben befolyásol a töltések vízzel való áztatása. Az áztató hatás következtében különböző árvizes jelenségek, szivárgások jelentkeznek, amelyek nagymértékben gyengítik az árvízvédelmi töltések állékonyságát. A kutatás aktualitását az adja, hogy az elmúlt évtizedben az átlagot meghaladó módon nőtt az árvízveszély, így az ellene való védekezés hatékonyságának növelése kiemelt

feladat.¹ Ezt a kérdést a hadtudomány és a katonai műszaki tudomány területén folyó kutatások is fontosnak tartják.²

Árvizes jelenségek kialakulása

A Körösök árvízvédelmi töltései kivétel nélkül anyagárokból, 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.



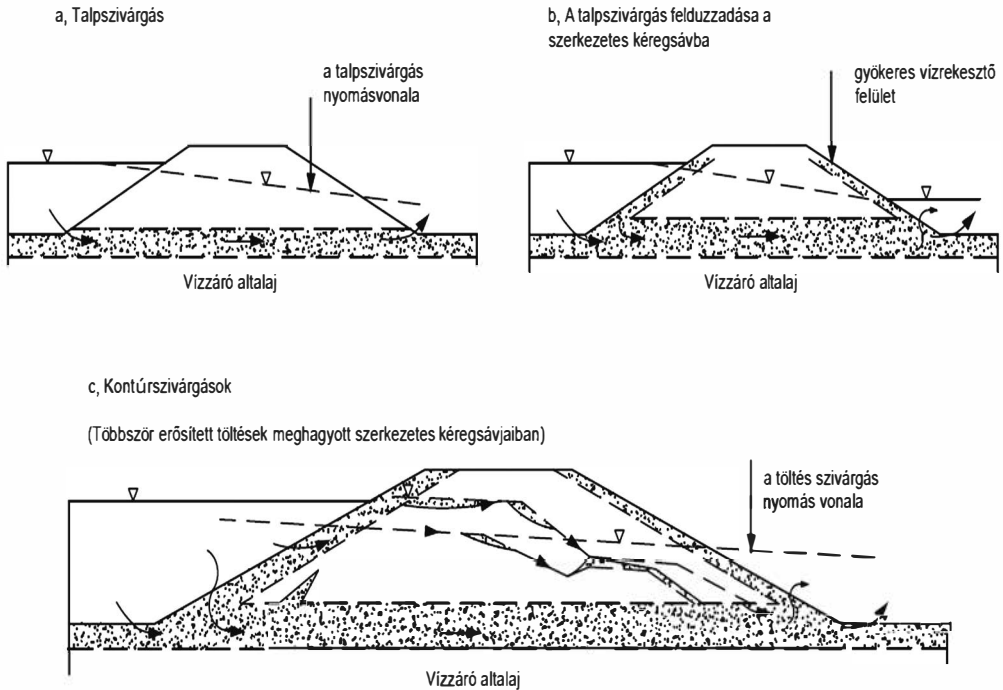
1. ábra: Az árvízvédelmi töltések fejlesztése

Forrás: Nagy László: *Árvízvédekezés a településeken*. Budapest, (k. n.), 2010. 110.

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.

¹ A publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

² Boda József et al.: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16.



2. ábra: Az árvízvédelmi töltések fejlesztése

Forrás: Galli László: *Az árvízvédelem földműveinek állékonysági vizsgálata*. Budapest, Országos Vízügyi Hivatal, 1976

A növényzettel benőtt területeken a fedőréteg felső része – hasonló módon, mint a töltés-rézsík szerkezeti kéregsávja – gyökérnyomos, féregjáratos és morzsalékos szerkezetű, tehát erősen áteresztő még akkor is, ha a réteg anyaga önmagában vízzáró.

A töltések építésénél és erősítésénél ez a szerkezeti áteresztő réteg kisebb-nagyobb vastagságban rendszerint a töltés alatt maradt. Ennek anyagát építették be a töltésbe az anyagárok felső részéből is, és foltokban vagy lencsékben ilyen anyagok maradtak a töltés-erősítéseknél az új töltésrész alatt. Árvízkor tehát ebben a „szerkezeti talpsávban” jelentős mértékű talpszivárgások, a töltés belsejében megmaradt szerkezeti kontúrsávokban pedig kontúrszivárgások tudnak kialakulni még akkor is, ha az altalaj fedőrétege és a töltés anyaga különben vízzáró.

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, hajszáltrepedéseknek 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 szerkezetűvé alakulása is. A töltés belseje tehát „járatossá” alakulhat, elöregedhet.³

Töltések rézsúállékonysága

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.

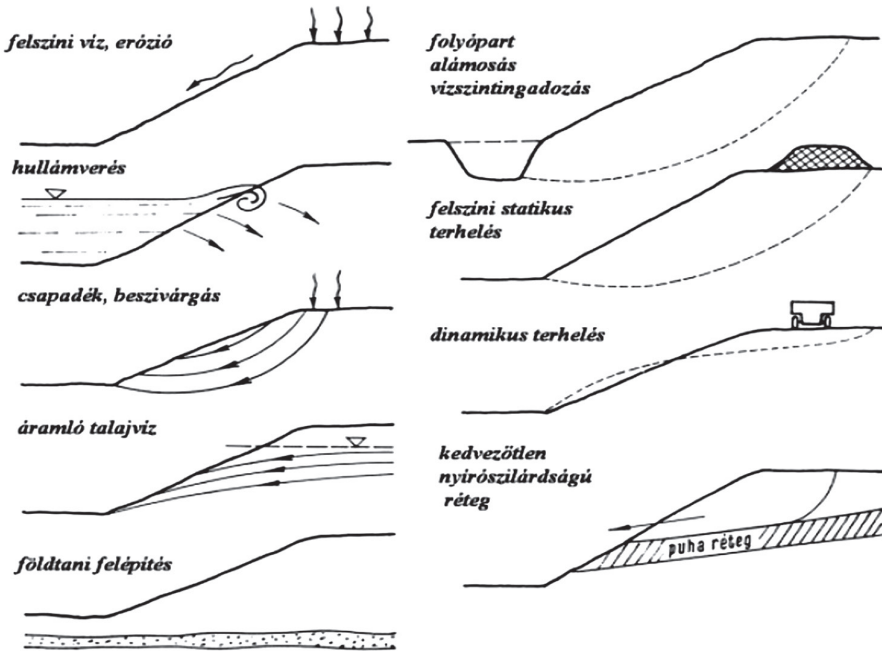


3. ábra: Tarpai rézsúcsúszás, 2001

Forrás: Nagy László: *A suvadások elleni védekezés gyakorlati kérdései*. Budapest, BME Geotechnikai Tanszék, 2015.

