



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Geotechnika szekció

Tudományos Diákköri Konferencia

2014

Háromdimenziós szivárgásmodellezés mobil árvízvédelmi fal környezetében

Szerző: Turai Péter

Konzulensek: Dr. Nagy László

Dr. Mahler András



Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Építési projekt bemutatása	3
2.1 Dagály úszókomplexum	3
2.2 Építési helyszín	4
2.3 Tervezett épület	6
3. Földtani adottságok	7
3.1 Talajfeltárások	8
3.2 Talajadottságok, rétegződés	9
3.3 Hidrogeológia	10
4. Mobil árvízvédelem	11
4.1 Mobil árvízvédelmi fal	11
5. Végeselemes modellezés	13
5.1 Kiindulási adatok	14
5.2 A számítás alapelve	15
5.3 Feltevések, peremfeltételek	17
6. Szivárgásszámítás	17
6.1 Víz záró fal mélységének tervezése	17
6.2 3D modell eredmények	19
6.3 2D modell eredmények	23
7. Összefoglalás	29
Köszönetnyilvánítás	30
Irodalomjegyzék	31
Mellékletek	33
M1. Alaprajz	34
M2. Víz záró fal mélységek	35



1. Bevezetés

2013. júliusában a magyar küldöttség nagy reményekkel utazott Barcelonába, a vizes sportokat összefogó nemzetközi szervezet a FINA kongresszusára. Itt hirdették ki ugyanis, hogy ki rendezheti a 2021-es úszó-, vízilabda-, műugró, műúszó és nyíltvízi világbajnokságot. A résztvevőknek nem kellett csalódniuk, hazánk megkapta a rendezés jogát, amiben nagy szerepe volt, hogy a magyar pályázat a lebonyolításhoz egy új, minden igényt kielégítő úszókomplexum építését irányozta elő. A sikeres kandidálást követően a mérnökök kerültek előtérbe, ugyanis az ő feladatuk a létesítmény tervezése és kivitelezésnek levezenyélése.

A mérnöki problémák halmozottan jelentkeznek. Az új létesítmény a Dunától karnyújtásnyira épül, így elengedhetetlen az árvíz elleni védelme. A jelenlegi területet védő gátrendszer nem nyújtana kielégítő megoldást, így egy új árvízvédelmi rendszer kiépítése mellett döntöttek, ami a legmodernebb technológiát, mobil árvízvédelmi falat is felvonultat. Ennek rendeltetésszerű működéséhez a talajban egy vízzáró függőnyfal építése is elengedhetetlen.

A talajban mozgó víz az építőmérnöki gyakorlatban jelentős szerepet játszik. Fontos ismernünk, hogy a talajvíz természetes áramlását hogyan befolyásolja egy újonnan létesített műtárgy. Külön problémát jelent, ha a vízvezető réteg közvetlen kapcsolatban áll egy felszíni vízfolyással. Jelen esetben az új mobilgát a hozzátartozó vízzáró fallal két fontos problémát is felvet. A vízzáró falak esetén a szivárgó vízmennyiség, és ezáltal a mentett oldali vízszint jelentősebb csökkentése csak a vízvezető réteg lehető legnagyobb részének lezárásával oldható meg. Ez azonban kisvíz esetén (Duna felé történő áramlásakor) visszaduzzasztási problémákat okozhat a hátsó területek víztelenítésében. Amennyiben azonban túl nagy teret engedünk a talajvíz mozgásának, az árvízvédelmi rendszer használhatatlanná válik, magas vízállás esetén a mentett oldalon jelentős vízmennyiség jelenhet meg.

Mint sok egyéb esetben, a mérnöki gyakorlatban, itt is a megfelelő egyensúly megtalálása, azaz a legalkalmasabb műszaki megoldás megalkotása a feladat. Ebben a modern végeselemes geotechnikai szoftverek lehetnek segítségünkre. A számítástechnikában beálló gyors fejlődés hatására, a számítási kapacitás növekedésével, korábban kivitelezhetetlen bonyolultságúnak tűnő műszaki feladatok is megoldhatóvá váltak.

TDK dolgozatom keretében egy közel 3 négyzetkilométeres Duna parti terület modelljét készítettem el, ahol a vízzáró fal kiépítését követően kialakuló szivárgási viszonyokat korszerű vizsgálatokkal, háromdimenziós, végeselemes modellezéssel, MIDAS GTS programmal határoztam meg. A mértékadó árhullám vizsgálatát kétdimenziós, végeselemes modellezéssel, PLAXIS 2011 programmal vizsgáltam.

A következő fejezetekben részletesen bemutatom az építési projekt sajátosságait és ismertetem vizsgálati eredményeimet.



2. Építési projekt bemutatása

A 1750/2013. (X. 24.) kormányhatározat alapján a Nemzeti Sportközpontok építési a Magyarországon 2021-ben rendezendő Úszó-, Vízilabda-, Műugró, Műúszó és Nyíltvízi Világbajnokság megrendezéséhez szükséges létesítmény-fejlesztéseket. Ennek keretében a Budapest XIII., 25879 helyrajzi számú telken egy többfunkciós uszoda épül.

2.1 Dagály úszókomplexum

2013 júliusában döntött el, hogy Magyarország kapta a 2021-es Úszó-, Vízilabda-, Műugró, Műúszó és Nyíltvízi Világbajnokság rendezési jogát. A sikeres lebonyolítás érdekében a Duna partján olyan XXI. századi épület jöhet létre, amely maximálisan kielégíti az úszósport igényeit, és egyben a főváros meghatározó látványi elemévé válik. Budapesten az új uszodakomplexum mellett a Császár-Komjáti Sportuszoda és a Hajós Alfréd Nemzeti Sportuszoda is helyszín lesz, míg a hosszútávúszó-versenyeknek Balatonfüred ad otthont.

A nagyjából 25 ezer négyzetméteres létesítmény építése a tervek szerint 2015 elején kezdődik és 2016 második felére készülhet el. Az épület egy, a Duna irányába emelkedő aranyhullámú szimbólum, amely magában foglalja a versenymedencét és a fix lelátót, míg a 2021-es világbajnokságra egy ideiglenes nézőtérrel bővíti ki. (1. ábra)



1. ábra: A Dagály úszókomplexum látványterve (www.mnsk.hu)



Az állandó lelátó alsó részén 2 ezer, a felső szektorokban pedig 3 ezer néző foglalhat helyet. Ezzel szemben épül majd fel a 2021-es vb idejére a 13 ezer fő befogadására alkalmas ideiglenes lelátó. A létesítményben egy 10 pályás, 50 méteres versenymedence, egy 8 pályás, 50 méteres bemelegítő medence és egy 25×21 méteres ugrómedence kap helyet, emellett a multifunkcionális térben egy kézilabdapálya áll majd. Az új uszodakomplexum a szabadidős sportolókat és az úszni tanulókat is kiszolgálja majd. (WWW.MNSK.HU)

2.2 Építési helyszín

Az új uszoda épülete a XIII. kerület, Népfürdő u. 36. sz. alatti Dagály Termálfürdő, Strandfürdő és Uszoda telkének É-i részén található. A Dagály strandfürdő eredetileg „Szabadság strandfürdő” a főváros legnagyobb fürdője a pesti oldalon. 1948-ban építették Darvas Lajos tervei alapján majd a későbbiek során kibővült többek között az 1956-ban átadott 50 m-es uszodával. Vízbázisát akkoriban az 1944-ben fúrt kút biztosította, amellyel végre hasznosították a Duna medre alatt lelt, és a Duna vizébe elfolyó termálvizeket. 1970-től a Széchenyi Gyógyfürdő vizét vezették ide, mellyel a Dagály is a gyógyfürdők sorába lépett. (WWW.DAGALYFURDO.HU)



2. ábra: Műholdfelvétel a Dagály Strandfürdő területéről (GOOGLE)

A Dagály 8,9 hektáros területével, jelenlegi zöldfelületi fedettségével, Duna-menti elhelyezkedésével kiemelten fontos zöldfelület, mind a XIII. kerület, mind a főváros jelentős szerkezeti eleme. (2. ábra) Fővárosi jelentőségű védett természeti érték a Dagály strandfürdő kútja (Béke-kút).



A fürdővel határos a Rákos-patak fővárosi szakasza, melynek a szabályozása az 1900-as évek elején kezdődött meg. A Rákos-patak a Duna leghosszabb, bal parti mellékveze a magyarországi szakaszon, a maga 44 kilométeres hosszúságával. Forráshelye Szadától délre, Gödöllőtől északra található. 1925-ben fogtak hozzá a patak 3 kilométeres, pesti szakaszának a rendezéséhez és mintegy öt évig tartott. A munka során új medret ástak, amit betonlapokkal raktak ki. A legnagyobb technikai bravúrra akkor volt szükség, amikor a Rákos rendező pályaudvar alatt vezették át a patakot. A fővárosi szakasz teljes kiépítése 1941 nyarán indult meg. (OROSS A. 2003) (3. ábra)



3. ábra: A Rákos patak torkolata és mederkialakítása

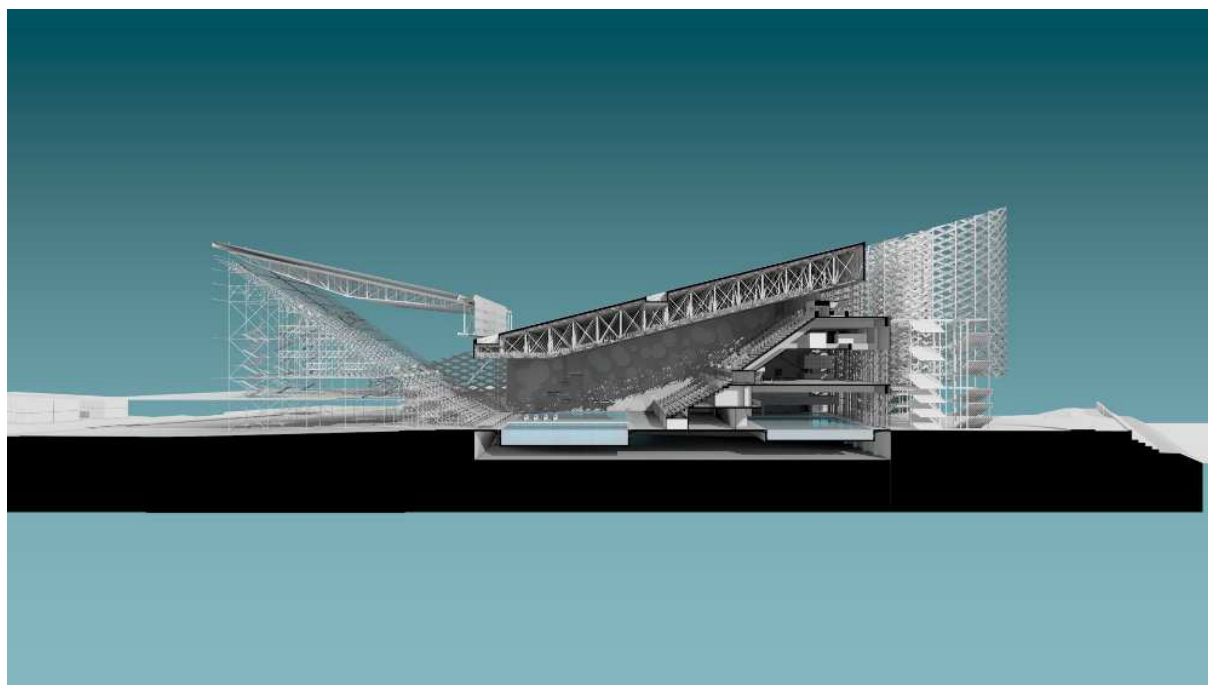
A fürdő területe mély fekvésű terület, szélnek kitett, nyári gát veszi körül, melynek magassága a strand terepszintje felett 1,30-2,00m. A terület északi része közel sík, jellemző terepszint 102,20-102,60 mBf. A középső terület délre 0,5%-ot emelkedik a rézsű határáig 103,50 mBf. magasságra, a Duna irányába a lejtés 0,6%. Az önálló déli terület észak-déli irányban közel sík, középvonala 105,00 mBf. A déli rész nyugati lejtése a Duna felé 1%. A belső strandterület rézsűkkel (nyári gáttal) csatlakozik a telekhatárhoz. A fürdőből a mély fekvés miatt a Duna felé nem nyílik kilátás, a kerítés menti útról, zöldsávról lehet csak a Dunát látni. A rézsűk 1:3, 1: 2, 1:1,5 hajlásszögűek. (CSUPORTNÉ TÁTRAI J. 2014)

TDK dolgozatom elkészítése közben személyes bejárással mértem fel az építési terület jelenlegi állapotát az irodalmi háttérkutatás mellett. Az új uszodakomplexum helyén, a strand északi részén sportpályák találhatók, aszfaltozottak, repedezett burkolatúak, sportra jelenleg használhatatlanok. Ezen kívül a területen található több melléképület, melyek állapota rossz, legtöbbjük használaton kívüli. Ebből kiindulva a tervezett beruházás a fürdő területének egyébként is felújításra szoruló részeit érinti.



