

A biztonsági tényező additivitása egy rézsűcsúszás helyreállítása alapján

Takács Attila

BME Geotechnikai Tanszék, atakacs@mail.bme.hu

Nagy László

BME Geotechnikai Tanszék, lacinagy@mail.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: Az utóbbi 30 évben több suvadás, mederrézsű károsodás játszódott le Szolnok belterületén. A legutóbbi suvadás 2010. július 19-én kezdődött és másnapra a vízdali padka alatti rész teljes egészében lecsúszott, mintegy 100 méter hosszúságban. Jelen közleményben a suvadás bekövetkezének körülményei, a helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok, az állékonyság számítás részletei és a helyreállítás kerül ismertetésre. Az egyes helyreállítási módok állékonyság-növelő hatásának összehasonlítása során a biztonsági tényező additivitására vonatkozó összefüggéseket állapítottunk meg.

Kulcsszavak: additivitás, biztonsági tényező, suvadás, árvíz

1 ELŐZMÉNYEK

Szolnok város kialakulása a XI. századra, Szent István uralkodásának idejére tehető (sóútvonal, várispánság, átkelőhely), lakói az akkor általános vízhelyzeten sokáig nem változtattak, az állandó épületek és a fontosabb utak a magasabban fekvő részeken voltak. Ilyen magasán fekvő terület volt az ún. „Téglaházi” szakasz is az 1999. évi árvízig.

A téglaházi szakaszon hosszú ideig semmilyen változtatás nem történt. A XX. század elején megépült az ún. Újvárosi partbiztosítás, majd egy hosszabb szakaszon árvízvédelmi falat alakítottak ki. A környékbeli házak ráépültek a magassági biztonságot adó árvízvédelmi falra, a védművet helyenként meg sem lehetett közelíteni.

A minden addigi vízállási rekordot meghaladó 1919. májusi árvíz (szolnoki vízmércén a tetőző vízálás 8,82 m volt) majd a 909 cm-es 1970. évi árvíznél jelentős védekezésre nem volt szükség. A 987 cm-rel tetőző 1999. évi árvíznél már látszott, hogy magasabb árvizet a védmű nem tud tartani.



1. kép. A suvadás kezdete július 19-én

A 2000. évi árvíz magassága miatt az ott lévő házakat már nem lehetett megvédeni, az árvízre történő felkészüléskor a fővédvonal melletti házakat lebontották hasonlóan az árvízvédelmi falhoz és ideiglenes földmű épült. A jelenlegi, végleges gát 2002-ben készült el a VIZITERV Consult Kft.tervei szerint.



2. kép. A suvadás július 21-én

Kétségtelen tény, hogy az utóbbi évtizedekben Szolnok vízparti részén több felszínmozgás történt különböző okok miatt. Ezek nagy része dokumentált (Kabai- Farkas 1978, Nagy 1985, 1987, 2003, 2005). Felszínmozgás volt:

- 1964-ben, amikor az 1963-as Zagyva-árvíz után a jobb és bal parti töltések megerősítését követően a Zagyva torkolati közúti híd feletti jobb parti töltés vízdoldali rézsűje mintegy 40 m hosszban megcsúszott. A vizsgálati eredmények alapján kiderült, hogy az 1919-ben épült töltés anyaga erősen vízáteresztő és a mögöttes terület hiányos vízrendezettsége volt a közvetlen kiváló ok. (A helyreállítás során szivárgó épült a töltéstestbe.)
- 1975. augusztus 23-án a Sebestyén körüti közúti híd jobb parti feljáró töltésének déli rézsűjében alaptörés következett be. A háttöltés tönkrement szakaszát kijavították, de néhány hónappal később az alaptörés ismét jelentkezett, ami arra utal, hogy nem sikerült feltárni az alaptörés okait, és így nem volt meghatározható a megfelelő helyreállítási mód, amely a következő alaptörést megakadályozta volna. A helyreállított töltésszakaszt kőbordákkal próbálták stabilizálni, melyeket a kész töltésbe utólag építettek be dúcolt munkaárok segítségével. A rézsút hézagolt terméskövel burkolták.
- 1977. május 24-én az előző évben helyreállított hídfeljáró töltés újra károsodott (Kabai-Farkas 1978). A hosszú, tartósan magas árvíz után bekövetkezett vízszintcsökkenés eredményeként a közúti híd felüljárója közlekedésre használhatatlanná vált. Helyreállításként új hídnyílás került kialakításra.
- 1985. június 7-én a Zagyva jobb part 1+324–1+350 szelvények közötti töltés vízdoldali rézsűje károsodott, széttörve a gátkoronán lévő kb. 0,50 m magas beton falat (Nagy 1985). A helyreállítás talajcserével történt még ugyanazon év nyarán.
- A Hay-gát előtti part (jelen vizsgálati helytől mintegy 600-700 méterre felfelé) 2002-ben csúszott meg apadó víz hatására. A károsodás okát, mint legfontosabb adottságot, holt-meder keresztezésben adták meg. A helyreállítás szivárgók beépítésével történt.
- 2005 májusában az alsó Holt-Tiszát lezáró gát alvízi részén jelentkezett suvadás (Farkas-Nagy 2005) a gát mentett oldalán, amit pár héttel később a mederrézsű csúszása követett az újjárossi szakaszon.
- A korábbi utolsó előtti felszínmozgás a jobb parton a 2005. évi ár hullám levonulása után júniusban a város belterületén a jobb part 63+942-63+994 tkm. szelvények között a Tisza mederrézsűjében. A helyreállítás szivárgó bordák alkalmazásával és szádlemezzel történt.
- Tisza bal part Tiszaligeti szakaszán az 1+750-1+828 szelvény környékén a vízdoldali rézsű a „korábbi” terepszint alatti szakaszon 2008.szeptemberében megmozdult. A vízszintes el-

mozdulás nem volt jelentős a csúszó földtömeg felső élénél, de a legnagyobb függőleges elmozdulás ~4 méterre volt tehető. A rézsú laposítása mellett lábazati kőmeztámasztás készült.



3. kép. Az eredetileg kb. 1:1-es hajlású, de a suvadás után hátrafelé dőlő felszín körscsúszólapra utal



4. kép. Az korábbi árvizeknél a lerakódott rétegek feltöltötték a mederrézsűt

A suvadás 2010. július 19-én kezdődött (ld. **1. kép**), a 2010. július 20-i helyszíni bejárás legfontosabb tapasztalatai a következők:

- A felszínmozgás a Tisza jobb part 61+156 – 64+212 tkm. szelvények közötti részén a meder rézsűben jelentkezett a vízdali padka korona éle alatt (**1-5. képek**).
- A mozgás hossza 56 méterben volt megadható, a vízszintes elmozdulás nem volt jelentős a csúszó földtömeg felső élénél. A legnagyobb függőleges elmozdulás ~4 méter volt.
- Az elmozdulás felső részénél csaknem függőlegesen szakadt le a talaj, és a korábbi rézsűs part csaknem vízszintesre fordult be (**1-5. képek**).



