

A Feneketlen-tó környezetének hidrogeológiai vizsgálata



Skublics Márk (AUJW6L)

Témavezetők: Dr. Hajnal Géza, Karay Gyöngyi

Készült a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Tudományos
Diákkonferenciájára

Tartalom

1.	Bevezetés.....	3
1.1.	Tó a főváros szívében – Földrajzi elhelyezkedés, kialakulás.....	3
1.2.	Földtan.....	3
1.3.	Vízföldtan.....	4
1.4.	Hidrologiai jellemzők.....	5
2.	Adatok gyűjtése, feldolgozása.....	6
2.1.	Labor – Geotechnika.....	6
2.1.1.	Fúrászelvények készítése.....	9
2.1.2.	Rétegszelvények szerkesztése.....	9
2.2.	Helyszíni vizsgálatok.....	11
2.2.1.	Talajvízszint-észlelő kutak és a vízmérce.....	11
2.2.2.	Vízállás idősor.....	12
2.2.3.	A tó kapcsolata a felszíni és felszín alatti vizekkel.....	12
2.2.4.	Próbaszivattyúzás.....	12
2.2.5.	Szivárgási tényezők számítása.....	13
2.3.	Éghajlati adatok gyűjtése.....	14
3.	Numerikus modellezés.....	15
3.1.	A FEFLOW hidrodinamikai modellező szoftver.....	15
3.2.	Elméleti modellek – modell elrendezések.....	15
3.3.	Kiindulási adatok.....	15
3.4.	Peremfeltételek meghatározása.....	17
3.5.	Anyagjellemzők meghatározása.....	18
3.6.	Háromdimenziós modellezés.....	19
4.	Összefoglalás, értékelés.....	25
4.1.	A numerikus modellezés értékelése.....	25
5.	Felhasznált irodalmak, szabványok, alkalmazott szoftverek.....	26
5.1.	Szakirodalom.....	26
5.2.	Laboratóriumi vizsgálatok.....	26
5.3.	Digitális adatfeldolgozás.....	26
6.	Köszönetnyilvánítás.....	27
7.	Mellékletek.....	28

1. Bevezetés

1.1. Tó a főváros szívében – Földrajzi elhelyezkedés, kialakulás

A Gellért-hegy déli lejtői mellett a Lágymányos északi csücskében, a mai Kosztolányi Dezső tér, Villányi út, Bartók Béla út által határolt parkban ringatózó Feneketlen-tó egy egykori agyagbánya és téglagyár helyén keletkezett az 1800-as évek második felében. Ez időszakban még több talaj- és csapadékvízből, vagy a Duna áradásaiból táplálkozó tó is alakította a táj képét. Kismarty Lechner Jenő, a 20.sz jeles építésze, egy visszaemlékezésében gyerekkorából egy a mai Móricz Zsigmond körtéren elhelyezett táblát idéz fel, amin a környéken horgászatra és kacsavadászatra vonatkozó tiltások voltak láthatóak. A bánya területén a leírások alapján (Szlabóczky 2010) talajtörés következtében jelent meg a víz, olyan hirtelen és olyan mennyiségben, hogy a téglagyári munkások feneketlennek nevezték. A környéki tavakat a Lágymányos területrendezésekor feltöltötték, így megörökölhette a Lágymányosi-tó nevet attól a Duna holtágtól, aminek mai helyén a Műszaki egyetem áll.

Hosszú időn keresztül viselte ezt a nevet, közben alakját többször is megváltoztatták. A 30-as években építkezések melléktermékeit, kitermelt talajt, építési törmelékkel töltötték a bányagödörbe. A Második Világháború bombázásait követően sirt, szemét, és még ki tudja mi minden került a mederbe (Szlabóczky 2010, 2013). Csallány S. 1953-54-ben a műszaki vizsgálatok tekintetében is elhanyagolt „feneketlen tó” környezetét felmérték, innen származik az első hiteles információ a pontos méretekről, mélységről. Mai nevét és formáját az 1980-as években kapta meg. A tómedret és környezetét jelentősen átalakították, mivel a XI. kerület lakótelepeinek megépülése miatt meggyarapodott lakosság megkívánta az elburjánzott és ki nem használt területek bevonását a mocsaras tónak és környékének élhetővé tételét. A tó környezete ugyanis ekkorra ingoványos láppá változott, iszapja gyomorforgató bűzzel árasztotta el a környéket. A munkálatokat megelőző, Raum, Kollár, Vas által vezetett felmérés a lassú vízcserét és a feliszapolódást, továbbá a tóba vezetett szennyvizet tartotta a Feneketlen-tóból áradó bűz okozójának. A tanulmány alapján a tó medrét kikotorták, a környező parkot a mai lépcsőzetes formára rendezték, és a felszíni hozzáfolyásokat megszüntették. A víztükör közepére egy szökőkutat telepítettek, mellyel a tó levegőztetését kívánták elősegíteni. A beavatkozásoknak köszönhetően jelentős javulást sikerült elérni, bár a kénes szag időről időre visszatér. Ezt valószínűleg annak köszönhetjük, hogy a környező talajvizekhez hasonlóan a Feneketlen tó vize is magas szulfáttartalmú keserűvíz (Vendl 1930), vagy másképpen mondva agresszív talajvíz (Vendl 1930, Vas, Kollár, Raum 1983). Ez nem ok arra, hogy teljesen élettelen legyen. A tavat különböző halak, ponty, kárász is lakják, a közelmúltig horgászni is lehetett.

A rendszerváltás óta nem sokat változott a tó látképe. 2008-ban felfigyeltek a vízszint jelentős csökkenésére. Ezt a közelben zajló 4-es metró építkezéseknek tulajdonították, ám a pontos mérések, és a műszaki adatok hiányában a vízszintsüllyedésről sem lehetett megállapítani (Hajnal, Kleb, Török 2008), hogy a megszokottól eltérő, nemhogy a metróépítkezés hatásait kimutatni. 2012-végén a Vízépítési és Vízgazdálkodási tanszék megbízást kapott a Feneketlen-tó, és a környező talajvizek vizsgálatára. Ez okból négy darab talajvíz-észlelő kutat és vízmércét létesítettek az elmúlt év karácsonyán.

1.2. Földtan

A Lágymányos, így a Feneketlen-tó altalaját is kiscelli agyag képzzi.

A kiscelli agyag keletkezése

Az eocén és az oligocén korszak határán zajlott a Pireneusi hegységképződési időszak. Ebben az időszakban emelkednek ki a Budai-hegység triász kori dolomit rögei – a Gellérthegy, a Sashegy – az eocén tenger vizéből. A szárazulatokon ezután eróziós folyamatok zajlanak,

egészen a hárshegyi homokkő megjelenéséig, amikor is a tenger újból teret foglal magának. Ekkor azonban már nem teríti be a Budai hegységet, hanem a hegység alatt elterülő medencéket iszapos üledéksorral teríti be. Ez az üledéksor a kiscelli agyag (Horusitzky 1938). A tenger visszahúzódása után az agyagra lösz, és egyéb takarórétegek települnek. Ezeket a fedőket később az Ősduna építő-romboló munkája néhol, így a Lágymányosi lapályon is, teljesen elmosta, kavicsos-homokos réteggel takarta be. A kavicsos hordalék lerakása után a víz hosszú ideig stagnált a területen. A lapály mocsárfölddé lett. A víz a felső agyagréteget fellazította, és sárgás színűre alakította át (Horusitzky 1938).

Így a felszínen a Kiscelli agyagot kissé fellazult, piszkossárga, helyenként breccsás mállott zóna jellemzi (Görög 2008), míg alul megmaradt a szürke kövér agyag. A talajvízkutak létesítésekor ezeket a rétegeket a Feltöltések alatt mi is megtaláltuk (1. ábra).



1. ábra FEN04 fúrás mintái (kiszárítva)



2. ábra Sárga és szürke kiscelli agyag közötti átmenet (Görög 2008)

A kiscelli agyag fizikai tulajdonságai

A kiscelli agyag laza üledék formájában fordul elő többnyire. Csak 20-30 méternél mélyebb rétegeiben fordul elő, hogy kompaktálódik, és közszerűen viselkedik. Így a 12m mély fúrásokból vett mintákon a talajfizikai vizsgálatok elvégezhetők (Görög 2008).

1.3. Vízföldtan

A Lágymányos talajvíze jórészt szulfát tartalmú. Ez elsősorban a kiscelli agyagban elhelyezkedő pirit bomlásának köszönhető. A szulfáttartalom ennek ellenére erősen ingadozik. Jelentősen befolyásolja, hogy milyen vastag takaró rétegek, fedik az agyagot (Horusitzky 1938, Vendl 1930).

A Gellért-hegy déli lejtőinek talajvíz mozgásairól két jeles 20. század eleji szakíró tanulmányából idézek egy-egy részletet:

Horusitzky 1938-ban készített A Duna jobb parti részének hidrogeológiája c. munkájából:

„A Szent Gellért-hegy alatti gellérthegyi-dűlő, mondhatjuk a Szent Imre-útig terjed (mai Villányi út). Magasabb helyeken a lösz csak 1-2 méter vastag, lejjebb azonban 10, sőt 15 méter vastaglösszre is akadtam. A Somlói-út és Kovács-lépcső sarkán, a feltöltés alatt azonnal kiscelli agyagra akadt a fúró. Talajvizet e területen mindenütt észleltem, és pedig meglehetősen magas víznívóval. Felülről számítva, átlagosan megadva, a víz 3 méter körüli mélységben kering.*

Meglehetősen sok víz folyik itt le a Szent Imre herceg-út felé, ami a Ciszterci-rendi Nagyboldogasszony plébániahelyén, Szent Imreherceg-útja 3. szám (mai Szent Imre

Gimnázium épülete*) alatti építkezés alkalmával észlelhető volt. Tőle keletre eső Himfy-utca sarkán állandó forrás volt, vagy talán még most is van.”

Ebből a pár sorból kiolvasható tehát, hogy egykor a talajvizek a Feneketlen-tótól északra, a Gellért-hegy oldalában több helyen is a felszínre törtek. Továbbá a talajvízszintek az idők során nem sokat változtak, hiszen a fent említett területen ma is ilyen mélységben található a kutakban a víz.

A másik idézet Vendl Aladár a Lágymányos talajvizeiről szóló munkájának részlete:

„A Lágymányoson azonban egyes helyeken a kiscelli agyagban levő durva homokos-kavicsos közbetelepülésekben is van talajvíz. Eddig csak két ilyen esetről van tudomásom: A m. kir. kertészeti tanintézetnek a Vincellér-utcamentén levő konyhakertészeti területén 1922-ben a kiscelli agyagban nagy gödröt létesítettek. Ebben már 2.5m mélyen bőséges vizet kaptak, melyet öntözésre használtak fel. A gödör szelvénye lényegében a következő volt: felül cca. 1m vastag sárga agyag, alatta 1m sötétszínű kékesfekete agyag, ez alatt pedig egészen a fenéig erősen agyagos durva homok, mely sok mészkő-, dolomit- és kvarckavicsot tartalmaz. A gödörben összegyűlő víz a felszín alá 80 cm mélyséig felemelkedett, tehát nyomás alatt áll. Naponként, sőt gyakran óránként több köbmétert emeltek ki a vízből, ami éjszakánként pótlódott.

A HorthyMiklós-út és a Villányi-út között levő egykori téglagyári agyaggödör vize (A Feneketlen-tó*) is a kiscelli agyagban levő homokos rétegből származik.

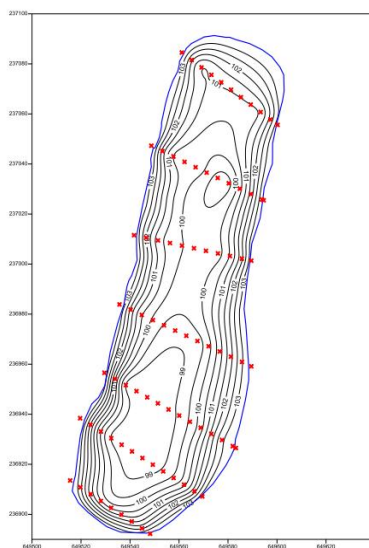
A Lágymányos talajvize az agyag fölött levő kavicsban, vagy az agyag felső morzsalékos részében igen lassan áramlik DK-i irányban a Duna medre felé.”

Fontos tudnunk tehát, hogy a kiscelli agyag szürke rétegében feltehetőleg található egy, vagy több durvább szemcseméretű iszapos, homokos ér is, amiben komoly talajvízáramlások jelentkezhetnek.

1.4. Hidrológiai jellemzők

A Feneketlen-tó morfológiája

A legutóbbi medermorfológiai felmérés eredményei szerint a Feneketlen-tó vízzel borított felszíne 9866 m², a víz térfogata 27357 m³. A mederben található üledék mennyisége, meghaladja a 7610 m³ mennyiséget. Az üledék szervesanyag tartalma 13,7-15,9% között változik, kifejezetten magas. A felmérés során a tó területét geodéziai módszerekkel is felmérték (3.ábra) (SCIAP 2010).



3. ábra Mederfelmérés eredménye (SCIAP2010)

Vízszintje az elmúlt évtizedek alkalmi mérései alapján 103,5 m B.f. körül mozgott (Hajnal, Kleb, Török 2008).

Csapadék

A tó környezetének csapadéka a Budapesti csapadékeseményekkel jellemezhető. Az Országos Meteorológiai szolgálat adatsorai alapján megállapítható, hogy az elmúlt években szélsőségesnek nem nevezhető a csapadék mennyisége (lásd 14. ábra).

Párolgás

A tó napi átlagos párolgása az 1983-ban készült Műszaki egyetem tanulmány szerint 0,9 mm. Ez jelentősen befolyásolhatja a tó vízszintjét (Hajnal, Kleb, Török 2008).