2.3 Tervezett épület

A tervezett $\pm 0,00$ mR = 102,15 mBf. mélyföldszinti emelt padlóvonalú úszócsarnok — már a 2017-es ifjúsági úszó világbajnokságra megépülő — állandó lelátó része F+3 szintes, a Duna felőli homlokzat legmagasabb pontja +51,02 mR. A bejárat, földszinti padlóvonal +4,35 mR. = 106,50 mBf. lesz. A mélyföldszint általános padlószintje $-1,65$ mR, a legmélyebb gépészeti rész $-3,85$ mR. lesz. A medencék túlsó oldalára kerülő — csak a 2021-es vb-re elkészülő — lelátó közönségforgalmi szintje +10,25 mR-on lesz, a lelátó legmagasabb része +35,93 mR. lesz. Alá egyszintes, $\pm 0,0$ mR. padlószintű földalatti garázs kerül. (4. ábra) (TAUPE KFT. 2014)



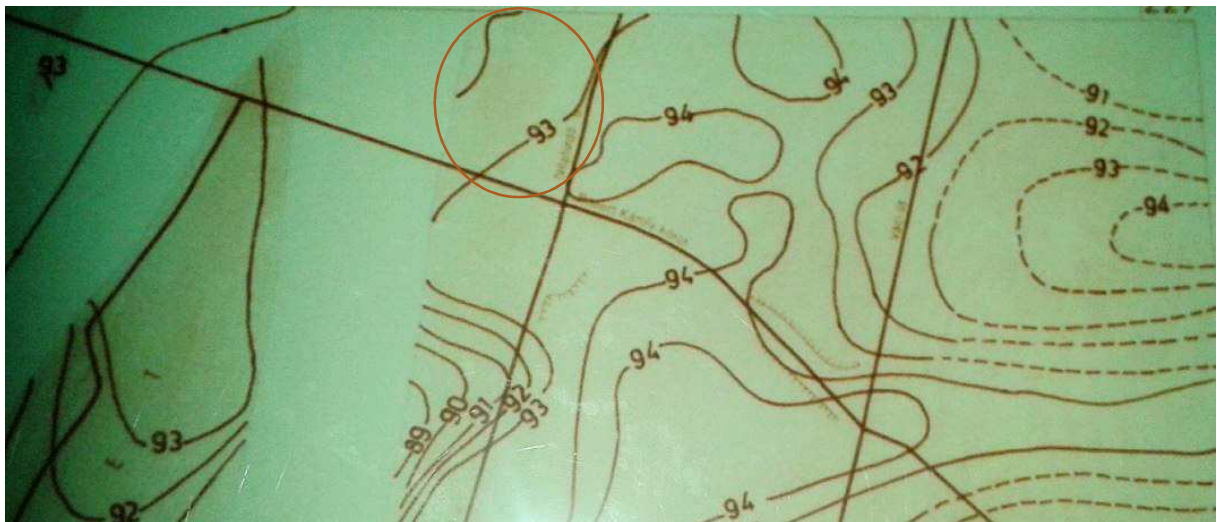
4. ábra: Dagály úszókomplexum metszete (www.mnsk.hu)

Mivel a Duna parti gát nem védi teljes értékűen a területet, ezért a strandfürdő teljes területén az árvízvédelmi rendszer teljesen megújul. A régi töltéseket felülvizsgálják és magasítják, valamint átépítik olyan módon, hogy mobil árvízvédelmi fal fogadására is alkalmas legyen. A gáttestet függőnyfallal teszik vízzárává, amire egy vb támfal kerül. Ez egyrészt a gát magasítását is megkönnyíti, valamint határozott felületkialakítást jelent és egy mobilgát fogadására is alkalmas lesz. A tervezés még nem fejeződött be, a függőnyfal kialakításának technológiáját még nem véglegesítették.



3. Földtani adottságok

A vizsgált telek földtani adottságainak kialakulásában fontos hatása volt annak a hegyképződési időszaknak, amikor a budai márgával együtt kiemelkedtek ekkor a Budai-hegység szétdarabolódott részletei. A kiemelkedett rögök között mélyedések, vetődési árkok alakultak ki, amelyeket ezután később az előretörő oligocén tenger üledékei foglaltak el: előbb a tardi agyag, majd a normál sósvízi, világos szürke kiscelli agyag és a csökkent sósvízi hárshegyi homokkő. A pesti oldalt borító miocén kori trópusi tengerből emelkedett ki a Budai hegység, a pesti oldalon pedig ekkor keletkeztek különböző miocén üledékek. A pannon-tengeri üledékeket a pleisztocén elején a „Visegrádi kapu” áttörését követően, a Duna által szállított nagy mennyiségű görgeteges kavicssal nagyrészt letarolta, csak foltokban maradt meg, Pest Déli részén. A folyóvölgy süllyedésének eredményeként, a Duna fokozatos visszahúzódása következtében, teraszszerűen hagyta maga után az emiatt terasz kavicsnak nevezett jó vízvezetésű üledéket, amely Pest talajvizeinek pótlódása terén ma is fontos. A különböző magassági szinteken elhelyezkedő pleisztocén terasz fekvő szinteket, változó vastagságú kavicsréteg borítja, amelyet finom homokos összlet takar. A holocén ártérben a Duna egykori medrének nyomait az odatelepült vastag kavicságy őrzi. A homokos és finomszemcsés talajokkal körülvett vastag vízvezető kavicsbordákban földalatti vízfolyások alakulhatnak ki. (5. ábra és 6. ábra)



5. ábra: Agyagfekü izometrikus vonalai (mBf.) (BUDAPEST ÉPÍTÉSFÖLDTANI TÉRKÉPSOROZATA)



6. ábra: Kavicsvastagság izometrikus vonalai (m) (BUDAPEST ÉPÍTÉSFÖLDTANI TÉRKÉPSOROZATA)

A Duna visszamaradt holtágaiban, az egyre elsőkélyesedő vízfolyások mentén mocsaras területek is képződtek. Ennek eredményeként a térségben a több méter vastag kavicsos réteg fölé agyagos, iszapos, homoklisztes rétegek települtek 2-8 méter vastagságban. Az 1838-as nagy pesti árvíz után a városrendezés mesterséges feltöltéssel, megfelelő szintre emelte az egyenetlen felszínű pesti síkságot. Ennek következménye, hogy a legkülönbözőbb vastagságú és anyagú feltöltés található ezen a területen is. (TAUPE KFT. 2014)

A Dagály fürdő telkének túlsó oldala mellett épült több mint 60 méter magas Európa toronyházhoz készült szakvélemény — hat 15-18 m-es fúrás, hét 15-17 m-es DPT és hét 12-15 m-es CPT eredménye alapján — az építési telek altalajviszonyait úgy írja le, hogy a felszín alatti nagyon (5-8 m) vastag, vegyes feltöltés után fél-két és fél méternyi kötött talaj: helyenként szerves iszap, agyag következett. Majd a felszín alatti körülbelül 7–9 méter mélységtől homokos kavics, végül az oligocén szürke agyagot 11,4–13,4 m mélyen, azaz 92,9–94,4 mBf-en érték el. (BOHN MÉLYÉPÍTŐ KFT. 2002)

3.1 Talajfeltárások

A Nemzeti Sportközpontok megrendelésére a T.A.U.P.E. Kft. készített geotechnikai és hidrogeológiai szakvéleményt. Ennek előzményeként a Dagály fürdő területén és közvetlen környezetében 2014 januárja és februárja között 4 nagytérőjű spirálfúrást, 4 nehéz verőszondázást, DPT-t és 4 statikus szondázást, CPT-t végeztek.



7. ábra: Nagytérőjű fúrás és statikus szondázás (TAUPE KFT. 2014)



A szakvélemény leírása alapján több szondázás is elakadt, amelyeket megismételtek. A nagytérű fúrásokból a zavart mintákon kívül zavartalan magmintákat is vettek.

3.2 Talajadottságok, rétegződés

A vizsgálatok alapján az építési területről készült szakvélemény szerint a vizsgált területen a talajrétegződés a következő:

- A felszint — annak magasságától is függően — 1,5–5,4 m vastag **szürkésbarna, laza, törmelékeny, kavicsos homokos, iszapos, inhomogén feltöltés** borítja, amiben helyenként épülettörmelék, salak is megtalálható
- A következő talaj az 1,7–4,7 m vastag, **szürke, kötött talaj összlet**, ami általában **szürke, puha iszap**, ami helyenként erősen finomhomokos, helyenként iszapos finomhomokként lehetett meghatározni. Ezen kívül a réteg alsó részén lencsékben gyűrhető, közepes agyag is előfordul.
- A geológiai irodalomban szereplő, 3,1–5,6 m vastag **Dunaterasz-kavicsot** a feltárások 97,0±1,1 mBf. mélységben érték el. Ez néhol apró kavicsszórványos homok, de a réteg zöme **szürke, tömör – nagyon tömör homokos kavics**.
- A terület kvázi-vízzáró fekvésének felszínét 92,8±1,1 mBf-en érték el. Ez **szürke, tömör, merev – kemény közepes agyag**ként kategorizálható, ami helyenként (finom) homokos, helyenként erősen cementált, de általában a mélységgel növekvő tömörségű összlet.

A tervezett épület a rendelkezésre álló adatok (épület paraméterei, helyszínbejárás, geológia, feltárások stb.) alapján a 3-as geotechnikai kategóriába sorolható, mivel:

- bár a terephajlás 25% alatti és nem csúszás- vagy omlásveszélyes a terület;
- és a talajkörnyezet a szokásos módszerekkel megismerhető, a talajparamétereket rutinszerű labor- vagy terepi vizsgálattal lehet meghatározni; de
- a talajkörnyezet nem speciális és kissé kedvezőtlen,
- a műtárgy időnként erősen áramló felszín alatti vízben épül,
- (várhatóan) a tartószerkezet különleges elemeket tartalmaz majd,
- mind az alapozás, de főleg az árvízvédelem speciális mélyépítési technológiát igényel.
- a műszaki felügyelet és megfigyelés szokványostól eltérő eljárásokat is kívánhat.

A szakvélemény továbbá kitért a földrengések veszélyességének kérdéseire is. Az MSZ EN 1998-1 (EUROCODE 8) szerint a műtárgy környezetének területe a szeizmikus zónatérkép alapján a 4. zónába tartozik. Ennek megfelelően az 50 év alatt 10% meghaladási valószínűséggel (475 évente egyszer) az alapkőzetben földrengésből származó horizontális gyorsulás $a_g = 0,14g$. (TAUPE Kft. 2014)



3.3 Hidrogeológia

Mivel TDK dolgozatomban az újonnan épülő Dagály úszókomplexum védelmére készülő mobil árvízvédelmi gát környezetében modelleztem a felszín alatti szivárgást, ezért a terület hidrogeológiai tulajdonságai kiemelt jelentőséggel bírtak munkám során. A vizsgált terület a Duna parton a Népfürdő utcai árvízvédelmi és a folyóparti nyári gát közötti mélyebb fekvésű területen, a Rákos-patak torkolata mellett található, így a leendő uszoda környezetének talajvízviszonyait első sorban a folyam, kisebb részben a patak határozza meg.

Dunának jelentős hatása van a környezet talajvízáramlására, mivel folyó vízszintjének változása 7–8 m. Az alacsonyabb vízállás a téli és késő őszi hónapokban gyakoribb, ilyenkor a talajvíz a Duna felé áramlik, közepes és annál magasabb vízállásnál pedig a Duna felől a Népfürdő utca felé.

Jellemzően a nyári hónapokban kialakuló közepes és magas vízállásoknál a talajvíz a Duna felől a Népfürdő utca felé áramlik, de természetesen általában a Dunától mért távolság növekedésével jelentősen csökken a folyó hatása. Mivel a strand területének zöme az utca szintnél is kb. 3 m-rel mélyebben van, így a vizsgált terület egésze a Duna hatásvonalán belül van. (TAUPE KFT. 2014)

A Duna vízállás jellemző szintjei a következők a 1646,5 fkm-ben lévő Vigadó tér mércén:

▪ Nullpont:		94,97 mBf.
▪ LKV:	51 cm	95,48 mBf.
▪ fok:	620 cm	101,17 mBf.
▪ fok:	700 cm	101,97 mBf.
▪ fok:	800 cm	102,97 mBf.
▪ LNV:	891 cm	103,88 mBf.
▪ MÁSZ:	867 cm	103,64 mBf.