³ Galli (1976): i. m. 49–50.

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 ezen folytonos felület(ek) (csúszólap[ok]) mentén lecsúszik.⁴



4. ábra: A rézsűk állékonyságára ható tényezők

Forrás: Faur–Szabó (2011): i. m.

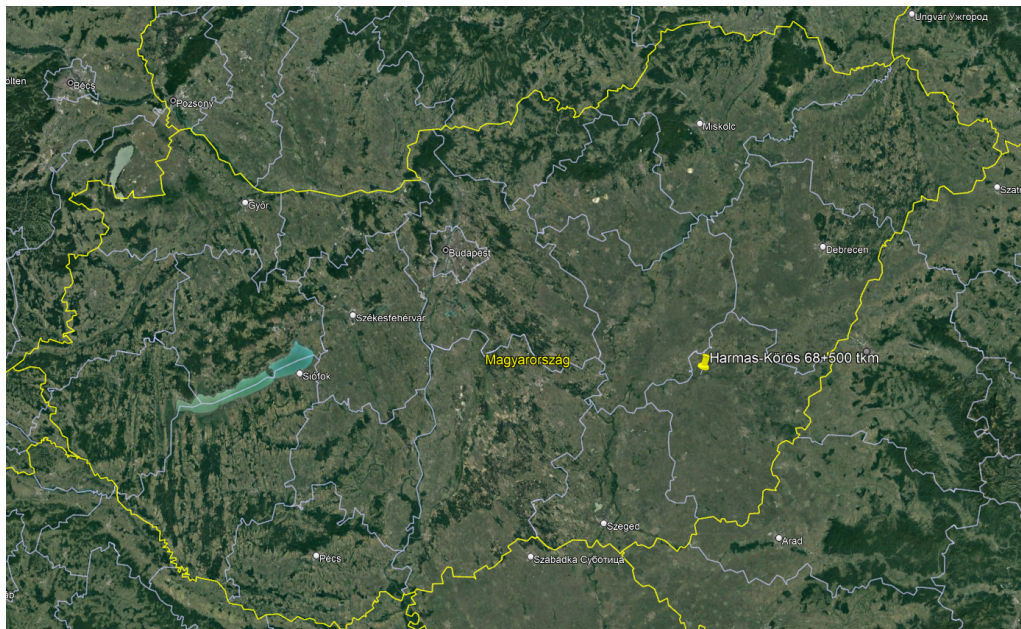
Az árvízvédelmi töltés állékonysági vizsgálatokor a csúszással mint tönkremenetellel szembeni biztonság meghatározása a célom, a Hármas-Körös töltésének egy szelvényében.

A Hármas-Körös bal oldali töltése

A vizsgált szelvény a Hármas-Körös bal oldali töltésének a 68+500 tkm szelvénye, amely a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság 12.01 Szarvasi árvízvédelmi szakasz fővédvonalán

⁴ Faur Krisztina Beáta – Szabó Imre: *Geotechnika*. Miskolc, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 2011. 1.

található, és a 2.95. számú Körös–Tisza–Maros közti ártéri öblözetet védi az árvízi előltek ellen.



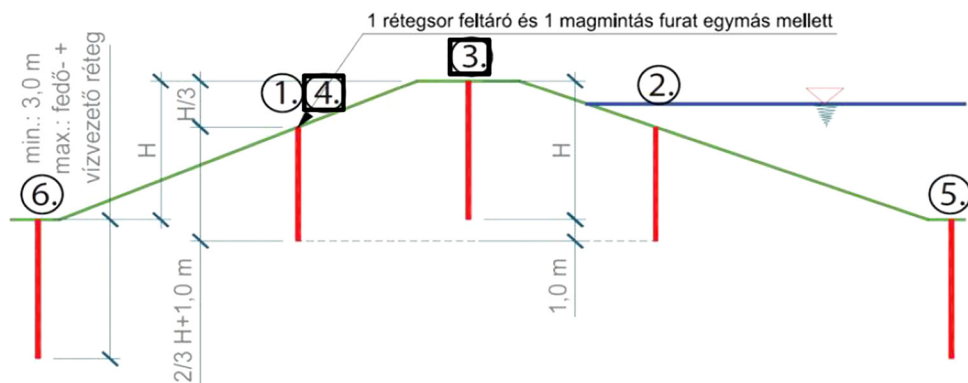
5. ábra: A Hármas-Körös vizsgált töltésszakaszának elhelyezkedése

Forrás: Google Earth

A védmű anyagára vonatkozó adatok

A töltés anyaga különböző konzisztenciájú és plaszticitású agyag. A védmű keresztmetszete az árvizek után többszöri magasítás és keresztmetszeti erősítés eredményeként úgynevezett „hagymaszelvénné” 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 töltésszakaszokat választottak ki, amelyek 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, amelyek mintavételét a 6. ábra, a mintavétel típusát az 1. táblázat mutatja be.



6. ábra: Feltáró fúrások a szelvényben

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

1. táblázat: A feltáró fúrások rendszere

Fúrás száma	Fúrás helye	Mintavétel típusa
1	mentett oldali rézsű	zavart
2	védett oldali rézsű	zavart
3	töltéskorona	zavartalan
4	mentett oldali rézsű	zavartalan
5	védett oldali töltésláb	zavart
6	mentett oldali töltésláb	zavart

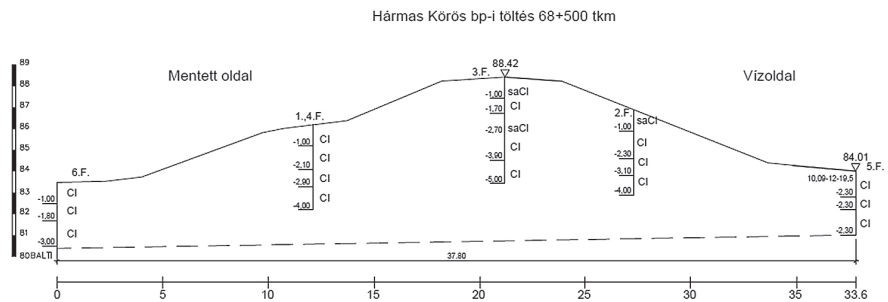
Forrás: Bálintné Hegedűs – Németh (2014): i. m.