Vízkémia

A tó vizét már az 1930-as években is keserűvízként tartották számon (Vendl 1930). A 2008. január 24-i vízmintavétel (Hajnal, Kleb, Török 2008.) szerint a vezetőképesség 5040-5070 μS , a kloridtartalom 425-430 mg/l, a szulfáttartalom 2435-2744 mg/l, az összes oldott anyag 4570-4600 mg/l értékre növekedett. A tó vizének kémiai vizsgálata jelentős „besűrűsödést” jelez.

2. Adatok gyűjtése, feldolgozása

2.1. Labor – Geotechnika

A 2012 decemberében létesített kutak zavart fúrásból származó talajmintáit 2013 márciusában kaptam meg vizsgálatra. Minden fúrásból méterenként állt rendelkezésre talajminta.



4. ábra A FEN fúrásokból származó talajminták

Laboratóriumi munkáim során az agyagminták talajfizikai jellemzői alapján szabványos nevüket határoztam meg.

Víztartalom vizsgálat

A víztartalom vizsgálat úgy zajlott, hogy minden talajmintából egy Petri-csészébe mintát vettem, majd lemértem az együttes tömegüket [m_n+m_w]. (A csésze tömege ismert volt, vagy előtte lemértem [m_{cs}].) Ez után három órára 105°C hőmérsékletű szárítószekrénybe tettem. A szárítás után az együttes száraz tömeget is lemértem [m_d+m_{cs}]. A víztartalmat az elpárolgott víz tömegének és a száraz tömeg hányadosaként kaptam meg [$w=m_n-m_d/m_d$].

Sajnos ez a vizsgálat nem mindig hozott releváns eredményeket, köszönhetően a nem mindenhol légmentes tárolásnak, és vizsgálatokkal való késlekedésnek.

Szemrevételezés, vizsgálatra való kijelölés

A rendelkezésre álló fúrásnapló segítségével, a víztartalom vizsgálat kiszáritott mintáiból kiválasztottuk, hogy mely minták származhatnak azonos rétegekből, melyek különbözőből. Kijelöltük, hogy mely mintákból kell további vizsgálatokat végezni.

Minden rétegből egy vizsgálatot írtunk elő, valamint azoknál a mintáknál, ahol felmerült a talajok azonossága, ám nem volt egyértelmű, mindkét mintát kijelöltük vizsgálatra.

Talajok azonosítása

A talajok előzetes vizsgálata alapján három mintát jelöltünk ki szemeloszlás-, és 12 db mintát plasztikus index vizsgálatra.

Szemeloszlás vizsgálat – szitasorozaton, valamint hidrométerrel

A szemeloszlás vizsgálat során a mintákat 0,06 mm átmérőjű szitán átmosva kettéválasztottam. Így a durva szemcsés és a finom szemcsés frakciót elválasztottam egymástól. A durva szemcsés részt (kb. 200g) 105°C-on tömegállandóságig szárítottam, majd alulról felfelé növekvő lyukbőségű szitasorozaton leszitáltam. Az egyes szitákon való fennmaradt anyag tömegét lemértem. Ebből számíthattam az egyes ismert lyukbőségű [d_i] szitákon áthullott anyagmennyiség arányát [S_i] százalékos formában

$$S_i = \frac{m_d - \sum_1^i m_{di}}{m_d} \cdot 100$$

A hidrométeres vizsgálat során a finom szemcsés részekből (kb. 40g) desztillált vízzel (1000ml) szuszpenziót készítettem. Hogy ne tapadjanak össze a szemcsék mosószerrel (trisó/calgon) is kevertem hozzá. A mérés kezdetekor 1 percig kevertem, majd meghatározott időközönként kalibrált hidrométerrel mértem a szuszpenzió sűrűségét. Összesen három mintán végeztem ilyen vizsgálatot.

Konzisztencia vizsgálat

Ezt a vizsgálatot a régebbi, de még érvényben levő Casagrande féle eljárással végeztem. A vizsgálat során a mintát átpréseltem egy 0,04 mm átmérőjű szitán, kiszűrve belőle 1-1 nagyobb homokszemet (túl magas durvaszemese méret esetén másik mérési módszert kellett választanom). Elválasztottam belőle egy részt a sodrási határ vizsgálatához, majd a maradék anyagot folyásihatár közeli víztartalmi állapotra hoztam desztillált víz és egy keverőkanál segítségével. A folyási határt akkor érem el, ha a casagrande csészébe töltött mintán vágott árok megszabott magasságból 25 ütés után csúszik össze 1 cm hosszon (5. ábra).



5. ábra Casagrande csésze

A vizsgálatot mintánként négy alkalommal végeztem, közben folyamatosan desztillált víz hozzáadásával növeltem a víztartalmat. A részeredményeket óraüvegekbe zártam, majd a nedves tömeget lemérve kiszárítottam. A száraz tömegek lemérése után a folyási víztartalmat kaptam eredményül. Ezután a félretett szárazabb mintát sodrási állapotra hoztam. Úgy, hogy szűrőpapíron 3 mm vastag hengereket gyúrtam belőle addig, amíg meg nem jelentek a száradási repedések a mintán. Ilyen hengerekkel mintánként két óraüveget töltöttem meg, majd a folyási határhoz hasonlóan számítottam a víztartalmát.

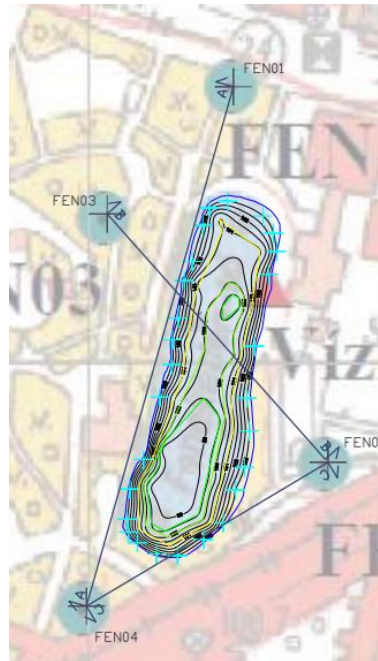
A plasztikus indexet a következő képlet segítségével határoztam meg:

$$(w_l - w_n) / (w_L - w_r) = I_p.$$

2.1.1. Fúrásszelvények készítése

A szelvények elkészítéséhez a talajfizikai vizsgálatok adatsorait, a fúrásnapló réteghatárait, a kutak geodéziai adatait, a próbaszivattyúzások időpontjait kellett adatbázisba vinnem, majd ezeket a Strater fúrásszelvény szerkesztő segítségével vizuálisan is megjelenítettem (1-4 Mellékletek).

2.1.2. Rétegszelvények szerkesztése



6. ábra A rétegszelvények vázlatos helyszínrajza

A fúrásszelvények, és a rendelkezésre álló helyszínrajz alapján három rétegszelvényt készítettem el.

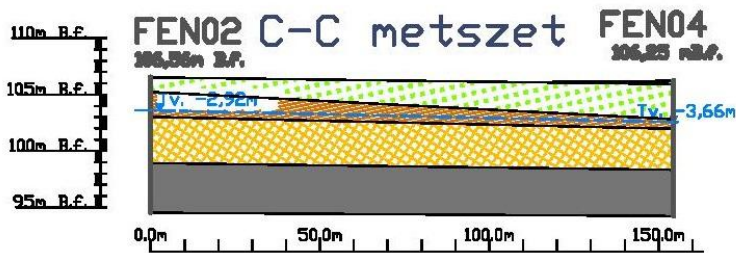
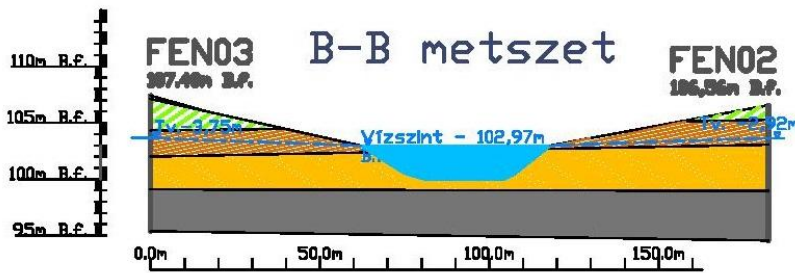
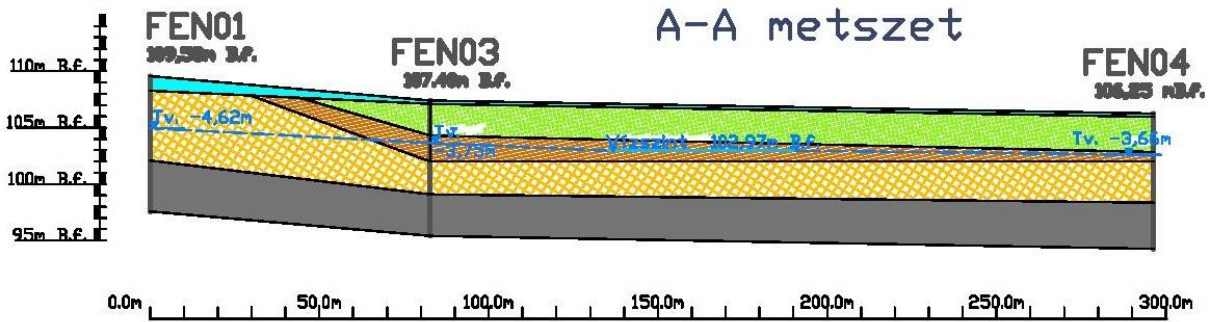
A szelvények szerkesztésekor az egyes kutaknál felvett feltöltéseket azonos rétegek tekintetem. Ezt a túlzó egyszerűsítést azért engedtem meg, mert a talajvíz mindenhol a feltöltés alatt helyezkedik el.

Az A-A szelvényt a FEN01 és a FEN04 kutakat összekötve a FEN03 kutat merőlegesen bevetítve készítettem. Jól látható, hogy a FEN01 kút szelvényéből hiányzik a barna agyag réteg.

A B-B szelvényt a FEN02-FEN03 kutak között, a tó elmetszésével készítettem. Itt a tómeder mélypontját a Mélyépterv által készített mederfelmérésből szerkesztettem.

A C-C szelvényt a FEN03-04 kutakat összekötve készítettem.

Az elkészült szelvényekből látszik, hogy az egyes rétegek nagyjából párhuzamosan települnek egymásra.



Jelmagyarázat:

- Feltöltés: 
- Barna közepes agyag: 
- Sárga kővér agyag: 
- Szürke kővér agyag: 

7. ábra A Feneketlen-tó környezetének rétegszelvényei

2.2. Helyszíni vizsgálatok

2.2.1. Talajvízszint-észlelő kutak és a vízmérce

A vízszint pontosabb vizsgálata érdekében a létesített talajvízkutak és a vízmérce vízállásait heti rendszerességgel mértük, valamint egy-egy kút vízjárását 10 másodpercenként digitális eszközzel rögzítettük.

Használt műszerek, eszközök

A heti méréseket vízszintmérő szalag (8. ábra) segítségével mértük.



8. ábra Vízszintmérés mérőszalaggal, adatnyerés a DATAQUA memóriájából

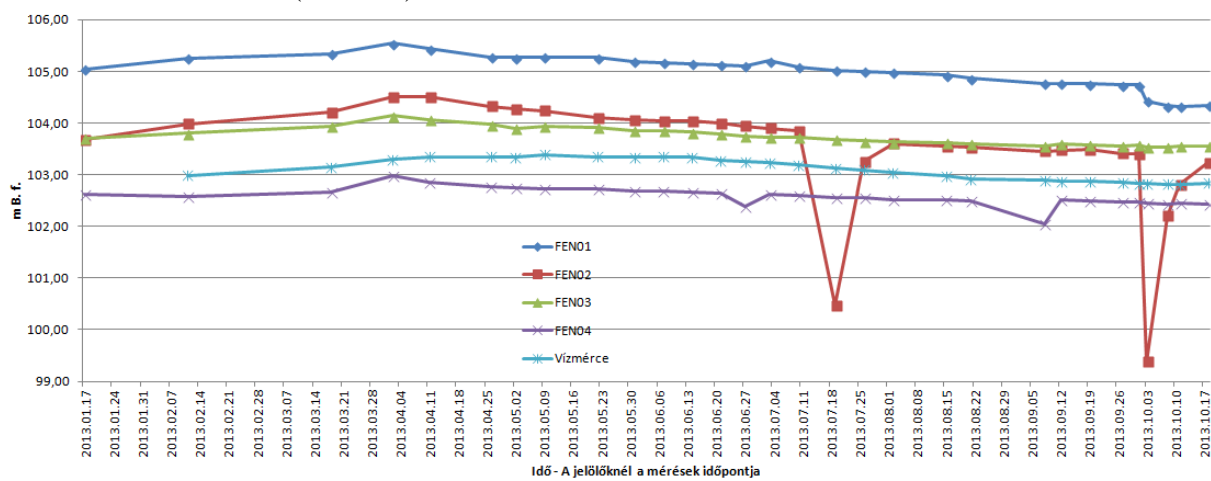
A vizsgálatokat egy digitális vízszintmérő eszközzel segítettük. Ez az eszköz képes a vízszinteket percenként rögzíteni, így sűrűbb vízszint idősort ad eredményül. Jelentősége elsősorban a próbaszivattyúzásokkor mutatkozik meg.



9. ábra DATAQUA digitális vízszintmérő

2.2.2. Vízállás idősor

A mérési eredményekből vízállás idősort kaptunk. A hetente mért vízállásokat grafikus formában mutatom be (10. ábra).



