



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Geotechnikai Tanszék

KUTATÁSI JELENTÉS

a Budapest, III. Római parton tervezett mobil árvízvédelmi fal
környezetében kialakuló szivárgási viszonyokról

A kutatási jelentés 14 számozott oldalt valamint négy mellékletet tartalmaz

- | | | |
|----|-----------|---------------------------------|
| 1. | MELLÉKLET | 1. szakasz számítási eredményei |
| 2. | MELLÉKLET | 2. szakasz számítási eredményei |
| 3. | MELLÉKLET | 3. szakasz számítási eredményei |

Budapest, 2012. december

TARTALOMJEGYZÉK

1.	A MEGBÍZÁS TÁRGYA	2
2.	ELŐZMÉNYEK, TERVEZETT MŰTÁRGYAK.....	3
2.1.	Tervezett műtárgyak.....	3
2.2.	Kiindulási adatok.....	3
3.	VÉGES ELEMES SZÁMÍTÁSOK	5
3.1.	Számítás alapelve	5
3.2.	Feltételezések, peremfeltételek.....	6
4.	SZIVÁRGÁSSZÁMÍTÁS	7
4.1.	1. tervezési szakasz (0+000 – 1+300).....	7
4.2.	2. tervezési szakasz (1+300 – 2+125).....	12
	1+950-es szelvény.....	13
	1+400-as szelvény.....	14
	1+500-es szelvény.....	15
4.3.	3. tervezési szakasz (2+125-)	17
5.	ÖSSZEFOGLALÁS, ÉRTÉKELÉS	18

KUTATÁSI JELENTÉS

a Budapest, III. Római parton tervezett mobil árvízvédelmi fal környezetében kialakuló szivárgási viszonyokról

1. A MEGBÍZÁS TÁRGYA

Az ERBO-PLAN Mérnöki Szolgáltató Kft. (5700 Gyula, Hold u. 10.) megbízta a BME Geotechnikai Tanszék (1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.), a címben említett terület árvízvédelmi gát körül kialakuló szivárgási viszonyok véges elemes modellezésével.

A munkavégzéssel, megbízással és szerződéses kérdésekkel kapcsolatos kérdésekben a következők személyek a kapcsolattartók:

Megbízó részéről:	Erdész Béla
Megbízott részéről:	Dr. Mahler András

Megbízóval kötött szerződés alapján a Megbízott a következőket vállalta:

- A mobil árvízvédelmi gát alatt készendő vízzáró fal és a mentett oldalon tervezett szivárgó kialakítását követően kialakuló szivárgási viszonyok kétdimenziós véges elemes modellezése – mértékadó árhullám és visszaduzzasztás vizsgálata.
- A mobil árvízvédelmi fal déli végénél háromdimenziós véges elemes szivárgásvizsgálat.

A talajvizsgálati jelentés elkészítéséhez t. Megbízó a következő információkat bocsátotta rendelkezésünkre:

- Talajvizsgálati jelentés a Budapest, III. Római parton tervezett mobil árvízvédelmi fal környezetének altalajviszonyairól (Készítette: BME Geotechnikai Tanszék, 2012. november)
- A korábbi árhullámok során tapasztalat vízállásadatok a tervezési területre átszámítva (email melléklet, 2012. 11.23. MA.xls)

2. ELŐZMÉNYEK, TERVEZETT MŰTÁRGYAK

T. Megbízó Budapest III. kerületében a Római parton új árvízvédelmi rendszer kialakítását tervezi. A Budapest Főváros Önkormányzata által kezdeményezett „Budapest III. kerület, Római parti ideiglenes árvízvédelmi mű tervezése” tárgyú uniós eljárási rend szerinti nyílt közbeszerzési eljárás követelményei szerint a tervezésnek a következőkre is ki kell térnie:

- „... Prognosztizálni kell a tervezett védmű hatását a mögöttes terület talajvízszintjére, a tervezett védmű semmilyen körülmények között sem okozhatja a talajvíz szintjének emelkedését.”
- „Háromdimenziós szivárgásvizsgálat készítése a tervezett védmű környezetére.”

Az árvízvédelmi rendszert tervező által javasolt kiépítési szint: M_{ÁSZ}+1,0 m = 105,11 mBf..

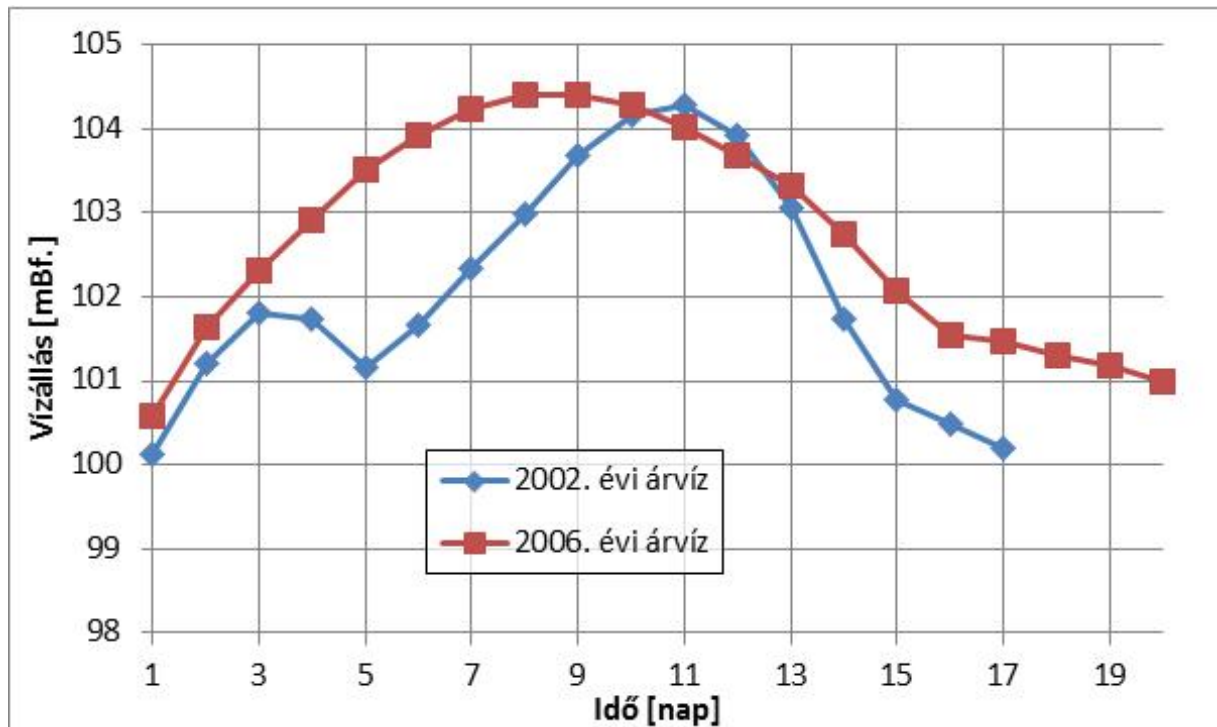
2.1. Tervezett műtárgyak

A tervezett árvízvédelmi rendszer több műtárgyból áll. A fő elem a terepszint feletti gátat jelentő mobil árvízvédelmi fal. Ennek alapozást a T. Megbízó oszloponként egy-egy cölöppárral tervezi megoldani, a mobil gát alatt pedig Jet panelekből vízzáró fal készül. A mobil árvízvédelmi gáttól 5-7 méterre szivárgó készül.

2.2. Kiindulási adatok

A szivárgásszámításoknál figyelembe vettük, hogy a mértékadó árvízszint hatására nem feltétlenül alakul ki állandósult áramlás, mert a magas vízállás nem tartós. A 2002. és 2006. évi árhullámok adatai a T. Megbízó bocsátotta rendelkezésünkre, az ekkor tapasztalat vízszintek az 1. ábrán láthatóak.