A 2013. júniusi árvíz a Duna szinte teljes hazai szakaszán az elmúlt évszázad legmagasabb jégmentes vízállásai fölött tetőzött és ezzel rendkívüli kihívás elé állította a védekezést. Az utólagos hidrológiai elemzések azt mutatták, hogy ennek az árvíznek a valószínűsége évi 1%-nál is nagyobbra tehető. Ennek ellenére a tetőző vízszintek Budapest fölött több deciméterrel meghaladták az ennél ritkább, évi 1%-os valószínűséghez kötött úgynevezett mértékadó árvízszintet, a MÁSZ-t. A mértékadó árvízszint törvényben rögzíti azt a vízszintet, amely meghatározza az árvízvédelmi töltések, mobilgátak kiépítendő magasságát. Ennek kapcsán vizsgálta felül az Országos Vízügyi Igazgatósága a Duna magyarországi szakaszán a mértékadó árvízszintet. A vizsgálatok időszerűek voltak, hiszen a megállapított mértékadó árvízszintek a 2013. júniusi tetőző vízszinteknél átlagosan 20–40 cm-rel magasabbak, vagyis a jelenleg hatályos, 2010. évben törvénybe foglalt mértékadó árvízszinteket az új értékek Budapest fölött jelentős mértékben meghaladják. (KRÁMER T. 2014)



4. Mobil árvízvédelem

A fékevesztett folyók mederben tartására évszázadok óta a homokzsákokat használták. Majd a hatvanas évek közepe környékén megjelentek a homokzsákok kiváltását célzó szakfelszerelések, gumitömlők, hullámosított elemekből felállítható nyúlgátak stb. E szakfelszerelések nem terjedtek el, nem állították rendszerbe. Többször bemutatták kiállításokon, gyakorlatokon, de az időben még nem nevezték mobil gátnak, csak nyúlgátépítés ARCO elemekkel vagy mederelzárás tömlővel elnevezéssel illették azokat. Majd a rendszerváltozás után, mint különleges külföldi ötlet „mobil” gát névvel újra megjelent a védekezés palettáján. Ez időben minden, ami nem homokzsákból készült, megkülönböztetés nélkül „mobilgát” nevet kapott. Így a védelmi szakfelszerelés és a vízépítési műtárgy egyaránt. (TÓTH F. 2013)

4.1 Mobil árvízvédelmi fal

Mobil árvízvédelem lényege, hogy ideiglenes védművet állít olyan helyen, ahol árvízmentes időben nincs védmű. Három lényeges eltérő területet fed le:

- lokális árvízvédelemnek nevezik Magyarországon az épületek nyílásainak lezárását,
- mobil árvízvédelmi gát, melynek nincs alépítménye, ezért korlátozott alkalmazási magassága van,
- mobil árvízvédelmi fal, amely egy tervezett szerkezet, előre kialakított helyen az alépítményre (megfelelő szivárgásgátlásra és alaptestre) kerül installálásra. (8. ábra)

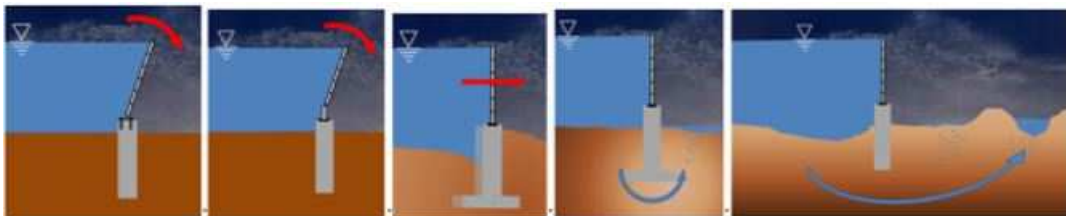
Ez utóbbi rendszerint acél vagy alumínium anyagú az alépítménnyel együttdolgozó szerkezet, amely ellenőrzött anyagból készül, hidraulikai és állékonysági szempontból a teherbírása méretezett. Alkalmazása tehát hangsúlyozottan egy több szempontú mérnöki tervezés eredménye.

A szerkezet visszahat a biztonság megfogalmazására. Egy földgát árvíz esetén magasítható, egy helyileg megadható szintig a teherbírása növelhető, ugyanakkor a földművek öregeedésének az eredménye az a sok árvízi jelenség, mely közül nem egy elvezethet a gát átszakadásáig. Ezzel szemben a mobil árvízvédelmi fal - anyaga folytán is - kisebb bizonytalanságokkal rendelkezik, a beépített anyagának a tulajdonságai egyenletesebbek (variációs tényezője nagyságrenddel jobb), ezért minősége megbízhatóbb is. Ellenben a maximális tervezett magasságra felállított árvízvédelmi fal gyakorlatilag tovább már nem magasítható. Ezért a megfelelő magassági biztonságot ezen szerkezethez be kell tervezni. A mobil árvízvédelmi falak bizonyítottan jó szerkezetek, ilyen falnál kialakult gátszakadásról még nincs információnk. Azonban kétségtelenül kevés információval rendelkezünk a jéggel, jégnyomással, uszadék fával szembeni ellenálló képességről. (NAGY L., FARKAS J. 2013)



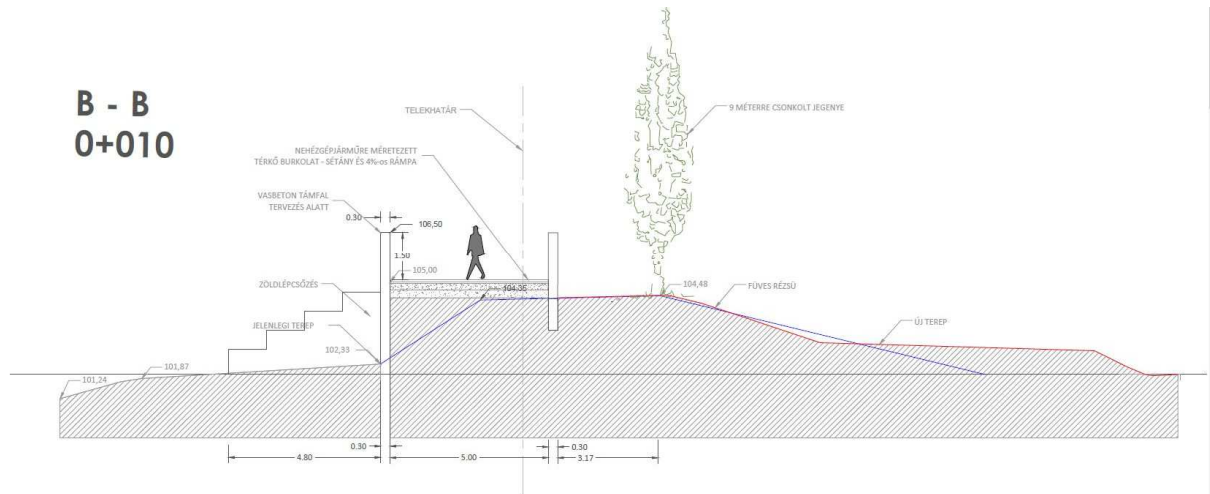
8. ábra: A Szentendrét a Duna áradásától védő mobil árvízvédelmi fal Szentendrén 2013. június 3-án (FOTÓ: MTI/KOVÁCS ATTILA)

Legveszélyesebb meghibásodás a szerkezeti hiba. A vízbukásnál is gyorsabban bekövetkező elárasztás, rendkívül veszélyes lehet, mert a védett terület figyelmeztetés nélkül, sokkal nagyobb vízáramlással árasztja el. Szerkezeti hiba bekövetkezhet az alépítmény, és a leszerelhető rész hibájából továbbá a kettő kapcsolatának a hibájából is. (TÓTH F. 2013)



9. ábra: Árvízvédelmi falak lehetséges meghibásodásai (TÓTH F. 2013)

A terepszint feletti gátat jelentő mobil árvízvédelmi fal és az alapozása alatt kialakuló áramlási viszonyok miatt szükséges egy vízzáró, szivárgás gátló fal kialakítása, amelynek mélységét részletes számítások alapján lehet meghatározni. (10. ábra) Várhatóan szükség lesz a mentett oldalon egy szivárgó kialakítására is, amely a vízzáró fal alatt átszivárgó vizeket szükség esetén összegyűjti és elvezeti. Ennek mélysége és a szivattyúzandó vízmennyiség az árvíz- és talajviszonyoktól, valamint a mentett oldali vízszint kritériumoktól függ.



10. ábra: A Dagály úszókomplexum védelme érdekében épülő árvízvédelmi rendszer keresztmetszelvény

TDK dolgozatomban keretében a mobil árvízvédelmi gát alatt készítettendő vízzáró fal kiépítését követően kialakuló szivárgási viszonyokat korszerű vizsgálatokkal, háromdimenziós, vége-selemes modellezéssel, MIDAS GTS programmal határoztam meg. A mértékadó árhullám vizsgálatát kétdimenziós, vége-selemes modellezéssel, PLAXIS 2011 programmal vizsgáltam.

A számítógépes vizsgálataim célja, hogy megállapítsam, a szivárgási keresztmetszet milyen mértékű lezárása jelent megoldást mind az árvíz esetén a mentett oldalon megjelenő vízmennyiség csökkentésére, mind a fal megépítésének hatására a mögöttes térség talajvízszint visszaduzzasztásának elkerülésére.

5. Vége-selemes modellezés

A módszer alapgondolata a lokális közelítés elve, ami azt jelenti, hogy a szivárgási sebességet, a nyomásszintet előre felvett paramétereket tartalmazó függvényekkel közelítjük. A szivárgáshidraulikai egyenlet vége-selem módszerrel történő megoldása során a modellezett teret felosztjuk meghatározott számú csomópont és az azokat összekötő vonalak által határolt elemekre. Így az elemkiosztást a rendelkezésre álló információkhoz rugalmasan hozzá lehet igazítani (KOVÁCS B. 2004).

Az elemek alakja tetszőleges, de matematikailag leírható. Egy rendszeren belül eltérő dimenziószámú elemek lehetnek. A lokális (elemi) közelítő függvényeket a szomszédos elemek határai mentén illesztjük. Ebben az esetben nem az elemek, hanem a csomópontok vízmérlegét írjuk fel és a csomóponti nyomás szinteket számítjuk. (KESZEYNÉ SAY E. 2011)



5.1 Kiindulási adatok

A TDK dolgozatomhoz készített modellek geometriájának elkészítéséhez a Dagály strandfürdő területéről készült, jelenlegi állapotot rögzített, és tervezett állapotot megjelenítő alaprajzok álltak rendelkezésemre. (1. melléklet) Ezen kívül a tervezett gátkialakítás mintakeresztmetszelvényeit használtam fel. A talajrétegződés modellezéséhez a – már a 3.1 fejezetben bemutatott – helyszínen készített talajfeltárások adatait, fúrési és szondázási jegyzőkönyveket, valamint rétegszelvényeket tanulmányoztam.

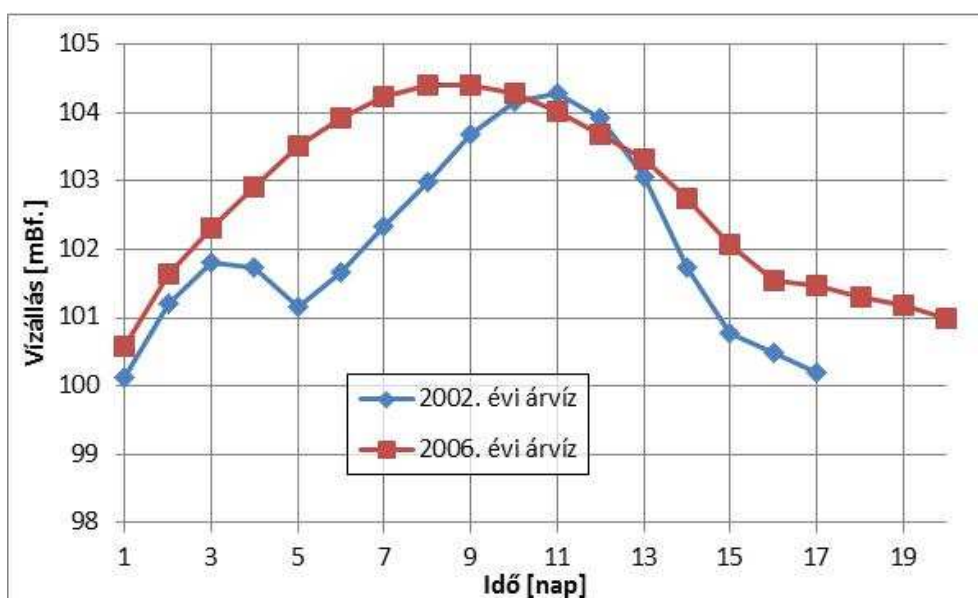
Ezenkívül egy fúrési és két darab szondázási jegyzőkönyv is rendelkezésemre állt, amelyek a TERRAEXPERT Kft. részére, a 2012-es, a Dagály fürdő 25 m-es medence süllyedésvizsgálatakor készültek.