10. ábra Vízállás idősorok

2.2.3. A tó kapcsolata a felszíni és felszín alatti vizekkel

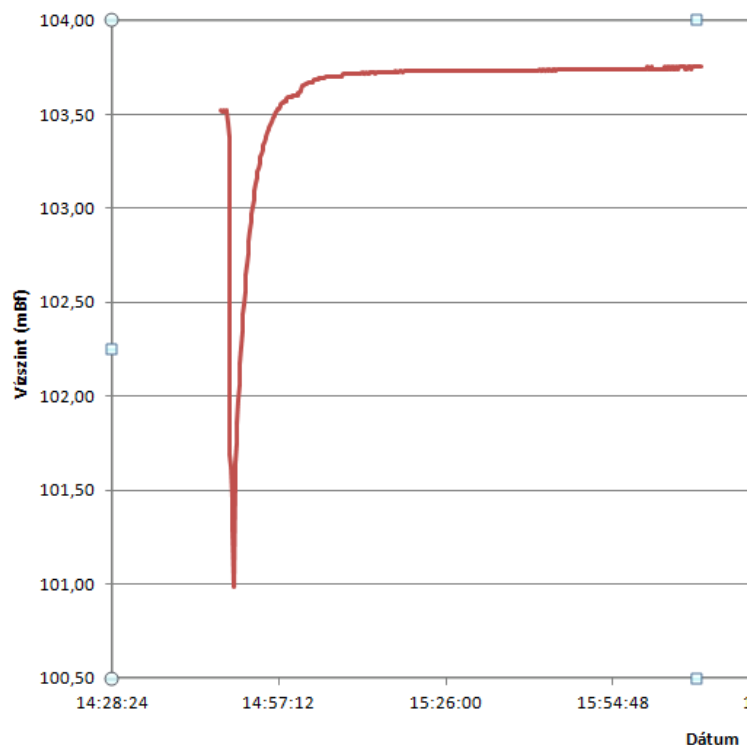
A 10. ábrán látható, hogy a négy kútban mért vízszint közel egyformán változik az idő múlásával. A tótól északra elhelyezkedő kút (FEN01) és a déli (FEN04) között a vízszintkülönbség a vizsgált kilenc hónapban közel állandó: 2,5 m. A keleti (FEN03) és a nyugati (FEN02) kút vízszintje közel egyenlő. A nyugati kút (FEN02) görbéjén meglátszanak a júliusban és októberben készített próbaszivattyúzások okozta lassú visszatöltődési folyamatok. A kutak vízszintjét a tó kisimítva követi, a vízszintváltozás a keleti (FEN03) kúttal közel azonosan zajlik, megközelítőleg 60 cm eltéréssel.

2.2.4. Próbaszivattyúzás

A talajok vízáteresztő képességének számításához próbaszivattyúzások adatai álltak rendelkezésre a kutak létesítésének időpontjából. Az első próbaszivattyúzás 2013 januárjában történt, a további vizsgálatokat 2013 októberében végeztük.

A szivattyúzás menete

- Elhelyeztük a leszívandó kútban a fentebb említett digitális vízszintmérő eszközt.
- Emelőszivattyú segítségével leszívtuk a kút vizét.
- Leszívás közben köbözéssel mértük a kitermelt vízhozamot.
- Lezártuk a kutat és megvártuk, míg visszatöltődik. Ez az agyagos talajban lassan áramló víznek köszönhetően néhány percet, de akár néhány napot is igénybe vehetett.
- Az adatokat a DATAQUA memóriájából számítógépbe táplálva tudtam a leszívás-visszatöltődés jelleggörbéjét ábrázolni.



11. ábra FEN03 Kút leszívás-visszatöltődés jelleggörbéje 2013. október 1.

A leszívás-visszatöltődés görbén látható, hogy a leszívás gyakorlatilag pillanatszerű, míg a visszatöltődés fokozatos, időben változó intenzitású. Az ilyen görbe az alacsony áteresztőképességű agyag talajokra jellemző.

A méréshez használt műszerek, eszközök

- Emelőszivattyú. Mivel a szivattyú a levegő nyomását kihasználva képes a vizet kitermelni, elméleti szívómagassága 10 m lenne 1 Atm légnyomáson. A szivattyú hatásfoka nem lévén 100% körülbelül 8 méter mélységig tudtuk a vizet a kutakban leszívni.
- A DATAQUA műszert már a vízszintméréseknél ismertettem.
- A köbözést digitális stopper (Mobiltelefonba épített) és térfogatjelölésekkel ellátott vödör segítségével végeztük.

2.2.5. Szivárgási tényezők számítása

A leszívás, visszatöltődések idősorát az „Egykutas Theis-módszer”, visszatöltődési vizsgálat segítségével számítottam:

$$\Delta s' = \frac{Q}{4T\pi} \left(\ln \left(\frac{2.25tT}{Sr^2} \right) - \left(\frac{2.25t'T}{Sr^2} \right) \right) = \frac{Q}{4T\pi} \ln \left(\frac{t}{t'} \right) = \frac{0.183Q}{T} \lg \left(\frac{t}{t'} \right)$$

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s'}$$

s' a maradék vízszintsüllyedés [m],

r az észlelés távolsága a kúttól [m],

T transzmisszivitás [m²/s] $T=k \cdot$ rétegvastagság (esetünkben 12 m)

k a szivárgási tényező [m/s]

S tározás a leszívás alatt [-],
 S' tározás a visszatöltés alatt [-],
 t a szivattyúzás kezdetétől eltelt idő [s],
 t' a szivattyúzás befejezésétől eltelt idő [s].

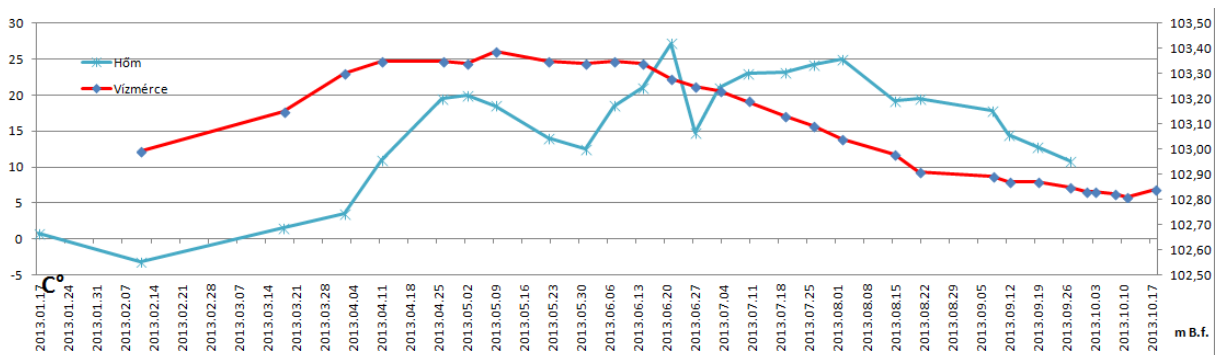
A szivárgási tényezőket a 1. táblázatban mutatom be.

1. táblázat Szivárgási tényezők

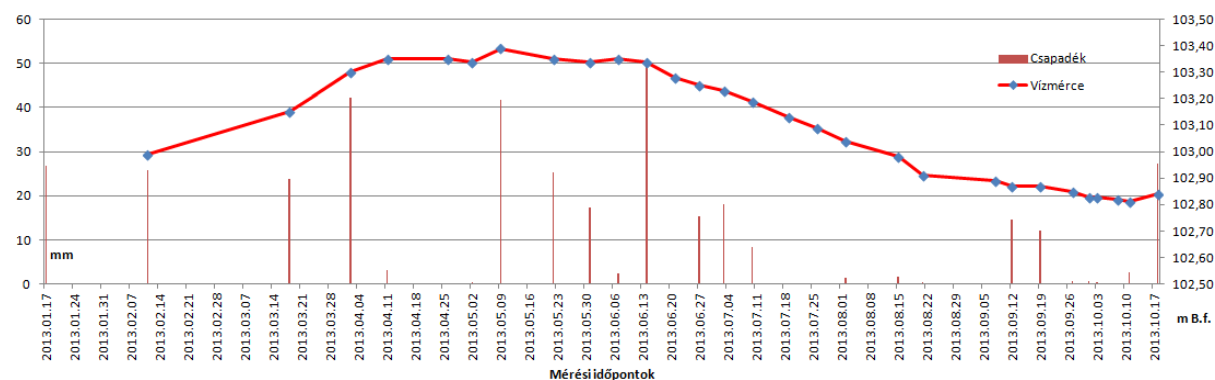
Kút jele	k [m/s]-csak visszatölt.		k [m/s]- leszívás, visszatölt.	
	(2013. jan.)	(2013. okt.)	(2013. jan.)	(2013. okt.)
FEN01	$4,56 \cdot 10^{-9}$	$7,21 \cdot 10^{-9}$	$6,43 \cdot 10^{-10}$	$5,12 \cdot 10^{-6}$
FEN02	$4,34 \cdot 10^{-8}$		$9,25 \cdot 10^{-8}$	
FEN03	$6,12 \cdot 10^{-8}$	$6,17 \cdot 10^{-8}$	$3,12 \cdot 10^{-8}$	$1,08 \cdot 10^{-6}$
FEN04	$4,22 \cdot 10^{-5}$	$3,64 \cdot 10^{-8}$	$6,22 \cdot 10^{-6}$	$5,98 \cdot 10^{-6}$

2.3. Éghajlati adatok gyűjtése

A környék éghajlata Budapest éghajlatával megegyezik. A 2013-as év csapadékadatát a Kitaibel Pál csapadékmérő állomásról szereztem be, továbbá a napi átlagos középhőmérsékleteket az országos meteorológiai szolgálat honlapjáról olvastam le. Az adatokat a vízmérce vízállás idősorával grafikonon szemléltetem (12., 13. ábrák).



12. ábra A mérések időpontját megelőző hét napi középhőmérsékleteinek átlaga



13. ábra A mérések időpontját megelőző hét nap csapadékösszege

A napi középhőmérsékletek (12. ábra) alapján megállapítható, hogy a hőmérséklet növekedésével a tó vízszintjének emelkedése fokozatosan lassul, míg végül a nyári hónapok magas hőmérsékletei fokozatos csökkenést okoznak. Ez a jelenség a párolgásnak tudható be.

A 13. ábráról megállapítható, hogy a méréseket megelőző hét csapadékeseményei jelentősen befolyásolják a tó vízszintjének változását. A 103.35 körüli maximumát a május - júniusi nagy esőzések nem hagyják csökkenni a magas hőmérséklet ellenére, míg a nyárvégi hónapok csapadékhiányos időszaka fokozatos csökkenést mutat.

3. Numerikus modellezés

3.1. A FEFLOW hidrodinamikai modellező szoftver

A WASY Ltd. FEFLOW programja egy kifejezetten talajvízáramlás modellezésre kifejlesztett szoftver, emellett alkalmas hő- és szennyezőanyag transzport számítására. A program véges elemek módszerével dolgozik. A számítás alapjául a szivárgás alapegyenlete szolgál:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_0 \frac{\partial h}{\partial t}$$

Az általam használt verzió a 2002-es FEFLOW 5.0. A program, a „single seat licence” miatt egy vele egykorú gépen fut csak el, ez jelentősen megnövelte a számítási időt.

3.2. Elméleti modellek – modell elrendezések

A tavat tápláló felszín alatti vizekről több elmélet is született. Az egyik lehetőség, hogy a felső rétegekben áramló vizek táplálják a tavat. Ez esetben tulajdonképpen csak a csapadék és a párolgás okozzák az eltérést a tó és a talajvízkutak vízállás idősorai között. A másik verzió szerint a szürke agyagrétegben homokerek vizet szállítanak, és ezek alulról táplálják a tavat (Vendl 1930, Csallány et al. 1954 alapján). Az általam készített numerikus modellben csak az első változatot vizsgáltam meg, mivel a homokerek létezését a négy pontban végzett geológiai vizsgálatok nem mutatták ki, így modellben való megjelenítésük csak próbálgatással lett volna lehetséges.

Háromféle numerikus modellváltozatot hoztam létre: egy kétdimenziós, tó nélküli változatot, a peremfeltételek meghatározásához, és az anyagjellemzők kalibrálásához, és kétféle háromdimenziós modellt a tó és a felszín alatti vizek kölcsönhatásának vizsgálatához. Ezeknek a különbözőségeit később részletezem.

3.3. Kiindulási adatok

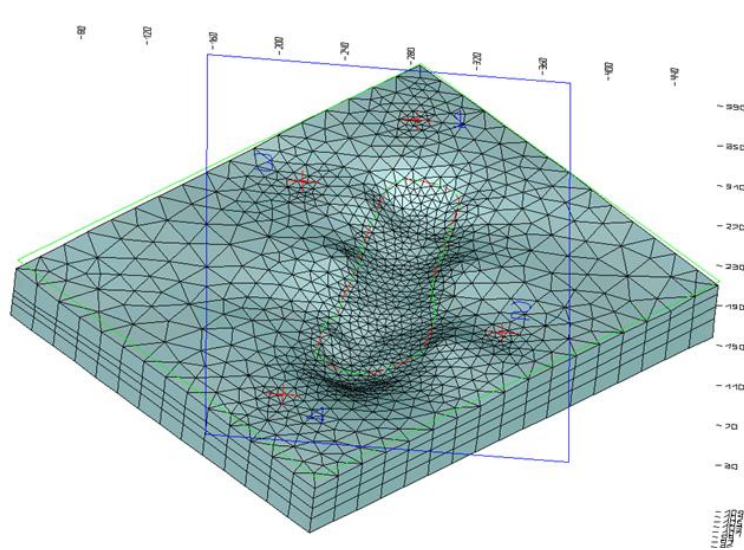
A modellezés során az adatokat a korábbi terepi megfigyeléseim, laboratóriumi munkáim, és számítási eredményeim alapján vittem számítógépbe.

Első lépésként a modellezendő területet lehatároltam oly módon, hogy a terület határa minden kúttól legalább 40 m távolságba essen. A lehatárolást a peremfeltételeknél leírtak miatt később elforgattam. A számításokhoz a lehatárolt területen a kutak és a tó környezetében sűrített véges elemes hálót generáltam.

