

*BME Építőmérnöki Kar*  
*TDK Konferencia 2013.*

## ***Az Apátkúti-patak hidrológiai vizsgálata***



*Készítette:*

***Mák Balázs***

*Konzulens:*

*Dr. Hajnal Géza*

*Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék*

# Tartalom

Bevezető.....	1
1. A terület bemutatása.....	2
1.1 Visegrádi-hegység természetföldrajzi jellemzői .....	2
1.2 A hegység kialakulása és domborzata .....	3
1.3 Geológiai és talajtani tulajdonságok.....	4
1.4 A Visegrádi-hegység éghajlata.....	5
1.5 A Visegrádi-hegység vízrajza .....	6
1.6 Vízgazdálkodási tevékenység.....	8
2. Tározó bemutatása .....	9
2.1 Völgyzárógátas tározók.....	9
2.2 Térfogat szerinti tározócsoportosítás .....	11
2.3 A víztározás hatásai.....	12
2.4 Az Apátkúti-halastó.....	12
2.5 Csapadékviszonyok és a tározó vízszintészlelése.....	15
3. A jelenlegi mederviszonyok felmérése .....	15
3.1 Az AutoCAD Civil3D alkalmazása az aktuális leülepedett hordalék mennyiségének meghatározására .....	17
3.2 A Tecplot alkalmazása.....	20
3.3 Mederfelvétel eredményei.....	20
3.4 A tó alaktana és fontosabb méretei.....	23
3.5 A tó alaktanához, morfológiájához szükséges adatok kinyerése .....	25
3.6 Az Apátkúti-tó morfológiai jellemzői.....	27
4. A vízhozam mérése .....	29
4.1 Kémiai vízhozam-mérés (sózás).....	30
4.2 Vízhozam-mérés forgószárnyas sebességmérővel .....	31
4.3 Vízhozam adatok összefoglalása .....	32
5. Mederanyag vizsgálata.....	34
5.1 Mintavétel a mederanyagból .....	35
5.2 A hordalékminták szemeloszlás-vizsgálata.....	37
6. Lebegtetett hordalék vizsgálata.....	39
7. Vízterelő feliszapolódása, arra alkalmas számítási módszerek bemutatása.....	40
7.1 A hordalék keletkezése.....	40
7.2 A hordalék mozgása.....	41

7.2.1 A hordalékszámítás eredményei.....	44
8. Összefoglalás.....	45
Irodalom.....	46
Melléklet.....	48
1. Vízhozam-mérés eredményei.....	48
1.1 Kémiai vízhozam-mérés (sózás).....	48
1.2 Vízhozam-mérés forgószárnyas sebességmérővel.....	50
2. Hidrometrálás eredményei .....	51
1. minta.....	52
2. minta.....	53
3. minta.....	54

## *Bevezető*

A Visegrádi-hegységben található Apátkúti-völgy középső területén, annak mélyedésében fut végig az Apátkúti-patak. A hegység talajtani és geológiai tulajdonságai folytán a vízgyűjtőterületre lehulló csapadékok nagyon magas hányada kerül lefolyásra, mely ezáltal hirtelen nagy árhullámot indít el a patakon óriási hordalékmennyiséget ragadva magával. A patak 2+195 km szelvényéhez egy mesterséges völgyzárógátas tározó került beépítésre. Ennek fő funkciója a hordalék felfogása, visszatartása, valamint rekreációs tevékenységek kielégítése.

Magyarországon 2010-ben kiugróan magas csapadék hullott. Ennek következtében az alacsony vízhozamú patakok sok helyen kilépve medrükből, erős sodrással ragadták el a mederben lévő hordalékot, és szállították azokat több száz méteresen keresztül, ezzel erodálva a patak menti rézsút. Így történt ez az Apátkúti-pataknál is, ahol a szállított hordalékot a patak felsőbb szakaszán létesített hordalékfogó műtárgyak csak kis mértékben tudták eltárolni, ezáltal az eljutott a völgyzárógátas tározóig. A hordalék feltöltötte az eredeti állapotot tekintve több méter mélységű tavat, és az erős sodrás kimosta tározóban élő halakat. A feltöltődés következményeképpen az érkező nagy sebességű víz átbukott a gát felső síkján, ezáltal egy szakaszon kimosta a háttöltést és a gátmagot is. Az átbukó víz a talajt kimosva természetes vízládát alakított ki, melynek a további károk megelőzése végett gondoskodni kellett a burkolásáról.