A korábbi árhullámok tapasztalatai alapján a következő mértékadó árhullámot állapítottuk meg, és vettük figyelembe a számítások során: a Duna vízszintje 8 nap alatt emelkedik a közepes vízállástól (100,00 mBf.) a mértékadó árvízszintnél 1 méterrel magasabb szintig (105,11 mBf.) a tetőzés két nap, majd ezt követően 10 nap alatt süllyed vissza a vízszint az 101,00 mBf. szintre.



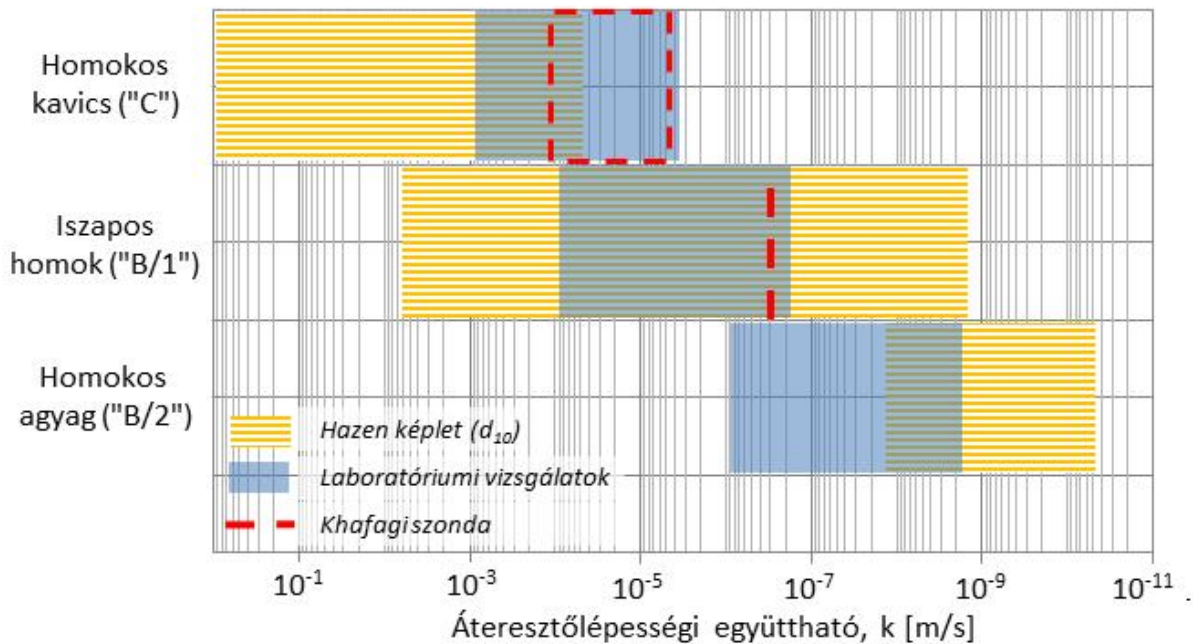
1. ábra A 2002-es és 2006-os árvizek vízállásai

A terület altalaját jellemzően a következő rétegek alkotják:

- a terepszinten sok helyen előforduló vegyes feltöltés
- a feltöltés illetve a terepszint alatt található változatos fedőréteg, mely két alcsoportra osztható:
 - szemcsés réteg (iszapos homok, agyagos homok)
 - gyengén kötött rétegek (homokos agyag, homokos iszap)
- a fedőréteg alatt fekvő terasz kavics (homokos kavics, kavicsos homok)
- a terület közel vízzáró aljzatát képező közepes agyag.

A talajrétegződés részletesebb leírása a 4. fejezet alpontjaiban található szakaszonkénti bontásban.

A talajvizsgálati jelentés szerint e rétegek változatos összetételűek, ebből adódóan áteresztőképességi együtthatójuk is tág határok között (több nagyságrendnyi tartományban) változik. A különböző módszerekkel meghatározott áteresztőképesség értékek tartományát a 2. ábra szemlélteti, a talajvizsgálati jelentés által javasolt értékeket az 1. táblázat foglalja össze.



2. ábra. A különböző módszerekkel meghatározott áteresztőképességi együtthatók

1. Táblázat

Talaj megnevezése	Áteresztőképességi együttható k [m/s]
Iszapos homok, agyagos homok	$10^{-6} - 5 \times 10^{-5}$
Homokos iszap, homokos agyag	$5 \times 10^{-9} - 10^{-7}$
Homokos kavics, kavicsos homok	$5 \times 10^{-3} - 10^{-1}$
Közepes agyag	$10^{-10} - 10^{-8}$

3. VÉGES ELEMES SZÁMÍTÁSOK

3.1. Számítás alapelve

A vizsgált keresztmetszetekben a szivárgás kétdimenziós véges elemes vizsgálatát Plaxis v2011.02 szoftverrel végeztük. A háromdimenziós vizsgálatok a MIDAS Gts programmal készültek. A programok a számítást a Darcy törvény valamint a potenciáláramlás alapegyenlete alapján végzik. A folyadékmozgás sebességét a Darcy törvény határozza meg, mely többdimenziós esetben a következő formában írható fel:

$$\{v\} = -[k]\{\nabla h\}$$

ahol:

- $\{v\}$ a szivárgási sebességkomponensek vektora;
- $[k]$ az áteresztőképességi együtthatókat tartalmazó matrix;
- h a nyomásmagasság (potenciál).

A vízmozgás folytonosságát a potenciáláramlás alapegyenlete (folytonossági egyenlet) biztosítja. Ennek fizikai jelentése, hogy (amennyiben a víz összenyomódását elhanyagolhatóan kicsinynek tekintjük) egy adott térfogatú talajprizmába egységnyi idő alatt be- és kiáramló víz (térfogat)mennyiségek különbsége megegyezik a talajban lévő víz térfogatának a változásával.

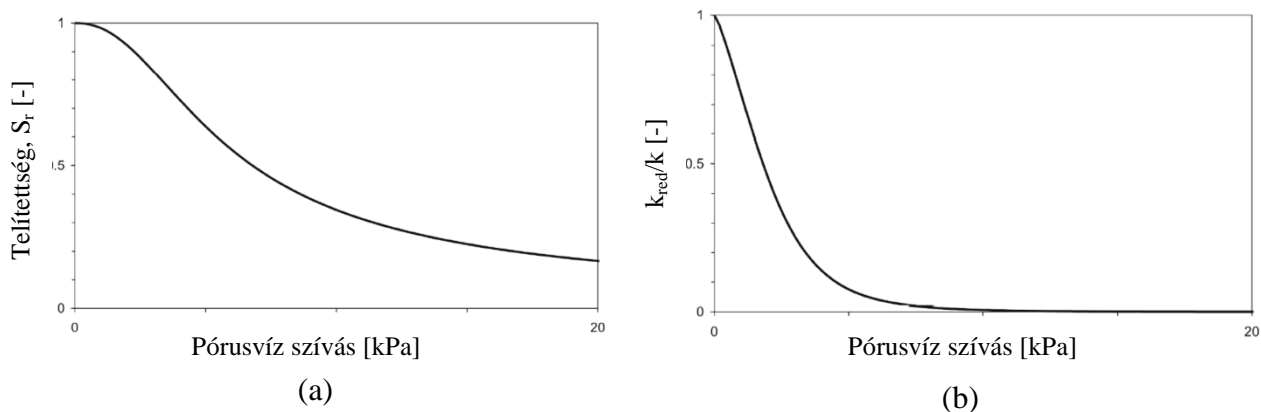
A folytonossági egyenlet a következő alakban írható fel:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} - Q = \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t}$$

itt:

- v_x, v_y és v_z a szivárgás sebességének x, y és z irányú komponensei;
 Q az esetleges egyéb (pl. peremfeltételből adódó) befolyó vagy kifolyó vízmennyiség;
 ε_v a víz térfogati részaránya (hazai gyakorlatban "v");
 t az idő.