A talajfeltárást Ø75 mm-es spirálfúróval rétegenként végezték el, ahol legalább 1,0 méterenként zavart talajmintavétel történt. A minták helyszíni azonosítás után vizsgálat céljából laboratóriumba kerültek. Magmintavétel Ø40 mm-es kiszűrő hengerrel készült, a feltáró fúrás alapján a talajrétegződés figyelembevételével. A feltárás a töltéslábnál 3 méter mélységben történt, a töltéstartományban pedig 4–5 méter mélységig tartott.

A laboratóriumban közvetlen vizsgálattal meghatározták az egyes minták víztartalmát, a durvaszemcsés rétegek szemeloszlásai és a finomszemcsés rétegek konzisztenciahatárait. A zavartalan mintákból ezenfelül megállapították a nedves és száraz térfogatsúlyokat, valamint a hézagtelítettségüket.⁵

A vizsgált szelvényben végzett feltárások helyeit a 7. ábra, a feltárások eredményeit a 2. táblázat mutatja be:

⁵ Bálintné Hegedűs – Németh (2014): i. m. 4.



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

2. táblázat: A Hármas-Körös bal oldali töltés 68+500 tkm szelvényben végzett talajmechanikai feltárások eredményei

Vízfolyás neve		Hármas-Körös	
Partoldal		bal part	
Gátórjárás		12.01.05.	
Szelvénytípus		68+500	
Fúrás helye		Békés Megye, Gyomaendrőd 02319 hrsz.	
1. ; 4. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
Réteg		Mintavétel	Talaj megnevezése
határ	vastagság	mélysége	
1,00	1,00	0,6	Szürkésbarna közepes agyag (CI)
2,10	1,10	1,5	Barnásszürke közepes agyag (CI)
2,90	0,80	2,5	Szürke kövér agyag (CI)
4,00	1,10	3,5	Barnásszürke kövér agyag (CI)
2. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,00	1,00	0,6	Barna homokos sovány agyag (saCI)
2,30	1,30	1,5	Barna közepes agyag (CI)
3,10	0,80	2,6	Sötétszürke kövér agyag (CI)
4,00	0,90	3,6	Barnásszürke kövér agyag (CI)
3. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,00	1,00	0,5	Szürkésbarna homokos sovány agyag (saCI)
1,70	0,70	1,4	Barnásszürke közepes agyag (CI)
2,70	1,00	2,4	Szürkésbarna homokos sovány agyag (saCI)
3,90	1,20	3,5	Barnásszürke közepes agyag (CI)
5,00	1,10	4,5	Barnásszürke kövér agyag (CI)
5. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,20	1,20	0,6	Szürkésbarna közepes agyag (CI)
1,80	0,60	1,5	Barnásszürke kövér agyag (CI)
3,00	1,20	2,5	Szürke közepes agyag (CI)
6. számú FÚRÁSSZELVÉNY			
1,00	1,00	0,6	Barnásszürke közepes agyag (CI)
2,00	0,80	1,5	Szürkésbarna közepes agyag (CI)
3,00	1,20	2,5	Barnásszürke közepes agyag (CI)

Forrás: Bálintné Hegedűs – Németh (2014): i. m.

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 nagy mértékben függ a nedvességtartalomtól. Tömör talajok telített állapotukban akár rendkívüli kohézióval is rendelkezhetnek, míg extrém laza állapotban akár zérussá is válhat a telített állapothoz társuló kohézió.

A talajok telítődése időfüggő folyamat, amelyet a szivárgási tényező határoz meg.⁶

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 határoztam meg.⁷

3. táblázat: Talajfizikai jellemzők variációs tényezőinek meghatározása

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

ahol I_p = a kötött talaj plasztikus indexe.

Forrás: Kisházi (2010): i. m.

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:

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

⁶ Kisházi Péter Konrád: *Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázati terv készítése.* (h. n.), (k. n.), 2010. 7–8.

⁷ Kisházi (2010): i. m. 7–8.

A telített víztartalom meghatározása

A szükséges adatok:

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

iszap	soványagyag	közepesagyag kővéragyag
s [gr/cm ³]		
2,7	2,75	2,8

- talaj száraz térfogatsúlya (r_d).

A telített víztartalom számítása

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

A telített víztartalom ismeretében:

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

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

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

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

ahol I_c = a kötött talaj relatív konzisztenciaindex.⁸

⁸ Kisházi (2010): i. m. 10.

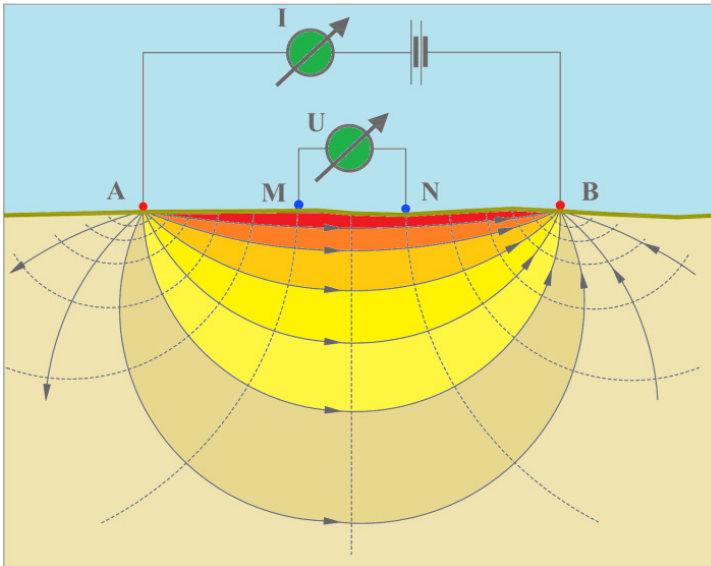
A geofizikai mérés célja

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

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 ítéltam az adott töltésszakaszt ERT-s (*electrical resistivity tomography*) szeizmikus méréssel is megvizsgálni. E vizsgálatok – mint roncsolásmentes vizsgálatok – betekintést adhatnak az árvízvédelmi töltés belső szerkezetébe, és további értékelést adhatnak a biztonságos védekezés érdekében.