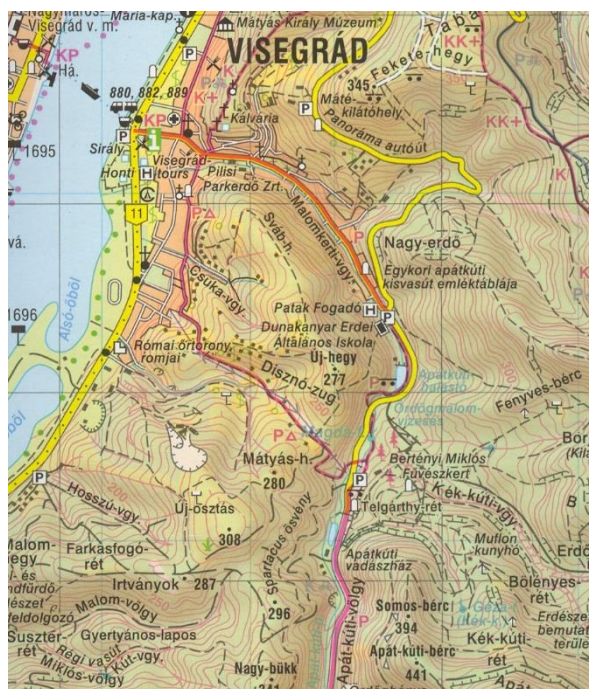
A helyreállítás után készült a mederről egy felmérés és néhány alapadat megtalálható volt ennek kapcsán, de lényegesebb számításokat nem végeztek a patak tulajdonságairól. Visszamenőleg lényegében semmilyen konkrét adat nem található a területről vízgazdálkodási szempontból ezeken kívül.

TDK munkám kapcsán szerettem volna következtetések levonni az Apátkúti-patak, valamint legfőképpen a hozzá kapcsolódó Apátkúti-halastó hidrológiai tulajdonságairól. Megvizsgáltam a 2010-es állapothoz képest történt mederváltozásokat, feltöltődés mértékét, alaktani számításokat végeztem, sebességadatokat gyűjtöttem és elkezdtem a vízszintek és csapadékadatok felvételét.

Munkám legfőbb célja, hogy végeredményben adhassak egy átfogó képet az Apátkúti-patakra létesített tározó működéséről, annak hatásfokáról.

## 1. A terület bemutatása

Az általam vizsgált Apátkúti-patak a Visegrádi-hegység területén helyezkedik el. Pilisszentlászló területén ered, a Duna-Ipoly Nemzeti Park területén belül esik nyomvonala, mely a Szent László-völgytől az Apát-kúti völgyön keresztül torkollik Visegrád város déli részén a Duna folyamba. A Bükkös, Rózsa-hegy, Szent László-hegy, Kis-Pap-hegy, Vaskapu-hegy, Nagy-bükk, Apátkúti-bérc, Somos-bérc, Fenyves-bérc, Mátyás-hegy, Új-hegy, és a Sváb-hegy közvetlenül közelségében, völgyeiben folyik, ezen domborzati egységek határozzák meg főképp vízgyűjtő területét (turista térkép alapján).



1. ábra: Az Apátkúti-völgy elhelyezkedése (turista térkép)

### 1.1 Visegrádi-hegység természetföldrajzi jellemzői

A hegység a Dunazug-hegység tagja, mely a Dunántúli-középhegység részét képezi. A Dunazug-hegység egyéb területeit a Gerecse, Budai-hegység és a Pilis alkotja. A köztudatban a Pilis és a Visegrádi-hegység gyakran egy hegységként szerepel, de ez egy téves megközelítés, hiszen geológiai szempontból egyértelműen elkülöníthetőek. Az előző egy mészkőhegység, míg az utóbbi egy vulkanikus eredetű képződmény, egy kettős kalderális vulkán lepusztult maradványa (Dukay 2006).