Telítetlen talajokban történő szivárgás esetén a talaj áteresztőképességi együtthatója nem tekinthető konstansnak, az a telítettség függvénye is: az áteresztőképesség telített talajok esetén a legnagyobb; a telítettség csökkenésével pedig az áteresztőképesség is csökken. Számításaink során a telítetlen talaj viselkedésének meghatározásához a Van Genuchten modellt használtuk, mellyel a talaj víztartási görbéje illetve a telítetlen talaj áteresztőképességének változása is leírható. A talajtípusonként változó paraméterkombinációkkal leírható görbéket az 3. ábra szemlélteti: az „a” ábra mutatja a talaj telítettsége és a pórusvíz-szívás közti kapcsolatot leíró (víztartási) görbe jellemző alakját, a „b” ábra pedig a telítetlen és telített talaj áteresztőképességének hányadosát mutatja szintén a pórusvíz-szívás függvényében.



3. ábra. Telítetlen talaj áteresztőképességét leíró görbék

3.2. Feltételezések, peremfeltételek

A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy bizonyos talajok esetén a talajba történő belépéskor a vízrészecskéknek nagyobb ellenállást kell legyőzni, a belépési gradiens eltér a más helyen kialakulótól. Homokos kavics esetén ez a hatás kicsi, az ebből adódó eltérés számottevően kisebb, mint az áteresztőképesség változékonyságából adódó, így ezt a számítások során – a biztonság javára történő közelítéssel – elhanyagoltuk.

Állandósult vízmozgások esetén a mentett oldali vízszint kialakulásának számításakor a párolgás illetve párologtatás hatása jelentős. Rövidebb idejű árhullám esetén ennek hatása kevésbé fontos, ráadásul az ezzel kapcsolatos bizonytalanságot növeli, hogy az árhullám az év bármelyik szakában kialakulhat, és az evapotranszspiráció hatása az évszaktól függően eltérő lehet. Számításainkhoz a lehetséges legkedvezőtlenebb állapotot tekintettük mértékadónak, azaz az evapotranszspiráció hatását elhanyagoltuk.

Előzetes számításokat végeztünk annak megállapítására, hogy milyen peremfeltételek, illetve milyen modellméretek mellett lehet a valós folyamatokat megfelelő pontossággal modellezni. Első közelítésként a kavicssteraszt teljes kiterjedésében modelleztük, a part mentén 2 km szélességű sávot vettünk figyelembe, és az Aranyhegy lábánál található területeket vettük vízzáró modellhatárnak. Az előzetes számítások azt mutatták, hogy a Dunán levonuló – a 2006-ban tapasztalthoz hasonló – árhullám esetén a folyamtotól kb. 800-1000 m távolságra, már csak néhány cm nagyságrendű vízszintemelkedés tapasztalható, azaz az árhullám hatása minimális. Hasonló számítási eredményeket kaphatunk, ha csak kisebb véges elemes modellt veszünk figyelembe és a mentett oldal felől található modellhatárt peremfeltételét úgy állítjuk be, hogy abba az irányba a víz szabadon eltávozhasson („nyitott” peremfelt.) – így kisebb modellméret alkalmazható.

A gyakorlatban gát környékén lévő 30-50 m-es sáv viselkedése a kritikus, az itt kialakuló vízszinteket és víznyomásokat csak minimálisan befolyásolja, ha a modellhatárt a mobil gáttól ~200 méterre vesszük fel. Emiatt számításainkban a mentett oldali modellhatárt ilyen távolságra vettük fel, és „nyitott” peremfeltételt használtunk.

4. SZIVÁRGÁSSZÁMÍTÁS

Mindhárom szakaszon meghatároztuk a szivárgási szempontból kritikus helyeket, és ezekben a szelvényekben véges elemes szivárgásvizsgálatokat végeztünk. A számítások eredményét ebben a fejezetben a vonatkozó ábrákat pedig a mellékletben mutatjuk be.

4.1. 1. tervezési szakasz (0+000 – 1+300)

Az 1. tervezési szakasz a Pünkösdfürdő utca közelében, a csatlakozó árvízvédelmi gátnál kezdődik és az Őrtorony utcától ~150 méterre délre, az 1+300 szelvény környékén ér véget. Ezen részen az árvízvédelmi fal nyomvonala a Kossuth Lajos üdülőpart útjával közel párhuzamosan, attól ~50-100 méterre a Duna felé helyezkedik el, majd a szakasz végén visszaugrik az út mellé. A jelenlegi terepszint itt mélyebb, ezért a tervezett nyomvonal helyén agyag feltöltés készül, a rendezett terepszintet ~103 mBf. szinten alakítják ki. A tervezett kialakítást a 4. ábra szemlélteti.

kialakuló szivárgási viszonyokat, illetve milyen szivattyúzandó vízmennyiségekre lehet számítani. Tekintettel arra, hogy a vizsgált szelvényben a jó vízvezető homokos kavics réteg vastagsága 10 méter volt, az említett három talpmélység a vízvezető réteg 60%-os (92 mBf.), 80%-os (90 mBf.), illetve 90%-os (89 mBf.) lezárását jelenti. A vizsgált három eset véges elemes modelljét az 1. mellékletben található ábrákon mutatjuk be. A teljes véges elemes modellt mindhárom esetben két ábra szemlélteti, az egyik a teljes modell látható, a másik pedig a vízzáró fal környezetét mutatja. Az ábrák számozása a következő:

M1.1. ábra: Vízzáró fal talp: 92 mBf. – Teljes véges elemes modell

M1.2. ábra: Vízzáró fal talp: 92 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

M1.3. ábra: Vízzáró fal talp: 90 mBf. – Teljes véges elemes modell

M1.4. ábra: Vízzáró fal talp: 90 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

M1.5. ábra: Vízzáró fal talp: 89 mBf. – Teljes véges elemes modell

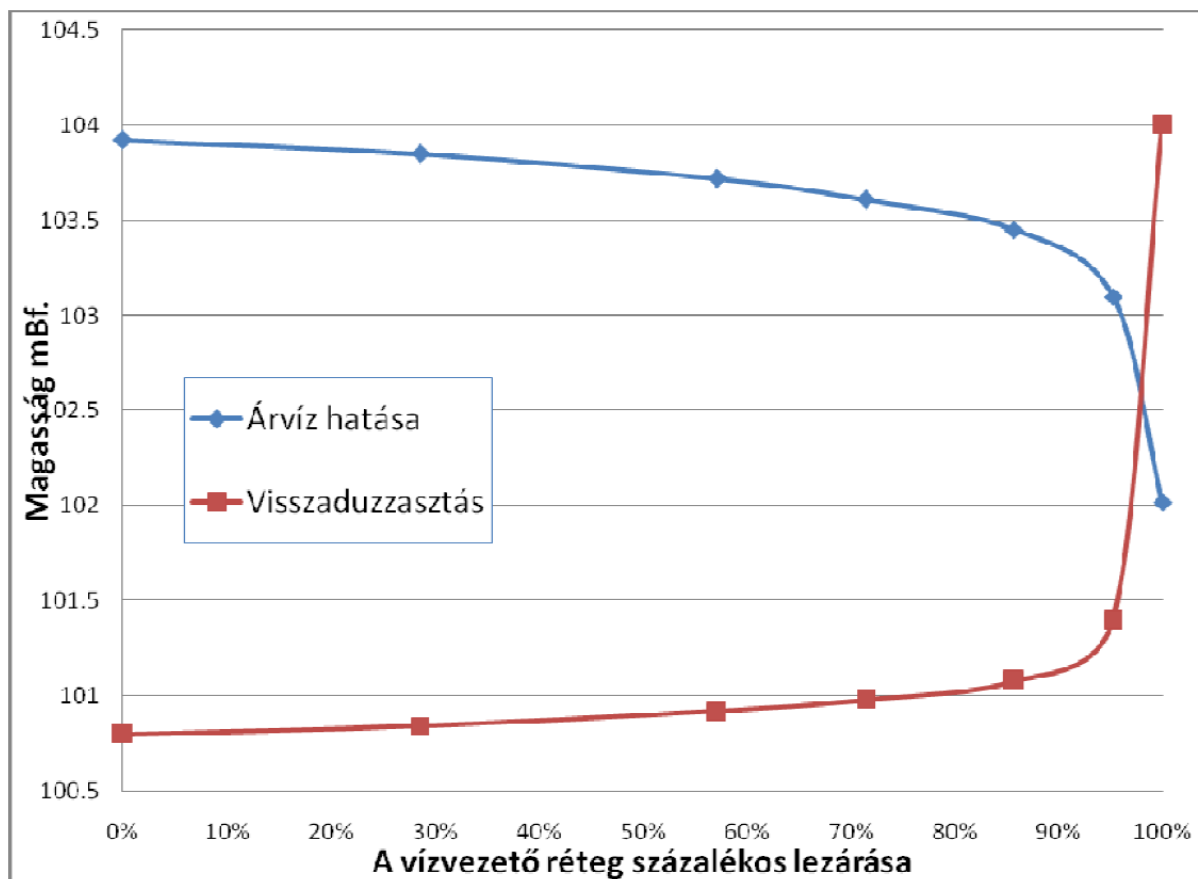
M1.6. ábra: Vízzáró fal talp: 89 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