A mérés elvi alapjai

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.



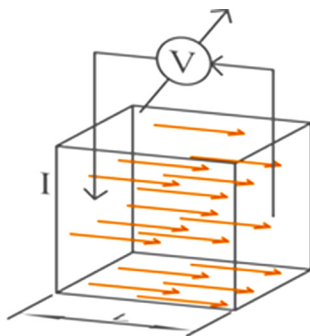
8. ábra: Az egyenáramú geoelektromos ellenállásmérések elvi vázlata az áramvonalak (folytonos) és az ekvipotenciális (szaggatott) vonalak feltüntetésével

Forrás: Klembala Zsombor – Lukács Tamás – Virok András: *A Keresztes-halom komplex geofizikai felmérése*. OTDK-pályamunka. Budapest, 2019.

Egyenáramú fajlagos elektromos ellenállás szelvényezés

Az egyenáramú geoelektromos mérések 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 $L = 1$ méter élhosszúságú kocka, ennek két ellentétes oldalán áthaladó $I = 1$ A áramerősség hatására $U = 1$ V feszültség lép fel, ekkor a közet ellenállása 1Ω , illetve a fajlagos elektromos ellenállása $1 \Omega\text{m}$. Ahol R a közet ellenállása, illetve ρ a közet fajlagos elektromos ellenállása.



9. ábra: 1 méter élhosszúságú homogén testen átfolyó áram

Forrás: Klembala–Lukács–Virok (2019): i. m.

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 alakjaitól, 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

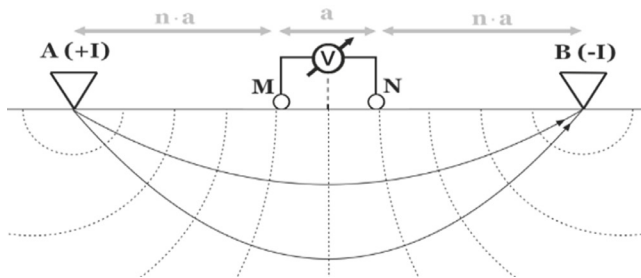
A módszer elve, hogy elektromos áramot bocsátunk a talajba az előzetesen elhelyezett elektródákon keresztül. Az itt kialakuló potenciáltér a közeg fajlagos elektromos ellenállásának függvénye lesz. Ezt potenciálektródák segítségével mérjük. A kibocsátott áram,

a mérési elrendezésre jellemző együttható, valamint a mért potenciálkülönbség ismeretében kiszámolható az adott közet részre jellemző látszólagos elektromos ellenállás.⁹

Az elektróda elrendezései

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

Schlumberger-féle elrendezés

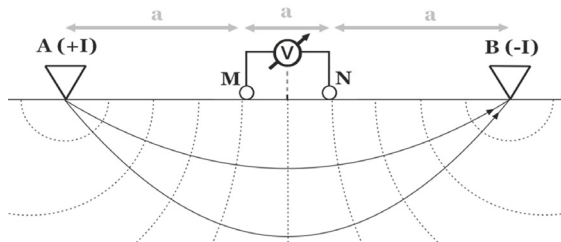


10. ábra: Schlumberger-féle elektródaelrendezés

Forrás: Renner János et al.: *Geofizikai kutatási módszerek III. Felszíni geofizika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.

Schlumberger-elrendezésben az A és B közti távolság mindenképpen nagyobb, mint az M és N közti a távolság: $r_{AM} = r_{NB} = n r_{MN}$

Wenner-féle elrendezés

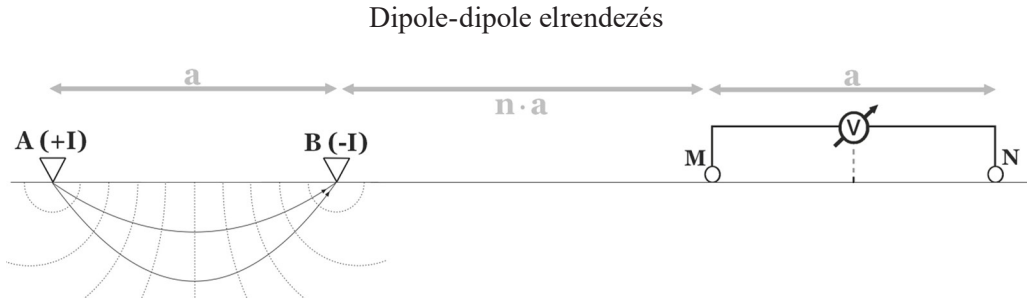


11. ábra: Wenner-féle elektródaelrendezés

Forrás: Renner et al. (1970): i. m.

⁹ Klembala–Lukács–Virok (2019): i. m.

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



12. ábra: Dipole-Dipole elektródaelrendezés

Forrás: Renner et al. (1970): i. m.

A dipole-dipole elrendezésnél szintén négy elektródát használunk, csak a két mérő-elektroda nem az áramelektrodák közt helyezkedik el: $r_{AB} = r_{MN} = a$, $r_{BM} = n \cdot a$

Multi-elektrodás mérési módszer

Ahogy a VESZ-méréseknél, a multi-elektrodás 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 multi-elektrodás 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 ellenállás mérésénél itt is négy elektródát használunk. A műszerekben egy program futtatja végig a mérési sorozatot, hogy mikor mely elektródákkal történjen a mérés. Multi-elektrodás méréssel nemcsak egy felszíni pont alatti tartományról, hanem egy felszíni vonal alatti síkról lesznek információink. Ha az elektródákat nem lineárisan, hanem a felszínen egy rácsáló mentén helyezük el, akkor háromdimenziós adatokat fogunk kapni a mért területről.

A mérés menete

A terepi felvonulást és a vizsgálni kívánt terület kijelölését követően geodéziai felmérést végeztünk. 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 elektródátávolság választása esetén. Ezért geodéziai felmérés történt a kijelölt szelvényben egy Leica GNSS Smartworx GS14 vevővel és egy CS15 terepi kontrollerral EOV-koordináta-rendszerben.

A multielektrodás mérés során elhelyezett elektródákat felmérték 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 keresztshelvénye. A geometriát tekintve a töltés vertikális értelemben véve magassághányos, 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.