A háromdimenziós terepmodell elkészítéséhez rendelkezésemre álló szintvonalas térképet digitalizáltam, és szintvonalakat sűrítettem rajta. A meder kialakításához a 2010-es SCIAP mederfelmérés eredményeit is felhasználtam. A felszín alatti rétegződést a fúrásszelvények alapján vittem be, majd a FEFLOW segítségével a négy tereppontból egy felületet hoztam létre. A modell elkészítésekor azzal az egyszerűsítéssel éltem, hogy csak a talajvíz áramlásakor érintett alsó három (szürke, sárga, barna) agyagréteget vittem be a modellbe, legfelső feltöltés anyagjellemzőit elhanyagoltam, a réteget összevontam a barna réteggel. Ennek ellenére a 14. ábrán négy réteg látható, mivel a legalsó szürke réteget a talajvízkutak talpánál elmentestük. Erre azért volt szükség, mert a kutakat egy-egy rétegre tudtam csak

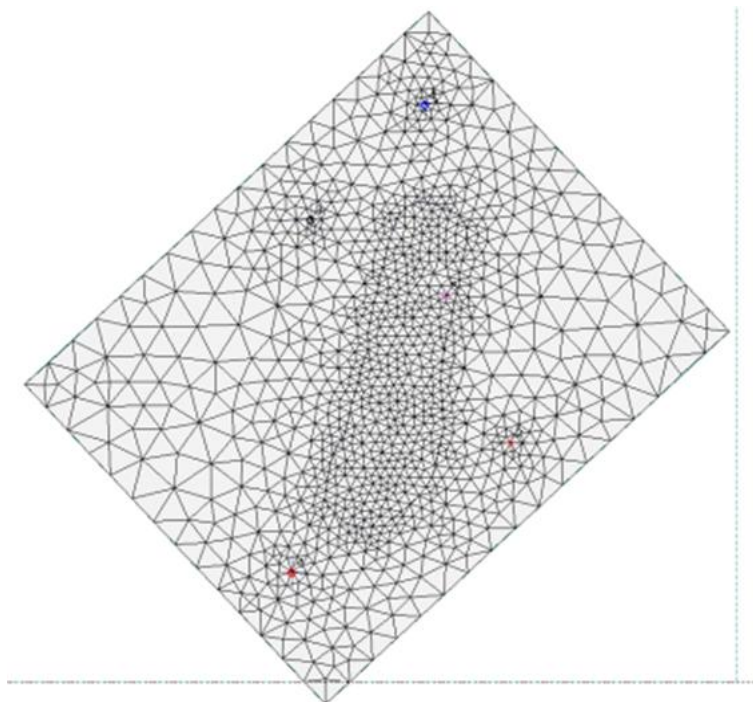
megadni a szoftverrel, így modellemben a felső szürke rétegben még volt kút, az alsóban már nem.

A 14. ábrán a rétegződés mellett jól látható a tó helyén lévő mélyedés. A talajvíz kutakat a piros kereszttek jelölik.



14. ábra A háromdimenziós terepmodell

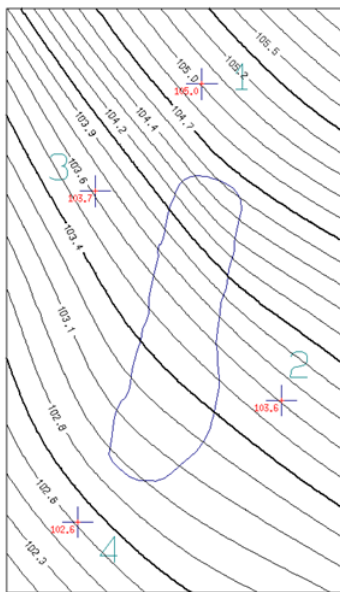
A futtatás eredményeinek jobb szemléltetéséhez a FEN kutak helyén a modellben ellenőrző pontokat létesítettünk (15. ábra színes pontjai).



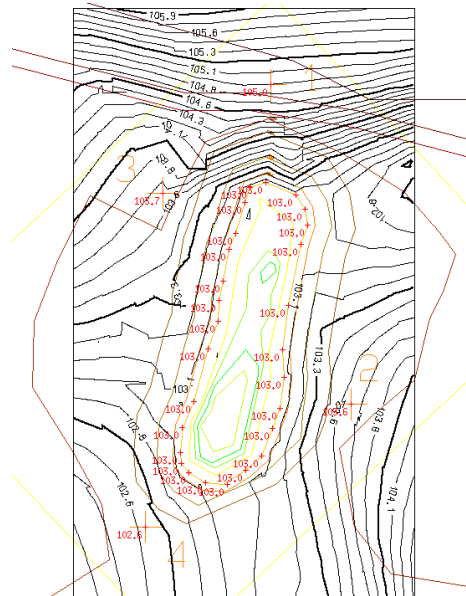
15. ábra 3D modell peremfeltételei

3.4. Peremfeltételek meghatározása

A peremfeltételek meghatározása összetett feladat volt, mivel a lehatárolás mentén nem található fizikai határ, vagyis nincs folyó vagy egyéb természetes perem. Azonos időben mért kútbeli talajvízadatok alapján (16. ábra) a lehatárolás területét az áramlás irányába (ÉK-i irányba) forgattam, hogy a modell szélein egyszerű peremfeltételeket fogalmazhassak meg. Az elforgatáskor a tó nélküli modellt vettem alapul, a program által a négy kút vízszintjeire illesztett felület segítségével határoztam meg ekvipotenciális szinteket, melyeket új határként adtam meg. A 17. ábrán egy olyan modellváltozat látható, melyben a felszín alatti víz szintjének meghatározásához a tavat is figyelembe vettem, így jóval összetettebb áramképet kaptam. Jól látható, hogy a tó nagymértékben képes befolyásolni a felszín alatti vízszintviszonyokat. Az egyszerűség kedvéért az elforgatott változattal dolgoztam tovább, hiszen a tó nélküli modell alkalmasabb volt a kezdeti- és peremértékek meghatározására.

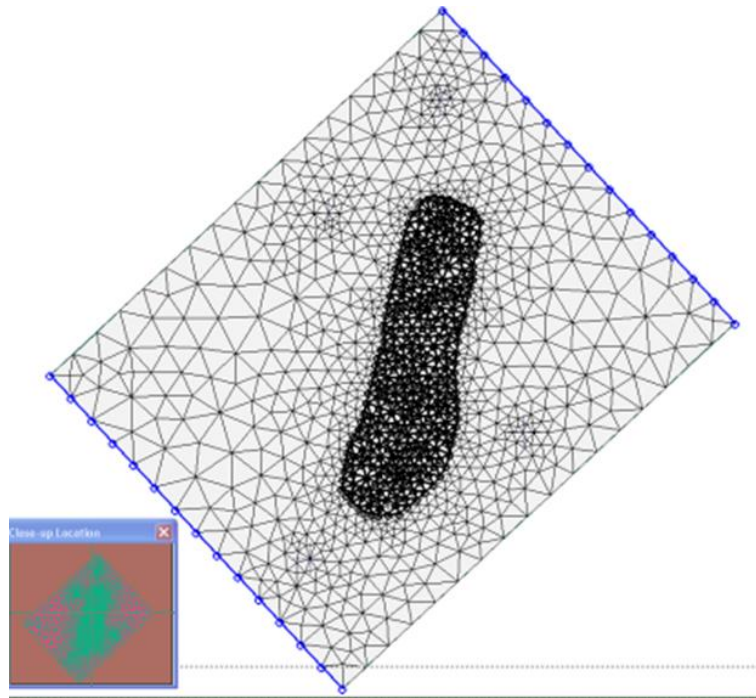


16. ábra Talajvíz potenciál vonalak (kutak alapján)



17. ábra Talajvíz potenciál vonalak (a tó és a kutak)

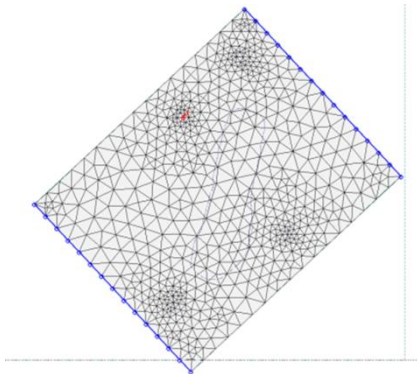
Az elforgatás után a lehatárolás északkeleti szélén 105 m magas, a délnyugati szélén pedig 102,5 m magasságban vettem fel a talajvíz értékét, minden rétegre. Ezzel a modellben potenciálkülönbséget hoztam létre, ami áramlást generált. Ezeket az értékeket a kétdimenziós, tónélküli permanens futtatásokkal állítottam be, vagyis addig módosítottam a peremfeltételeket, amíg a kívánt vízszintekhez közeli értékeket kaptam a kutakban. Az első háromdimenziós változatban további peremfeltételként a modell legfelső rétegén a tó területére transfer típusú peremfeltételt tettem, 102,95 m kiindulási vízszint-értékkal, ami egy valószínűleg is mért érték. Ennek a rétegnek hidraulikai ellenállását $\text{in}=10\text{m/d}$; $\text{out} = 1 \text{ m/d}$ –re határoztam meg. A beállított peremfeltételek a 18. ábrán láthatóak.



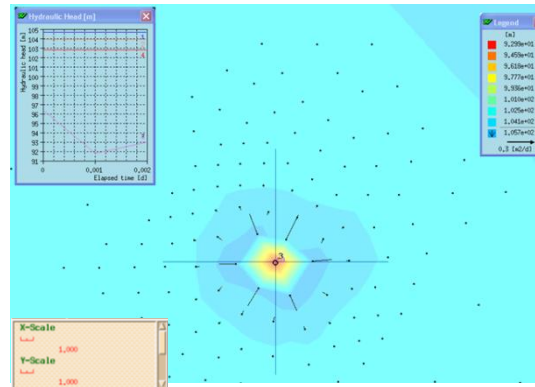
18. ábra 3D modell peremfeltételei

3.5. Anyagjellemzők meghatározása

Az anyagjellemzők meghatározásához a 3.2.5 fejezetben számított szivárgási tényezőket vettem alapul. A szivárgási tényezőt egy tó nélküli kétdimenziós modell anyagállandójának feltételeztem. A modellben a fenti módon meghatározott peremfeltételeket alkalmaztam, és a FEN03 kút leszívás adatait betáplálva a fajlagos tárolási tényezőt kalibráltam. Ez 0,0028 -re adódott.

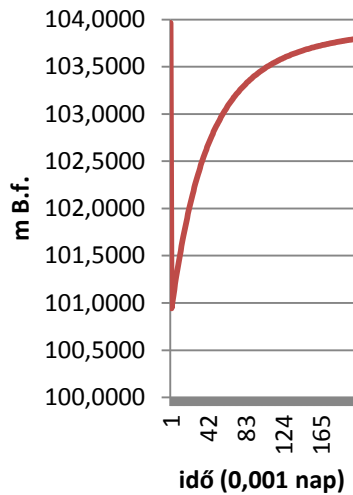


19. ábra 2D modell végeelemes hálója

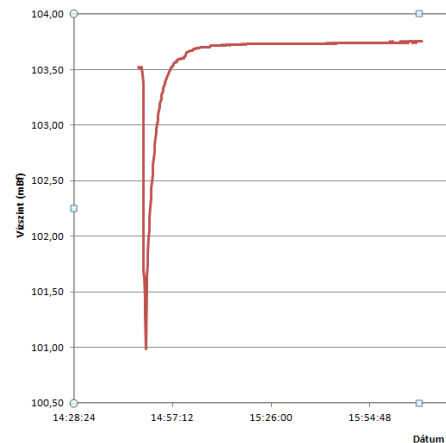


20. ábra 2D modell futtatási eredménye – leszívás a FEN03 kútnál

A 20. ábrán egy olyan vízszintábrát láthatunk, mely a próbaszivattyúzás megszűnésének pillanatában jelentkezett a FEN03 kút környékén. A leszívási tölcser sugara 10 m, vagyis se a tavat, se a többi kutat nem érte el a leszívás hatósugara. Ez a terepi megfigyelésekkel megegyezik: a próbaszivattyúzások hatására egyik megfigyelési ponton se történt vízszintsüllyedés.



21. ábra A FEN03 kút leszívási jelleggörbéje a modellben



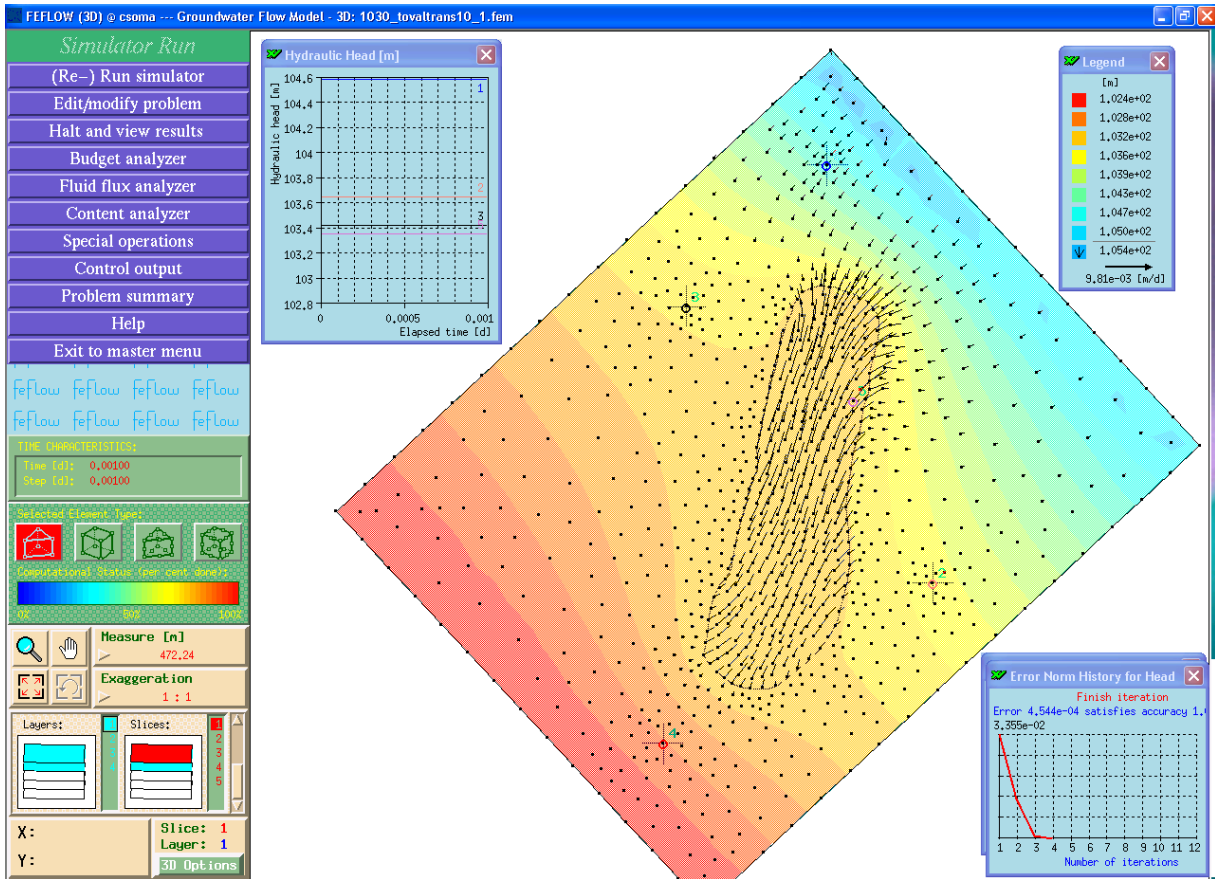
22. ábra A FEN03 kút leszívási jelleggörbéje a mérési adatok alapján

A validációt megnehezítette a szivattyúzott vízhozamok ingadozása és a rövid szivattyúzott időtartamok. A FEN01-es kút szivattyúzásával például irreálisan nagy leszívási mélységet kaptam. Sok próbálkozás után sem sikerült kellőképpen validálni a modellt, így önkényesen elfogadtam a kalibráció során beállított értékeket.