5. kép. A relatíve kis elmozdult földtömeg



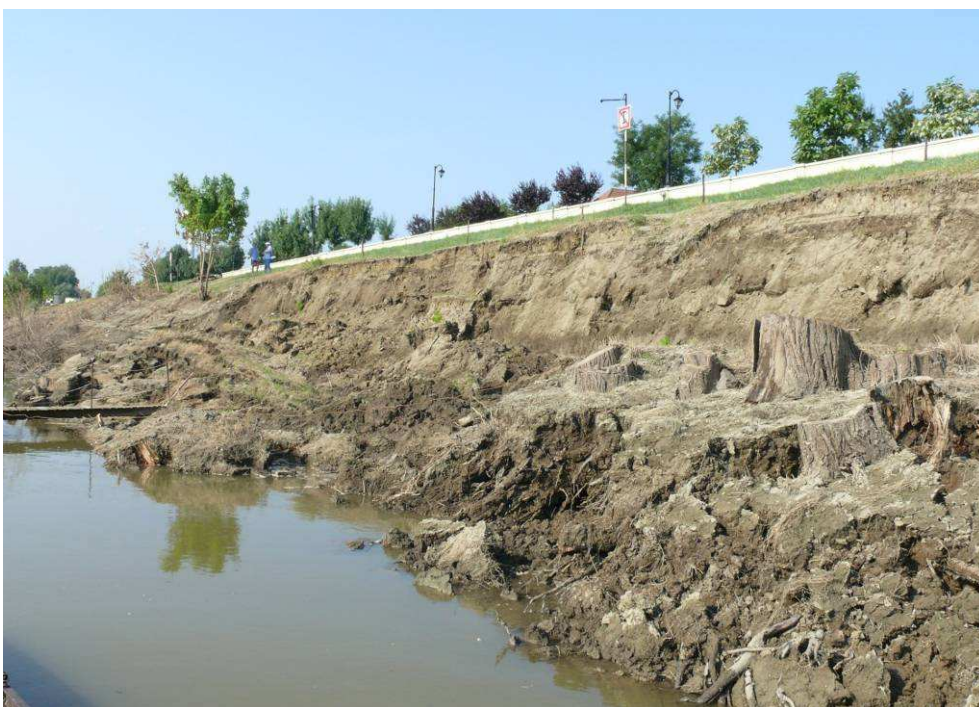
6. kép. A homokból csurgó víz

- A mozgás relatíve gyors volt, az elmozdult gátrész mintegy három nap alatt mozdult el csaknem 4 métert függőlegesen. A naponkénti elmozdulást az 1. ábra geodéziai felvétele mutatja.
- A vízőldali padka alatti 2,0-2,4 métertől 4,8-5,9 méter mélységig jól azonosítható volt a kötött rétegek közé települt homok, iszapos homok réteg, amelyikből a víz folyamatosan áramlott (**3-6. képek**). Ez a réteg adhatta a legnagyobb víznyomást a csúszólapra.
- Az elmozdult földtömeg a korábbi csaknem egyenes meder részsűt a folyóba nyomta (**1-2. kép**). A következő napokban a Tisza vize ennek a talajnak egy részét elszállította. A mozgó

talajtömb újra és újra megtámasztás nélkül maradt, így a lassú kúszó mozgás napokig folytatódott.



7. kép. A lépcső megmutatja a korábbi árvizeknél felrakódott hordalék vastagságát

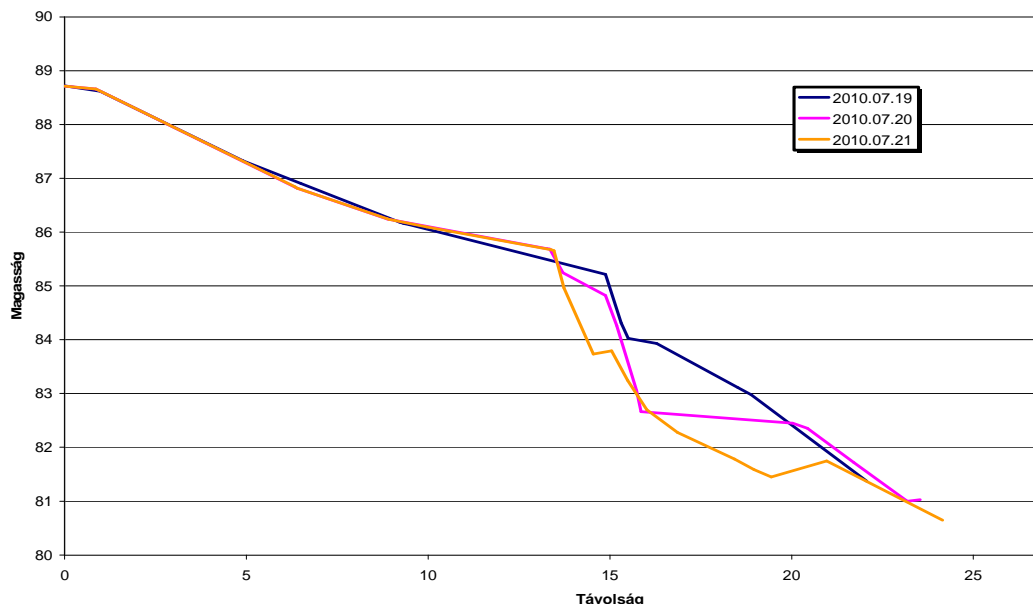


8. kép. A károsodott szakaszon azonnal letermelték a fákat.

- A suvadás geometriája nem utalt nagy elmozdult földtömegekre és jelentős alámetsző csúszólapra.
- A vízoldali rézsű hajlásszöge a 45 fokos értékhez közelített, ami az jelenti, hogy az árvizek alatt jelentős mennyiségű lebegtetett hordalék rakódott le a rézsű felső részére. A lerakódás vastagsága elérte az 1,6-1,8 méteres vastagságot a lejáró lépcsők mellett (**7. kép**). Meg kell jegyezni, hogy az is kisebb csoda, hogy egy 45 fokos hajlású rézsű addig állékony volt.
- A suvadás alakja, az elmozdult földtömeg méretei, a talajrétegződés, a talajok jellemzői rendkívüli módon hasonlítottak a 2005. évben kialakult suvadáshoz.
- A következő Tisza árhullám elfedte a suvadást, megtámasztva a szabadon maradt csúszólapot, és lehetetlenné tette a helyreállítás megkezdését.

A károsodott helyen azonnal letermelték a fákat, és megindult a geodéziai felvétel a mozgás rögzítésére és a helyreállítás tervezéséhez. Július 20-án este már a talajmechanikai laboratóriumi vizsgálatok is elkezdődtek.

A korábbi talajmechanikai vizsgálatokhoz készült feltárásokat a vizsgált területen nagytérű fúrásokkal kerültek kiegészítésre, az elmozdult rész felett a vízdali padkában zavartalan mintavétellel. A geodéziai felmérésnél (1. ábra) nehezen magyarázható a padka terepszint emelkedése, valamint az, hogy a csúszólapok felső kimetsződése nem esek egy vonalba.



1. ábra. A suvadásnál a mozgás következtében kialakult mederrézsű (a geodéziai felmérés szerint)

A suvás lejátszódása utáni árhullám mintegy egy méterrel tovább növelte a suvás hátraragódását a mentett oldal felé, és ezzel belemetszett a láthatóvá vált ún. „Újvárosi partbiztosításba”. A partbiztosítás kövei beleforgtak a suvásba.

2. TALAJRÉTEGZŐDÉS

A szakvélemény elkészítéséhez felhasználtuk a 2005. évben bekövetkezett suvás mérési eredményeit (a geoelektromos hossz-szelvény mérési adatait és a fúrásszelvényeket). A helyszíni vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a vizsgált területen:

- az altalaj felépítése nem mutat karakterisztikus változásokat
- a talaj rétegződése közel vízszintes,
- a partot zömében kötött talajok alkotják,
- a Tisza hordalék-lerakó-képessége jelentős.

A laboratóriumi vizsgálatok alapján a következő rétegek kerültek azonosításra, és azok a következő talajjellemzőkkel azonosíthatóak:

Felszín közeli **közepes (helyenként kövér) agyag** vastagsága 2,0 – 2,4 méter között változott a vízdali padka alatt:

$$\begin{aligned}
 s &= 52-54 \%, \\
 v &= 41-42 \%, \\
 l &= 5-7 \%, \\
 w &= 26-31 \%, \\
 \rho_n &= 1,82-1,91 \text{ g/cm}^3, \\
 \varphi &= 15^\circ \\
 c &= 50 \text{ kPa}.
 \end{aligned}$$

Iszapos homok, homok („régí” szabvány szerinti elnevezéssel: homokos homokliszt, homoklisztes homok, iszapos homok) réteg a padka alatti 4,9-5,8 méteres mélységig helyezkedett el:

$$\begin{aligned}
 s &= 55 \%, \\
 v &= 41 \%, \\
 l &= 4 \%, \\
 w &= 28 \%, \\
 \rho_n &= 1,87-1,91 \text{ g/cm}^3,
 \end{aligned}$$

$$\varphi = 25^\circ,$$

$$c = 6 \text{ kPa.}$$

A **puha (helyenként szervesnyomos) közepes és kövér agyag** rendelkezett a legkisebb nyírószilárdsággal:

$$s = 50-55 \%,$$

$$v = 42-48 \%,$$

$$l = 2-3 \%,$$

$$w = 20-29 \text{ (helyenként } \sim 40 \text{)},$$

$$\rho_n = 1,82-1,90 \text{ g/cm}^3,$$

A korábbi szakvéleményekben feltárt **szürke (helyenként kékesszürke) kemény közepes agyag** itt $I_p = 19,6-19,8$ %-os plasztikus indexel jelentkezett, a padka alatti 6,1-6,8 méter mélységtől:

$$s = 52-58 \%,$$

$$v = 37-42 \%,$$

$$l = 2-6 \%,$$

$$w = 24-26 \%,$$

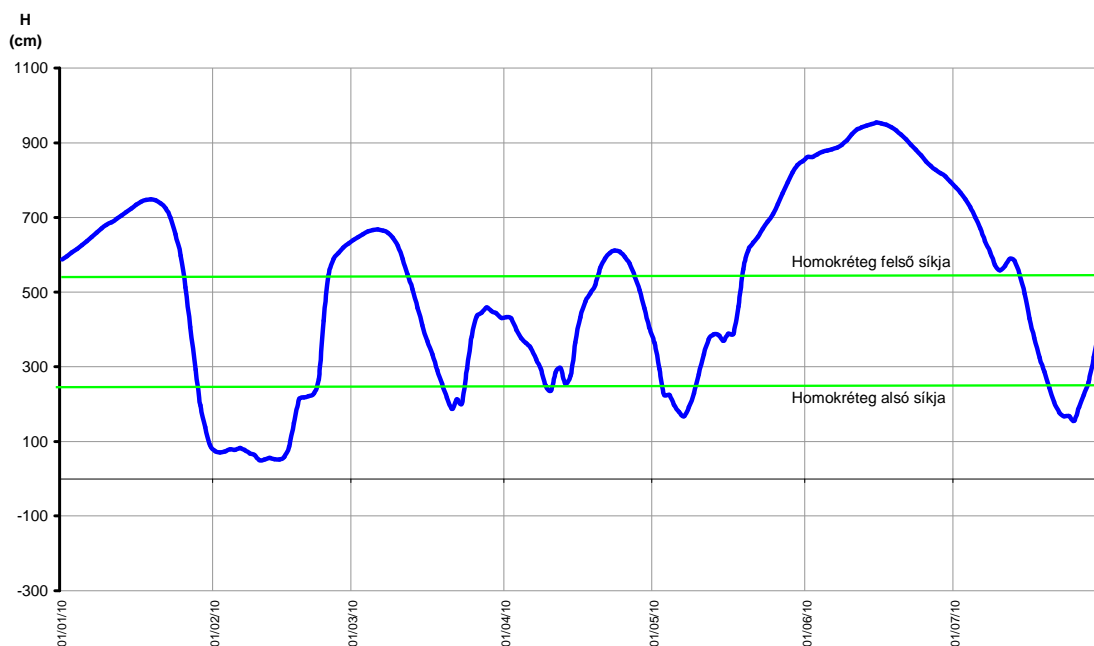
$$\rho_n = 1,89-1,97 \text{ g/cm}^3.$$

Az egyes rétegek nyírószilárdsági paramétereit „back analysis”-sel állapítottuk meg, kivéve az iszapos homok, homok rétegét, mert annak belső súrlódási szöge jól becsülhető amellet, hogy kohézióját elhanyagoljuk.

3. VÍZÁLLÁS

3.1. Tisza vízállása

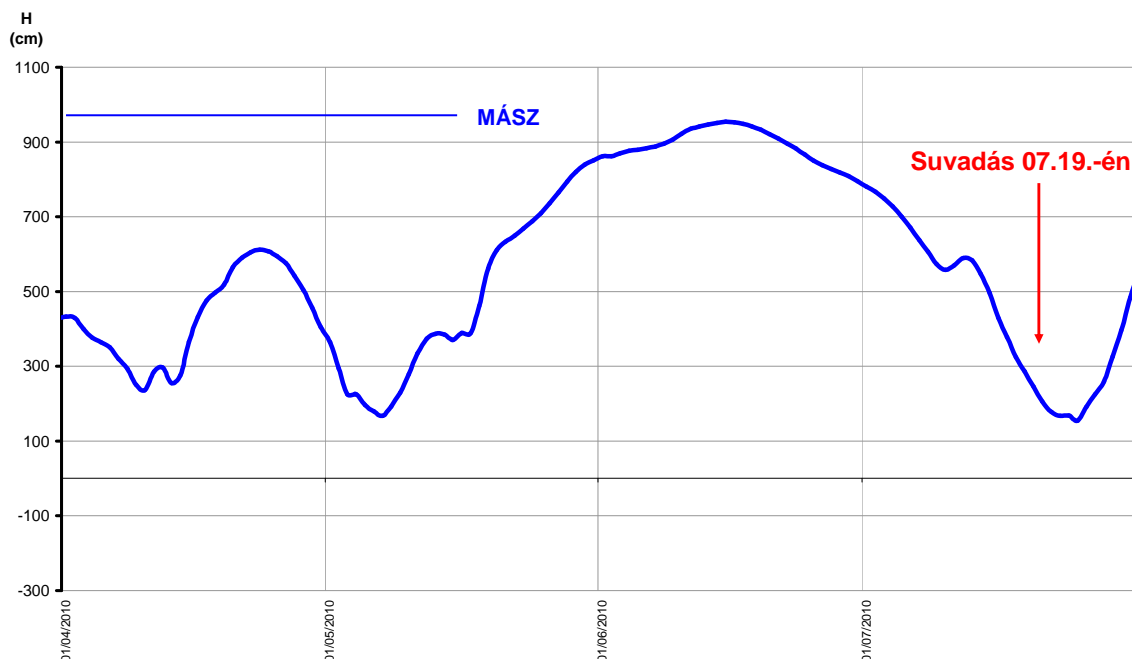
A vizsgált felszínmozgás helyén a vízállás alapvetően nem különbözik a kb. 1 km-re lévő Szolnoki vízmérce adataitól, ezért vizsgálatainkhoz a szolnoki vízmérce adatait használtuk változtatás nélkül.



2. ábra. Árhullámok a Tiszán Szolnoknál 2010. év elején (január-július)

A károsodással kapcsolatos időszakban a Tisza szolnoki vízállását vizsgálva a következő megállapítások tehetők:

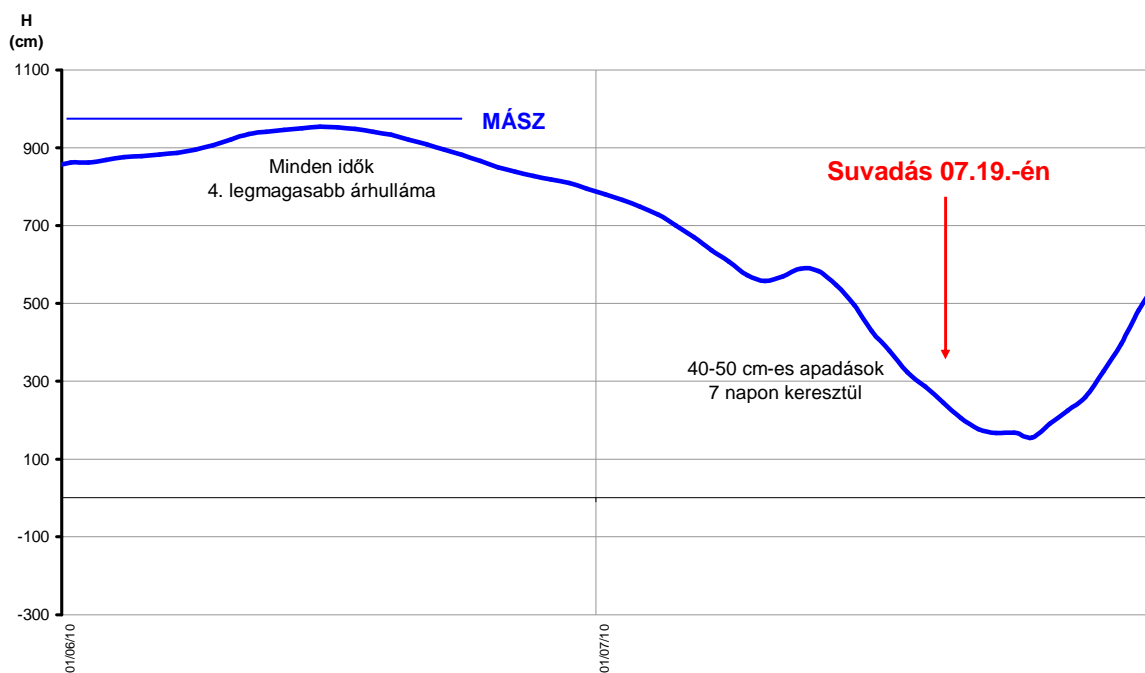
- A Tisza szolnoki szelvényében 2010 tavaszán öt különböző magasságú, elkülöníthető árhullám vonult le (**2. ábra**). Ezek mindegyike meghaladta a homok réteg alsó síkját, négy a felsőt is.
- A felszínmozgás apadó víznél alakult ki.
- A suvadást közvetlenül megelőző árhullám tartóssága meghaladta a 70 napot, tehát volt ideje a talajnak vízzel telődnie. Az árvízi terhelés nagy volt, azonban sem a vízállás magasság, sem a tartósság (**3. ábra**) nem volt a legnagyobb. Az előző 120 évben 5-6 olyan árhullám volt, amelyiknél a tartósság vagy a magassága meghaladta a 2005. évit (1919, 1970, 1979, 1999, 2000).