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



13. ábra: A vizsgált szelvény helye

Forrás: a szerző felvétele

A geodéziai felmérést követően a geofizikai mérés következett, ahol a mérés során az volt a cél, hogy minél strukturáltabban tudjuk értelmezni a kapott adatokat. A mérés egy Iris Instruments gyártmányú Syscal Switch Pro 96 ERT műszerrel történt, 96 elektródával, 0,5 méteres elektródatávolsággal.



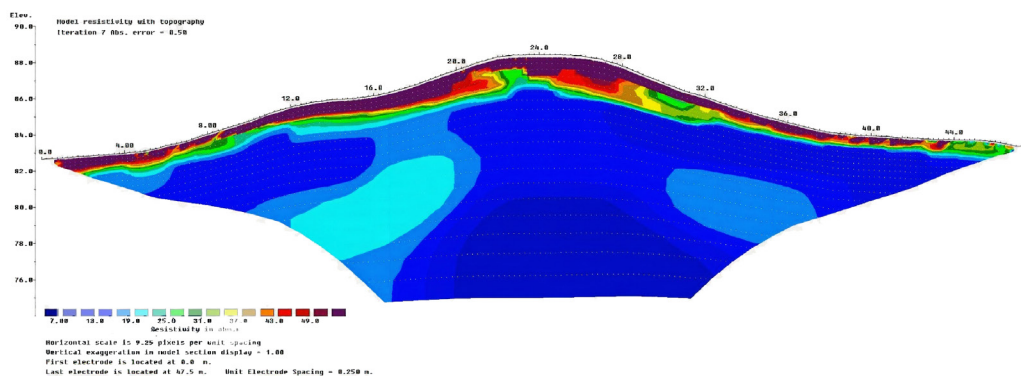
14. ábra: A fajlagos ellenállásmérő mérés közben

Forrás: a szerző felvétele

A mérést Wenner–Schlumberger-szekvenciával végeztük el, amely horizontálisan rétegzett közeg feltérképezésére használható.

A mérés során a töltéstartó nem találtunk olyan tárgyakat és eszközöket (antropogén eredetű objektumok), amelyek az elektromos vezetőképességben változásokat okoztak volna (például fém- és betonoszlopok, valamint törmelékek). A felmérés alapján megállapítottuk, hogy a töltéstartó különböző ellenállású anyagok alkotják.

A mérési eredmények fajlagos ellenállási képét az alábbi modellkép szemlélteti:



15. ábra: Hármaskörös bal part 68+500 tkm, fajlagos elektromosellenállás-szelvény

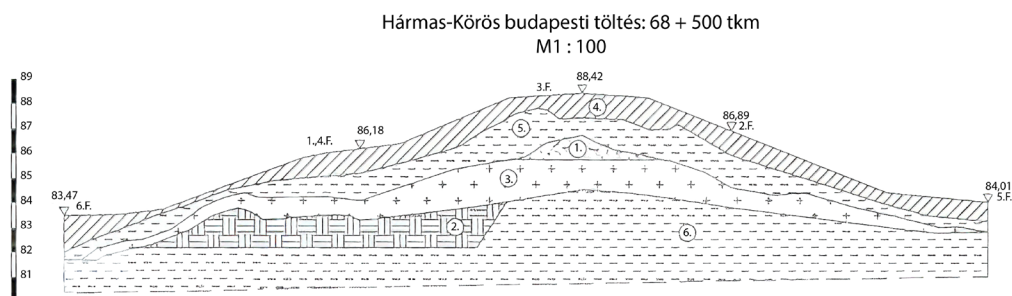
Forrás: a szerző szerkesztése

A 2D modellképen jól azonosíthatók a különböző ellenállású rétegek a felszín alatt. A fajlagosellenállás-szelvények kiértékeléséhez fontos tudni, hogy az egyes anyagokhoz rendelhető egy általános karakterisztikus ellenállási tartomány, ám ezt több effektus befolyásolhatja (például 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 jellemzők, ami agyagos területre utal, ezt a talajmechanikai fúrásszelvények is igazolták.

Rétegszelvények létrehozása

A vizsgált szelvényben vett furatminták laboratóriumi vizsgálatát követően meghatároztuk a karakterisztikus értékeket (telített kohézió, súrlódási szög). A furatok helyeit és karakterisztikus értékeit, valamint a geofizikai mérések eredményeit figyelembe véve az alábbi rétegeket határoztam meg.



16. ábra: A töltés rétegszelvénye

Forrás: a szerző szerkesztése

4. táblázat: A rétegek karakterisztikus értékei

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

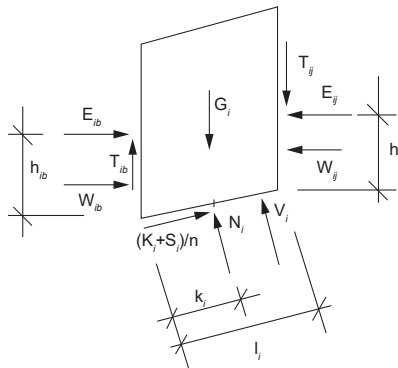
Forrás: a szerző szerkesztése

A töltéstestben a rétegek részletes lehatárolását a talajmechanikai fúrások fúrásszelvényeire alapoztam: egymásra helyeztem a töltés keresztmetszvényét, a talajmechanikai fúrások függélyeinek rétegsorait és a geofizikai modell eredménymezőit.

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

Állékonyságszámítás GEO5 modellel

A töltés állékonysági vizsgálatát GEO5 rézsúállékonysági modullal, azon belül is a hatályos EN 1997 szabvány szerinti biztonsági tényezősszámítással vizsgáltam. A vizsgálatot GEO5 rézsúállékonysági modullal, Bishop-féle számítási eljárással végeztem el, amely az egyik legpontosabb vizsgálati módszer.¹⁰



$$T_{ib} = T_{ij} = 0 \text{ de } E_{ib} \neq E_{ij}$$

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

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

¹⁰ Tímár Attila: Kettős-Körös bal oldali 32+250 tkm szelvényének rézsúállékonyság-vizsgálata. *Műszaki Katonai Közlöny*, 31. (2021), 2. 127–139.