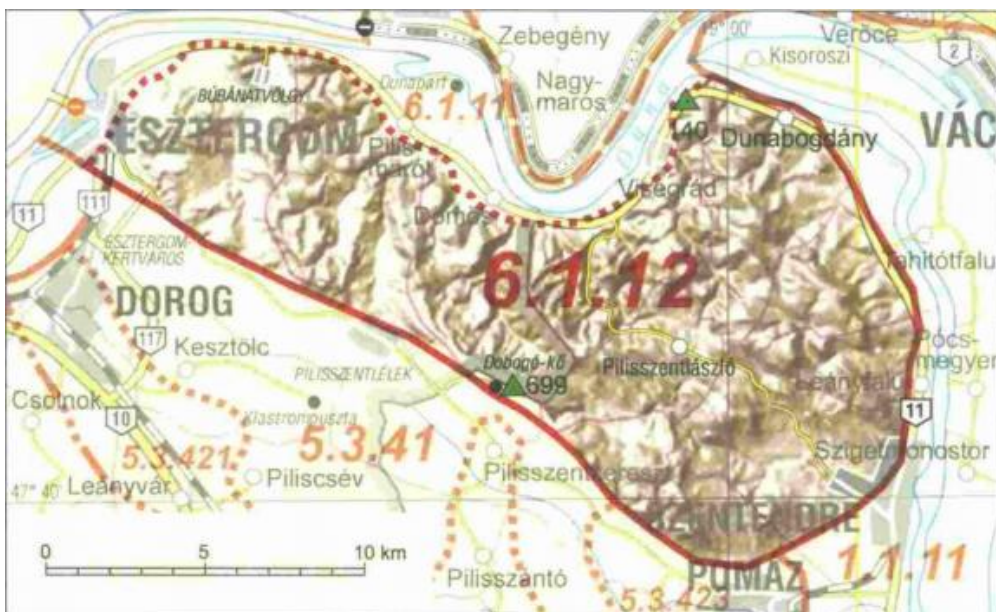
A háromszög alakjához hasonló Visegrádi-hegységet földrajzilag északról és keletről a Duna, nyugatról valamint délről pedig a Pilis-hegység határolja. Változatos, tagoltabb formájú terület, mely közigazgatási szempontból Komárom-Esztergom és Pest megyében található, Esztergomtól Visegrádig, onnan délre pedig a Szentendre fölötti hegyoldalig terjed. A Budapest közvetlen határánál kezdődő üledékes eredetű Pilis-hegység a Kőhegy, Ezüsthely, Kis-Kevély, Nagy-Kevély, Hosszúhegy, Pilis, Nagy-Szoplák vonulatból áll. A két hegységet Esztergom-Budapest vonalában egy törésvonal választja el, amely Pilisszentlélek-Pilisszentkereszt-Pomáz



irányú. Ez a törésvonal azonos az Esztergomból a Két-bükkfa nyergen áthaladó, Pomáz irányába vezető közúttal. Mindkét helyszín kedvelt túraútvonal (Dukay 2006).

Erdészeti besorolás szerint a Dunántúli-középhegység tájcsoport 26. számú Visegrádi-hegység nevezetű tája. Ennek területe 27130,4 ha, melynek 64,1 %-a, 17399,4 ha erdősült. Az erdők zöme 200-600 m tengerszint feletti magasságban helyezkedik el. Térségében három klímaregionális erdőtársulás-csoport, a cseres- és a gyertyános-tölgyesek, bükkösök vannak jelen, ezek nagyjából szabályosan kialakult öveget alkotnak. A vegetációt fragmentálisan mészkedvelő, mészkerülő, szikladomborzatú, és patakmenti erdők képezik. Található sok őshonos faj, a legfontosabb fajok és csoportok közé tartozik például a tölgyek, bükk, gyertyán, juharok, szilek, éger, stb.