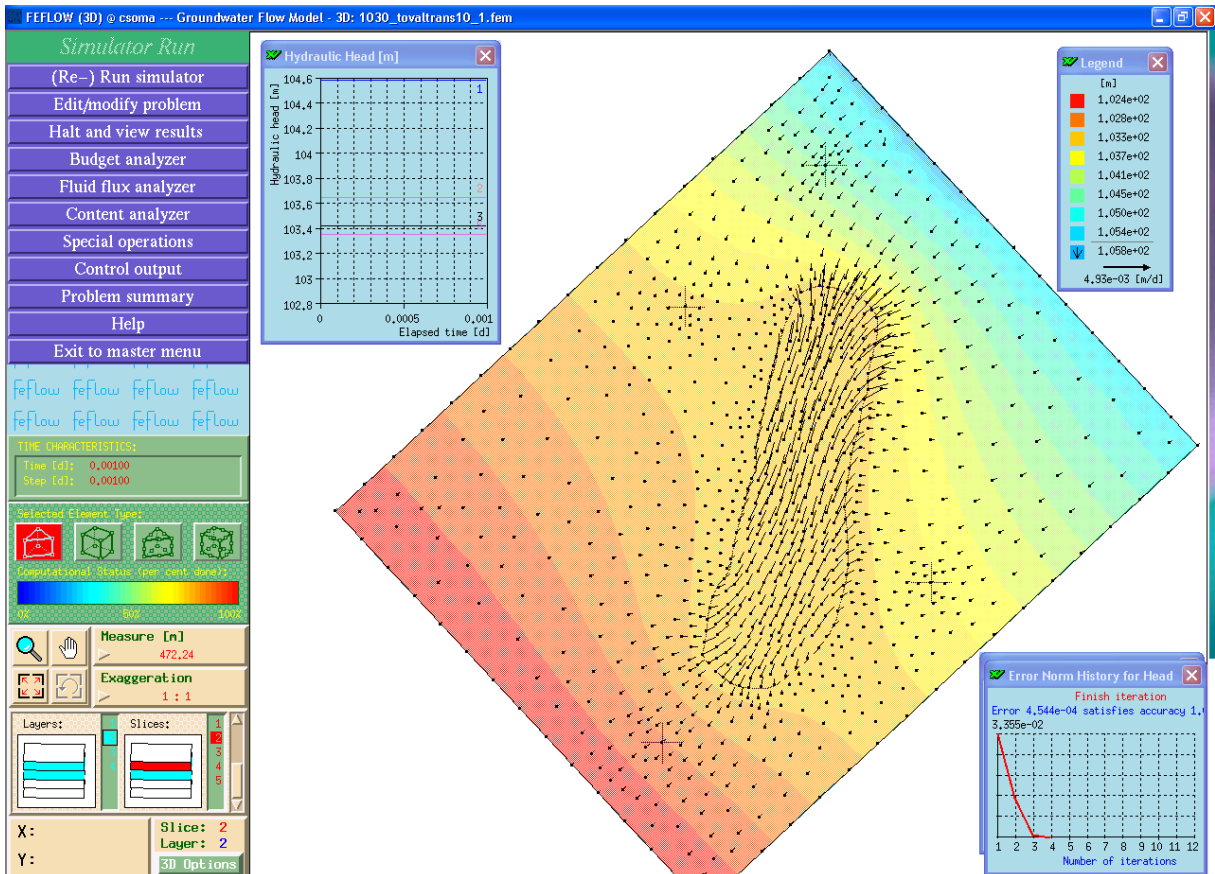
A háromdimenziós modell egyes rétegeinek anyagjellemzőinek meghatározásakor azzal a feltételezéssel éltem, hogy a jelentős áramlás valószínűleg a sárga agyagban zajlik, hiszen a kutak vízszintingadozása nagyrészt itt zajlott. Ennek a rétegnek a szivárgási tényezője a már korábban ismertetett 10^{-7} m/s nagyságrendű. A fölttte elhelyezkedő agyagban szintén ezt az értéket vettem fel, míg az alsó rétegben ennél kisebbet ($9 \cdot 10^{-9}$ m/s), mivel ez egy még nem oxidálódott, üde agyagrétegnek tekinthető.

3.6. Háromdimenziós modellezés

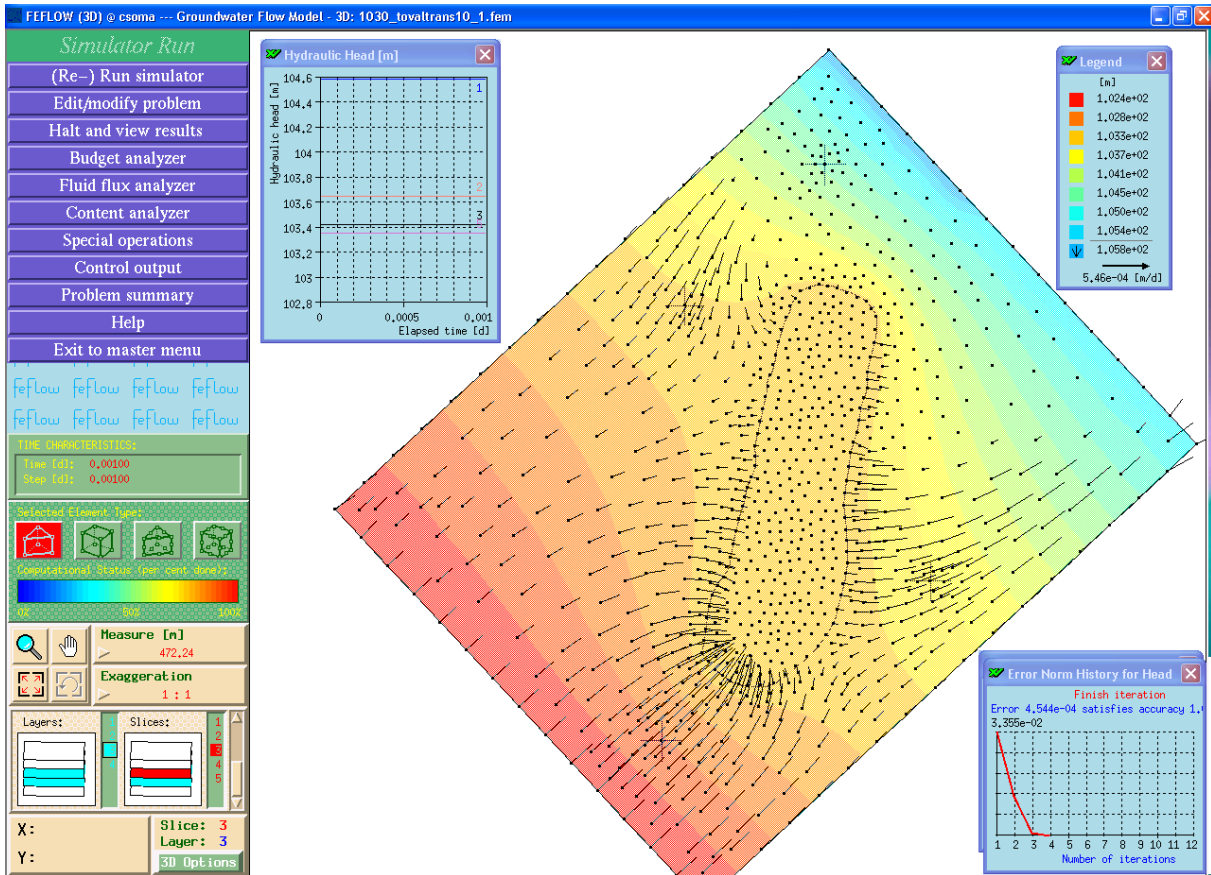
A háromdimenziós, transfer réteggel ellátott futtatás eredményeként sikerült a valósághoz közelítő eredményeket kapnunk (23-26. ábrák). A felső rétegekben a legnagyobb áramlás a tó környékén zajlik (23-24. ábra), míg a szürke rétegben az áramlás ennél jóval kiegyenlítettebb (25. ábra). Ennek oka, hogy a tó belemetsz a barna és sárga rétegekbe, a szürkébe azonban már nem, így csak közvetett hatást tud rá kifejteni. A transfer peremfeltétel és a kútban lévő szivárgási tényező módosításával elértem, hogy a tóban vízszintes legyen a víz, az első futtatásokban ugyanis itt akár 80 centiméteres esések is kialakultak, ami ekkora tónál lehetetlen. A megfigyelőkutakban mért vízszint a FEN01 és 04 kutakban a valósághoz közeli értéket kapott, míg a tó vízszintje és a FEN02 és 03 kutakban mért szintek a mértnél magasabbra adódott. Ezt a hibát több futtatással se sikerült megszüntetni. A pontos értékeket a fejezet végén lévő 2. táblázatban foglaltam össze.



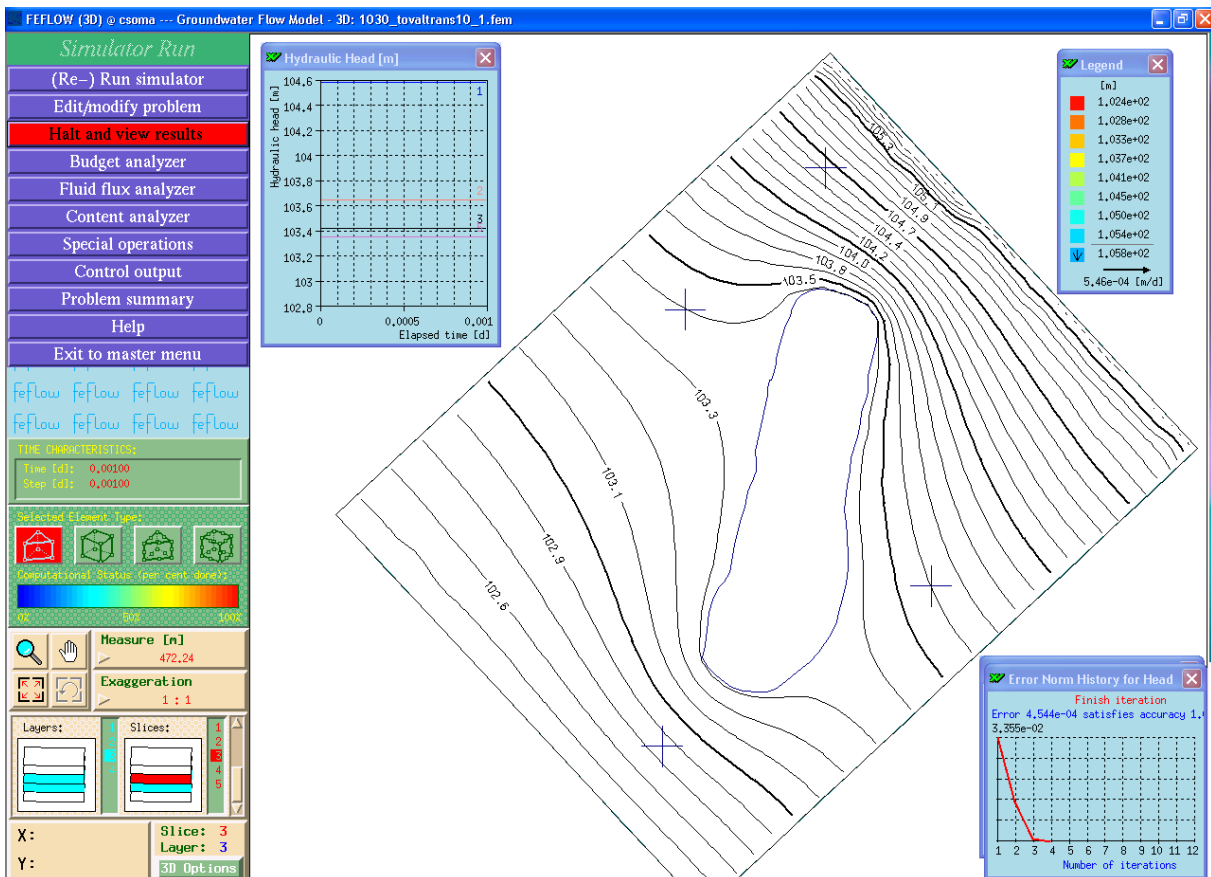
23. ábra Permanens áramlás a barna rétegben