A rétegződést részletesebben a 3.2. fejezetben mutattam be, a talajvizsgálati jelentés szerinti, a vízáramlást meghatározó jellemző, az áteresztőképességi együttható értékei a következők:

- feltöltés $\sim 10^{-7}$ - 10^{-6} m/s
- iszap $\sim 10^{-6}$ - 10^{-8} m/s
- homokos kavics öszszlet $\sim 5 \times 10^{-5}$ - 10^{-3} m/s
- agyagfekü $\sim 10^{-10}$ - 10^{-9} m/s

A talajvizsgálati jelentés szerint e rétegek változatos összetételűek, ebből adódóan áteresztőképességi együtthatójuk is tág határok között (több nagyságrendnyi tartományban) változik.

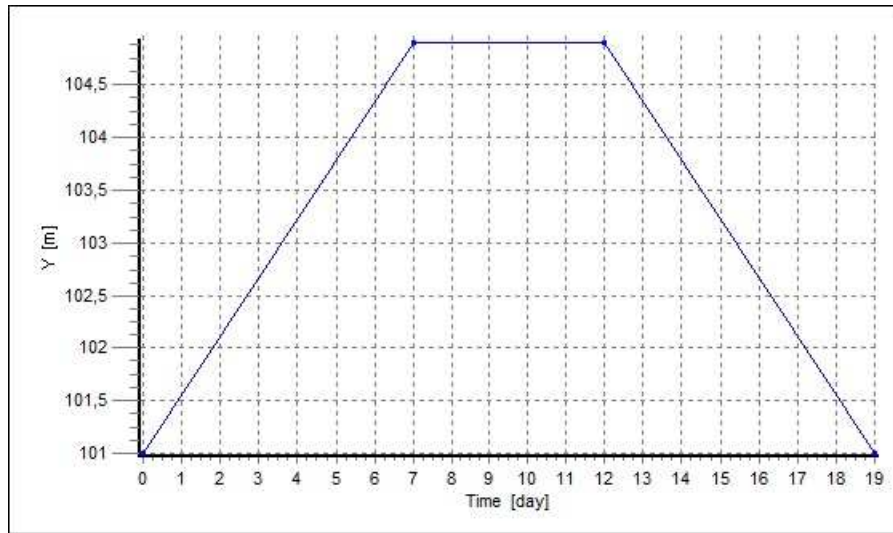
A területről nincsenek pontos vízmérce adatok az elmúlt évek dunai árhullámainak levonulásáról. Éppen ezért a kétdimenziós vizsgálathoz alkalmazott mértékadó árhullám megalkotásához a Vigadó téri vízmérce adatait vettem figyelembe. (11. ábra)



11. ábra: Vízállások a 2002-es és 2006-os árvíz idején (MAHLER A. 2012)



Mivel a 3.3 fejezetben már említett, a 2013-as tapasztalatok alapján a MÁSZ-t meghaladó árhullámra lehet számítani, ezért az általam alkalmazott maximális árvízszint 104,9 mBf. Ezt, tehát 3,9 méter vízszintemelkedést az árhullám 7 nap alatt éri el a 101,0 mBf. alap állapotból indulva, majd 5 napos, 104,9 mBf magasságú tetőzést követően szintén 7 nap alatt vonul le az ár, így a 19. napon újból 101,0 mBf lesz a vízszint. (12. ábra)



12. ábra: A 2D-s szivárgásmodellezésnél alkalmazott árhullám

5.2 A számítás alapelve

A porózus közegben gravitációsan szivárgó víz kutatása több mint 300 évre nyúlik vissza. Eleinte a kutatók a sebesség okozta ellenállás általános esetével foglalkoztak. Az első ilyen vizsgálatot 1687-ben NEWTON végezte, aki az ellenállási erő (E) képletét így állította föl:

$$E = bv^2 + C$$

ahol v a vízmozgás sebessége, b és C állandók.

Majd további fontos elméleti összefüggések születtek (Bernoulli, Coulomb, Navier, Hagen, Poiseuille, Stokes,). 1856-ban DARCY elsőként kísérleti úton igazolta a szivárgás törvényszerűségeit és az eredmények alapján írta le a szivárgás alap összefüggését. (KESZEYNÉ SAY E. 2011) Ezt a törvényt, valamint a potenciálaramlás alapegyenletét használják a végesselemes programok a számításokhoz. A folyadékmozgás sebességét a Darcy törvény határozza meg, mely többdimenziós esetben a következő formában írható fel:

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

ahol:

- $\{v\}$ a szivárgási sebességkomponensek vektora;
- $[k]$ az áteresztőképességi együtthatókat tartalmazó mátrix;
- 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:

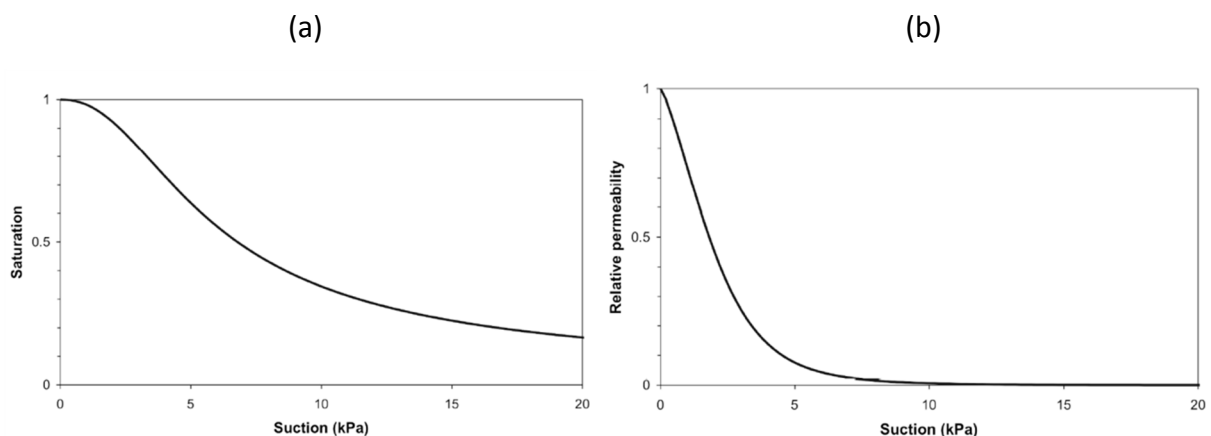
v_x , v_y és v_z a szivárgás sebességének x, y és z irányú komponensei;

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. Számításaim során a telítetlen talaj viselkedésének meghatározásához a Van Genuchten modellt használtam, mellyel a talaj víztartási görbéje illetve a telítetlen talaj áteresztőképességének változása is leírható. A talajtípusonként változó paraméterkombinációkkal leírható görbéket az 13. 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. (MAHLER A. 2012)



13. ábra: Pórusvíz szívás [kPa]



5.3 Feltevések, 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 – elhanyagoltam.

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. (MAHLER A. 2012)

Számításaimhoz a lehetséges legkedvezőtlenebb állapotot tekintettem mértékadónak, azaz az evapotranszspiráció hatását szintén elhanyagoltam.

A gyakorlatban a 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 több száz méterre vesszük fel. Emiatt számításaimban a mentett oldali modellhatárt ~300 méter távolságban vettem fel, és „nyitott” peremfeltételt használtam, tehát itt a talajvíz szabadon távozhat. Ezzel szemben az árhullám modellezésénél a modellhatárt egészen az M3 metró vonaláig (Váci út) kiterjesztettem és a Plaxis programban itt zárt peremfeltételt alkalmaztam.

6. Szivárgásszámítás

Ebben a fejezetben mutatom be, a TDK munkám keretében elkészített 3D és 2D végeeselemes szivárgási modellek eredményeit és sajátosságait.

6.1 Víz záró fal mélységének tervezése

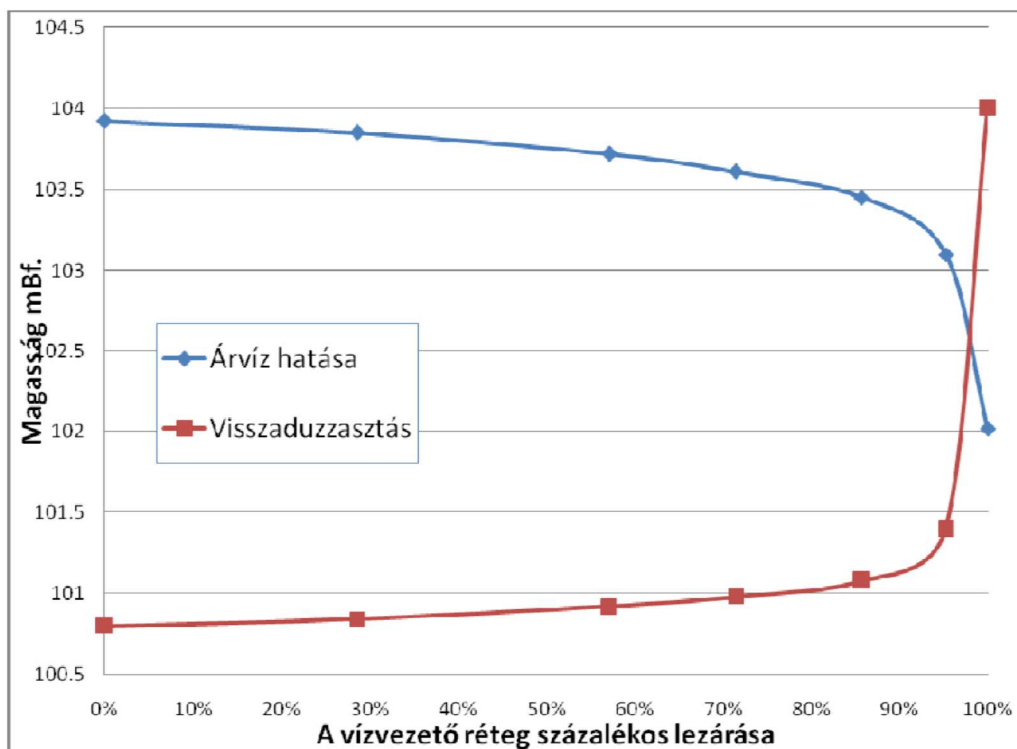
A víz záró falak esetén a szivárgó vízmennyiség, és ezáltal a mentett oldali vízszint jelentősebb csökkentése csak a vízvezető réteg lehető legnagyobb részének lezárásával oldható meg. Ez azonban kisvíz esetén (Duna felé történő áramlásakor) visszaduzzasztási problémákat okozhat a hátsó területek víztelenítésében.

Felmerül a kérdés, hogy a fedőréteg teljes illetve a vízvezető homokos kavicsréteg részleges – víz záró fallal történő – lezárása milyen hatással van az árvíz során, a mentett oldalon kialakuló vízszintekre? A vízvezető rétegbe nyúló résfal a szivárgás keresztmetszeti területét csökkenti, ezáltal csökken az átszivárgó vízmennyiség is. (NAGY L. ÉS MAHLER A. 2012)

A Szentendrén készült hasonló projekttel kapcsolatban készített tanulmány (NAGY L. ÉS MAHLER A. 2012) rámutatott, hogy a vízvezető réteg ~90%-ának lezárásával a mentett oldali vízszint

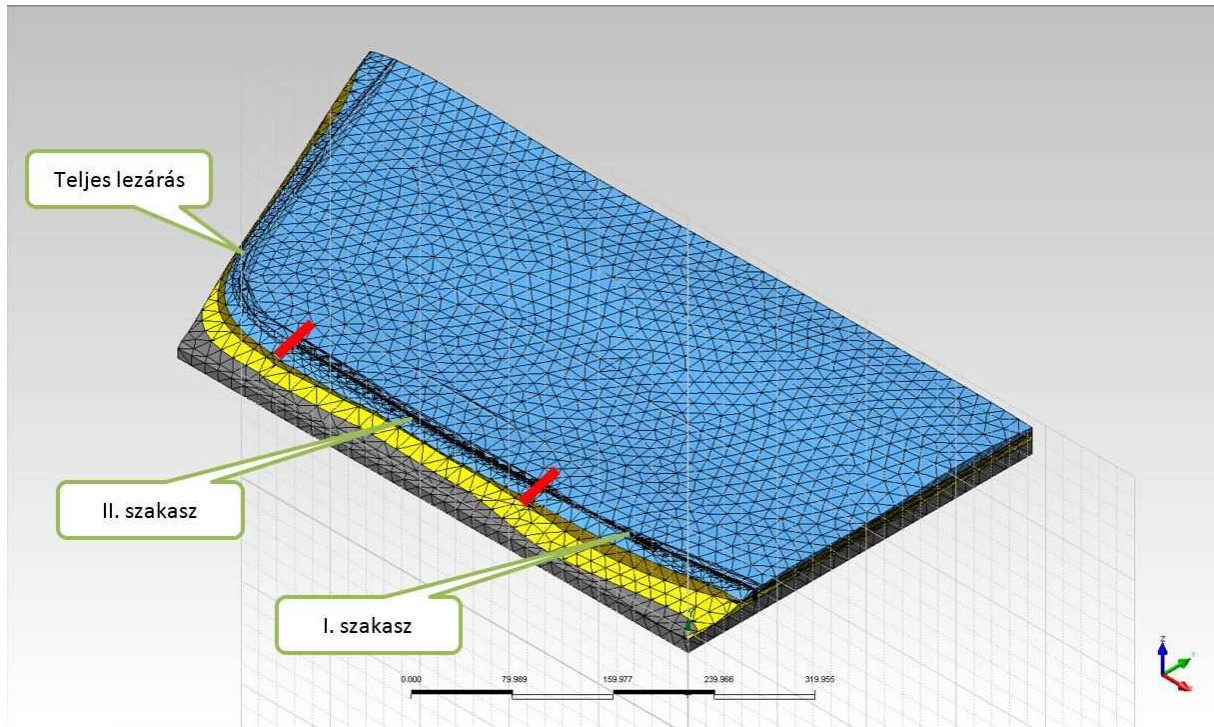


minimálisan változik, ugyanis a lecsökkent keresztmetszeten szivárgó víz megnövekedett sebessége miatt a vízmennyiség nem csökken jelentősen. A vízzáró fal hatása akkor érezhető igazán, ha a szivárgási keresztmetszet több, mint 90%-át lezárjuk, ez esetben azonban a visszaduzzasztást jelenthet problémát (14. 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 deciméteres különbség legyen. Ilyen esetben szakaszosan kialakított „ablakok” segítségével lehet a szükséges mértékű vízzárást biztosítani.