A biztonsági tényezőt a következő összefüggés alapján, iterációval tudjuk meghatározni:

$$v = \frac{1}{\sum_i G_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot l_i + (G_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \phi_i \cdot l_i + \sin \alpha_i}{v}}$$

α_i : a csúszólap érintőjének hajlása az adott lamellánál

u_i : a pórusvíznyomás értéke a lamella alján

b_i : a lamella szélessége

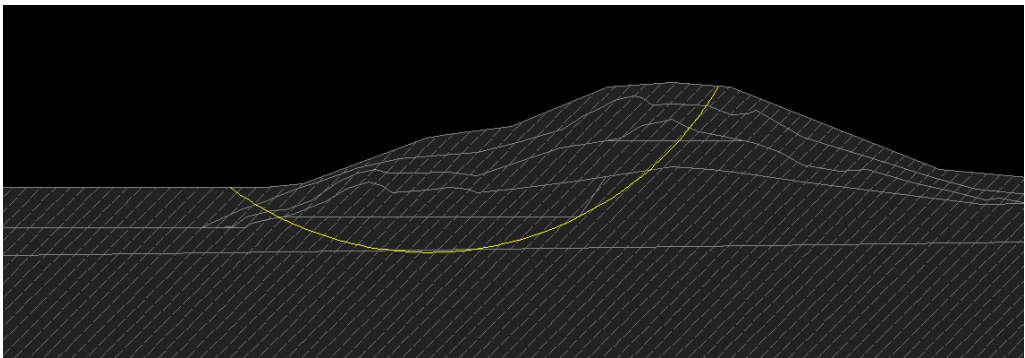
17. ábra: Szabvány szerinti biztonsági tényező's számítás

Forrás: Faur–Szabó (2011): i. m.

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

A töltéstartestben kialakuló szivárgási görbét, a Kozeny–Casagrande-féle feltételezés szerint, szabályos keresztzivárgásként határoztam meg, amelyet a töltésben lévő rétegek hasonlósága indokolt.¹¹

Terheletlen töltés vizsgálata



18. ábra: Terheletlen töltés állékonyságvizsgálata a köríves csúszólap megjelenítésével

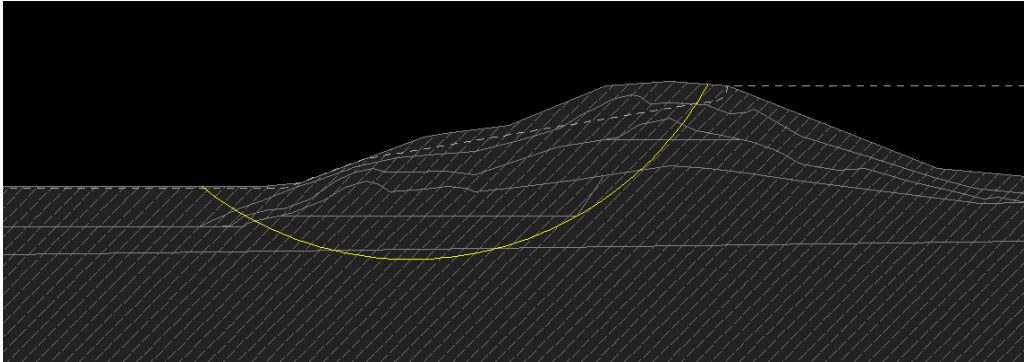
Forrás: a szerző szerkesztése

Aktív erők összessége: $F_a = 347,71 \text{ kN/m}$

¹¹ Galli (1976): i. m. 214.

Passzív erők összessége: $F_p = 430,50 \text{ kN/m}$
Elcsúszási nyomaték: $M_a = 5462,56 \text{ kNm/m}$
Ellennyomaték: $M_p = 6763,12 \text{ kNm/m}$
Biztonsági tényező: $1,24 > 1,50$
A rézsúállékonyság: Nem megfelelő

A vízdali töltéskoronaélt elért vízszint esetén kialakult terhelés



18. ábra: A vízdali töltéskoronaélt elért vízszint esetén kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap és a szivárgási útvonal megjelenítésével

Forrás: a szerző szerkesztése

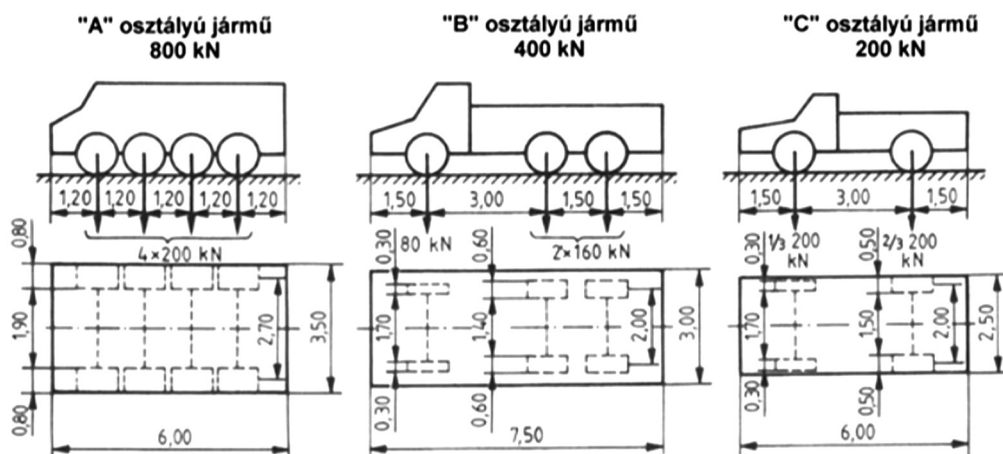
Aktív erők összessége: $F_a = 371,17 \text{ kN/m}$
Passzív erők összessége: $F_p = 299,02 \text{ kN/m}$
Elcsúszási nyomaték: $M_a = 5875,69 \text{ kNm/m}$
Ellennyomaték: $M_p = 4733,49 \text{ kNm/m}$
Biztonsági tényező: $0,89 > 1,50$
A rézsúállékonyság: Nem megfelelő

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 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, nagyobb tömegű védelmi anyag szállítása.

A vizsgálatom során a járműterhet – mint esetleges terhet – az „MSZ-07-3701/86: Közúti hidak erőtanai számítása” szabvány szerint vettem fel.