24. ábra Permanens áramlás a sárga rétegben



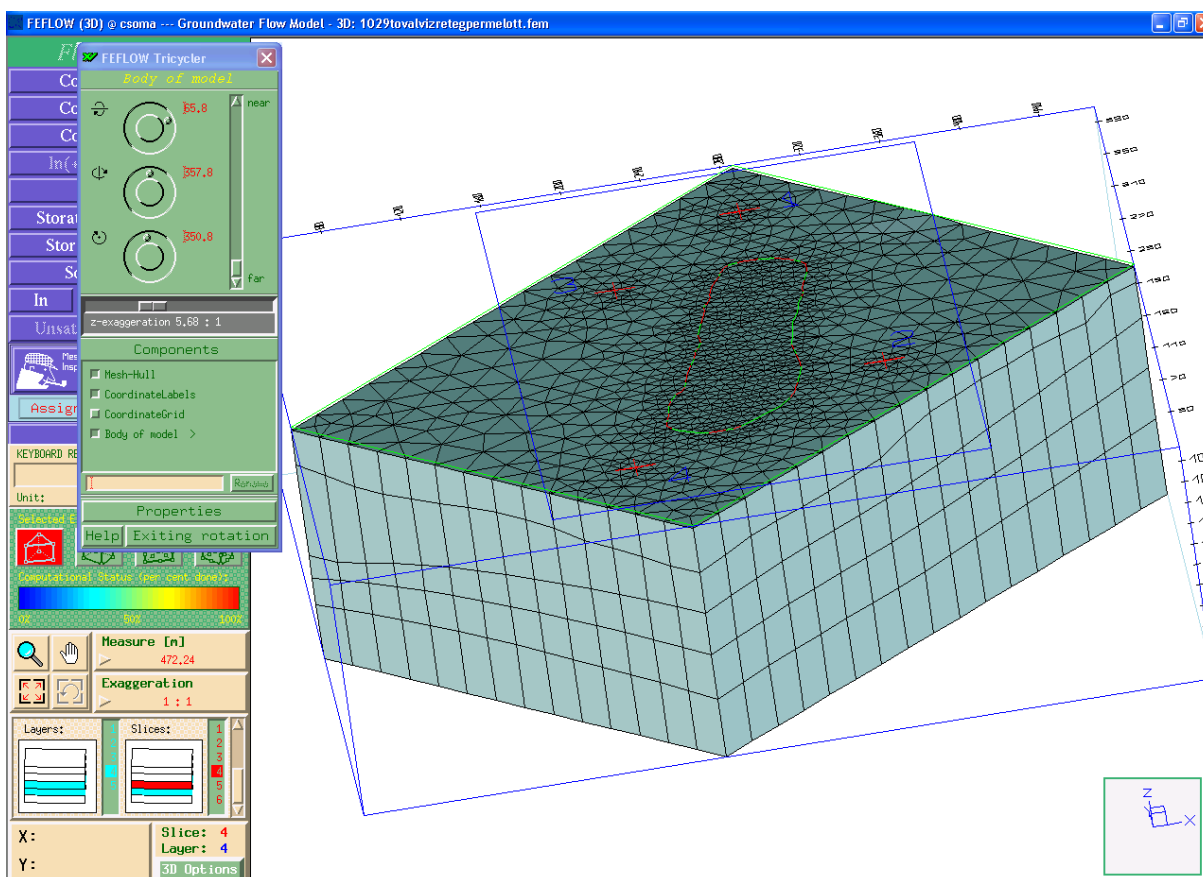
25. ábra Permanens áramlás a szürke rétegben



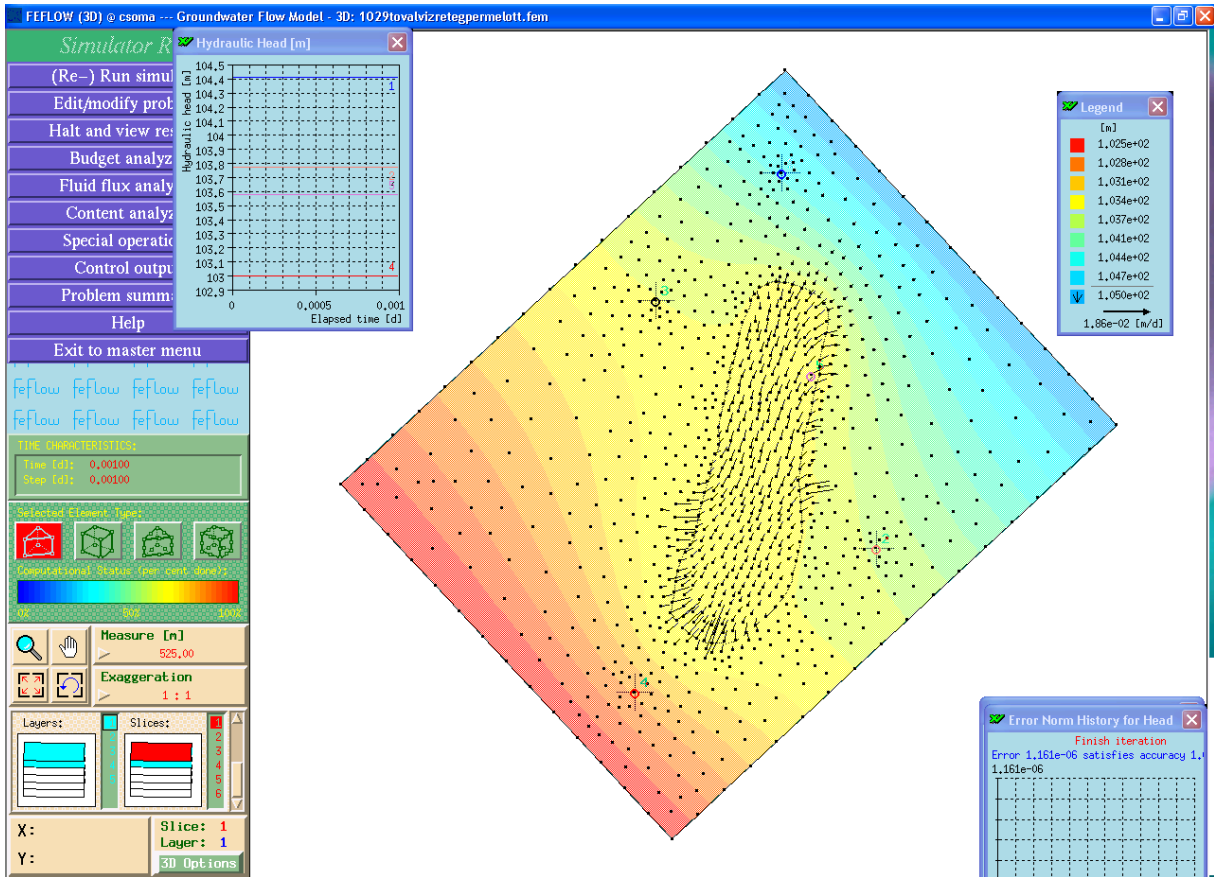
26. ábra A talajvízszintek szintvonalas ábrája

A tó más módon történő modellezéséhez készítettem egy olyan modellt is, melyben a 3. típusú Cauchy peremfeltétel helyett a tómedret és vele a teljes felszínt olyan anyaggal töltöttem ki, melynek áteresztőképessége igen nagy ($k=1\text{m/s}$) (27-30.ábra). Az ötletet az adta, hogy a FEFLOW eredetileg felszín alatti áramlásokra készült, vagyis a felszíni vizek csak másodlagosan, mintegy peremfeltételként vannak figyelembe véve, így viszont az áteresztő rétegben kvázi felszín alatti vízként egy felszín alatti modell teljes jogú része tud lenni. A nagy áteresztő képességű réteg beépítésével elértem, hogy a víz átlépje a meder falát, amire ebben az esetben hidraulikus ellenállást nem tudtam megadni.

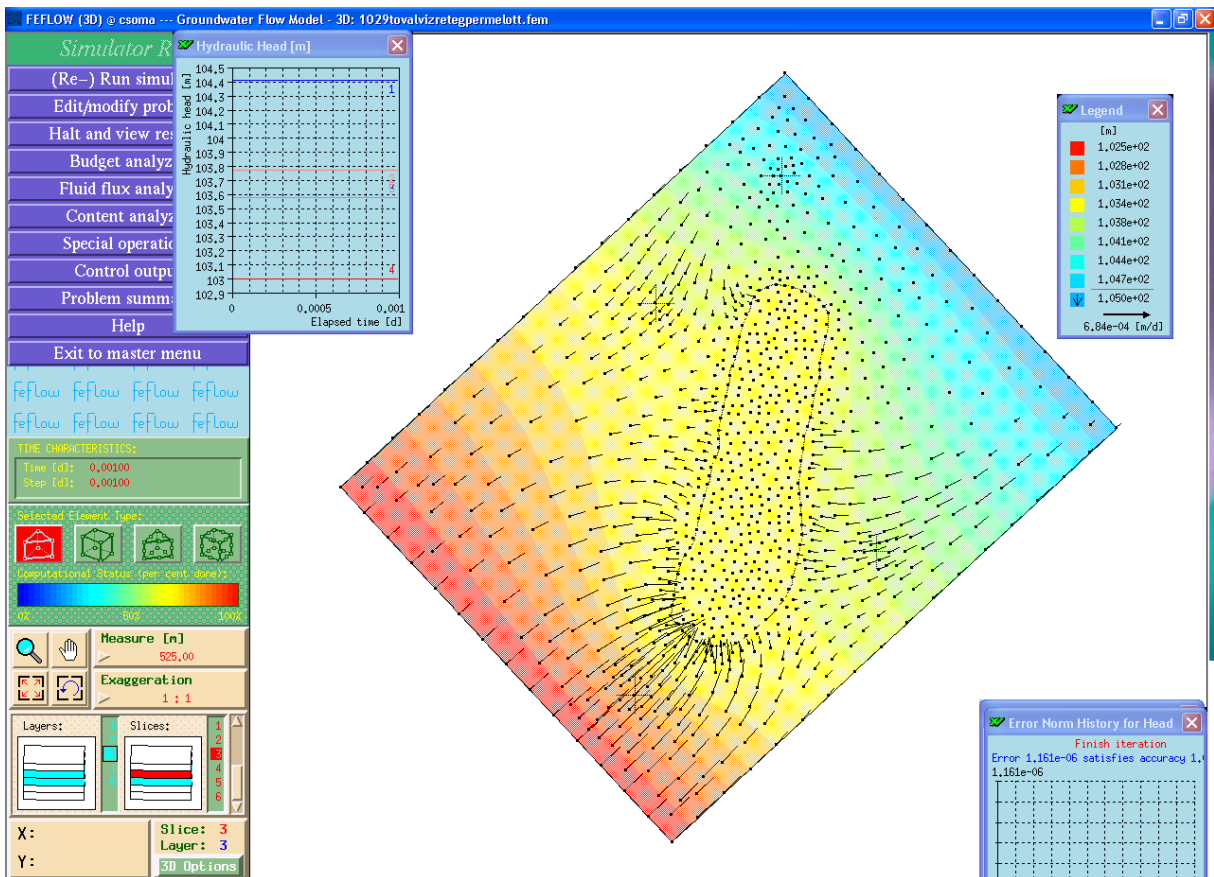
A modell a transfer réteggel történt modellezési esethez hasonló eredményeket adott, vagyis a terepen mért eredményeket csak helyel-közzel sikerült visszacapni, viszont a különböző rétegekben kialakult áramképek megváltoztak. A modellváltozat nagy előnye, hogy a tóba való be- és kiáramlás szebben kirajzolódik. A tó alatti szürke rétegben számottevő áramlás csak a tó déli végén jött létre (30. ábra).



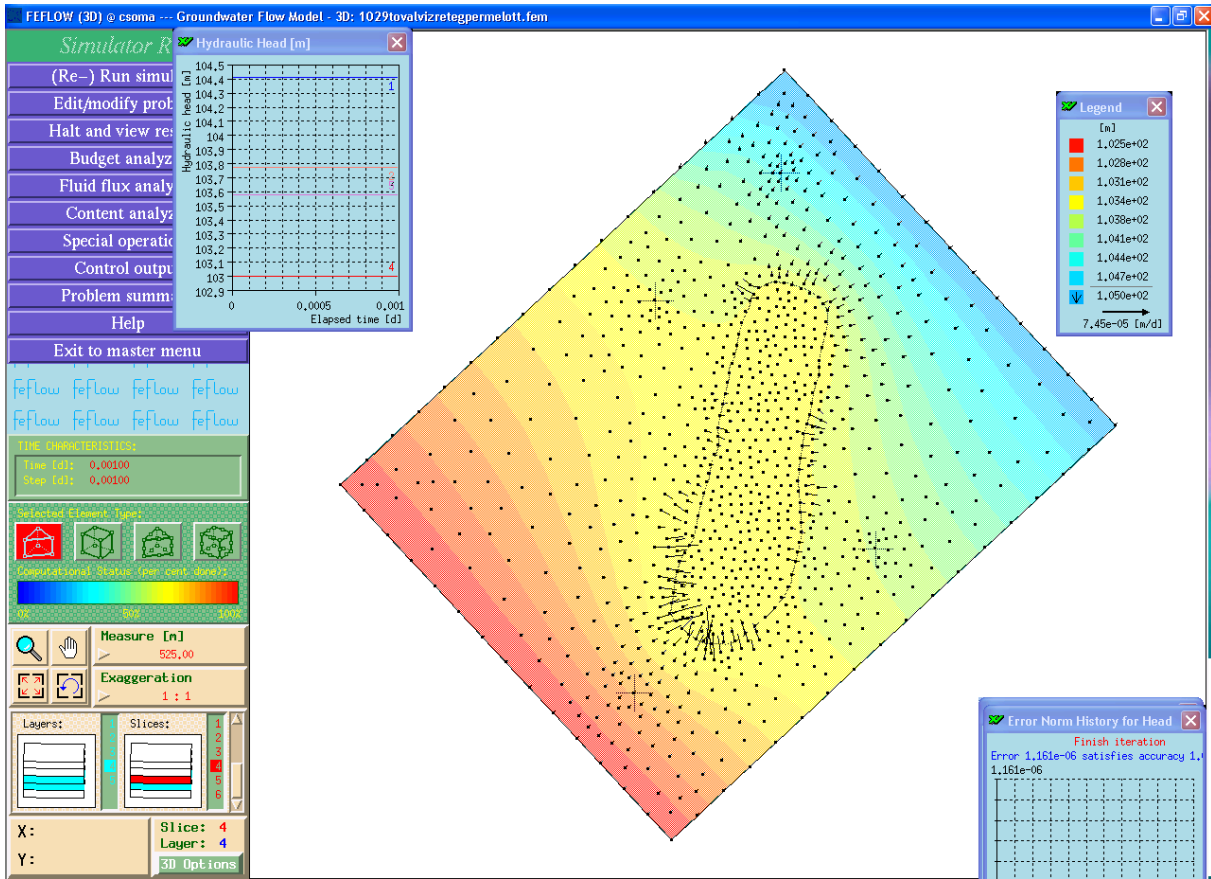
27. ábra Felső réteggel kiegészített modell