14. ábra: Mentett oldali talajvízmélység a vízvezető réteg különböző mértékű lezárása esetén (Nagy L. és Mahler A. 2012)

Ezek alapján a 4,3 méter átlagos vastagságú homokos kavicsréteg lezárásának háromféle variációját készítettem el, amelyeket külön modellezve összehasonlítottam az eredményeket. (2. melléklet) Az alapelgondolás szerint a 30-60-90 cm-es lépcsőket alkalmaztam, tehát az első modellvariációnál a homokos kavicsréteg alján 30 cm-es nyíláson engedjük a víz szabad áramlását, ez ~93%-os lezárást jelent. Ettől nagyobb lezárást az agyagfekü felületének egyenlőtlenségei miatt nehézkes alkalmazni. A második és harmadik modellvariációban a lezárás mértéke ~86% illetve ~79% nagyságú. Mivel az agyagréteg felszíne a vízzáró fal tervezett nyomvonala alatt méteres nagyságrendben változik, ezért a vízzáró fal kialakításában lépcsőzést alkalmaztam, így két külön szakaszt tervezve. (15. ábra)



15. ábra: A betervezett szakaszolás ábrája a 3D-s modellen szemlélítve

Mint a 15. ábrán is látható, az első szakasz az Árpád-híd felől ~215 m hosszon húzódik. A második szakasz ~280 m hosszon a tervezett úszókomplexum előtt húzódik. A szakaszok mBf-ben meghatározott mélységeit az 2. melléklet tartalmazza. A Rákos patak felőli oldalon, a résfalon teljes lezárást alkalmaztam, így a talajvíz áramlása a területen csak egyvonalú, a Duna irányába és ellentétesen.

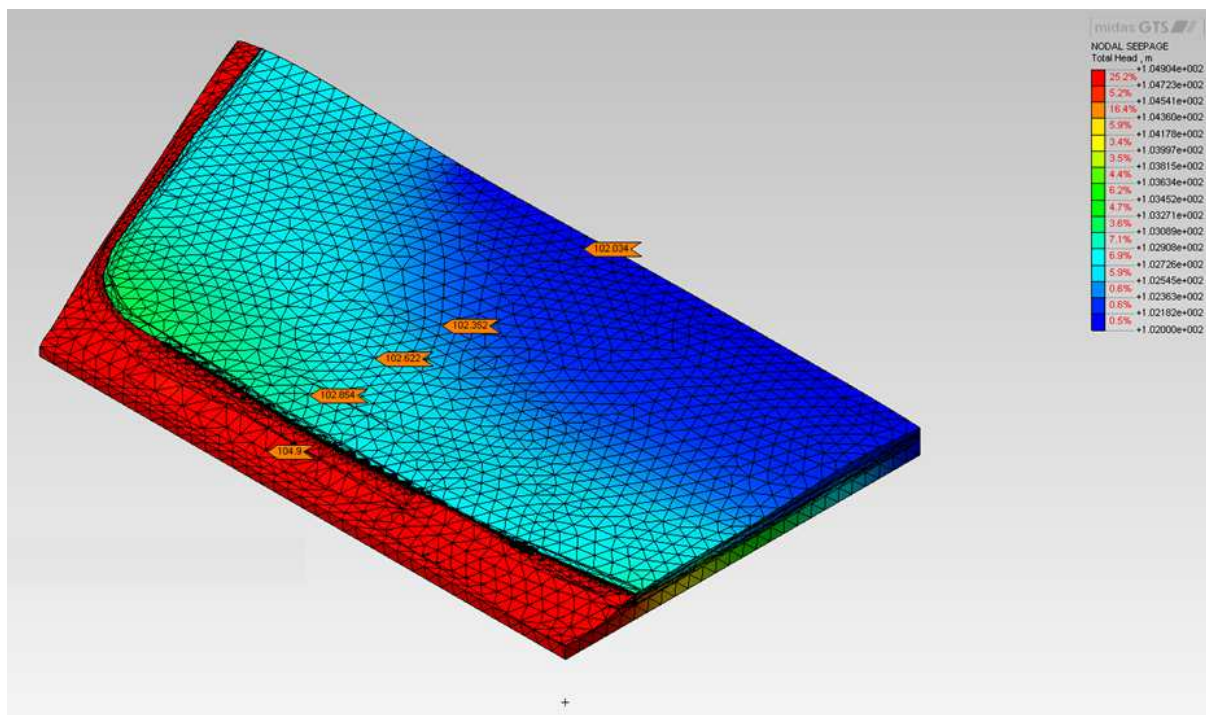
6.2 3D modell eredmények

TDK munkám keretében MIDAS GTS geotechnikai végesselembes modellező programmal készítettem el a Dagály strandfürdő területének szivárgásmodelljét, állandósult vízmozgás figyelembevételével. Amíg átlagosan évente 10-15 napig tartanak a nagyvizek a Dunán, a háttér szivárgás, ha eltérő intenzitással is, de 365 napon keresztül jelentkezik. Ezen felül a modellalkotás egyik fő célja az ilyen körülmények között átáramló, és a mentett oldalon – már a modellkészítés előtt helyesen feltételezett – felszínen megjelenő vízmennyiségek becslése, a különböző mértékű vízzáró fal mélységek esetén.

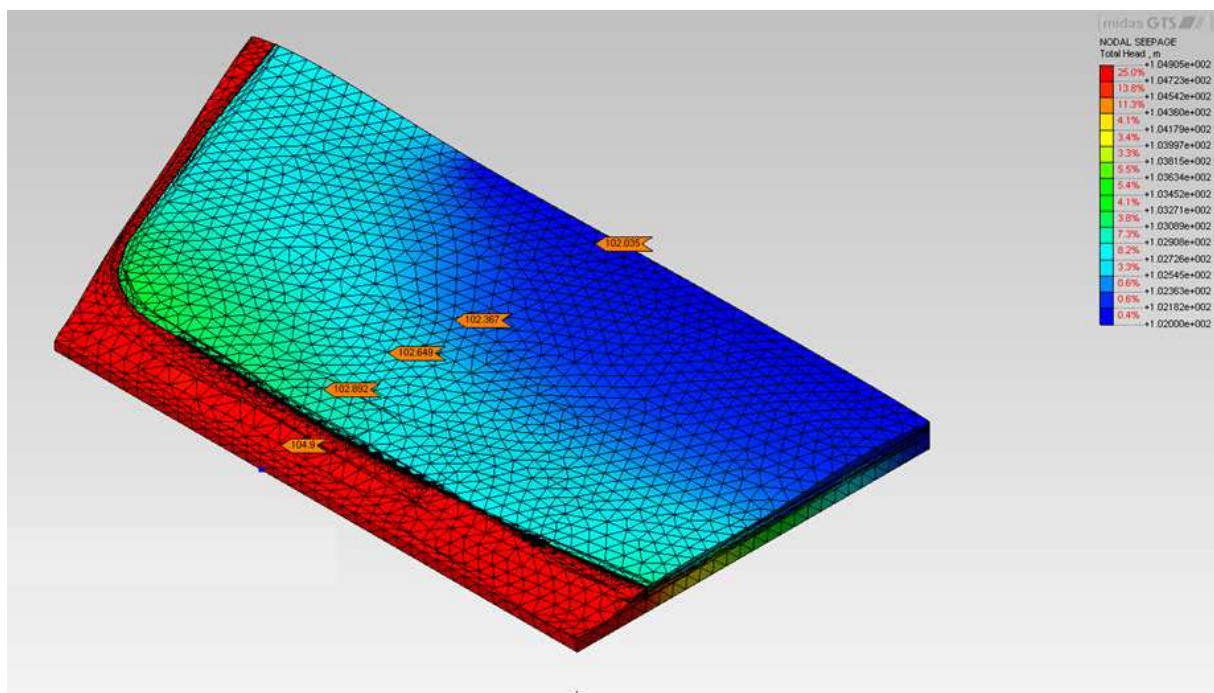
A 15. ábrán látható a modell geometriája. A teljes modell egy 760 m x 385 m-es területet fed le, amelyet nyugatról a Duna, délről az Árpád híd, északról a Rákos patak. Az ábrán látható színek a rétegződés mutatják, kék a feltöltés, barna az iszap, sárga a homokos kavics, szürke pedig az agyagfekü.



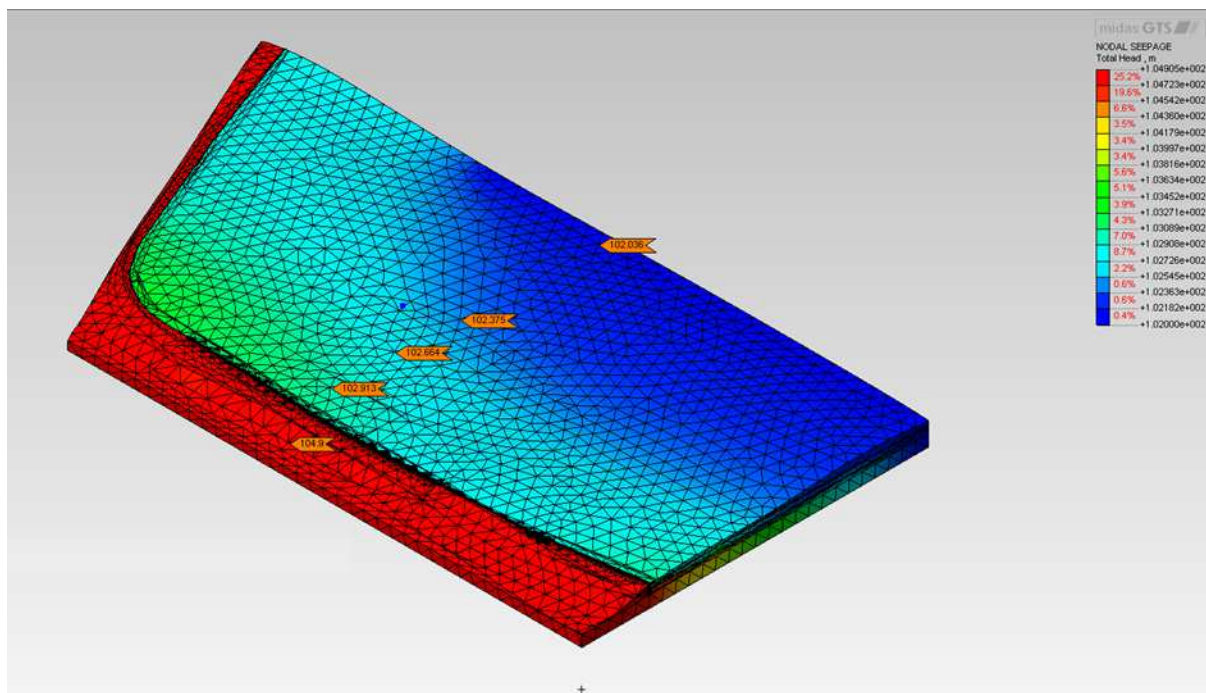
A modellek futtatása nem várt eredményt hozott olyan értelemben, hogy a három különböző résfal mélység nyomán csak csekély eltérés jelentkezett a mentett oldalon megjelenő vízmennyiség tekintetében. (16-17-18. ábra)



16. ábra: Kialakuló nyomásmagasságok a terepszinten – 1. eset (legmélyebb résfal)