Az átlagos évi középhőmérséklet 9,3 °C, az éves átlagos csapadékmennyiség 593 mm. Legmagasabb pontja Dobogókő 700 m-en található csúcsával (Pál 2010).



2. ábra: A Visegrádi-hegység

## 1.2 A hegység kialakulása és domborzata

A Visegrádi-hegység geológiai felépítését és keletkezését tekintve a Börzsönnyel mutat hasonlóságot, minek oka, hogy mielőtt a Duna a jégkorszak idején bevágódásával ketté nem választotta a két hegységet ezek egy egységet alkottak. (Dukay 2006) Földrajztudományi felfogás szerint ezáltal az Északi-középhegység legnyugatibb tagjaként tartják számon az 1970 és 1980-as években végzett kutatások eredményeképpen. Ezt megelőzően a Budai-hegységet és a Gerecsét is magába foglaló Dunazug-hegység részeként vették (Janata 2013).

Geológiai kutatófurások igazolják azt a megállapítást, hogy a Visegrádi-hegység vulkanitjai alatt is megtalálhatóak a Pilist alkotó, kb. 225 millió évvel ezelőtt lerakódott sekélytenger üledékek rétegei, melyek 1000-1500 m vastagságban vannak jelen. A képződésüket követő, mintegy 180 millió éves változatos földtörténetű időszakasz végén azonban heves kitöréssorozat színterévé vált a terület, ekkor kb. 1 millió év alatt, mely geológiai értelemben rendkívül rövid nagy mennyiségű vulkáni kőzet került a felszínre. Ezzel megkezdődött a hegység ma is

látható arculatának kialakulása, ami véglegesen 14-15 millió évvel ezelőtt, a miocén korban lezajlott andezites tűzhányó tevékenység eredményeként jött létre. Első szakaszában robbanásos kitöréssel jutott a magma felszínre, míg a második szakaszban két rétegvulkán jött létre. A hegység fő tömegének kialakulása az utóbbi szakaszra tehető. A dobogókői kettős szomma-vulkán működését, majd annak pusztulását követően a Keserús-hegyi rétegvulkán piroxénes és amfibolos andezit termékeivel egészült ki a hegyképző kőzetanyag. A máig felismerhetőek a vulkáni formák, a parazitakúpok és kalderaroncsok. A vulkánok peremén képződött lajtamészke hívja fel a figyelmet arra, hogy a terület ekkor nagy kiterjedésű szigettenger része volt, a parti sávban élő állatvilág maradványait őrizte meg (vörösmoszatok, fésűskagylók, osztrigák). A vulkánból feltörő anyag egy része a tengerbe hullott, a fenéken képződött mészsizzappal keveredett és egy magas karbonát tartalmú kőzettufa jött létre, ez az anyag építi fel a Nagy-Villámot (Janata 2013).

Három fő kitörési központ, centrum ismert, ezek a Dobogókő, a Nagy-Csikóvár környéke, valamint Visegrád. A szél, a víz és jégerózió folytán ezek az andezit kőzetből felépült hegyek mára nagyrészt lepusztultak. A kisebb andezit darabok összecementálódtak, amelyet andezit-agglomerátumnak nevezünk, ez a térség jellegzetes képződménye. Közülük legismertebb a Dobogókő északi oldalán található Thirring-sziklák és a Prédiáklószék oldalában lévő Vadállókövek (Dukay 2006).

A területet erősen feldarabolták a kisebb-nagyobb patakok, vízfolyások és az utólagos kéregmozgás, a laza vulkáni anyagok lepusztultak, így a mai kimagasló csúcsok nem az eredeti vulkáni kúpok, ezek nagymértékben eltérnek az eredeti formáktól, magasságoktól. Az előzőekben felsorolt romboló hatások folytán a terület a Pilishez hasonlóan alacsony, 400-500 m körüli átlagmagasságú középhegységgé alakult, amelyre a legömbölyödő felszínformák és a sugárirányú völgyrendszer jellemző. Az egykori Duna-teraszok a folyam bevágódásával párhuzamosan emelkedő hegyek oldalában több száz méterrel a mai vízszint felett is megtalálhatóak (Janata 2013).