A szivattyúzandó vízmennyiséget és a kialakuló vízszinteket jelentősen befolyásolja, hogy a szivárgóban milyen vízszintet alakítunk ki. Mélyebb szivárgóban lévő vízszint esetén a mentett oldalon kialakuló vízszint mélyebben tartható, azonban nagyobb vízmennyiségre kell számítani. Számításainkat azzal a feltételezéssel végeztük, hogy a szivárgóban kialakuló vízszint 102 mBf., így a mentett oldali vízszint a nem emelkedett a terepszint alatti 1,0 m fölé.

A $k_{\text{vízsz}}=10^{-2}$ m/s feltételezésével végzett számítás eredményeként kapott, a tetőzés végén kialakuló nyomásmagasságokat (piezometrikus szinteket) valamint vízszinteket (a három vízzáró fal mélység esetén) az M1.7., M1.8. és M1.9. ábrák szemléltetik. A mentett oldali vízszintek mindegyik esetben nagyon hasonló képet mutattak: a számított maximális értékek 101 mBf. körül változtak, azaz a vízzáró fal mélysége ezt alig befolyásolja.

A BME Geotechnikai Tanszékének korábbi – a Szentendrén készülő hasonló projekttel kapcsolatban készített – tanulmánya (Nagy és Mahler, 2012¹) is rámutatott, hogy a vízvezető réteg ~90%-ának lezárásával a mentett oldali vízszint minimálisan változik, ugyanis a lecsökkent keresztmetszeten szivárgó víz megnövekedett sebessége miatt a vízmennyiség nem csökken jelentősen. A vízzáró fal hatása akkor érezhető igazán, ha a szivárgási keresztmetszet több, mint 90%-át lezárjuk, ez esetben azonban a visszaduzzasztást jelenthet problémát (5 ábra). A 90%-nál nagyobb lezárás már felveti azt a problémát is, hogy a vízzáró alapréteg felszíne csak közelítőleg ismert, emiatt nem kivitelezhető, hogy az alapréteg és a vízzáró fal talpsíkja között csak néhány dm-es különbség legyen. Ilyen esetben szakaszosan kialakított „ablakok” segítségével lehet a szükséges mértékű vízzárást biztosítani.

¹ Nagy László, Mahler András (2012) Árvízvédelmi gát szivárgás csökkentése vízzáró fal alkalmazásával. Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Vándorgyűlése, Kaposvár. ISBN 978-963-8172-29-7)

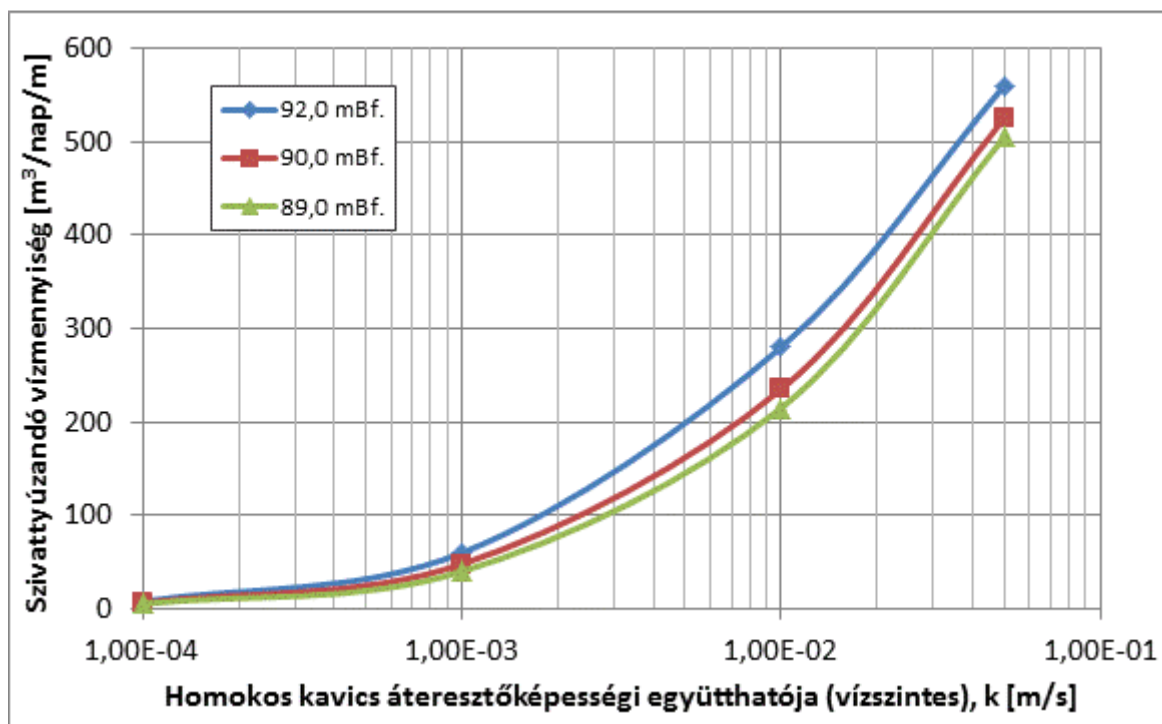


5. ábra. Mentett oldali talajvízmélység a vízvezető réteg különböző mértékű lezárása esetén (Nagy és Mahler, 2012)

Számítássorozatot végeztünk a homokos kavicsra jellemző különböző átteresztőképességi együtthatók („k” értékek) feltételezésével annak vizsgálatára, hogy különböző mélységű vízzáró fal illetve különböző „k” értékek esetén hogyan változik a szivattyúzandó vízmennyiség. A számítások eredményeit a 3. táblázatban foglaltuk össze, az eredmények grafikus bemutatása pedig a 6. ábrán látható.

3. Táblázat

Vízzáró fal talpmélység	Szivattyúzandó vízmennyiség [m ³ /nap/m]			
	$k_{\text{vízsz}}=5 \times 10^{-2}$ m/s	$k_{\text{vízsz}}=10^{-2}$ m/s	$k_{\text{vízsz}}=10^{-3}$ m/s	$k_{\text{vízsz}}=10^{-4}$ m/s
92,0 mBf.	560	280	60	8
90,0 mBf.	525	235	48	65
89,0 mBf.	505	215	40	5,5



6. ábra. 1+160 szelvény. Szivattyúzandó vízmennyiségek különböző vízzáró fal mélység és átteresztőképességi együtthatók esetén.