3. ábra. A suvadás az árhullám apadó ágán alakult ki

• Az apadás időtartama viszonylag rövid volt, azonban megközelítette a korábbi legnagyobb apadások ütemét (4. ábra). Az 1. táblázatban összehasonlításként feltüntettük a napi apadási értékeket a 1. fejezetben felsorolt vízoldali károsodások közül néhányánál.

- A suvadás előtt a maximális egy napi apadás 67 cm volt (4. ábra), ami jócskán elmarad ugyan a legnagyobb azonosított egy napi apadási sebességtől, de lényegesen meghaladja a vizsgált helyen természetes talajok vízleadó képességéből számítható természetes apadási sebességet. Az elmozdult meder rézsúre tehát jelentős szivárgási víznyomás adódott.
- A naponkénti apadási maximumokat a 1. táblázatba gyűjtöttük össze. A 2010. évi apadási sebesség még a 8-10 napnál sem közelítette meg a legnagyobb apadási értékeket (4. ábra).
- Úgy tűnik, hogy az 5. nap alatt 2,6 méter (naponta ~52 cm), vagy a 8 nap alatt 3,8 méter (naponta 47 cm) apadás is elég a suvadás kialakulásához.



4. ábra. Apadás az utolsó tavaszi árhullámnál

idő

Apadási sebesség (cm/nap)	1	2	3	4	5	8	10
	nap alatt						
1985	89	163	214	265	305	374	406
1999	118	204	293	346	389	517	542
2000	84	148	229	295	354	515	575
2005	86	156	208	255	314	475	520
2010	67	118	172	223	261	377	416
Maximum (?-2010)	161	207	293	346	395	535	584

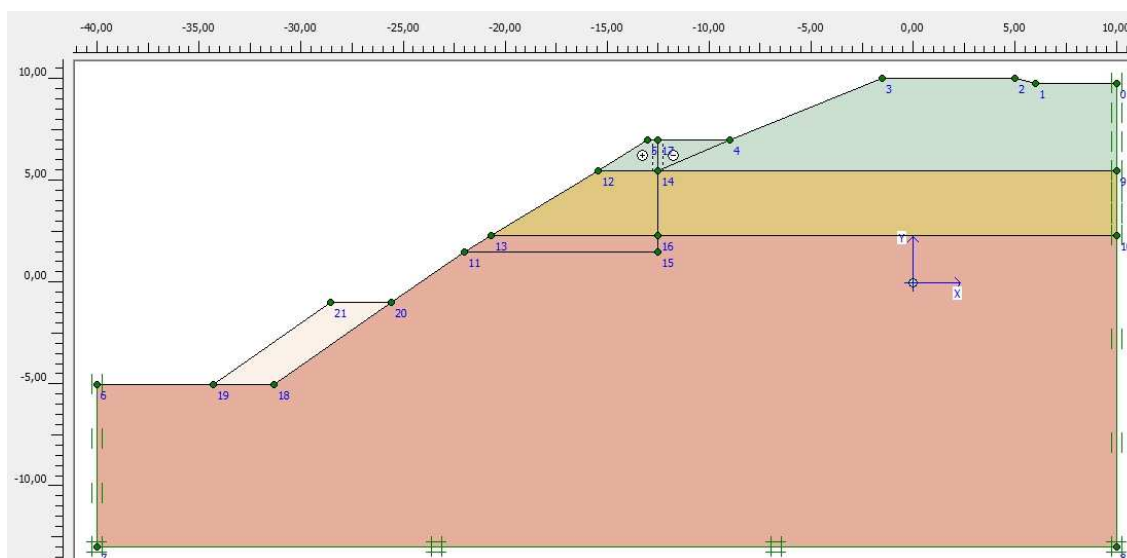
1. táblázat. Apadási sebességek a Tisza Szolnoki szelvényében

3.2 Talajvíz

A talajvíz viszonyokat döntően a Tisza vízállása határozza meg. Áradó víznél a talaj telítődik, apadás-kor jelentős vízkiáramlás indul meg a Tisza felé. A feltáráskori (2005. június 20-i) talajvízszinteket a **6. ábra** sematikus minta-keresztelvényén mutatjuk be. A számítás során a tönkremenetel modellezéséhez a két kötött réteg közé települt iszapos homok, homok (sraffozott) rétegben egy, a környezetétől eltérő, a legutolsó árhullám maximális szintjével megegyező vízszintet tételeztünk fel. A suvadáskor a nyugalmi talajvízszint a Tisza felé lejtett. Mivel a talajvízszintek utólagos folyamatos regisztrálása nem volt lehetséges, feltételezzük, hogy az észlelnél nagyobb víznyomás is kialakulhatott a suvadást megelőző időszakban. Maximális mentett oldali talajvízszint a mentett oldali terepszint alatti 0,5 méteres magasságban adható meg.

4. A FELSZÍNMOZGÁS MODELLEZÉSE

A suvadás okainak elemzéséhez és a helyreállítási módszerek vizsgálatához véges elemes programmal rézsűállékonysági vizsgálatokat végeztünk, Plaxis v9. programmal. A rézsű geometriáját a geodéziai felmérés alapján vettük fel (**5. ábra**).

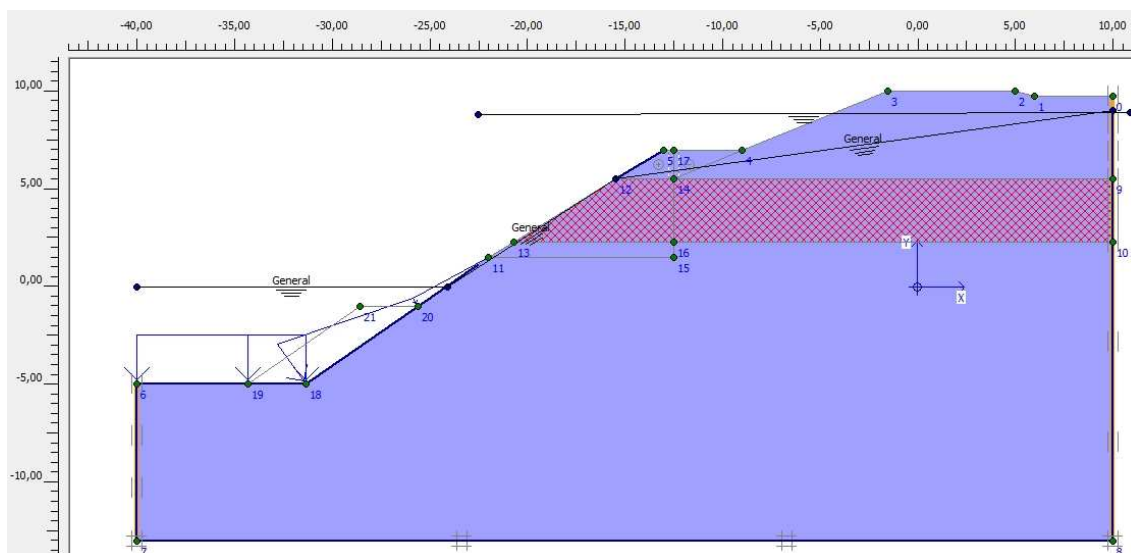


5. ábra: Az állékonyságvizsgálat geometriai modellje

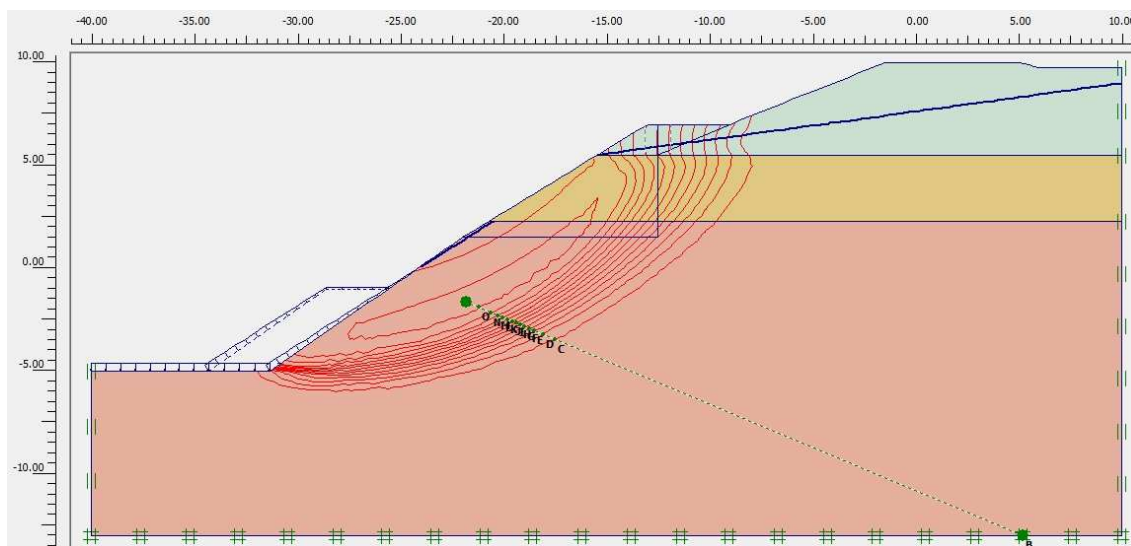
A rétegszelvény egyszerűsített modellje szerint két kötött (agyag) réteg közé egy relatíve jó vízvezető, szemcsés (homok, iszapos homok) réteg ékelődött be. A szabályosan kialakított rézsűprofilra (kb. 1:1,5-ös hajlású mederrézsű, a vízmérce szerinti kb. 7 méteres szinten kialakított padkával, fölötte pedig 1:2,5-ös meredekségű rézsű) a többszöri magas vízállás során jelentős mennyiségű üledék (iszap) rakódott le, megakadályozva a szemcsés rétegben áramló víz szabad kifolyását. Az árvíz tetőzését követő gyors vízszint-csökkenés és a fenti talajadottságok következtében a **6. ábrán** látható talajvíznyomás alakulhatott ki.