A hegységet (Marosi és Somogyi 1990) domborzatilag két részre osztotta:

- Dunakanyar,
- A Duna eróziós folyóvölgye.

### *1.3 Geológiai és talajtani tulajdonságok*

A felszín legnagyobb részét, közel 90 %-át a miocén korból származó szerteágazó típusú andezittufa és agglomerátum építi fel. A meredek lejtőkön tisztán látszanak a tufa kőzetek, nem fedi azt semmi. Az andezittufa alatt több helyen homok és agyag található, gyakran a felszínen is megfigyelhető ezek jelenléte (Vendl 1969).

A források egy része a konglomerátumos, breccsás andezittufából fakad, közvetlenül a homokos agyag fölött. A vízzáró réteget egyértelműen ez a homokos agyag képezi, ebből következik, hogy ahol ez a réteg felszínre kerül, ott forrás keletkezik. Más források a breccsás, konglomerátumos andezittufából kapja a víz utánpótlását, melyek esetében a finomszemű andezittufa képezi a vízzáró réteget, amely az előbb említett konglomerátumos és breccsás andezittufa alatt helyezkedik el. Ennek viselkedése hasonló az agyagéhoz. Néhány forrás

andezitből fakad, az andezittufa határán, más esetben egy hasadékból tör felszínre, némely pedig löszből nyeri a vizét.

Az andezit bányászati szempontból hasznosítható kőzet, egyéb ásványi anyag nem található ilyen hasznosításra megfelelőnek (Marosi és Somogyi 1990).

Egyik jellemző barlangképző tényező a hegységben a kőzetcsuszamlás, például a Vasas-zakadékbán. Ez Szentendre közelében található, második leghosszabb, természetes kialakulású barlang. A Disznós-árki barlang a hegység leghosszabb barlangja, melynek hossza 64 m. A vulkáni hamu és törmelékiszórási eredetű tufából álló hegyoldal megcsúszása és omlása során keletkezett kőtömbök közé záródott rések formája.

A talaj tulajdonságait és viszonyait figyelembe véve a hegység nagy részén erdőtalajok alakultak ki, melyekhez hozzájárult a többletvíz hatás. A terület háromnegyed részét agyagbemosódásos barna erdőtalaj borítja az andezit és andezittufa felett, amely közepes vízvezető és jó vízraktározó képességű. Erodált változatai a sekély termőréteg miatt rossz vízgazdálkodásúak, szélsőségesek. Erózió következtében kialakult vázталajok is megfigyelhetők a területen.

Említésre méltó még a területet második legnagyobb mértékben lefedő barnaföld, amely összesítve kb. 10 %-án található a domborzatnak (Marosi és Somogyi 1990). Ezek a vályogos, közepes vízvető képességű, valamint jó vízraktározó képességű talajok löszön és idősebb üledékeken képződtek, főként a Dunára néző domboldalakon figyelhetők meg. Erdősültségük elenyésző, inkább földművelés a jellemző ezeken a területeken, hasznosítják szőlőként, gyümölcsösnek, esetleg szántóként.

Egyes gerinceken fekete nyirok talaj keletkezett, ezek erdővel borítottak. Nagyon kis mennyiségben fellelhetők még rendzina talajok, illetve patakok völgyeiben lejtőhordalék talajok figyelhetők meg.

A táj talajai erdőgazdasági szempontból kedvezőek inkább, mint mezőgazdaság szempontjából. Ez a nagy kiterjedésű barna erdőtalajból adódik.

#### *1.4 A Visegrádi-hegység éghajlata*

Az éghajlat jellemzőit egy adott földrajzi területen a sajátos topográfiai viszonyok helyileg módosítják (Danszky 1963).