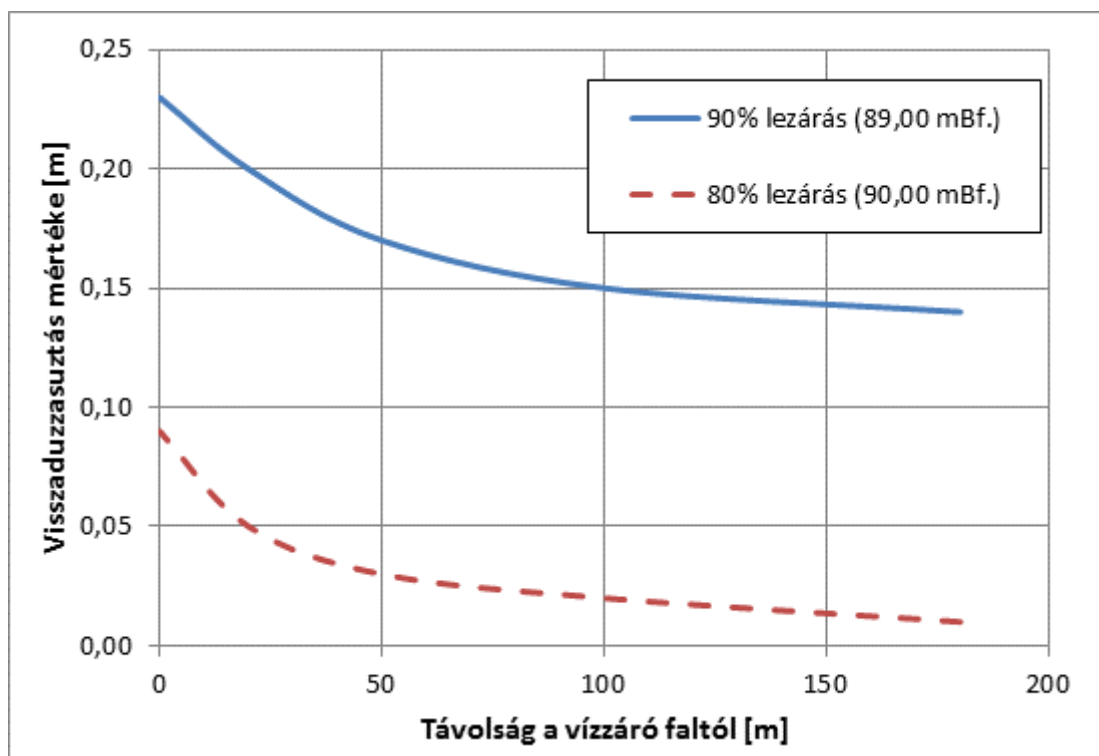
Megvizsgáltuk azt is, hogy a vízvezető homokos kavics réteg különböző mértékű lezárása milyen visszaduzzasztást okozhat. A visszaduzzasztás számításakor alapvető kérdés, hogy milyen vízhozamra számíthatunk a „hegyek felől”. Megbízható adat erre vonatkozóan nem állt rendelkezésre, így a számítást a rendelkezésünkre bocsátott talajvízszint és Duna vízállás adatok alapján tudtuk elvégezni. A visszaduzzasztás szempontjából a kritikus időszak, amikor a mentett oldal felől a legtöbb víz érkezik a Duna irányába, azaz vízmozgás hidraulikus gradiense a legnagyobb. A kapott adatsorokban, a Drótos utcában (a Dunától ~360 m-re lévő) található III/9 jelű talajvízszint észlelő kútban tapasztalt vízszint és a Duna vízszint (egyidejű leolvasásokhoz tartozó) legnagyobb különbsége 2,17 m volt. Ugyanez a korábbi Óbuda mgtsz területén, a Dunától ~300 m-re található III/1A kút esetén 2,44 m. A legnagyobb egységnyi hosszra jutó átlagos potenciálesés tehát $i=0,008$. A véges elemes számításokat ennél valamivel nagyobb $i=0,01$ fajlagos potenciál esés feltételezésével készítettük. Ezek során megvizsgáltuk, hogy a különböző mélységű vízzáró falak hatására milyen mértékben emelkedik meg a vízszint a legnagyobb „hegyfelőli” gradiens (vízhozam) esetén. Részletes adatsor hiányában a számítást állandósult vízmozgás feltételezésével végeztük – ez tekinthető a legkedvezőtlenebb feltételezésnek. A számítások eredményeként kapott nyomásmagasságokat és vízszinteket az M1 mellékletben található M1.10. – M1.12. ábrák szemléltetik:

M1.10. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – eredeti állapot

M1.11. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – vízzáró fal talpszint: 90,0 mBf. (80% lezárás)

M1.12. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – vízzáró fal talpszint: 89,0 mBf. (90% lezárás)

Az eredmények alapján meghatároztuk, hogy a vízzáró faltól a mentett oldal felé távolodva, milyen mértékben emelkedik a vízszint a különböző vízzáró falak esetén. Az eredményeket a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra. 1+160 szelvény. Visszaduzzasztás mértéke a vízzáró faltól való távolság függvényében

4.2. 2. tervezési szakasz (1+300 – 2+125)

A 2. tervezési szakasz az 1. szakasz előbbiekben említett Órtorony utca felőli végétől, az 1+300-as szelvénytől indul, és a Rozgonyi Piroska utcáig (2+125 szelvényig) tart. Ezen a szakaszon a nyomvonal a Kossuth Lajos üdülőpart aszfaltozott útja mentén halad, a környezete jobban kiépített, mint az 1. szakasznál volt. A terepszint ezen a részen jellemzően 103 mBf. körül változik. A mentett oldali részen az 1. szakasz déli részéhez hasonlóan a terep enyhén emelkedik a Királyok útja felé.

Ezen a szakaszon a közepes agyag aljzat felszíne dél felé enyhén lejt: az északi részen a furatokban ezt 94 mBf. szinten a déli részen pedig 92 mBf. szinten jelentkezett. Az erre települt kavics felszíne hullámos, a Szent János utcánál valamint a Kalászi és a Rozgonyi Piroska utcák között délre egészen 99 mBf. szintig emelkedik. A fedőréteget ezen a szakaszon jellemzően szemcsésebb rétegek alkotják-

Itt a terület változékonysága miatt három keresztzelvényt választottunk ki vizsgálatainkhoz. Az egyiket az 1+950 szelvényben (a Kalászi utcától délre) vettük fel. Itt a

fedőréteg elvékonyodik, a mentett oldali terepszint pedig 103 mBf. szint alá csökken. A második vizsgált keresztmetszvény az 1+400, itt a fedőréteg felső részén volt a kötöttebb réteg alatta pedig a szemcsésebb – ez a hidraulikus talajtörés kialakulás szempontjából tekinthető kritikusnak. A harmadik keresztmetszvényt az 1+500-ban vettük fel itt ugyan a fedőréteg vastagabb, azonban a tapasztalat talajviszonyok itt voltak a legkedvezőtlenebbek: itt kizárólag szemcsés fedőréteget (agyagos homok) tapasztaltunk a feltárásban.

1+950-es szelvény

Ebben a szelvényben a szivárgásszámítás alsó határát képező agyagos alapréteg felszíne 93 mBf., a kavicsréteg felső határa pedig 99 mBf – azaz a fedőréteg itt elvékonyodik, vastagsága ~3,5 m. E fedőréteget alapvetően két réteg alkotja, a felső 1,60 m vastagságú részt sárgásszürke agyagos homok alkotja, ez alatt pedig sárgásbarna iszapos agyagot harántolt az itt mélyített EP.3f. jelű fúrás. A számításhoz figyelembe vett óvatosan becsült átteresztőképességi együttható értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

Ebben a keresztmetszvényben a szivárgásszámítást két különböző esetre végeztük el. A két esetben a vízzáró fal alsó síkja 94 illetve 94 mBf. szint volt, ezekhez a kialakításokhoz határoztuk meg a szükséges szivárgó mélységeket.