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



19. ábra: Az MSZ-07-3701-86 által meghatározott járműterhek és teherosztályok

Forrás: MSZ-07-3701-86 szabvány

5. táblázat: A rétegek karakterisztikus értékei

Jármű		Első tengely		Többi tengely	
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

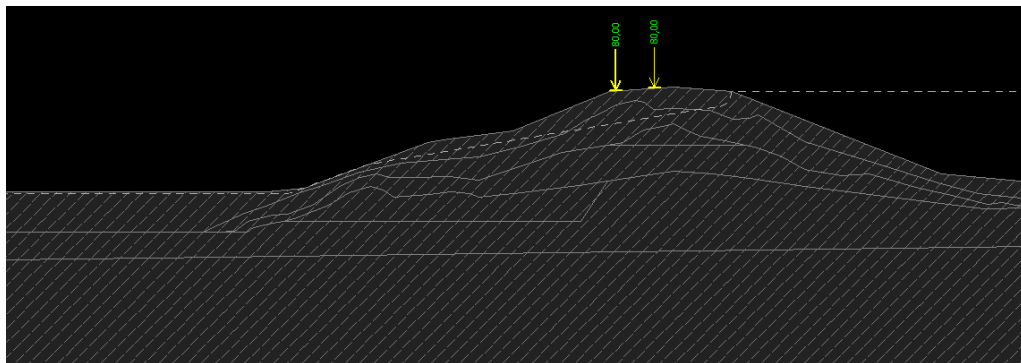
A kerék felfekvése a haladás irányában 0,20 m

Forrás: MSZ-07-3701-86 szabvány

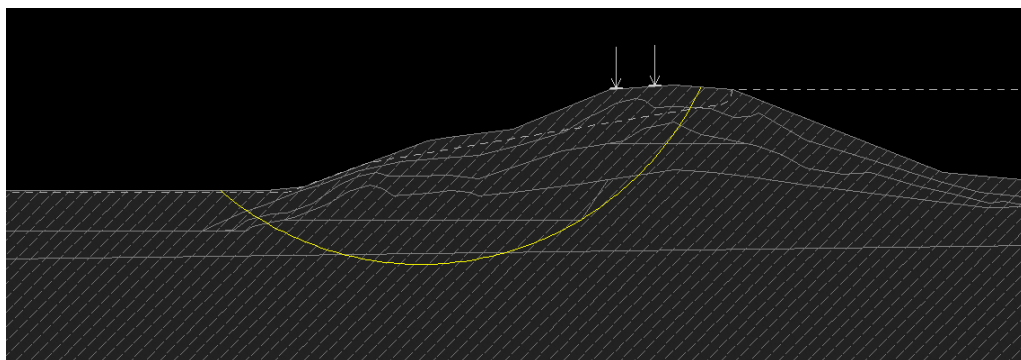
A gépjárművek közül a „B” osztályú jármű terhet vettem, mivel e jármű – mint védelmi anyagot szállító tehergépjármű – közlekedése valószínűsíthető leginkább a töltésen.

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

Tehergépjármű-terhelés esetén állékonyságszámítás (vízoldali töltéskoronaélt elért vízszint esetén):



20. ábra: A vízoldali töltéskoronaélt elért vízszint és a tehergépjármű terhei megjelenítése a töltésen
Forrás: a szerző szerkesztése

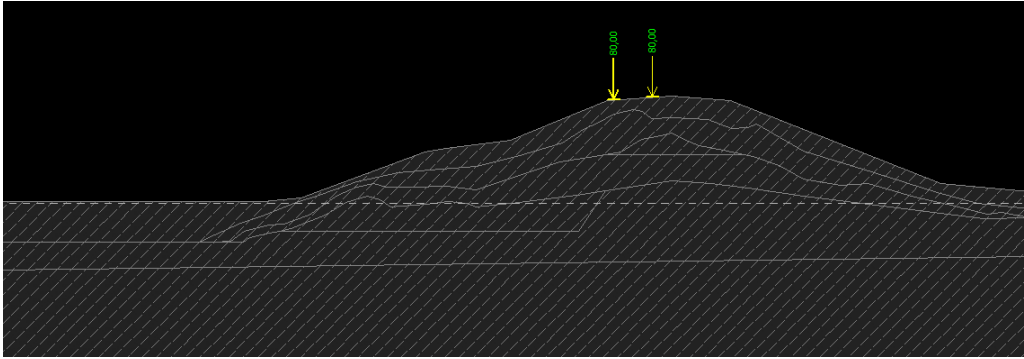


21. ábra: A vízoldali töltéskoronaélt elért vízszint és a tehergépjármű terhei által kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap és a szivárgási útvonal megjelenítésével

Forrás: a szerző szerkesztése

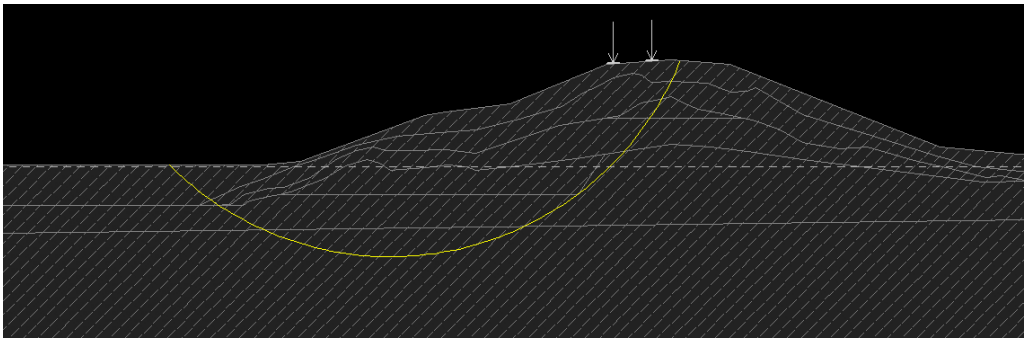
Aktív erők összessége: $F_a = 385,47 \text{ kN/m}$
Passzív erők összessége: $F_p = 297,88 \text{ kN/m}$
Elcsúszási nyomaték: $M_a = 5562,34 \text{ kNm/m}$
Ellennyomaték: $M_p = 4298,47 \text{ kNm/m}$
Biztonsági tényező: $0,77 > 1,50$
A rézsűállékonyság: Nem megfelelő

Tehergépjármű-terhelés esetén állékonyságszámítás (vízterhelés nélkül):



22. ábra: A tehergépjármű terhei megjelenítése a töltésen

Forrás: a szerző szerkesztése



23. ábra: A tehergépjármű terhei által kialakult terhelésnél vizsgált állékonyság a köríves csúszólap megjelenítésével