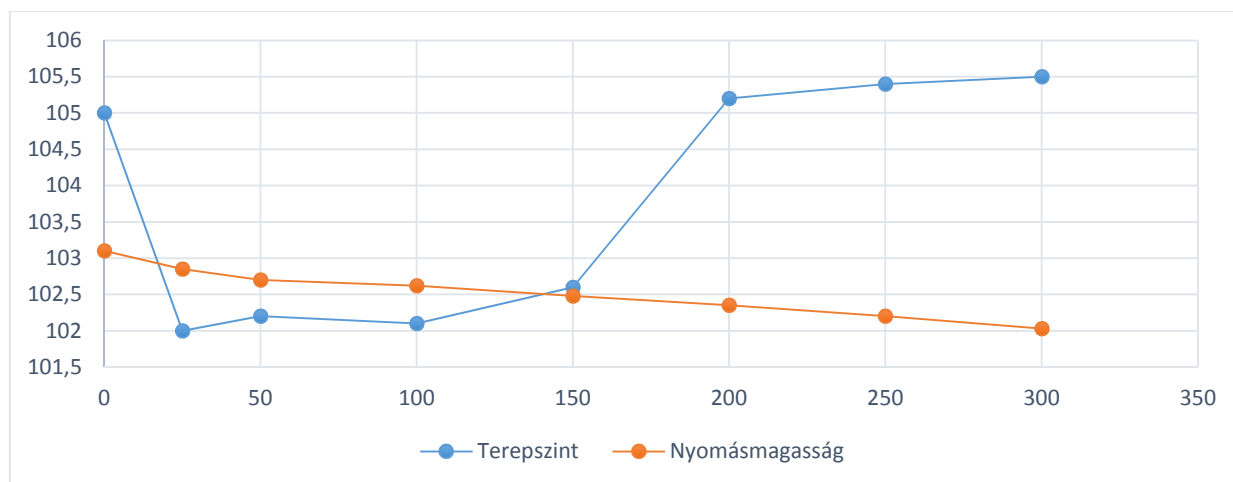


17. ábra: Kialakuló nyomásmagasságok a terepszinten – 2. eset (közepes mélységű résfal)



18. ábra: Kialakuló nyomásmagasságok a terepszinten – 3. eset (legsekélyebb résfal)

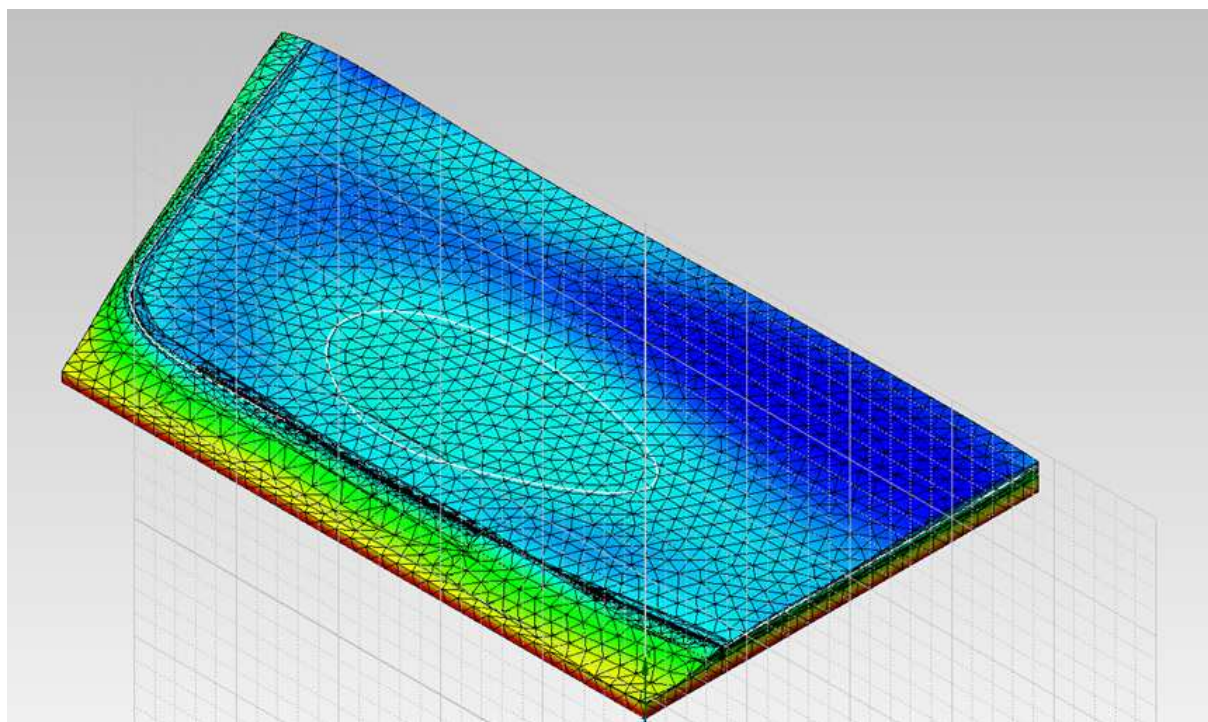
A fenti ábrákból is látható, hogy a mentett oldali nyomásmagasságok tekintetében nincs jelentős eltérés a három féle résfal mélység tekintetében. Azonban az mindegyik alapján megállapítható, hogy a terület mélyen fekvő, 102-103 mBf. magasságú területeken állandósult vízmozgást feltételezve megjelenik a talajvíz a terepszint felett. (19. ábra) Ezt alátámasztja a TAUPE Kft által készített szakvélemény is, miszerint az eddigi legnagyobb, 2013-as árvíz idején a Dagály strandfürdő területén — az üzemeltető szóbeli közlése alapján — öt buzgár keletkezett, amelyek közül a magasabb ellennyomó medencék vízszintje 1,0–1,2 m-rel volt a terepszint felett.



19. ábra: Talajvízszint alakulása a terület mértékadó metszetében - 1. eset



A mentett oldalon megjelenő vizek összegyűjtéséhez egy szivárgó rendszer kialakítása a legalkalmasabb. 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. Ennek modellezéséhez a vizsgált terület mélyfekvésű részein egy 102 mBf. magasságban határoztam meg szivárgót, ezt a modellben, mint peremfeltétel alkalmaztam. Az így kapott modellek segítségével elvégzett számítások alapján a szivárgó kiépítésének területét, tehát ahol a vízszint meghaladta a terepszint magasságát, az 20. ábra szemlélteti. Fontos azonban megjegyezni, hogy – bár számtalan geodéziai adat felhasználásával készült – a generált terepszint nem olyan részletes, hogy a valóságnak megfelel, így inkább ez az ábra tájékoztató jellegű, nagyságrendi adatot szolgáltat.



20. ábra: Mentett oldalon víz alá kerülő terület nagysága: a fehér vonalon belüli terület

A szivattyúzandó vízmennyiségek abban az esetben, ha mentett oldal mély fekvésű részén peremfeltételként 102 mBf. értéket veszünk figyelembe:

1. táblázat: Szivattyúzandó vízmennyiségek

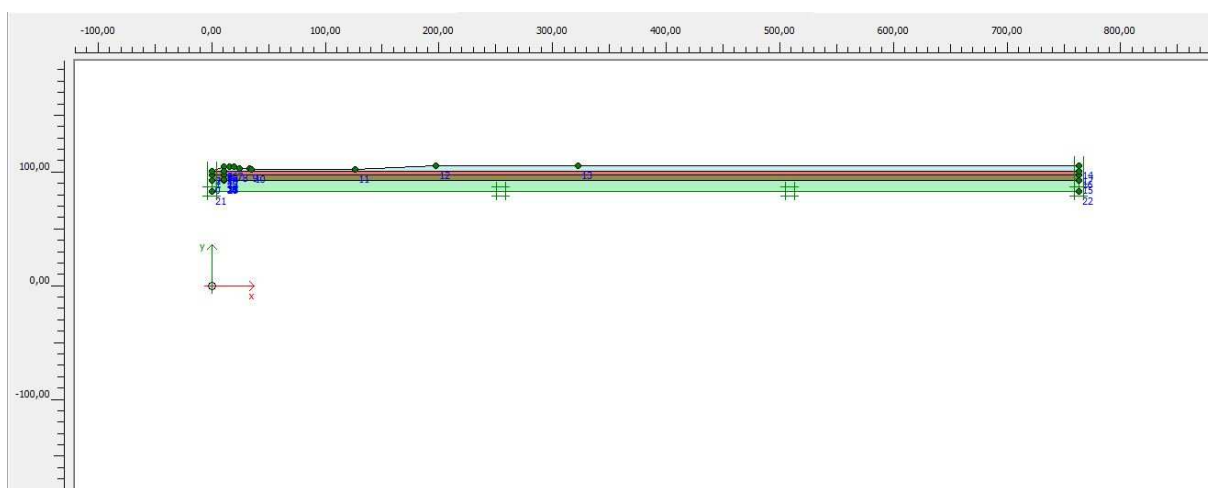
Résfal talp	l/óra
Legmélyebb	144,00
Közepes	151,20
Legsekélyebb	158,40



6.3 2D modell eredmények

Munkám második részében egy dunai árhullám hatását vizsgáltam PLAXIS 2011 geotechnikai végelelemes szoftver segítségével. Itt 2 dimenziós vizsgálatot alkalmaztam, a Dagály strandfürdő egy mértékadó keresztmetszetében (2. melléklet, B-B metszet vonala). A korábbi fejezetekben mutattam be a modellezés sajátosságait.

A geometria megalkotásánál a terepszintet a vizsgált metszet szerint vettem fel, egészen a Váci úttal bezárólag, így egy több mint 760 méter hosszú modellteret kapva. Mivel a rétegződésről a vizsgált keresztmetszetben nem állt rendelkezésemre rétegszelvény, ezért itt a feltárások adatai alapján átlagértékeket használtam a réteghatárok modellezéséhez. Ezek alapján a vízvezető homokos kavicsréteg vastagsága 4,3 méterre adódott. (21. ábra, 22. ábra)



21. ábra: Teljes modellgeometria



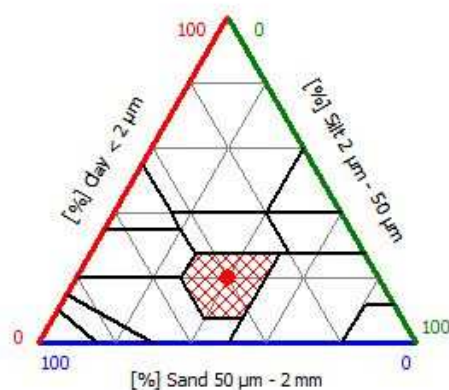
22. ábra: Modellgeometria a vízáró fal közvetlen környezetében



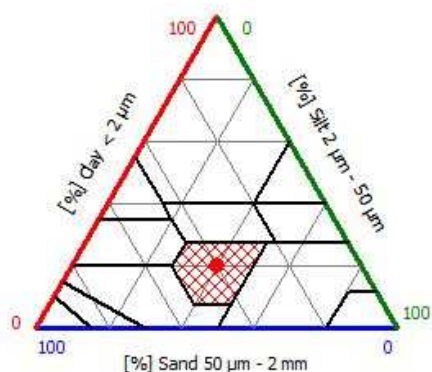
A modellezés során szintén 3 különböző esetben vizsgáltam a vízzáró fal kialakítását. Itt is a 30-60-90 cm-es „szabad utat” engedtem a talajvíz áramlásához.