A tönkremenetel modellezése során ún. „back analysis” módszert alkalmaztunk, azaz az ismert geometriai adatok és ismert tönkremeneteli geometria mellett visszszámítottuk a tönkremenetel idején valószínűsíthető nyírószilárdságot az alsó agyagrétegre. Ehhez a peremfeltételt a csúszólap alakja (a felszínen látható és mérhető elmozdulások alapján) és a tönkremenetel megindulásakor feltételezett n=1-es biztonsági tényező jelentette (feltételeztük, hogy a suvadás során az elmozduló földtömeg éppen a stabilis-labilis állapot határhelyzetében volt). Mindehhez figyelembe vettük a padka koronaél

környékén kialakult, közel függőlegesen induló repedéseket. A tönkremenetelhez tartozó tönkremeneteli kép a **7. ábrán** látható, a hozzá tartozó biztonsági tényező 1,0.



6. ábra. A talajvízviszonyok modellezése



7. ábra. A tönkremenetelhez tartozó kritikus csúszólap jó egyezést mutat a valóságban kialakult csúszólapal (vö. 5. kép).

A „back analysis” során kapott nyírószilárdsági paraméterek a **sovány agyag** talajra (alsó réteg):

- belső súrlódási szög: $\phi = 28^\circ$
- kohézió: $c = 9 \text{ kPa}$

A számítás során kapott csúszólap alakja logaritmus spirális, de kör csúszólapal is jól közelíthető, talpponti csúszólap.

5. FELSZÍNMOZGÁS OKAI

A tönkremenetel több kedvezőtlen körülmény egyidejű hatására vezethető vissza. Ezek egy része meglévő adottság, másik része a károsodást közvetlenül kiváltó tényező.

Meglévő adottságok:

- Mint a 2005. évi svadás szakvéleményében is megállapításra került: a hullámtér feliszapolódása, feltöltődése száz év alatt a vizsgált helyen meghaladta az 1,8 méteres értéket, ami az utóbbi években nem kis mértékben a rézsű meredekségének növekedésében mutatkozott meg, így a jelenlegi mozgásnál a rézsű túlterheléséhez vezetett.
- A relatíve alacsony nyírószilárdságú réteg jelenléte a vízdali padka szintje alatt öt és hat méter mélységek között. Ezen rétegben alakult ki a mozgás csúszólapjának leghosszabb része.

- A homok réteg vízvezető képessége alkalmas arra, hogy telítse a hátteret, azonban iszap tartalma miatt az áteresztőképessége kisebb annál, minthogy az apadás ütemével egyensúlyt tartva víztelenítse a töltés alatti területet, csökkentse a mentett oldalról a folyó felé áramló víz nyomását.
- Az apadás előtti tartósan, magas vízállás lehetővé tette a gát alatt és a mentett oldalon magas vízszint kialakulását.
- A relatíve meredek rézsűhajlás. Az „Újvárosi partbiztosítás” megépítése óta eltelt 10 évben 1:1 rézsűhajláshoz közeli állapot alakult ki, ami a helyszínen lévő szemcsés talajok belső súrlódási szögét önmagában is lényegesen felülmúlja.
- A helyszíni bejárások, elsősorban a suvadást követő árhullám levonulása utáni bejárás során erősödött meg az a vélemény, hogy a suvadás rövid szakaszon valahol a partbiztosítás felületén haladt, vagyis a 100 év alatt lerakódott lebegtetett hordalék suvadt le.
- Problémaként jelentkezik, ami nagy valószínűséggel be is következett, hogy a Tisza lerakott hordaléka az évek során elzárta a természetes megcsapolódás lehetőségét, vagyis a leülepedett lebegtetett hordalék áteresztőképességei együtthatója alacsonyabb volt, mint az iszapos homok, homok rétegé, így a talajvíz kiáramlást visszaduzzasztotta, a visszaduzzasztott víz nyomása letolta a rézsű felső rétegét.

A meglévő adottságok mellett a károsodást közvetlenül előidéző tényező egyértelműen:

a Tisza magas vízállása után bekövetkezett intenzív apadásban

adható meg. Annak ellenére, hogy az apadás sebessége és az apadás nagysága is jelentős volt, azonban azok nem voltak rendkívüliek. A védmű fennállása óta nem a legnagyobb terhelést kapta. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy a „szőke Tisza” folyamatosan rakja le hordalékát. **100 év alatt a vízdali padkára kb. 1,8 - 2,0 méter talaj töltődött rá.** Ezáltal folyamatosan csökkent a biztonság. Valószínűleg ennek tulajdonítható, hogy már nem kellene rendkívüli apadások és rendkívül hosszan tartó árvizek a suvadás kialakulásához. Ez a folyamat vezetett odáig, hogy a mederrézsű állékonysága 2005 júniusában merült ki a fent bemutatott apadási sebességnél, és ez a folyamat játszódhatott le 2010-ben is. A **7. kép** jól mutatja, a stégek lépcsői mellett mintegy 1,4 méter vastag rétegben található a lerakott lebegtetett hordalék. Ez éppen a rézsű külső élét terhelte! A helyzet tehát folyamatosan romlott a 2010. július 19-i suvadás bekövetkeztéig.

6. ELVI JAVASLAT A MEDERRÉZSŰ STABILIZÁLÁSRA

A felszínmozgást mielőbb helyre kell állítani, **jelen állapotban az árvízvédelmi biztonságot veszélyezteti.** A suvadás hátra rágódhat, így nemcsak a helyreállítandó talaj tömege, de a suvadás hossza is nőhet. Az elvi helyreállítási javaslat a megsuvadt szakaszra és a még tönkre nem ment szakaszra egyaránt vonatkozott a 63+996-64+345 szelvények között. A helyreállítási javaslatnál a következő lényeges szempontok figyelembe vételét kellett szem előtt tartani:

- Az elmozdult földtömeg a mozgás során fellazult, nyírószilárdsága lecsökkent, ezáltal megtámasztó szerepe is csökkent, így a jövőben könnyebben aktivizálódhat a mozgás.
- A felszínmozgás a gát alatti jó vízvezető rétegben lévő vízáramlás és víznyomás hatására alakult ki, az apadó víz eredményeként, ezért ezen réteg vízterhelését csökkenteni kell.
- A tervezésénél fontos szempont volt, hogy a folyó keresztmetszetében ne keletkezzen szűkítés.
- A suvadás helyén kicsi a rendelkezésre álló terület, ezért a helyreállítást csak időben szakaszosan lehet végezni, az építési ütemek nem készülhetnek párhuzamosan.
- A megcsúszás helyén a meder jól beágyazódott, folyamatos szempontból a Tisza áramlása közel lamináris, a helyreállításnak olyannak kell lennie, hogy belesimuljon a meglévő partba, ne okozzon áramlási ellenállást, turbulenciát.
- Lehetőleg megmaradjon a part vizuális folytonossága is.
- A helyreállítási javaslatnál a következő terheléscsökkentő és a mozgással szembeni ellenállást növelő beavatkozásokat javasoltuk, hogy ne csökkenjen az árvízvédelmi biztonság:
- a vízdali padka lekönnyítése,
- a szivárgó vizek akadálytalan bevezetése a folyóba,
- a fellazult, alacsony nyírószilárdságú talaj eltávolítása a lehető legnagyobb mértékben,
- lábazati kömegtámasztás készítése.