A szelvény számításához használt véges elemes modellek az M2 melléklet M2.1.-M2.4. ábráin láthatóak:

M2.1. ábra: Vízzáró fal talp: 92 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.2. ábra: Vízzáró fal talp: 92 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

M2.3. ábra: Vízzáró fal talp: 90 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.4. ábra: Vízzáró fal talp: 90 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

A tetőzés végén kialakuló nyomásmagasságokat és vízszinteket az M2.5. és M2.6. ábrák szemléltetik. Az elvégzett szivárgásszámítások eredményei azt mutatták, hogy a mélyebb vízzáró fal esetén (talpmélység 94 mBf.) a szivárgót 101,20 mBf. talpmélységgel kell kialakítani. Sekélyebb vízzáró fal esetén ez 100,80 mBf.-re adódott – azaz mindkét esetben elegendő a fedőrétegben kialakítandó „sekély” szivárgó. Ennek hatása lokális, a kavicsban kialakuló víznyomásra csekély hatással bír; így a mentett oldalon nagyobb távolságokban esetlegesen kialakuló árvízi jelenségekre nincs hatással. A számított szivattyúzendó vízmennyiségek az 5. táblázatban láthatóak.

4. Táblázat

Talaj megnevezése	Áteresztőképességi együttható k [m/s]
Agyagos homok	4×10^{-5}
Iszapos agyag	3×10^{-7}
Homokos kavics	10^{-2}

5. Táblázat

Vízzáró fal talpmélység	Szivattyúzandó vízmennyiség [m ³ /nap/m]
96,0 mBf.	1,6
94,0 mBf.	1,2

1+400-as szelvény

A terepszint itt a parti részen jellemzően 103,00 mBf., a fedőréteg felső 2 m vastagságú részét homokos agyag alkotja, majd ez alatt 2 m vastagságban agyagos homok következik. Ez kedvezőtlen, mert a szivárgás folyamán kialakuló potenciálvesztés jelentős része, ebben a kis átteresztőképességű talajrétegben következik be. A nagy hidraulikus gradiens nagy szivárgási nyomást is eredményez, ami ebben a kis terhelésű talajrétegben hidraulikus talajtörést okozhat. A szivárgó mélységét úgy kell tehát megválasztani, hogy a kialakuló szivárgási viszonyok mellett a hatékony feszültség ne csökkenhessen nullára. Két különböző szivárgó fal mélység feltételezésével (talpszint: 95 és 96 mBf.) és a 4. táblázatban megadott átteresztőképességi együttható értékekkel meghatároztuk a szükséges szivárgó mélységeket, illetve a szivattyúzandó vízmennyiségeket.

A számításhoz használt véges elemes modellek az M2 mellékletben az M2.7.-M2.10. ábrákon láthatóak:

M2.7. ábra: Vízzáró fal talp: 96 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.8. ábra: Vízzáró fal talp: 96 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

M2.9. ábra: Vízzáró fal talp: 95 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.10. ábra: Vízzáró fal talp: 95 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

A számítások eredményei azt mutatták, hogy a kisebb mélységű vízzáró fal esetén csak a durvaszemcsés rétegbe lenyúló mélyszivárgóval oldható meg a víz összegyűjtése és elvezetése. Egy ilyen szivárgó hatásmechanizmusa jelentősen eltér a fedőrétegben kialakítotttól. A fedőrétegben kialakított szivárgó lokálisan fejt ki hatását, a szivárgó környékén hoz létre depressziót, és kisebb vízmennyiség szivattyúzása szükséges. A mélyszivárgó ezzel ellentétben a nagyobb területen csökkenti a fedőréteg alatti jó vízvezető durvaszemcsés rétegben kialakuló víznyomást, ezáltal csökken a fedőrétegben felfelé áramló víz sebessége (mennyisége) is. Ugyanakkor a mélyszivárgók esetén a szivattyúzandó vízmennyiség számottevően nagyobb, ami egyúttal nagyobb üzemeltetési költséget is jelent.

Mélyebb vízzáró fal (94 mBf. talpmélység) esetén a vízvezető homokos kavics rétegből mindösszesen ~1 m-es részen szivároghat át a víz. Ez esetben a számítás szerint az agyagos homok rétegben kialakított, 99,70 mBf. talpmélységű szivárgó éppen elegendő annak biztosítására, hogy a mentett oldali vízszint ne emelkedjen a 0,50 méteres mélység

főlé. A valóság körülmények között nincs garancia arra, hogy a fedőrétegek mindenhol ilyen mélységben jelentkeznek ezért célszerű lehet ebben az esetben is a homokos kavics rétegbe lenyúló szivárgó használata.

E verzió modellje és eredményei az M2.11. és M2.12. ábrákon láthatóak. A korábban említett okok miatt a mélyszivárgó esetén számottevően nagyobb szivattyúzendó vízmennyiségre lehet számítani. A számított értékek a 7. táblázatban láthatóak.

6. Táblázat

Vízzáró fal talpmélység	Szivattyúzendó vízmennyiség [m ³ /nap/m]
96,0 mBf. (mélyszivárgó)	295
95,0 mBf.	27

1+500-es szelvény

A terepszint a parti részen itt is jellemzően 103,00 mBf., a talajrétegződés pedig a talajvizsgálati jelentéshez készült 1.F. fúrás szelvényéből állapítható meg. A fedőréteget itt 98,3 m mélységig agyagos homok alkotja, ez alatt jelentkezik a Duna kavicssterasza, melynek fekéje 94 mBf. szinten volt a fúrásban. Az agyagos homok réteg átteresztőképességi együtthatóját az 1.F. fúrásból vett mintán meghatározott érték alapján óvatos becsléssel $5 \cdot 10^{-6}$ m/s értékkel vettük figyelembe. Ez közel egy nagyságrenddel kisebb (kedvezőbb), mint az előző szelvényeknél használt, az összes mért adat alapján kiválasztott érték. Ebben a szelvényben három különböző talpmélységgel kialakított (96 mBf., 95 mBf. és 94,5 mBf.) vízzáró falat vizsgáltunk. Ezek a vízvezető réteg 62,3%-os, 81,1%-os illetve 90,6%-os lezárásának felelnek meg (a vizsgált szelvényben).

A számítás ez esetben azt mutatta, hogy a mentett oldali vízszint – még 94,5 mBf. szintig lenyúló vízzáró fal esetén is – csak a homokos kavics rétegbe nyúló mélyszivárgóval tartható a terepszint alatt. A számításokhoz készített véges elemes modelleket az M2.13-M2.18. ábrák szemléltetik:

M2.13. ábra: Vízzáró fal talp: 96 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.14. ábra: Vízzáró fal talp: 96 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

M2.15. ábra: Vízzáró fal talp: 95 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.16. ábra: Vízzáró fal talp: 95 mBf. – Véges elemes modell a vízzáró fal környezetében

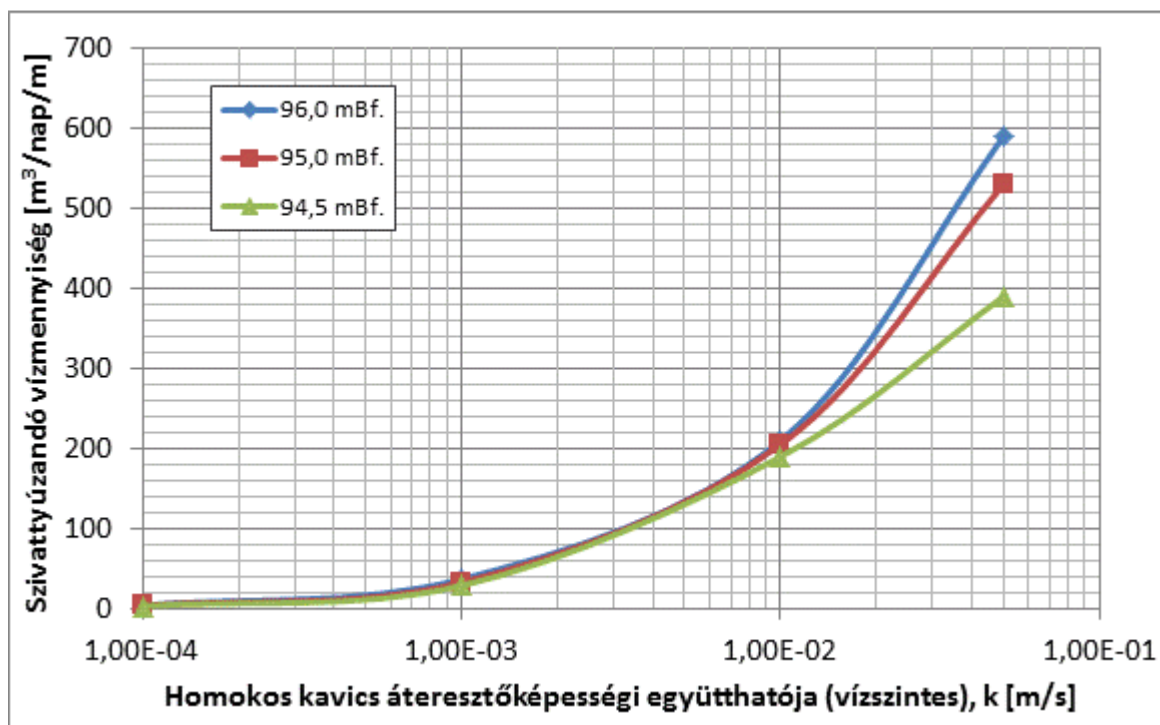
M2.17. ábra: Vízzáró fal talp: 94,5 mBf. – Teljes véges elemes modell