A szivárgászámításhoz alkalmazott talajparamétereket a 23-24. ábra szemlélteti:

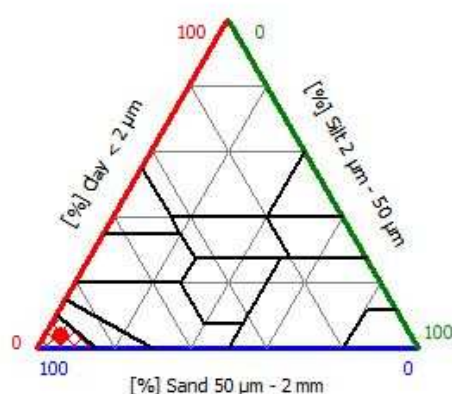
Soil			
Type	Loam		
< 2 μm	%		20,00
2 μm - 50 μm	%		40,00
50 μm - 2 mm	%		40,00
Parameters			
Set to default values	☐		
k_x	m/day		0,4320
k_y	m/day		0,4320
$-\psi_{\text{unsat}}$	m		10,00E3
e_{init}			0,5000



Soil			
Type	Loam		
< 2 μm	%		20,00
2 μm - 50 μm	%		40,00
50 μm - 2 mm	%		40,00
Parameters			
Set to default values	☐		
k_x	m/day		8,640E-3
k_y	m/day		8,640E-3
$-\psi_{\text{unsat}}$	m		10,00E3
e_{init}			0,5000



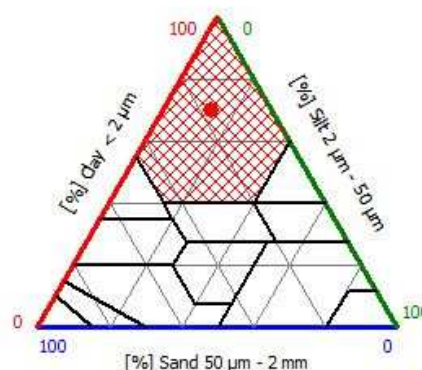
Soil			
Type	Sand		
< 2 μm	%		4,000
2 μm - 50 μm	%		4,000
50 μm - 2 mm	%		92,00
Parameters			
Set to default values	☐		
k_x	m/day		43,20
k_y	m/day		43,20
$-\psi_{\text{unsat}}$	m		10,00E3
e_{init}			0,5000



23. ábra: Alkalmazott talajparaméterek (feltöltés, iszap, homokos kavics)

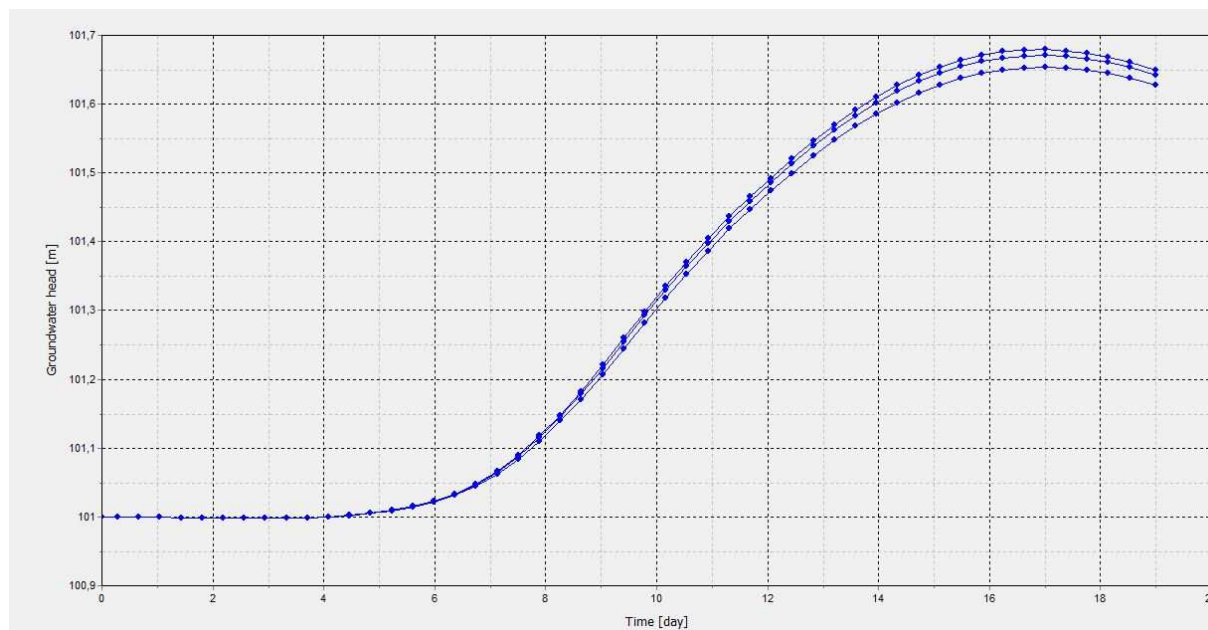


Soil			
Type	Clay		
< 2 μm	%		70,00
2 μm - 50 μm	%		13,00
50 μm - 2 mm	%		17,00
Parameters			
Set to default values ☐			
k_x	m/day		0,4320E-3
k_y	m/day		0,4320E-3
ψ_{unsat}	m		10,00E3
e_{init}			0,5000



24. ábra: Alkalmazott talajparaméterek (agyag)

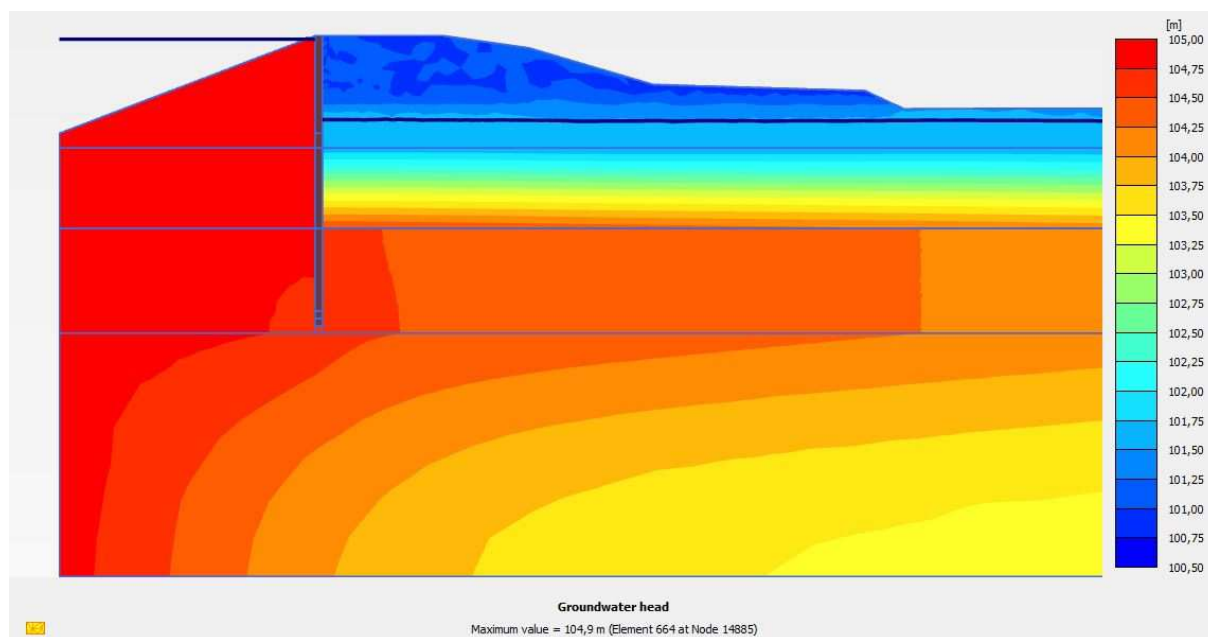
A számítás az 5. fejezetben leírtak szerint, egy 19 napos árhullám figyelembevételével készült. A három különböző vízzáró fal mélységgel készült modellek eredményei a 3D-s modellhez hasonlóan nem mutattak jelentős eltérést egymástól, azonban nagyon fontos kiemelni, hogy a mértékadó árhullám vizsgálatánál a mentett oldalon, a terepszinten nem jelenik meg talajvíz! Azaz a 3. esetben, 90 cm-es nyílás (79% lezárás) esetében sem éri el a mentett oldali talajvízszint a 102 mBf-et. (25. ábra)



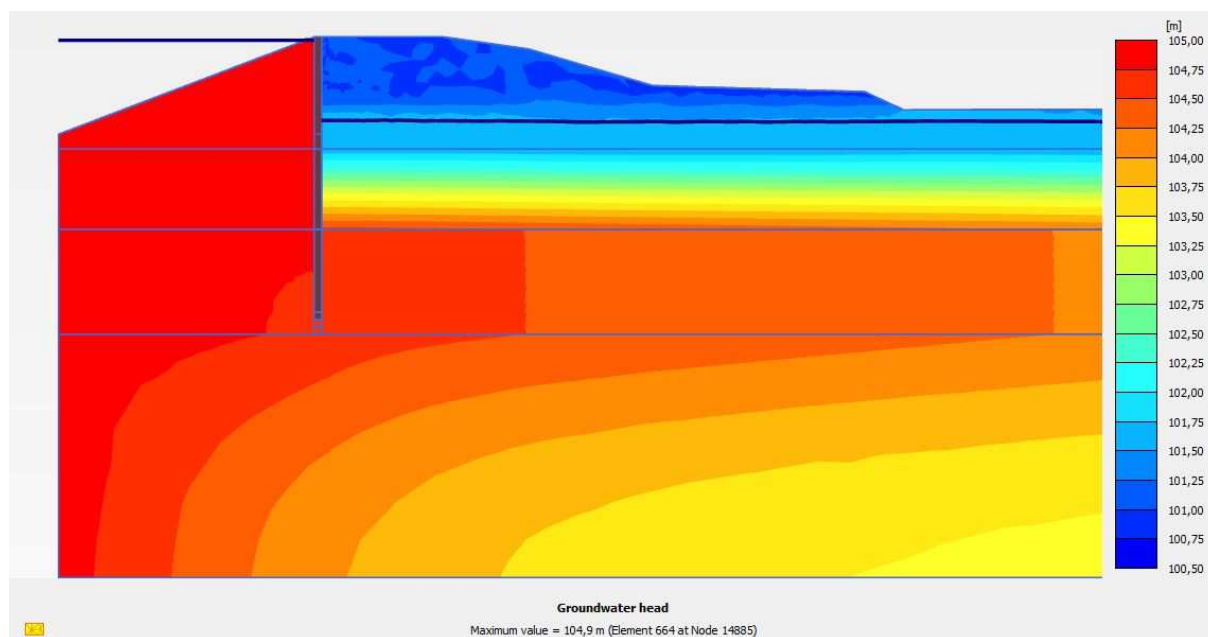
25. ábra: Nyomásmagasság alakulása a mentett oldalon a vízzáró faltól 25 méteres távolságban



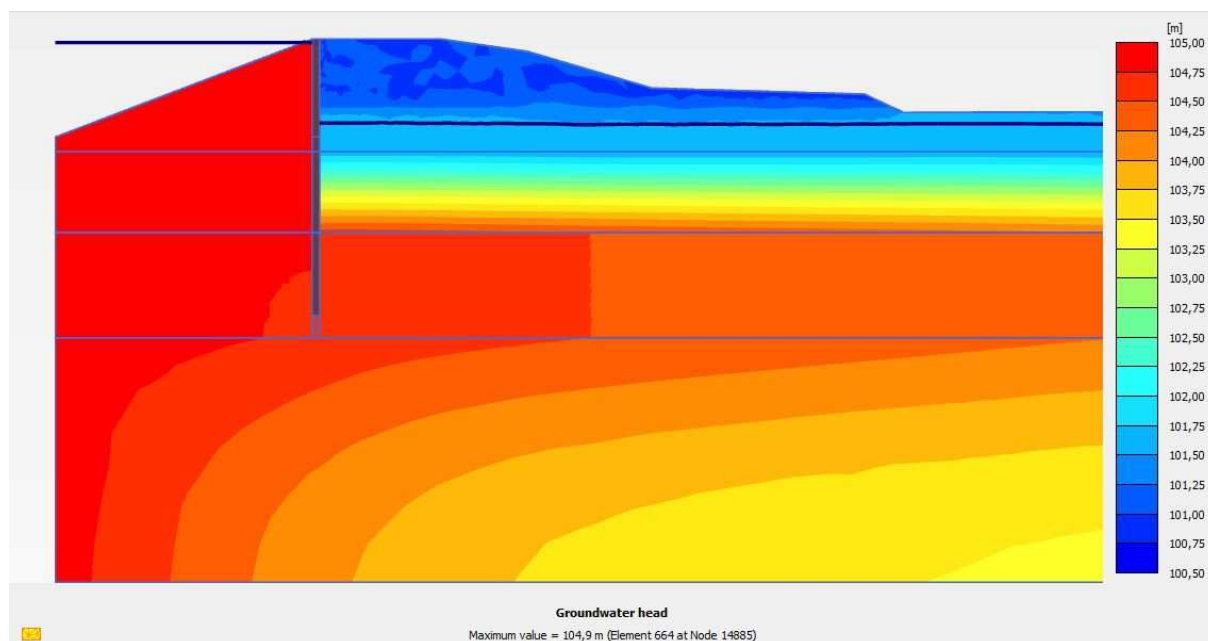
A 25. ábrán látható három görbe a három eltérő vízzáró falmélység alkalmazását jelenti. Itt is látható, hogy nem mutatnak végeredményben jelentős eltérést. A homokos kavicsrétegben kialakuló áramlás hatását a feltöltés alatti iszapréteg alacsony áteresztőképessége nagyban lassítja. A tetőzéskor elért maximális nyomásmagasságokat a 26-27-28. ábra szemlélteti.