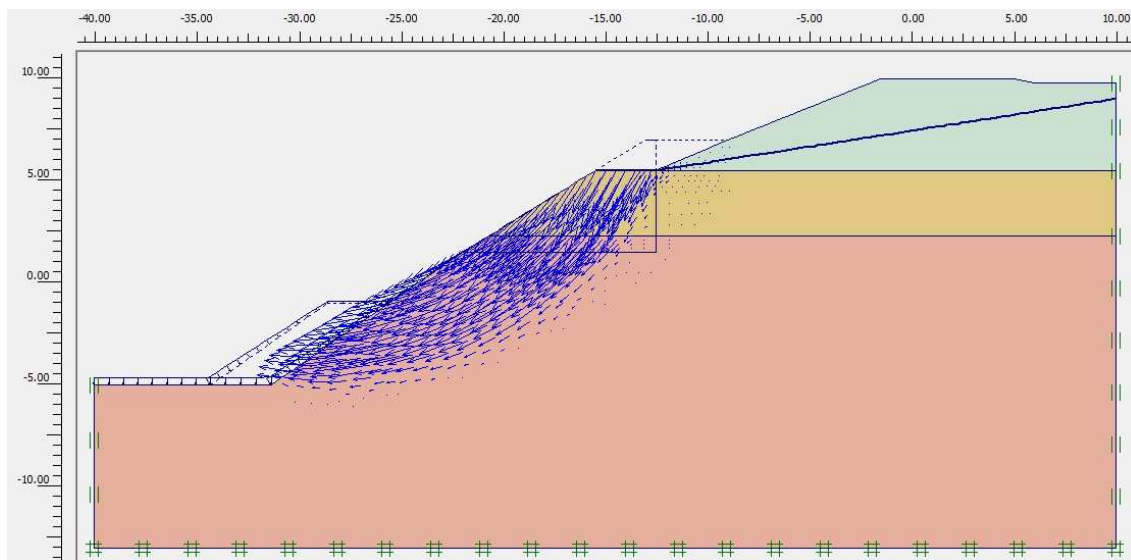
6.1. Állékonyságszámítás a helyreállításhoz

A számításban az alábbi biztonság-növelő elemeket illetve építési fázisokat vizsgáltuk:

- lekönnyítés hatása (**B** eset)
- a rézsű lábánál alkalmazott kőbordás megtámasztás hatása (**C** eset)
- szivárgó-építés hatása (**D** eset)

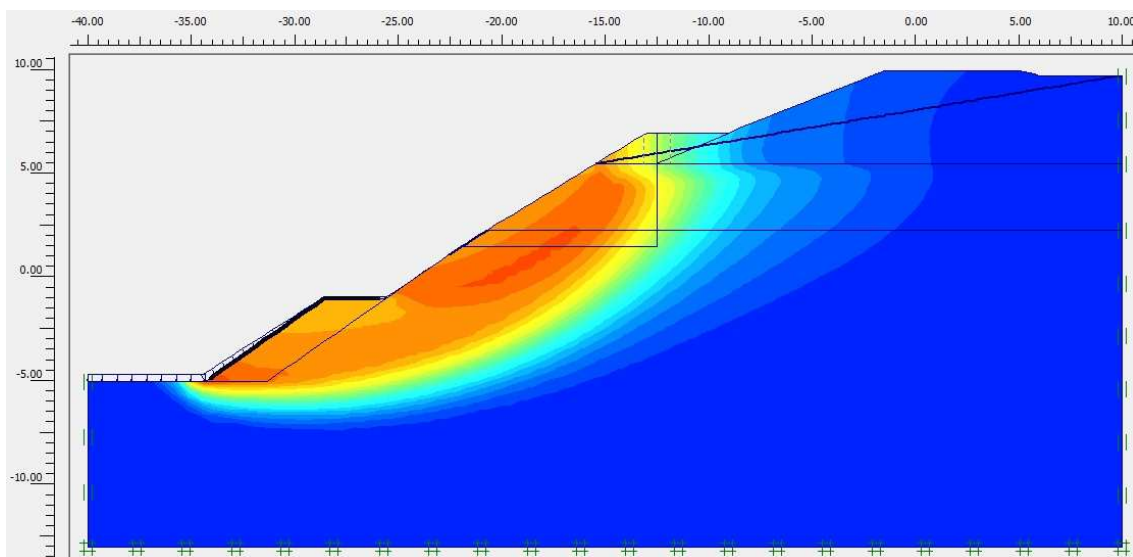
- kőbordás megtámasztás és szivárgó építés egyidejű alkalmazása (**E** eset)
- kőbordás megtámasztás, szivárgó-építés és lekönnyítés (**F** eset).

B eset: Lekönnyítésként a padka szintjének mélyebbre helyezése jöhet szóba úgy, hogy a padka szélessége legalább 3 méter maradjon. Ez kb. 1,5 méteres talajréteg eltávolítását jelentheti. Ez a tervezett lekönnyítés önmagában a biztonsági tényezőt alig növeli, hatása alig kimutatható, mindössze $n=1,03$ -ra változott. Természetesen a hozzá tartozó kritikus csúszólap (**8. ábra**) is alig változott a tönkremenetelhez képest. Meg kell jegyezni, hogy a rézsű tetejére kirakódott lebegtetett hordalék anyag biztonsági tényező csökkentő hatása ennél lényegesen nagyobb, illetve annak leszedése a biztonsági tényezőt ennél nagyobb mértékben javítja, hiszen az teljes egészében a csúszólapon belülre esett.



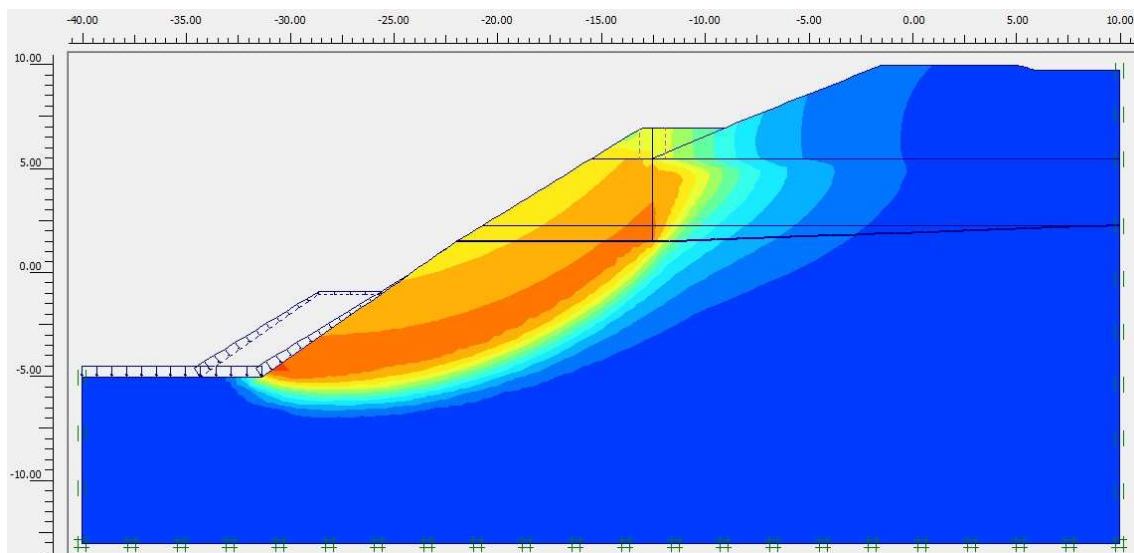
8. ábra. A lekönnyítésnek (B) önmagában minimális a hatása

A **C** esetben egy kőszórással kialakított lábazati megtámasztás lehetőségét vizsgáltuk: kb. 3 m szélességben, a vízmérce szerinti -1,0 méteres magasságig építve került be a számításba. Teljes térfogata 21 m³ folyóméterenként. Ennek hatására a biztonsági tényező már kicsit jelentősebb mértékben, $n=1,09$ -re változott, a kritikus csúszólap (**9. ábra**) lényegében változatlan lefutású.