A Visegrádi-hegység éghajlata igen változatos, mert átmeneti zónába esik. Átmenetet képez a meleg és a hűvös mérséklet között, oly módon, hogy a hűvösebb területek északról és délről melegebbek keletről és nyugatról határolják. Nedvességellátottság szempontjából egységesen a mérsékelt száraz kategóriába esik. Az évi csapadékmennyiség 580 és 650 mm között ingadozó általában, a hegyek lábainál alacsonyabb, míg Dobogókőn 750 mm körüli érték a jellemző. Az egész hegységet nézve az átlagos csapadékmennyiség 593 mm, amelynek 57 %-a hullik a tenyészidőszakban. A 24 óra alatt lehullott legnagyobb mennyiségű csapadék 87 mm eddigi mérések alapján. A hótakarós napok száma 30-40 nap, de a hegység legmagasabb pontján, Dobogókőn akár 90 nap is lehet. Az átlagos hó vastagság 20-25 cm, szintén Dobogókő kiemelkedő az esetleges 40 cm-es hótakarással.



Kevéssel 8,0 °C alatti a középhőmérséklet az előbb említett magaslaton, a hegység további részében 9,5-10,2 °C között van, az egész terület átlaga 9,3 °C. A 10 °C hőmérsékletet meghaladó napok száma az 500 m feletti területeken körülbelül 166 nap, amely április 25. és október 10. között jellemző, más helyeken 180 nap, ez április 12. és október 10. közötti napokon mérhető. A fagymentes időszak sokéves átlaga 175-188 nap, a nyári abszolút maximum hőmérsékletek sokévi átlaga 30 és 32 °C körül alakul, Dobogókőn 29 °C, a téli abszolút minimum hőmérséklet jellemzően -16,0 °C itt (Illyés).

Az uralkodó szélirányt vizsgálva megállapítható, hogy annak iránya Észak-Nyugati, a tetőkön mérhető átlagos szélesség 4,0-4,5 m/s, a völgyekben 2,5-3,0 m/s (Dövényi 2010).

Az ariditási index 0,94-1,18 között van, amely erdészeti szempontból lényegében egy aszályossági indexnek feleltethető meg, amelynek értékét úgy kapjuk meg, ha a kritikus hónapok (július-augusztus) átlaghőmérsékletének százszorosát elosztjuk a fő növekedési ciklus (május-július) és a kritikus hónapok csapadékösszegével. A hegytetőkön 0,94-1,00 az alacsonyabb területeken pedig 1,15-1,18. A hegység Dunától Északra lévő területének ugyanezen jellemzője 1,08 körüli, míg ettől nyugatra, illetve keletre 1,20-ig növekszik (Illyés).

Az évi napfénytartam 1900 óra körüli értékhez közelít, magasabb pontokon és területeken eléri az 1950 órát is.

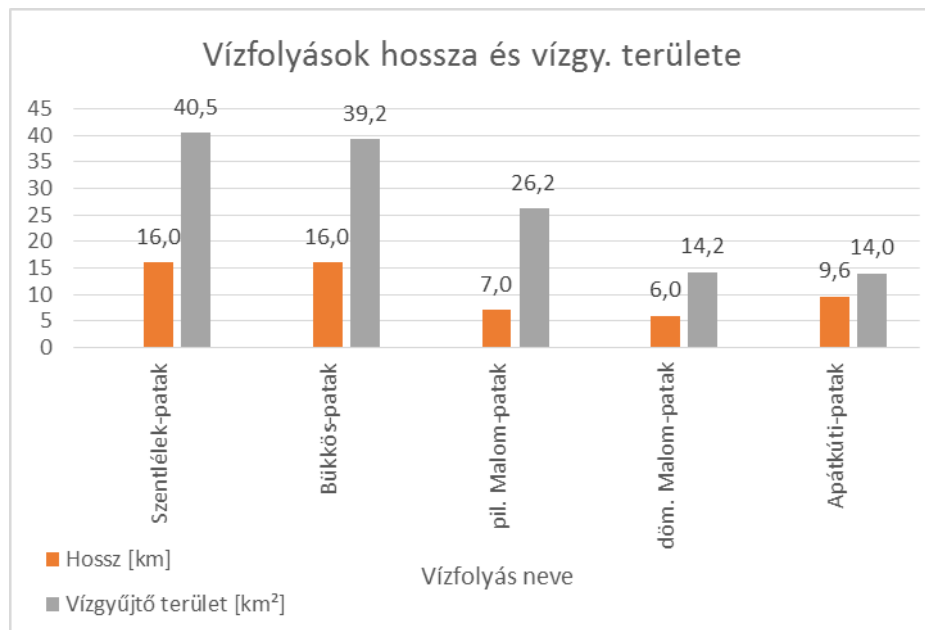
A Visegrádi-hegységben három erdészeti klímátípus lelhető fel: a cseres-tölgyes, a bükkös, valamint a legnagyobb arányban található gyertyános-tölgyes (Halász 2006).