26. ábra: Kialakuló nyomásmagasságok – 1. eset (legmélyebb résfal)

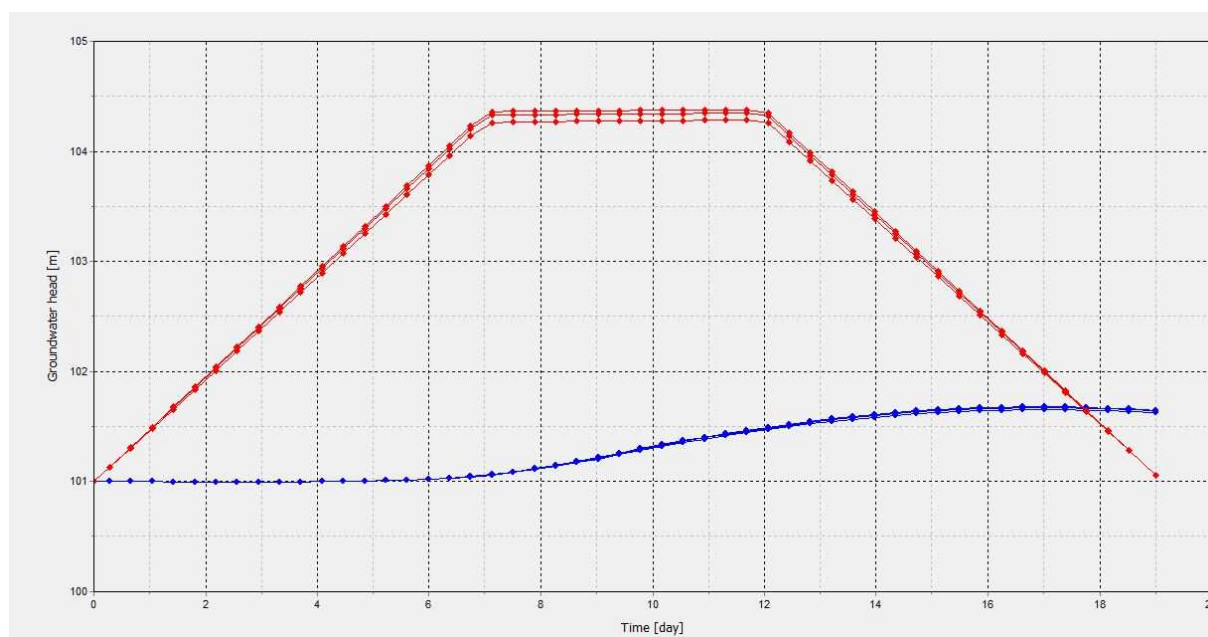


27. ábra: Kialakuló nyomásmagasságok – 2. eset (közepes mélységű résfal)



28. ábra: Kialakuló nyomásmagasságok – 3. eset (legsekélyebb résfal)

A kavicssterazon – jelentős áteresztőképességi együtthatójának köszönhetően – az árhullám hatása gyorsan jelentkezik. Az 29. ábrán látható a már előzőekben is vizsgált, terepszinten lévő pont (kék görbe) és azzal megegyező tengelyben lévő, a kavicsréteg felszínén lévő pont (piros görbe) nyomásmagasságai közti különbsége.



29. ábra: Nyomásmagasságok a terepszinten és a kavicsréteg felszínén



A 2 dimenziós modellek eredménye tehát, hogy ilyen lefolyású árhullám esetén nem jelenik meg talajvíz a mentett oldalon. Azonban fontos kiemelni, hogy a szakértői véleményben is meghatározott áteresztőképességi együtthatók – amelyek a szivárgást jelentősen befolyásolják – igen tág kerek között lettek megadva, több nagyságrendbeli eltéréssel.

Véleményem szerint azonban az elkészült modellek az árhullám talajvízszintre vonatkozó hatásának megfigyelésére a legalkalmasabbak. A PLAXIS lehetőséget nyújt számunkra az általunk készített számítási lépések eredményeit animált formában megtekinteni. Ennek hatalmas előnye, hogy grafikonok és kiragadt színes ábrák helyett az elejétől a végéig nyomon követhetjük a folyamatot. Legnagyobb hátránya viszont, hogy a papíralapú megjelenítése lehetetlen.

Azonban a XXI. század technológiája már olyan lehetőséget kínál számunkra, amellyel hivatkozhatunk internetes anyagokra. A következő link vagy QR kód segítségével, a dolgozathoz készült animáció érhető el, ami a 3 számítási lépés (3 lezárási mélység) animált eredmény sorát tartalmazza. (Youtube videó)

<https://www.youtube.com/watch?v=dKFyYHRi73A&feature=youtu.be>





7. Összefoglalás

TDK dolgozatom keretében a Dagály strandfürdő területén épülő, új úszókomplexum védelmére tervezett mobil árvízvédelmi gátrendszer környezetében vizsgáltam a szivárgási viszonyokat. A tervezett mobil árvízvédelmi falhoz tartozó vízzáró fal építése előtt méretezésre szorul a terület alatti, vízvezető homokos kavicsréteg lezárásának aránya.

A szivárgásszámítást végeselemes modellezéssel végeztem el, amelyhez MIDAS GTS illetve PLAXIS szoftvereket használtam.

A 3D-s modelleredmények alapján, állandó vízmozgást feltételezve meghatároztam a mentett oldalon megjelenő vízmennyiségeket. Ezek alapján elmondható, hogy a 3 féle általam alkalmazott vízzáró fal mélység között nincs jelentős eltérés, a megjelenő vízmennyiség nagyságát az alkalmazott szivárgó kialakítása határozza meg.

A 2D-s modellek adatai alapján – ahol egy mértékadó árhullám hatását vizsgáltam – a mentett oldalon ilyen rövid idő alatt nem jelenik meg víz, a 3D-s modell esetében alkalmazott 102 mBf. magasságú szivárgó szintjén sem.

Azonban fontos megjegyezni, hogy az áteresztőképességi együttható értékének pontosításával a modellek eredményei javíthatóak. Az áteresztőképességi együttható meghatározását javasolom próbaszivattyúzással megoldani. Ez esetben a vizsgálattal nem csak egy laboratóriumi minta áteresztőképességét határozzuk meg, hanem egy jóval nagyobb talajtömeg átlagos áteresztőképességét. Ezek eredményei alapján a szivattyúzandó vízmennyiségre pontosabb becslés adható.

E mellett a modellekben alkalmazott agyagfekü felszíne igen bizonytalan. Mivel az árvíz hatására keletkező szivárgás akadályozása miatt a 90%-os lezárásra kell törekedni, ezért ez jelen esetben 30-50 cm-es pontosságot igényel. 90%-os lezárással és 4,0 méteres kavicsvastagsággal számítva, ha a vízzáró fekü egyes helyeken csak 30 centiméterrel van fentebb, akkor jelentős visszaduzzasztás alakulhat ki, mert a folyó felé az áramlást 10 cm vastag rétegnek kell elvezetnie, ha pedig 30 cm-rel van lentebb, akkor nem lesz elég hatékony a vízzáró fal, mert a vízvezető rétegből csak mintegy 85 % kerül lezárásra. A fekü mélységét tehát nagyon pontosan, és lehető legsűrűbben kell meghatározni, mert százalékokban kifejezve nagyon keskeny az a „rés”, ami a két rossz megoldás között a megfelelő kialakítást jelenti.

Ezt elkerülendő, a modelladatok figyelembevételével és az arányok meghatározásával a vízzáró fal az agyagfekübe zárva, úgynevezett „ablakok” kihagyásával eredményesen kivitelezhető, így biztosítva a szükséges mértékű vízzárást.



Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Dr. Mahler Andrásnak és Dr. Nagy Lászlónak, hogy értékes észrevételeikkel és tanácsaikkal segítették munkámat, szabadidejüket nem sajnálva a rendelkezésemre álltak.

Köszönöm Juhász Miklósnak, a T.A.U.P.E. Kft. ügyvezetőjének, hogy a dolgozat elkészítéséhez elengedhetetlen adatokat bocsájtott rendelkezésemre. Köszönöm továbbá Dr. Kovács Miklós docens úrnak az anyaggyűjtésben nyújtott segítségét. Végül köszönöm a Geotechnikai Tanszék oktatóinak és dolgozóinak, a dolgozat elkészüléséhez nyújtott segítségét.

Budapest, 2014.10.22.

Turai Péter

.....



Irodalomjegyzék

- BOHN MÉLYÉPÍTŐ KFT. (2002) : *Detailed soil mechanical report on the office building, Budapest, XIII., Népfürdő str. – Árpád bridge*, Talajvizsgálati jelentés
- BOJTÁR I., GÁSPÁR Zs. (2003): *Végeselem módszer építőmérnököknek*, Budapest, Terc Kft., pp. 185-198.
- CSUPORTNÉ TÁTRAI J., KACSKÓ D. (2014): *Táj- és Kertépítészet Műszaki Leírás*, Budapest FINA 2021. évi Úszó-, Vízilabda-, Műugró, Műúszó és Nyíltvízi Világbajnokság megrendezéséhez szükséges Létesítményfejlesztés, Kézirat
- KESZEYNÉ SAY EMMA (2011): *Műtárggyal befolyásolt talajvízáramlás hidrodinamikai modellezése*, Doktori (Ph.D.) értekezés, Budapest, Szent István Egyetem
- KÉZDI Á. (1977): *Talajmechanika*, Budapest, Tankönyvkiadó. pp. 214-267.
- KOVÁCS B. (2004): *Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing Modflow környezetben)*, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék: GÁMA-GEO Kft. 4-28, pp. 83-102.
- KRÁMER T. (2014): *Új, Mértékadó Árvízszintek a Dunának*, BME, Építőmérnöki kar honlap, http://www.epito.bme.hu/hirek/20140311/Uj_mertekadoarvizszintek_a_Dunanak
- MAGYAR ÁLLAMI FÖLDTANI INTÉZET BUDAPEST (1981): *Budapest építésföldtani térképsorozata: 1:10.000*
- MAHLER A. (2012): *Kutatási jelentés, a Budapest, III. Római parton tervezett mobil árvízvédelmi fal környezetében kialakuló szivárgási viszonyokról*, BME, Kézirat
- MAHLER A., NAGY L. (2010): *Árvízvédelmi gát keresztmetszetének komplex modellezése*, Geotechnikai konferencia, Ráckeve, Konferencia kiadvány
- MECSI J. (2007): *A talajvíz szintjének hatása a nagykiterjedésű építmények süllyedésére*, Geotechnika 2007 Konferencia, Ráckeve, Konferencia kiadvány.
- NAGY L., FARKAS J. (2013): *Szakértői vélemény a Budapest, III., Római - parti árvízvédelmi mű döntés-előkészítő tanulmányáról*, BME, Kézirat



- NAGY L., MAHLER A. (2012) *Árvízvédelmi gát szivárgás csökkentése vízzáró fal alkalmazásával*, Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Vándorgyűlése, Kaposvár. ISBN 978-963-8172-29-7
- OROSS A. (2003): *A Rákos-patak és vízgyűjtő területének történeti földrajzi vázlata*, Fons, X. évfolyam 2. szám, 2003
- SZABÓ GY. (1967): *Az 1965. évi dunai árvíz hatása a talajvízre a fővárosban*, Hidrológiai Közlöny 1967/12. szám
- SZILVÁGYI ZS. (2009): *Új fejlődési irány a véges elemes geotechnikai számításokban*, Közlekedésépítési Szemle, 60. évf. 3. szám, pp. 31-32.
- T.A.U.P.E. KFT. (2014): *Geotechnikai és Hidrogeológiai szakvélemény*, Budapest FINA 2021. évi Úszó-, Vízilabda-, Műugró, Műúszó és Nyíltvízi Világbajnokság megrendezéséhez szükséges Létesítményfejlesztés, Kézirat
- TÓTH F. (2013): *Mobil és Ideiglenes Árvízvédelmi falak alkalmazása Magyarországon*, Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Országos Vándorgyűlése, ISBN 978-963-8172-31-0



Mellékletek



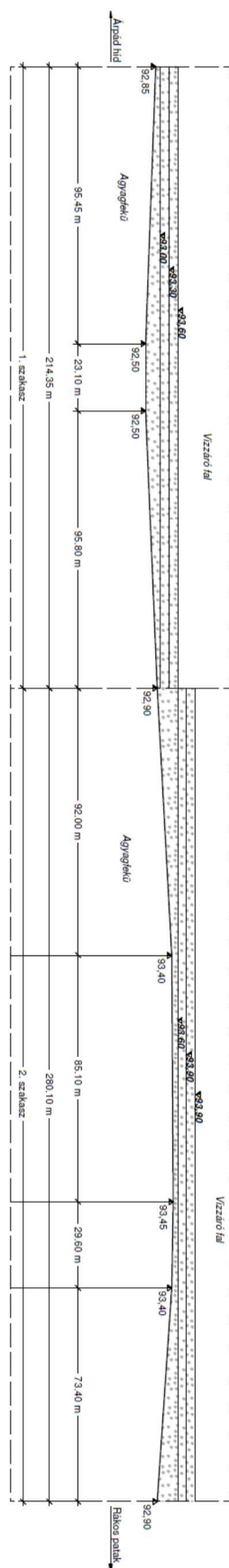
M1. Alaprajz



B-B metszet



M2. Vízáró fal mélységek



FINA Uszoda
Modellezett vízáró fal mélységek