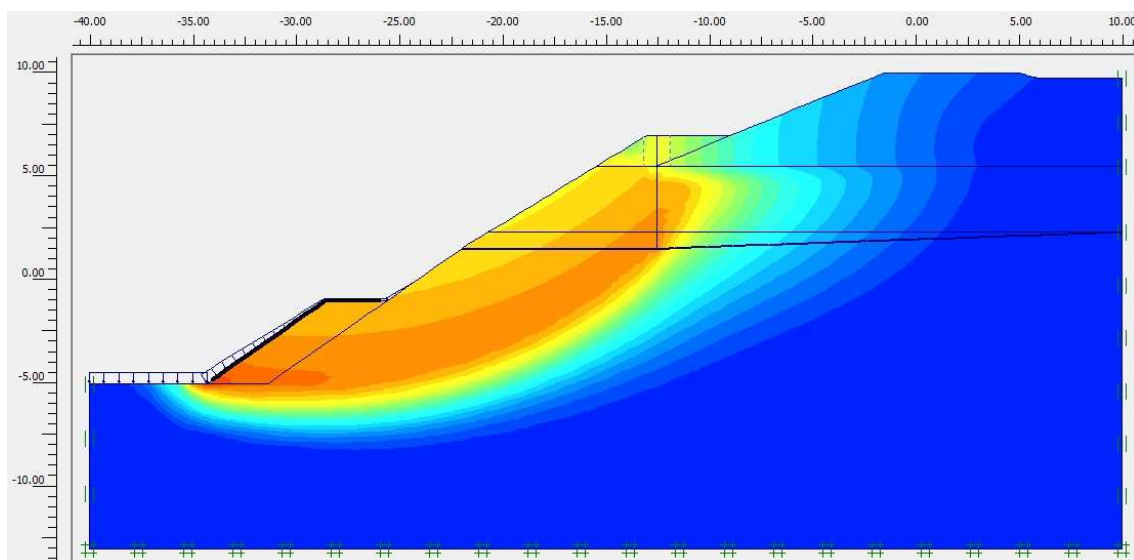
9. ábra. A kőszórásos megtámasztás (C) a biztonsági tényezőt kis mértékben növelte, de a kritikus csúszólap alakja lényegében nem változott

D esetként egy a vízmérce szerinti 1,5 méteres szinttel kialakított szivárgó hatását vizsgáltuk úgy, hogy a szivárgó borda kb. a padka koronaél függőlegeséig készül. Ezzel a módosítással a kritikus csúszólap alakja (**10. ábra**) is megváltozott: a talpponti csúszólap a szivárgó borda sarokpontján keresztül alakul ki. A hozzá tartozó biztonsági tényező $n = 1,19$ -re nőtt.

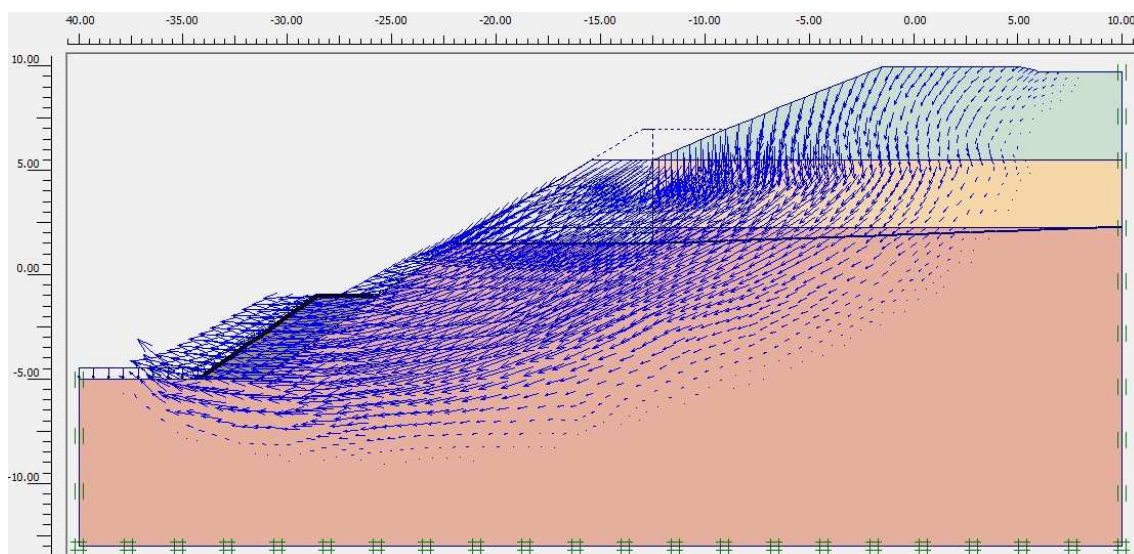


10. ábra. A szivárgó-építést (D) követően kialakuló tönkremeneteli kép

Az E eset a C és D kombinációja: lábazati megtámasztás és szivárgó-építés egyidejű kialakítása. A kialakuló kritikus csúszólap (11. ábra) az előző, D esetben kapottal egyezik meg, a biztonsági tényező $n=1,31$ -ra emelkedett.



11. ábra. Kőszórásos megtámasztás és szivárgó-építés együttes hatására kialakuló kritikus csúszólap (E eset)



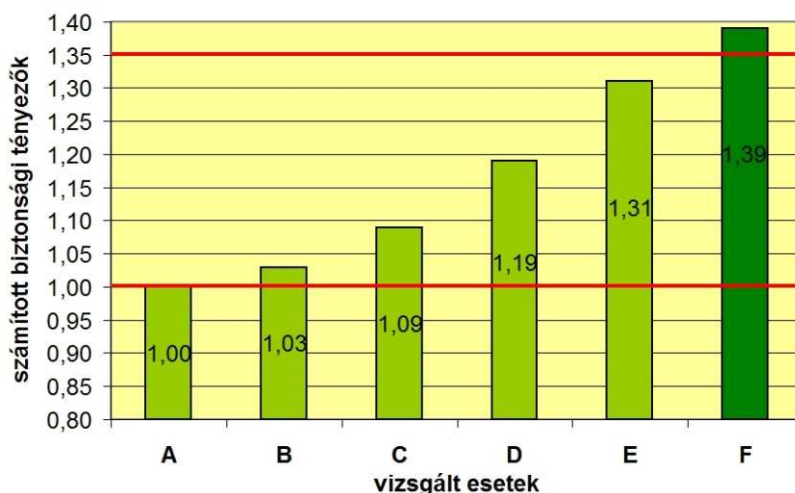
12. ábra. Kőszórásos megtámasztás, szivárgó-építés és lekönnyítés együttes hatására kialakuló kritikus csúszólap (F eset)

Az **F** eset a felmerült háromféle helyreállítási mód kombinációját jelentette: a lábazati megtámasztás és szivárgó-építés mellett a lekönnyítés is elkészül. Ebben a kombinációban a tönkremenetel geometriája (**12. ábra**) alapvetően különbözik az előzőektől: talpponti csúszólap helyett alámetsző csúszólap lesz, amely egy-két méterrel a lábazati kőszórás előtt fut ki a meder felszínére. Ezen kívül a felső ki-metsződése nem a padkára fut ki, hanem a padka belső éléhez. Egy méteres lekönnyítés esetén a kapott biztonsági tényező $n=1,35$ -re és 1,5 méteres lekönnyítésnél $n=1,39$ -re adódott.

A számítás során kapott biztonsági tényezők összesítése a **2. táblázatban** és a **13. ábrán** átható. Tekintettel arra, hogy sem a mederrézsű biztonsági tényezőjére, sem árvízvédelmi gát vízdoldali rézsűjének állékonyságára előírással nem rendelkezünk, elfogadva a karakterisztikus értékkel számolt $n = 1,35$ -ös biztonsági tényezőt a mederrézsű állékonynak mondható, ha mindhárom biztonságnövelő beavatkozást egyszerre elkészítjük (**F** eset a **2. táblázatban** és a **13. ábrán**).

Eset	Biztonsági tényező
B - a lekönnyítés hatása	1,03
C - a lábazati kő megtámasztás	1,09
D - a szivárgó építés hatása	1,19
E - a C és D eset együttesen	1,31
F - a B , C és D eset együtt	1,39

2. táblázat. A számított biztonsági tényezők



13. ábra. A számított biztonsági tényezők

6.2. Megsuvadt szakasz elvi helyreállítása

Az elvégzett helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok, helyszíni felmérések és állékonyság számítás alapján a helyreállítási javaslatnál a következő lényeges szempontok figyelembe vételét kell szem előtt tartani:

- az elmozdult földtömeg a mozgás során fellazult, megtámasztó szerepe csökkent, így az elmozdult földtestet el kell távolítani, talajcserét kell végezni.
- a tervezésénél fontos szempont, hogy a Tisza keresztmetszetében ne okozzunk szűkítést,
- a megcsúszás helyén a meder jól beágyazódott, az áramlás közel lamináris, a helyreállításnak olyannak kell lennie, hogy belesimuljon a meglévő partba, ne okozzon törést, turbulenciát az áramlásban,
- a megcsúszás helyén kicsi a rendelkezésre álló terület, ezért a helyreállítást csak időben szakaszosan lehet végezni, az építési ütemek nem mehetnek párhuzamosan.