Összességében az éghajlati adottságok, mint fentebb említettem kedveznek a turisztikának, az üdülésnek, sportolási lehetőséget ad a téli sport szerelmeseinek. A területen nagyfokú erdőgazdálkodást folytatnak, természetesen ez is javarészt az éghajlati feltételeknek köszönhető.

## *1.5 A Visegrádi-hegység vízrajza*

Vízrajzi szempontból a terület egyértelműen elkülöníthető a Pilistől. Ennek legfontosabb oka, hogy a hegységépítő kőzetek különbözőek, ahogy ezt már említettem. A jól karsztosodó, porózus üledékes kőzetek gyorsan levezetik a csapadékvizet, amely karsztvízbe kerül a kőzetrétegen áthaladva, így a Pilis felszíni vizekben szegény. Ezzel ellentétben az andezit alapkőzet, mely a Visegrádi-hegységben található nem engedi át olyan könnyen a vizet, mint a mészkő, ezáltal lényegesen gazdagabb vízrajzzal rendelkezik. Ennek a tulajdonságának köszönhető a nagy forrásszám (összesen 170 forrás) és a sok felszíni vízfolyás. A vulkáni anyagú hegységbe V-alakú völgyeket vájt magának a víz útja során az évezredek folyamán, így néhány helyen meredek falú, vízesésekkel tarkított, szűk patak völgy jött létre. Ilyen az általam vizsgált Apátkúti-völgy is, valamint a Holdvilág-árok és a turisták által kedvelt Rám-szakadék (Dukay 2006).

A területet vízrajzi szempontból a Duna, a Szentléleki-patak és a Dera-patak segítségével lehet lehatárolni. Előbbi alapvetően meghatározza a vízrajzát, míg az utóbbi két vízfolyás között a vízválasztó a Két-bükkfa-nyereg (3. ábra).



2. ábra: Vízfolyások hossza és vízgyűjtő területük nagysága (Oláh 2011)

A hegység mindegyik vízfolyása a Dunába torkollik, többek között az előbb is említett Szentlélek-patak, amely 16 km hosszú, 40,5 km<sup>2</sup> nagyságú vízgyűjtő területtel rendelkezik. Jelentős vízfolyás még a Bükkös-patak, a pilismaróti Malom-patak, a dömösi Malom-patak és az Apátkúti-patak. Az előbb felsorolt patakok együttes árterülete 12,1 km<sup>2</sup>, de egységesen elmondható, hogy akár nyári záporok okozta árhullámról van szó, akár tavaszi hóolvadásból eredőről, ezek nem tartósak, így nem szükséges árvízvédelmi létesítményeket létrehozni.