Forrás: a szerző szerkesztése

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

Az eredmények összefoglalása

A vizsgálat során a Hármas-Körös bal oldali töltésének 68+500 töltéskilométer-szelvényének állékonyságával foglalkoztam. A számításokat GEO5 modellező programmal, azon belül a Bishop-módszerrel végeztem el. A töltés geometriáját ismerve, valamint hat furat mintáinak laboratóriumi vizsgálatából meghatároztam a feltárt rétegek állékonysági paramétereinek karakterisztikus értékeit, amelyek ismeretében, valamint az adott szelvényben készült geofizikai vizsgálat adatainak felhasználásával felépítettem a töltésmoделlt. Az állékonyságvizsgálat során a töltés állapotát telítettnek tekintetem, mert:

- a töltéstest árvízi hatás nélkül is bármikor telítődhet vízzel, hiszen a hóolvasás és a tartós esőzések is képesek előidézni a töltés talajainak telítődését. Különösen igaz ez akkor, ha a töltéstérben kiterjedt a másodlagos hézagokkal (repedésekkel) rendelkező, előregedett szerkezet. A telített állapot melletti vizsgálat az MSZ-15292 szabvány előírásai miatt is indokolt;
- az állékonysági paraméterek akkor veszik fel legkedvezőtlenebb értékeiket, ha telített állapotú talajok alkotják a töltést;
- tartós és magas vízszintű árvízi terhelés mellett szinte bizonyosan bekövetkezik a telített állapot;
- kötött anyagú töltésekben a szivárgási vonal feletti több deciméteres kiterjedésű talajtartomány telítődhet a kapilláris emelés következtében.

Az állékonyságvizsgálatot az alábbi terhelési esetekre végeztem el:

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

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

Összegzésként megállapítható, hogy a vizsgálat során a telített állapotú vízterhelés nélküli árvízvédelmi töltés $n = 1,24$ biztonsági tényezővel rendelkező 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 vízoldali koronáját (ezzel a töltés nyúlgátépítés 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 töltérszűbordás megtámasztással történő megerősítése. A beavatkozás elrendelése előtt célszerű árvíz alatti közvetlen feltárással meggyőződni a töltéstest telítettségének mértékéről.

Amennyiben a töltéstest árvíz alatti tényleges telítettsége kiterjedt mértékű, azonnal meg kell kezdeni az erősítési munkákat, és le kell tiltani mindennemű gépmozgást a töltéskoronán. A töltés legyengült állapota miatt a szállítási feladatokat vagy vízről, vagy levegőből, vagy a mentett oldali előtéren vagy/és a mentett oldal melletti ingatlanokon keresztül kell megoldani.

A fentiek ismeretében kijelenthető, hogy a töltéstest rézsűcsúszásra hajlamos, s így a töltés –amennyiben a mentett oldali támasztótest jellemzően telített állapotot ér el – védekezés szempontjából labilisnak mondható, ezért indokolt a töltés fejlesztése.

Ugyanakkor tekintettel kell lenni arra a tényre is, hogy a mértékadó talajfizikai jellemzőket empirikus úton határoztuk meg, vagyis viszonylag nagy bizonytalansággal terheltek. Mivel a töltésfejlesztések költség szintje igen magas (akár milliárd Ft/km-es nagyságrendet is meghaladhat), a fejlesztési tervek megalapozásához mindenképpen célszerű telített állapotú, zavartalan mintákat előállítani, és a talajok szilárdsági paramétereit ezen minták triaxiális vizsgálatával megállapítani.

Az elvégzett modellszámítások során alkalmazott valamennyi közelítés és elhanyagolás a biztonság javára történt, ezért a töltéstest valóságos viselkedése várhatóan nem lehet kedvezőtlenebb, mint a modellben kimutatott.

Amennyiben a triaxiális vizsgálatot követően elvégzett újabb modellszámítások hasonló eredménnyel zárulnak – azaz töltéserősítés igénye merülne fel –, komplex erősítést kell előíranyozni:

- szivárgásgátlás;
- legalább a mentett oldali támasztótest áttömörítése.

A várhatóan nagy költségigényű fejlesztést megelőzően hasznos lenne a mentett oldali megközelítés lehetőségének javítása.

Jelen számítások egy kitüntetett szelvényre vonatkoznak. Mivel itt komoly állékonysági aggályok merültek fel, a későbbiekben meg kell állapítani, milyen hosszú szakaszra tekinthetők érvényesnek a kapott eredmények. Az eredmények kiterjesztését geofizikai mérések és részletes talajmechanikai vizsgálatok együttes alkalmazásával lehet elvégezni.

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, amelyeken a közeljövőben beavatkozásokat, valamint fejlesztéseket kell elvégezni az árvízvédelmi biztonság érdekében.

Felhasznált irodalom

- Bálintné Hegedűs Katalin – Németh Gyula: *Árvízi töltések geotechnikai gyengepontjainak vizsgálata és numerikus modellezése az árvízi veszély és kockázati térképezési projekt keretében.* (h. n.). Víziterv Environ Kft., 2014.
- Boda József – Boldizsár Gábor – Kovács László – Orosz Zoltán – Padányi József – Resperger István – Szenes Zoltán: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16.
- Faur Krisztina Beáta – Szabó Imre: *Geotechnika*. Miskolc, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, 2011.
- Galli László: *Az árvízvédelem földműveinek állékonysági vizsgálata*. Budapest, Országos Vízügyi Hivatal, 1976.
- Kisházi Péter Konrád: *Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázati terv készítése.* (h. n.), (k. n.), 2010.
- Klembala Zsombor – Lukács Tamás – Virok András: *A Keresztes-halom komplex geofizikai felmérése.* OTDK-pályamunka. Budapest, 2019.
- Nagy László: *Árvízvédekezés a településeken.* Budapest, (k. n.), 2010.
- Nagy László: *A suvadások elleni védekezés gyakorlati kérdései.* Budapest, BME Geotechnikai Tanszék, 2015.
- Renner János – Salát Péter – Stegena Lajos – Szabadváry László – Szemerédy Pál: *Geofizikai kutatási módszerek III. Felszíni geofizika.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.
- Tímár Attila: Kettős-Körös bal oldali 32+250 tkm szelvényének rézsúállékonyság-vizsgálata. *Műszaki Katonai Közöny*, 31. (2021), 2. 127–139. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.2.10>