M2.18. ábra: Vízzáró fal talp: 94,5 mBf. – Véges elemes modell a vízz. fal környezetében

A három vízzáró fal-mélység és négy különböző átteresztőképességi együttható esetén számított szivattyúzendó vízmennyiségek a 7 táblázatban találhatóak. Az eredmények grafikus bemutatása a 8. ábrán látható.

7. Táblázat

Vízáró fal talpmélység	Szivattyúzandó vízmennyiség [$\text{m}^3/\text{nap}/\text{m}$]			
	$k_{\text{vízsz}}=5 \times 10^{-2}$ m/s	$k_{\text{vízsz}}=10^{-2}$ m/s	$k_{\text{vízsz}}=10^{-3}$ m/s	$k_{\text{vízsz}}=10^{-4}$ m/s
96,0 mBf.	590	210	37	4,6
95,0 mBf.	540	205	33	4,2
94,5 mBf.	380	190	29	3,6



8. ábra. 1+160 szelvény. Szivattyúzandó vízmennyiségek különböző vízáró fal mélység és átteresztőképességi együtthatók esetén.

A tetőzés végén kialakuló vízszinteket és víznyomásokat az M2.19.-M2.30 ábrák szemléltetik:

- M2.19. ábra: Vízáró fal talp: 96 mBf., $k_{\text{vízsz}}=5 \times 10^{-2}$ m/s
- M2.20. ábra: Vízáró fal talp: 96 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-2}$ m/s
- M2.21. ábra: Vízáró fal talp: 96 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-3}$ m/s
- M2.22. ábra: Vízáró fal talp: 96 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-4}$ m/s
- M2.23. ábra: Vízáró fal talp: 95 mBf., $k_{\text{vízsz}}=5 \times 10^{-2}$ m/s
- M2.24. ábra: Vízáró fal talp: 95 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-2}$ m/s
- M2.25. ábra: Vízáró fal talp: 95 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-3}$ m/s
- M2.26. ábra: Vízáró fal talp: 95 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-4}$ m/s
- M2.27. ábra: Vízáró fal talp: 94,5 mBf., $k_{\text{vízsz}}=5 \times 10^{-2}$ m/s
- M2.28. ábra: Vízáró fal talp: 94,5 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-2}$ m/s
- M2.29. ábra: Vízáró fal talp: 94,5 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-3}$ m/s
- M2.30. ábra: Vízáró fal talp: 94,5 mBf., $k_{\text{vízsz}}=10^{-4}$ m/s

Az említett vízzáró fal mélységek közül a két mélyebb (94,5 mBf. és 95 mBf.) feltételezésével megvizsgáltuk, hogy hatásukra milyen mértékben emelkedik a vízszint a Duna felé történő szivárgás esetén (kis Duna vízállásnál). A hegy felől érkező vizek mozgásának hidraulikus gradiensét az 1. szakasznál bemutatottak szerint itt is $i=0,01$ értékkel vettük figyelembe.

A számítások eredményeként kapott nyomásmagasságokat és vízszinteket az M1 mellékletben található M2.31. – M2.33. ábrák szemléltetik:

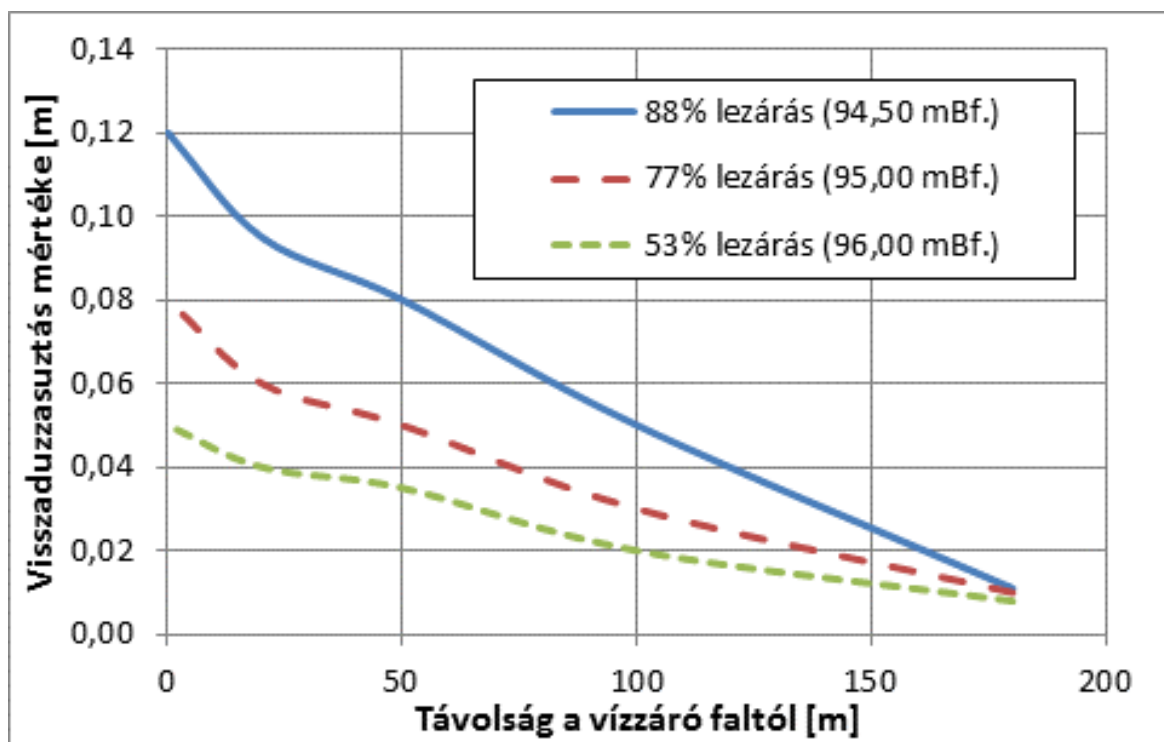
M2.31. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – eredeti állapot

M2.32. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – vízzáró fal talpszint: 96,0 mBf. (81,1% lezárás)

M2.33. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – vízzáró fal talpszint: 95,0 mBf. (81,1% lezárás)

M2.34. ábra: Visszaduzzasztás vizsgálata – vízzáró fal talpszint: 94,5 mBf. (90,6% lezárás)

Az eredmények alapján meghatároztuk, hogy a vízzáró faltól a mentett oldal felé távolodva, milyen mértékben emelkedik a vízszint a különböző vízzáró falak esetén. Az eredményeket a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra. 1+500 szelvény. Visszaduzzasztás mértéke a vízzáró faltól való távolság függvényben

4.3. 3. tervezési szakasz (2+125-)

A 3. tervezési szakasz a Rozgonyi Piroska utcától az Aranyhegyi patakig terjed, a tervezési szakasz a nyomvonal környezete az előző szakaszhoz hasonló, sőt ezen a részen még inkább beépített a partszakasz. A területet itt több helyen feltöltötték; ezeken a részeken a terepszint a mértékadó árvízszintnél magasabbra került, így csak szakaszosan kell

az árvízvédekezésről gondoskodni. Csak egy kb. 200 m-es szakaszon készül mobil árvízvédelmi fal a Kadosa utca és a Rozgonyi Piroska utca között.