A fentiek figyelembe vételével az elvi helyreállítási javaslat fontosabb részletei a következők:

1. A rézsű terhelés csökkentése a vízdoldali padka alatt a homokos összlet alja alá benyúlóan 11-12 méterenként egy méter széles vízkivezető bordát kell kialakítani. A borda nyúljon hátra a padka korona fél szélességéig, vagyis a „homok” réteg középső szintjén vízszintesen kb. 6-7 métert a talajban. A bordák javasolt száma 6 db. A bordát nemcsak a talajjal érintkező részen kell geotextíliába „csomagolni”, hanem a vízdoldalon is, hogy a vízszintváltozások ne mossák be az esetlegesen kiüledett lebegtetett hordalékot.

2. A padka magasságának mintegy méteres csökkentése nem hoz elégséges állékonyságnövekedést. Megtartva a padka feletti rézsű hajlásszögét és egy minimális 2,5 méteres vízdoldali padka szélességet, a padka alatti rézsűhajlást a lehető legnagyobb értékben kell csökkenteni, figyelembe véve az „Újváro-

si partbiztosítás” helyét. Megfontolás tárgyát kell, képezze a partbiztosítás felújítása, a rárakódott talajok eltávolítása.

3. Kőrakat kialakítása a vízdali rézsűlábhoz 10 m² keresztmetszeti területtel a megsuvadt szakaszon és annak két oldalán további 20-20 méter hosszúságban. A kőrakat alá geotextíliát kell helyezni, ezzel lehet a rétegek elválasztását biztosítani.

6.3. Suvadással nem érintett szakasz erősítése

A 2005 évben készült geofizikai felmérés a vizsgált 500 méter hosszú szakaszon nem mutatott lényeges eltérést. Ez alapján feltételezhető, hogy hasonló állékonysági problémával kell megküzdeni gyakorlatilag a Hay-gátig terjedő szakaszon is. Ezért a 63+996-64-345 szelvények között preventív állékonyságjavító beruházást javasolunk.

A számítások szerint a vízdali padka könnyítése önmagában nem jár jelentős állékonyságjavító hatással, így a víznyomáscsökkentést kell szem előtt tartani. Erre két alternatív javaslatot adtunk:

A. A kőbordák tovább építésének folytatása. A töltésre merőleges, keresztirányú bordák (vízszintesen 5-6 méter mélységre a földműbe arra merőleges) beépítése 11-13 méterenként, hasonlóan a megsuvadt szakasz helyreállításánál írtakhoz. Ezek a kőbordák segítenek a vízterhelés csökkentésében, távolságuk körülbelül a bemetszés kétszerese lehet.

B. A Közép-Tisza-vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (KÖTIVIZIG) területén máshol már sikerrel alkalmazott vízdali mélyszivárgó építése. A mélyszivárgó érjen le a homok réteg alá, hatékonyan tegye lehetővé a szivárgó vizek nyomásának csökkentését a homok rétegben. A mélyszivárgóba elhelyezett dréncsöveket méretezni kell, a vízszállító képességük szerint kell beépíteni a vízdali padka alá.

Ugyancsak preventív intézkedésként javasolható a meg nem csúszott részen a lábazati kőrakat folytatása, valamint a vízdali rézsű laposítása. A vízdali rézsű laposításánál figyelembe kell venni az „Újvárosi partbiztosítás” helyét. Célszerű megtartani a partbiztosítást, és a rárakódott laza, az évek során kiülepedett részt eltávolítani, de ennek kivitelezéséhez pontosítani kell a helyét és a magasságát.

A magas vízállás és a gát alatti talajok telítődése nem kerülhető el. Ugyanígy az apadó víz sem az árhullám után, azonban törekedni kell az apadási sebesség csökkentésére. Bár az agyagok szempontjából minden apadási sebesség magas, a vizsgált helyszínen feltárt talajoknál a 0,4-0,6 méter/nap apadási sebesség is magas. Ezen érték csökkentése különösen nagy árvizek után a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztésével, a tervezett tározók üzemeltetésével is javítható.

A jövőben rendszeresen ellenőrizni kell a mederrézsű és a hullámtér feliszapolódásának, feltöltődésének mértékét, ami a jelenlegi suvadásnál a rézsű túlterhelését okozta.

6.4. A biztonsági tényező additivitása

Az a mindennapi életben – de szerencsére ritkán - előforduló eset, hogy az árvízvédelmi gát vízdali rézsűje lecsúszott, a geotechnika szempontjából új tapasztalatokat eredményezhet. A partállékonyság javítására három egymástól függetlenül is alkalmazható biztonságjavító beruházást is vizsgáltunk. Kétségtelen tény, hogy az alkalmazott méreteknél a leghatékonyabb beavatkozás a szivárgó vizek akadálytalan bevezetése a folyóba, mely mintegy 20 %-kal javította a biztonsági tényezőt (**D** eset). Az elvégzett állékonyság számítások eredményei (**2. táblázat** és **13. ábra**) azt mutatták, hogy a különböző állékonyság-javító beruházások biztonsági tényező javító hatása nem fejezhető ki az egyes biztonsági tényezők egyszerű összeadásával. Képleten megfogalmazva:

$$n_B + n_C \neq n_{B+C} . \quad (1)$$

Jelen számításban ez igaz volt a három biztonságjavító beavatkozásra páronként is és mindháromra együttesen is, vagyis:

$$n_B + n_C + n_D \neq n_{B+C+D} \quad (2)$$

Általánosságban megfogalmazva:

$$\sum n_i \neq n_{\Sigma} . \quad (3)$$

Hasonló következtetésre juthatunk, ha a biztonsági tényező multipliv tulajdonságát vizsgáljuk, vagyis a biztonsági tényező nem multipliv.

A számítások az is mutatták ebben az esetben, hogy a biztonsági tényező növekmény két módszer együttes alkalmazásával nagyobb volt, mint a két módszer külön-külön történő alkalmazása esetén:

$$n_B + n_C < n_{B+C} , \quad (4)$$

általánosan megfogalmazva

$$\sum n_i < n_{\Sigma} . \quad (5)$$

Mindezen megállapítások elsősorban azzal magyarázhatóak, hogy a különböző beavatkozások kombinációjának eredményeként az egyes beavatkozások esetén kapott kritikus csúszólaphoz képes annak alakja (a tönkremenetel geometriája) megváltozik.

Jelen műszaki feladatnál csak biztonságjavító tényezőket, azok additivitását vizsgáltunk, és nem foglalkoztunk a biztonsági tényező csökkentő beavatkozások hatásával. Az elvégzett számítások és elemzések alapján úgy tűnik, hogy a biztonsági tényező non-additív tulajdonságának vizsgálata megéri, hogy tovább foglalkozzanak vele.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton mondunk köszönetet Dr. Kovács Sándornak a vízállás adatok rendelkezésre bocsátásáért.

IRODALOMJEGYZÉK

- Baranya, T. 1985: Szolnok altalajának matematikai statisztikai értékelése. *Mélyépítéstudományi Szemle* XXXV. évf. 2. szám.
- Csikász, S. 1984: Folyószabályozás a Közép-Tiszán. *Vízügyi Közlemények*. LXVI. évf. 3. füzet.
- Farkas, J.; Nagy, L. 2005: Geotechnikai szakvélemény a Szolnok, Alcsi Holt-Tisza talajmozgás vizsgálatánál, Szakértői jelentés.
- Kabai, I.; Farkas, J. 1978: Egy ártéri hídfeljáró töltésének tönkremenetele. *Mélyépítéstudományi Szemle*. XXVIII(4): 145–155.
- Károlyi, Zs.; Nemes, G. 1975: *A Közép-Tiszavidék vízügyi múltja*, I., II., III. kötet.
- Nagy, L. 1985: A Zagyva jobbpart 1+324–1+350 szelvények közötti töltéskárosodás vizsgálata. VITUKI jelentés, Témaszám: 7622/4/567.
- Nagy, L. 1987: Zagyva jobb part 0+525–1+148 szelvények közötti szakasz feltárása, rézsűállékonyság vizsgálata, VITUKI jelentés, Témaszám: 7622/4/292/717.
- Nagy, L. 2003: Vízoldali rézsű csúszása a Zagyva jobb partján. *Vízügyi Közlemények*, LXXXVI(4): 631-649.
- Farkas, J.; Nagy, L. 2005: Geotechnikai szakvélemény a Szolnok, Alcsi Holt-Tisza talajmozgás vizsgálatánál, Szakértői jelentés.
- Farkas, J.; Nagy, L.: Geotechnikai szakvélemény és elvi helyreállítási javaslat a Szolnok, Téglaházi partmozgás vizsgálatáról, 2005.
- Nagy, L.; Takács, A. 2010: Mederrézsű suvadás geotechnikai vizsgálata a Nádor-csatorna 0+270-0+470 tkm. szelvények között, Sióagárd területén.
- Nagy, L.; Takács, A. 2010: Siófok, Zúgó soron a Sió-csatorna mederrézsű felszínmozgásának geotechnikai vizsgálata.