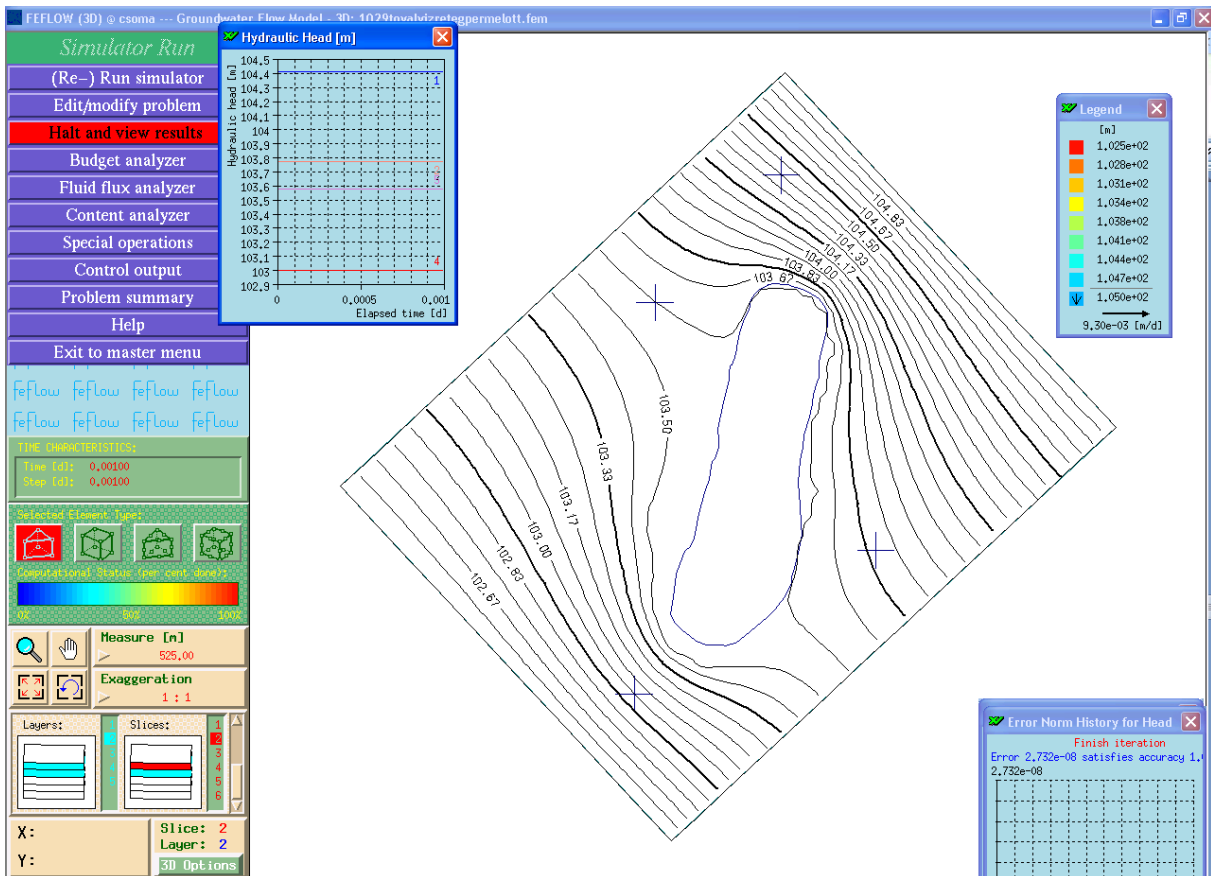
28. ábra Permanens áramlás a nagy átteresztőképességű rétegben



29. ábra Permanens áramlás a sárga rétegben



30. ábra Permanens áramlás a szürke rétegben



31. ábra A potenciálvonalak alakulása a nagy átteresztőképességű anyag beépítésével

A 26. és 31 ábrákat összehasonlítva megállapítható, hogy alakilag a két ábra megegyezik, csak a vízszintben vannak kisebb különbségek. A 2. táblázatban összefoglaltam a futtatások eredményeit.

2. táblázat: Vízszintek összehasonlítása (m B.f.)

Kút/Ellenőrző pont	Modell 1.(transf)	Modell 2.(k=1m/s)	Terepi mérés jan.08.
FEN01	104,42	104,60	104,92
FEN02	103,78	103,62	103,64
FEN03	103,59	103,42	103,65
FEN04	103,00	102,80	102,59
Vízmerce	103,58	103,28	102,95

4. Összefoglalás, értékelés

A tudományos munkám során a Feneketlen-tó vízszintváltozásainak kérdéskörével foglalkoztam:

- Megvizsgáltam a FEN kutak talajmechanikai mintáit.
- Fúrás- és rétegszelvényeket szerkesztettem.
- Megmértem a tó és a kutak vízszintjeit heti rendszerességgel.
- Próbaszivattyúzások segítségével számítottam a kutakra jellemző vízáteresztési együtthatókat.
- Beszereztem a környék éghajlatát meghatározó csapadék és hőmérsékleti jelenségek adatsorát.
- A tóról numerikus modellt készítettem.

4.1. A numerikus modellezés értékelése

A numerikus modellezés során kétdimenziós és háromdimenziós modelleket készítettem. Kétdimenziós modell segítségével határoztam meg azokat a peremfeltételeket és anyagjellemzőket, amiket a háromdimenziós futtatás során használtam. Ebben a modellben a tó hatását elhanyagoltam, a szivárgási tényezőt a valódi leszívási görbékből számított értékkel vettem fel, amit csak a középső, sárga agyagréteg jellemzőjeként használtam.

Permanens futtatásokkal határoztam meg az északkeleti és délnyugati peremeken a fix potenciál értékeket, és próbaszivattyúzás modellezésével állítottam be a tárolási tényezőt.

Ezeket használtam fel a háromdimenziós modellezés során, ahol már figyelembe vettem a tó hatását és a rétegződést is. Az első verzióban a tavat transfer peremfeltétel megadásával, a másodikban nagy áteresztőképességű réteggel modelleztem. A két modellezés hasonló eredményeket adott. A tó vízszintje mindkét esetben magasabb lett, mint a valóságban mért. A kutak jobb egyezést mutattak. A modellekben jól látható, hogy a talajvíz és a tó között kapcsolat van: az északi peremen a talajvíz táplálja a tavat, míg a déli peremen a víz kiáramlik a tóból. Ez a modell eredmény az igazolja az adatsorok alapján feltételezett kapcsolatot.

A tökéletlen egyezésekből arra következtek, hogy a tó környéki áramlások a feltételezettnél összetettebb rendszert alkotnak, aminek leírására további modellezésre van szükség. Munkámat ugródeszkaként használva létrehozható a Feneketlen-tó környezetének átfogó hidrogeológiai modellje.

5. Felhasznált irodalmak, szabványok, alkalmazott szoftverek

5.1. Szakirodalom

- Barta E. (2012): Kisminta modell használhatóságának kérdései a szivárgási tényező meghatározásánál, TDK dolgozat, BME
- Csallány S. (1954): A Lágymányosi tó hidrogeológiája, Hidrológiai Közlöny 34. évf. I-II. sz. 67-69.
- Görög P. (2008): Budai eocén és oligocén korú agyagtartalmú kőzetek mérnökgeológiai értékelése, Ph.D. értekezés, BME
- Hajnal G., Kleb B., Török Á. (2008): Részletes szakvélemény A Feneketlen-tó földtani, vízföldtani viszonyairól és vízszint ingadozásáról, BME Építőanyag és Mérnökgeológia Tanszék
- Horusitzky H. (1938): Budapest Székesfőváros hidrogeológiai viszonyai, Hidrológiai Közlöny
- Kollár Gy., Vas K., Raum L. (1983): A Magyar Hidrológiai Társaság IV. Országos Vándorgyűlése III. kötet, Víztisztaság-védelem, Környezetvédelem, Győr, 1983. június 29-30.
- SCIAP Kft. (2010): Jelentés a Feneketlen-tó monitorozásának 2010. októberi mintavételi eredményeiről, Debrecen
- Szlabóczky P. (2010): Hajszalerek, Mérnök újság 6-7.sz.
- Szlabóczky P. (2013): A Feneketlen-tó környezetének hidrogeológiai viszonyai, Magyar Hidrológiai Társaság, 2013. február 19.
- Vendl A. (1931): A lágymányosi talajvízről, Hidrológiai Közlöny, 31-44.

5.2. Laboratóriumi vizsgálatok

A talajok azonosítását, és osztályozását végeztem el. Az ide vonatkozó talajmechanikai szabványok:

- MSZ EN 14688-2:2005 Geotechnikai vizsgálatok. Talajok azonosítása és osztályozása.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-1:2006 Geotechnikai vizsgálatok. A víztartalom meghatározása.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-4:2006 Geotechnikai vizsgálatok: A szemeloszlás meghatározása.
- MSZ 14043-4:1980 Talajmechanikai vizsgálatok. Konzisztenciahatárok.

5.3. Digitális adatfeldolgozás

- A talajvizsgálatok eredményeinek digitalizálása, számítása Excel táblázatkezelővel.
- Fúrás szelvények készítése a Strater Geotechnikai adatbáziskezelő szoftver segítségével.
- Rétegszelvények szerkesztése AutoCAD tervezőszoftver alkalmazásával.
- Adatgyűjtés az Országos meteorológiai szolgálat honlapjáról.
- Modell alkotás .
 - Geometriai adatok vektorizálása szintvonalas térképről AutoCAD használatával.
 - Végeeselemes modell kidolgozása FEFLOW segítségével.

6. Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönet Témavezetőimnek **Dr. Hajnal Gézának**, és **Karay Gyöngyinek**, akik tudományos segítségen túl, lelki támogatást is nyújtottak, és nem hagyták, hogy lankadjak a munkában.

Továbbá szeretném megköszönni az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék dolgozóinak: Görög Péternek, Bodnár Nikinek, Emszt Gyulának, Pálincás Bálintnak, hogy elindították labormunkáimat, szakmai tanácsaikkal segítettek, és helyet biztosítottak méréseimnek és mintáimnak.

Valamint a Vízépítés és Vízgazdálkodási tanszék munkatársainak: Maller Mártonnak, Gnandt Boglárkának, Barta Eszternek, Rehák Andrásnak a számításokban, szerkesztésekben és helyszíni vizsgálatokban nyújtott segítségért.

Külön szeretném kiemelni Némethy Ferenc, a Geotechnika tanszék labormunkatársának magas szintű szakmai segítségét, akinek támogatása nélkül sohasem készültek volna el a geotechnikai vizsgálatok.

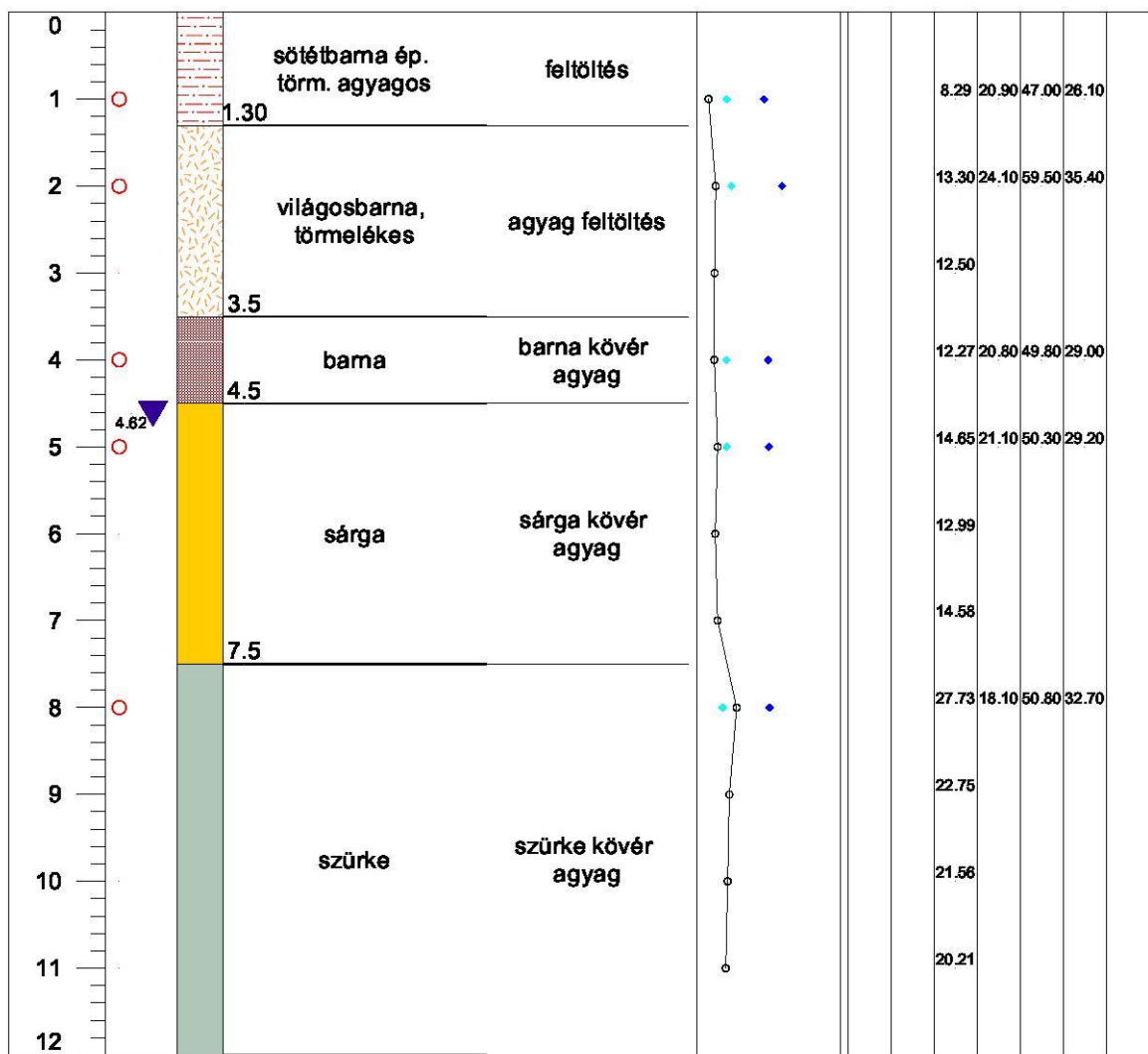
Továbbá Baracska Tamás MSc hallgatónak, aki rendelkezésemre bocsátotta készülő szakdolgozatának kiindulási adatait, a vízszintmérések eredményét.

A Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék valamennyi dolgozójának külön köszönetnyilvánítással szeretném megköszönni, hogy könnyed családi légkört teremtve megadták a nyugodt és kiegyensúlyozott munka lehetőségét.

7. Mellékletek

1. Melléklet

Fúrás név: FEN01		FÚRÁSSZELVÉNY						
EOV Y [m]: 649577.23	EOV X [m]: 237150.91	Projektvezető: Dr. Hajnal Géza	Projekt: FEN	Dátum: 2013.10.02.				
Magasság [m B.f.]: 109.58	Megbízó: BME VIT	Munkahely: Budapest, XI, Feneketlen tó						
Fúrás időpontja: 2012.12.22	Szerkesztő: Skublics Márk	Víztartalom						
		d60 [mm]	d10 [mm]	w [%]	w _p [%]	w _r [%]	Ip [%]	Ic [%]



Jelmagyarázat:

- megütött talajvízszint
- nyugalmi talajvízszint
- folyási határ
- zavart minta
- zavartalan minta
- sodrási határ

Talajvízszint észlelési idő:

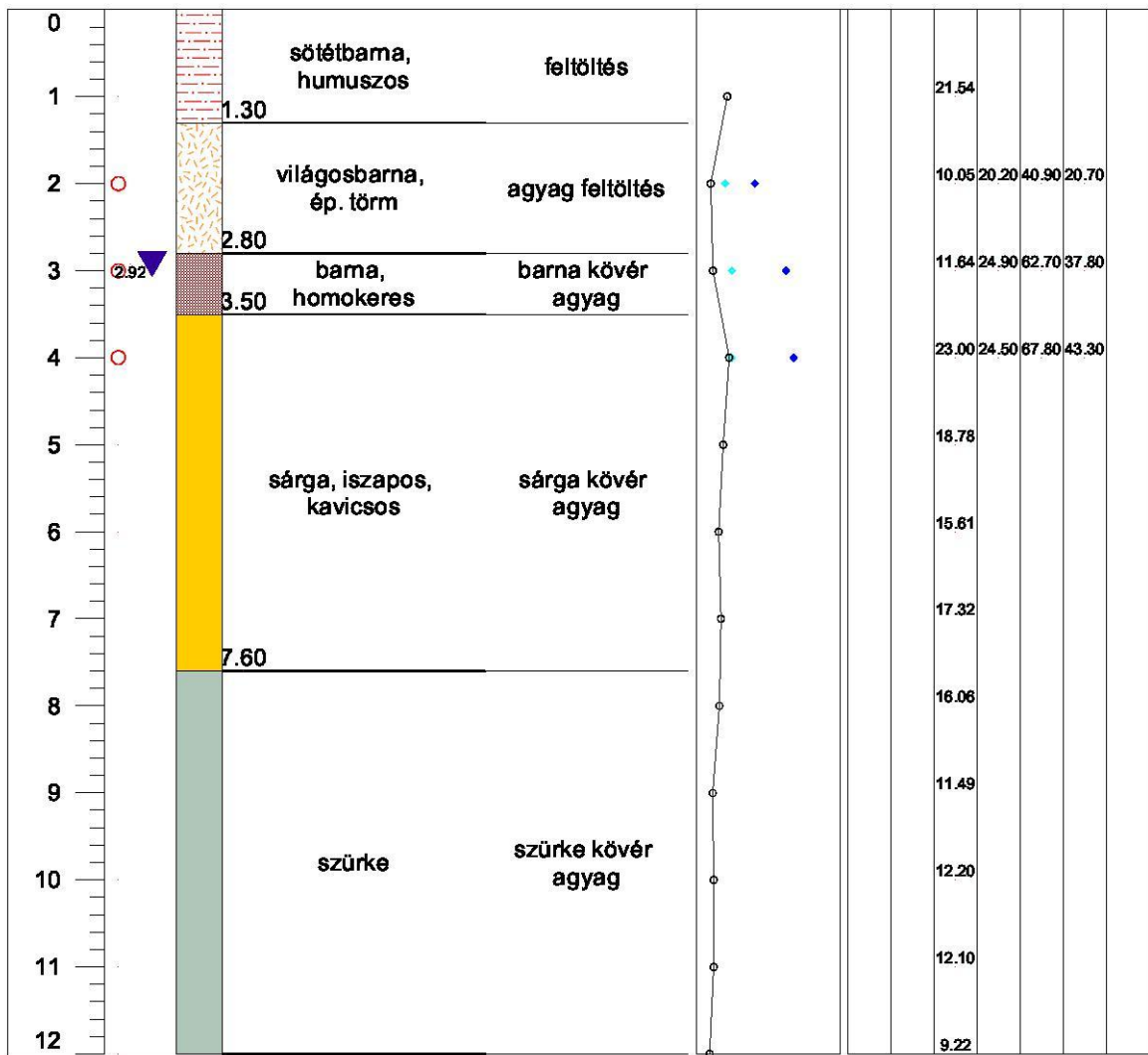
2013.01.08.

Nyugalmi vízszint:

-4,62 m

2. Melléklet

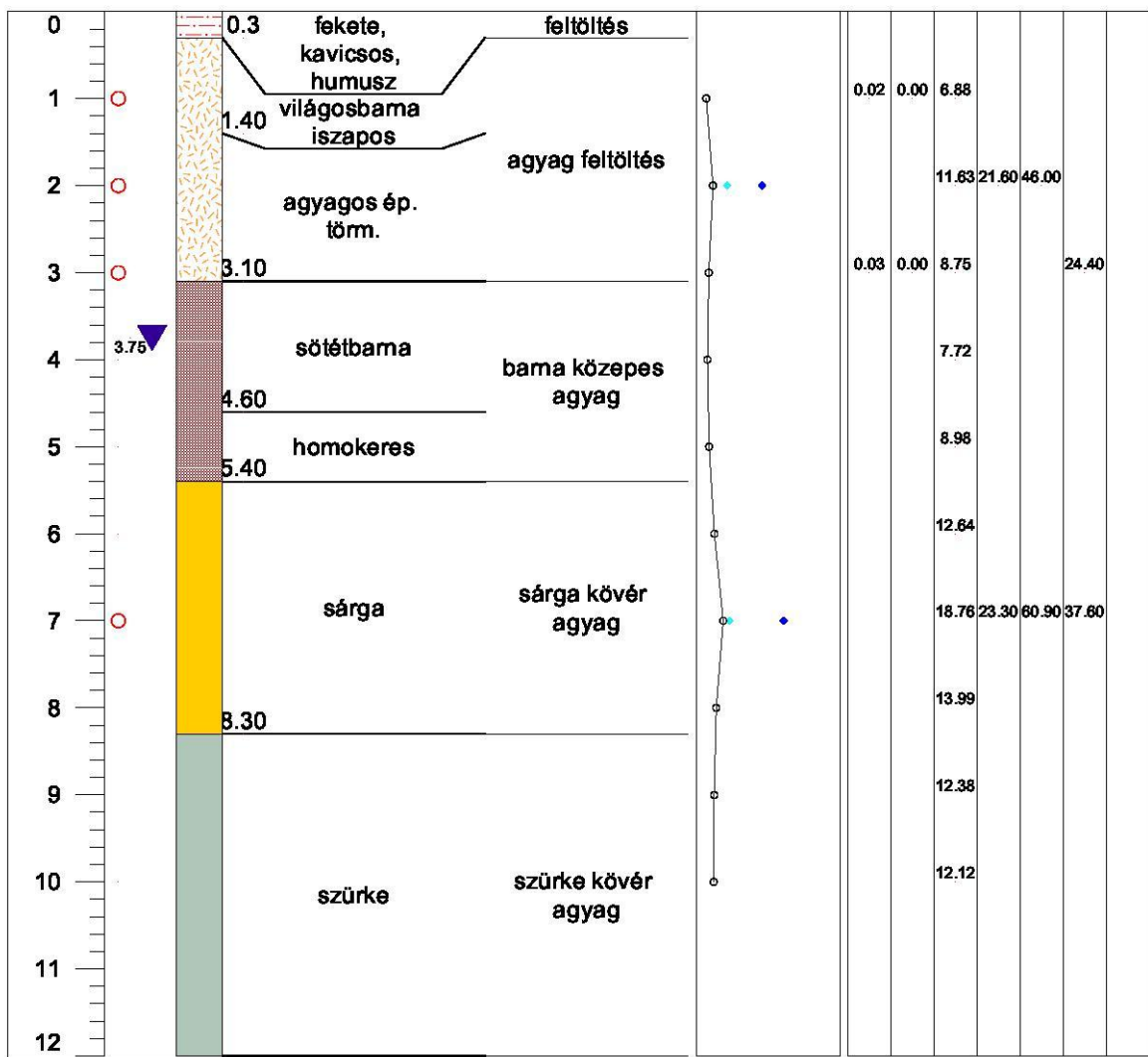
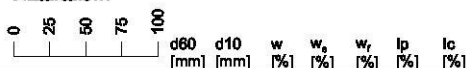
Fúrás név: FEN02		FÚRÁSSZELVÉNY																																																																																														
EOV Y [m]: 649629.20	EOV X [m]: 236944.78	Projektvezető: Dr. Hajnal Géza	Projekt: FEN	Dátum: 2013.10.02.																																																																																												
Magasság [m B.f.]: 106.56		Megbízó: BME VIT	Munkahely: Budapest, XI, Feneketlen tó																																																																																													
Fúrás időpontja: 2012.12.22		Szerkesztő: Skublics Márk	Víztartalom																																																																																													
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>d60 [mm]</th> <th>d10 [mm]</th> <th>w [%]</th> <th>w_s [%]</th> <th>w_r [%]</th> <th>Ip [%]</th> <th>Ic [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td>21.54</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>10.05</td><td>20.20</td><td>40.90</td><td>20.70</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>11.64</td><td>24.90</td><td>62.70</td><td>37.80</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>23.00</td><td>24.50</td><td>67.80</td><td>43.30</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>18.78</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>15.61</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>17.32</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>16.06</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>11.49</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>12.20</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>12.10</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>9.22</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	d60 [mm]	d10 [mm]	w [%]	w _s [%]	w _r [%]	Ip [%]	Ic [%]			21.54							10.05	20.20	40.90	20.70				11.64	24.90	62.70	37.80				23.00	24.50	67.80	43.30				18.78							15.61							17.32							16.06							11.49							12.20							12.10							9.22				
d60 [mm]	d10 [mm]	w [%]	w _s [%]	w _r [%]	Ip [%]	Ic [%]																																																																																										
		21.54																																																																																														
		10.05	20.20	40.90	20.70																																																																																											
		11.64	24.90	62.70	37.80																																																																																											
		23.00	24.50	67.80	43.30																																																																																											
		18.78																																																																																														
		15.61																																																																																														
		17.32																																																																																														
		16.06																																																																																														
		11.49																																																																																														
		12.20																																																																																														
		12.10																																																																																														
		9.22																																																																																														



Jelmagyarázat:		Talajvízszint észlelési idő:	2013.01.08.
megütött talajvízszint	zavart minta	Nyugalmi vízszint:	-2,92 m
nyugalmi talajvízszint	zavartalan minta		
folyási határ	sodrásai határ		

3. Melléklet

Fúrás név: FEN03		FÚRÁSSZELVÉNY			
EOV Y [m]: 649507.87	EOV X [m]: 237081.06	Projektvezető: Dr. Hajnal Géza	Projekt: FEN	Dátum: 2013.10.02.	
Magasság [m B.f.]: 107.4		Megbízó: BME VIT	Munkahely: Budapest, XI, Feneketlen tó		
Fúrás időpontja: 2012.12.22		Szerkesztő: Skublics Márk	Víztartalom		



Jelmagyarázat:	Talajvízszint észlelési idő: 2013.01.08.
<ul style="list-style-type: none"> ▽ megütött talajvízszint ▼ nyugalmi talajvízszint ◆ folyási határ ○ zavart minta ● zavartalan minta ◆ sodrási határ 	Nyugalmi vízszint: -3,75 m

4. Melléklet