Szivárgási szempontból problémát jelent azonban, hogy a Kadosa utcánál a mobil árvízvédelmi fallal együtt a vízzáró fal is véget ér, így a szivárgási viszonyok megváltoznak. Ezen a részen nem hanyagolható el a folyásiránnyal párhuzamosan kialakuló mentett oldali szivárgás, így itt a szivárgási viszonyokat háromdimenziós számítással vizsgáltuk.

A háromdimenziós számítás véges elemes modelljét az M3.1. ábra szemlélteti. Ezen piros vonallal emeltük ki a vízzáró fal, kék vonallal pedig a szivárgó nyomvonalát.

Az első számításhoz 95,3 mBf. vízzáró fal talpmélységet vettünk fel és megvizsgáltuk az árhullám hatására kialakuló vízszinteket arra az esetre, mikor szivárgó nem készül. Ennek eredménye az M3.2. ábrán látható. Az előző számítási eredményekkel összhangban a háromdimenziós vizsgálat eredményei is azt mutatják, hogy a vízzáró fal önmagában nem elegendő annak megakadályozásra, hogy a mentett oldali vízszint a terepszintig emelkedjen, még a durvaszemcsés, vízvezető réteg szinte teljes lezárása esetén sem. Azaz szivárgó nélküli esetben a feltételezett árhullám hatására a mentett oldal gátközeli részén a terepszintet a víz elönteni. Az előzőekben bemutatott számításokhoz hasonlóan megvizsgáltuk, hogy hogyan alakulnak a szivárgási viszonyok különböző vízzáró fal mélységek és mentett oldali mélyszivárgó alkalmazása esetén. A sekélyebb 95,30 mBf. talpszintű vízzáró fal esetén kialakuló nyomásviszonyokat az M3.3. ábra szemlélteti, a vízzáró fal végétől (Kadosa utcától) délre és északra felvett metszetekben kialakuló vízszintek pedig az M3.4. és M3.5. ábrákon láthatóak. Utóbbiakon a fehér vonal jelzi a vízszintet.

A számításokat mélyebb 98,3 mBf. talpszinttel kialakított vízzáró fal esetére is elvégeztük, az így kapott eredményeket az M3.6. ábra szemlélteti. A két kialakítás hatására kialakuló szivárgási viszonyok közt csak minimális eltérés tapasztalható, ennek fő oka, hogy elsődlegesen a mélyszivárgó működése (az ebben lévő vízszint) határozza meg a kialakuló talajvízszinteket, és a vízzáró fal kialakítása csak is hatást gyakorol a távolabbi vízszintekre. Ugyanakkor a gát alatti közvetlen szivárgás megakadályozása miatt a vízzáró fal szerepe jelentős.

5. ÖSSZEFOGLALÁS, ÉRTÉKELÉS

Az 1. szakaszon a nyomvonal a jelenlegi meder szélénél halad, így a terület feltöltése szükséges. Az eredetileg is tervezett vízzáró fal és mélyszivárgó alkalmazásával teljesíthetők mind az árvíz esetére mind a visszaduzzasztás esetére vonatkozó kritériumok.

A 2. szakaszon a talajrétegződés – különösképpen a fedőrétegek összetétele és elhelyezkedése – változatos. Ezen a szakaszon három különböző szelvényt vizsgáltunk. A számítások azt mutatták, hogy a talajvizsgálatok során meghatározott áteresztőképességi együtthatók tartománya éppen azon határvonal környékén van, amelynél kisebb áteresztőképesség esetén sekély szivárgó lenne alkalmazható, nagyobb áteresztőképességi együttható pedig mélyszivárgót tenne szükségessé. Ennek eredményeként a vizsgált szelvényekben is hol ilyen hol olyan eredményt kaptunk a meghatározott áteresztőképességi együtthatókkal végzett számításaink során. A számítások rámutattak továbbá, hogy a vízzáró fal jelentősége a közvetlenül a mobil gát alatti szivárgásgátlásban van, a mentett oldalon kialakuló vízszinteket elsősorban a szivárgók kialakítása illetve üzemeltetése határozza meg.

A 3. szakaszon a terület nagy része feltöltött, itt a Kadosa utcától délre csak kisebb helyi beavatkozásokat terveznek. Háromdimenziós szivárgásvizsgálatot végeztünk annak megállapítására, hogy a mobil árvízvédelmi gát és a vízzáró fal végénél hogyan alakulnak a szivárgási viszonyok. A háromdimenziós számítás eredményei is azt mutatták, hogy elsősorban a szivárgó kialakítása határozza meg a kialakuló vízszinteket. A mobilgát végénél kialakított mélyszivárgó a kavicsban kialakuló víznyomás csökkentésével nagy területen képes a hatását kifejteni, azonban ennek üzemeltetési költsége is jelentősebb, mint a sekély szivárgóké.

A tervezés során figyelembe kell venni, hogy az elvégzett szivárgási vizsgálatok eredményeit a bemenő paraméterek jelentős mértékben befolyásolják. Különösen igaz ez a szivattyúzandó vízmennyiségre. A talajfeltárás során meghatározott áteresztőképességi együttható értékek minden rétegnél több nagyságrendnyi tartományban változtak. Egy nagyságrendnyi eltérés a bemenő a paraméterben ugyanilyen mértékű eltérést okoz a számított vízmennyiségekben is. Az áteresztőképességi együttható bizonytalansága befolyásolja a számított vízszinteket is azonban ebben az esetben a hatása kevésbé jelentős.

Javasoljuk az áteresztőképességi együttható értékének pontosítását próbaszivattyúzással. Ez esetben a vizsgálattal nem csak egy laboratóriumi minta áteresztőképességét határozzuk meg, hanem egy jóval nagyobb talajtömeg átlagos áteresztőképességét. A teljes szakaszon 4-5 próbaszivattyúzás végzése javasolt. Ezek eredményei alapján a szivattyúzandó vízmennyiségre pontosabb becslés adható.

Az elvégzett visszaduzzasztás vizsgálatok azt mutatták, hogy a vízzáró fal abban az esetben is csak néhány dm-es visszaduzzasztást okoz, ha a homokos kavics réteget majdnem teljes egészében lezárják, és csak 1 m vastagságú részt hagynak szabadon. Ez az érték számottevően kisebb, mint a talajvízszint természetes ingadozása a vizsgált területen. Nagyobb mértékű visszaduzzasztásra csak 90%-nál nagyobb lezárás esetén lehet számítani.

A számításoknál figyelembe vett és megadott szivárgó mélység alatt a dréncső tengelye értendő, a szerkezeti méretek (pl. iszapzsák, betonfolyóka) a véglegesen kialakítandó mélységet befolyásolják.

A kivitelezési tervdokumentációhoz szükséges a talajrétegződés és a tervezéshez szükséges talajfizikai jellemzők pontosítása. Ehhez a tervezett nyomvonalon 200 méterenként kell legyen olyan feltárás, ahol a rétegsor mellett a talaj összetétele, áteresztőképessége, szilárdsági és alakváltozási jellemzői is ismertek. Ezeket a paraméterek laboratóriumi vagy helyszíni vizsgálatokkal kell meghatározni.

Szükséges továbbá, hogy a talajrétegződés keresztirányban is ismert legyen, így a nyomvonalnál mélyített feltárásokon kívül keresztirányú metszetek felvételét lehetővé tevő feltárások is szükségesek.

A tervezés során felmerülő esetleges egyéb szakkérdések megválaszolására készséggel állunk a t. Megbízó rendelkezésére.

Budapest, 2012. december

Dr. Mahler András
adjunktus
okleveles építőmérnök
geotechnikai tervező
MMK: 01-9980