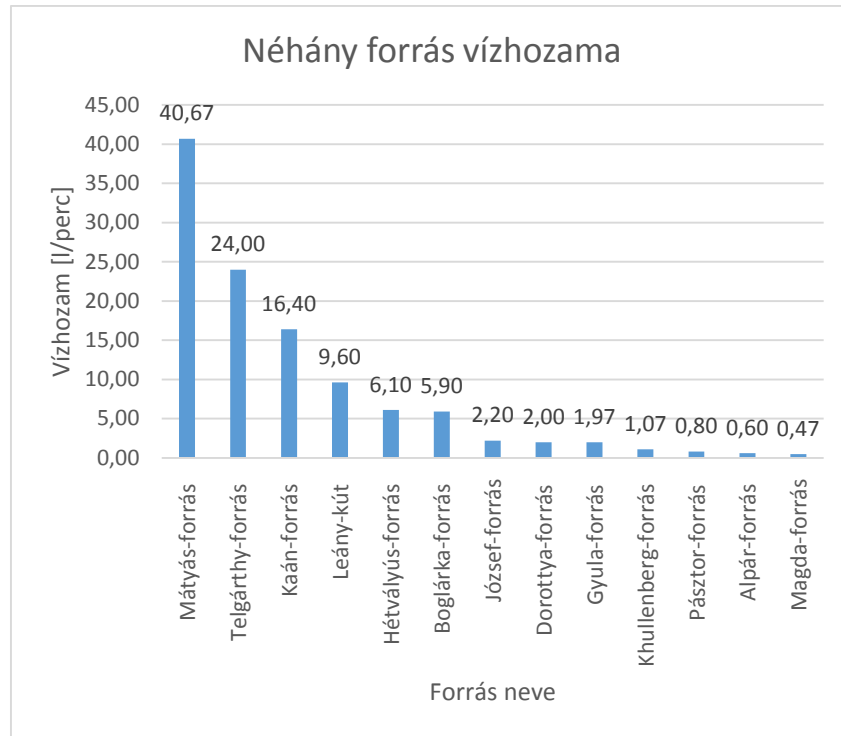
Vízhozamuk nagy szélsőségek között ingadoznak, így ezekre nem lehet vízhasználatot alapozni. Például a Bükkös-patak 0 és 24 m<sup>3</sup>/s hozamú, a Szentlélek-patak 0-19 m<sup>3</sup>/s vízszállítással rendelkezik.

Az előzőekben megemlített vízhiány és a meredek lejtők miatt természetes úton állóvíz nem jött létre, mivel a keletkezett mélyedések folyamatosan feltöltődtek (Marosi és Somogyi 1990). Mindezek ellenére léteznek állóvizek a hegységben, ezek egy részről horgászat céljára hoztak létre, másrészt a víz által szállított hordalék lerakására, ülepítésre hozták létre. Ilyen tavak találhatóak Visegrád térségében az Apátkúti-völgyben, az Esztergom és Pilismarót között a Búbánat-völgyben, valamint ide tartozik a Dunabogdány mellett lévő Bergman-tó is, amely a hegység legnagyobb állóvize.

Nem meglepő a sok forrás, hiszen helyenként felszínre bukkannak a tömör, vízzáró tulajdonságú andezit rétegek. Ezen források a legtöbb esetben időszakosak. Tengerszint feletti magasságokat tekintve legalacsonyabban felszínre törő forrás a 120 m-en lévő Út melletti forrás, míg 450 m-es magasságban, a legkiemelkedőbb szinten az Urak asztala-forrás I. fakad. Vízhhozamokat tekintve az egyik legjelentősebb mennyiségű vizet a hegységben a pilisszentkereszti Kinizsi-forrás adja a maga 260 l/perc-es hozamával.

A *jelentősebb források* a következők: Szent-kút, Trézsi-forrás, Kinizsi-forrás, Eszperantó-forrás, Lajos-forrás, Gyopár-forrás, Hoffmann-forrás, Fényes-forrás, Magda-forrás (4. ábra).

Talajvíz időszakosan a völgypatakokban fordul elő, de a hegység mélyebb rétegei is vízhiányban szenvednek. A peremterületi községekben és üdülőhelyeken sekély mélységű artézi kutak létesültek, de ezek gyenge hozammal rendelkeznek. Száraz időszak alatt a terület magasabb belső helyein érezhető a vízhiány (Marosi és Somogyi 1990).



3. ábra: A területen fakadó néhány forrás mért vízhozama (Oláh 2011)

## 1.6 Vízgazdálkodási tevékenység

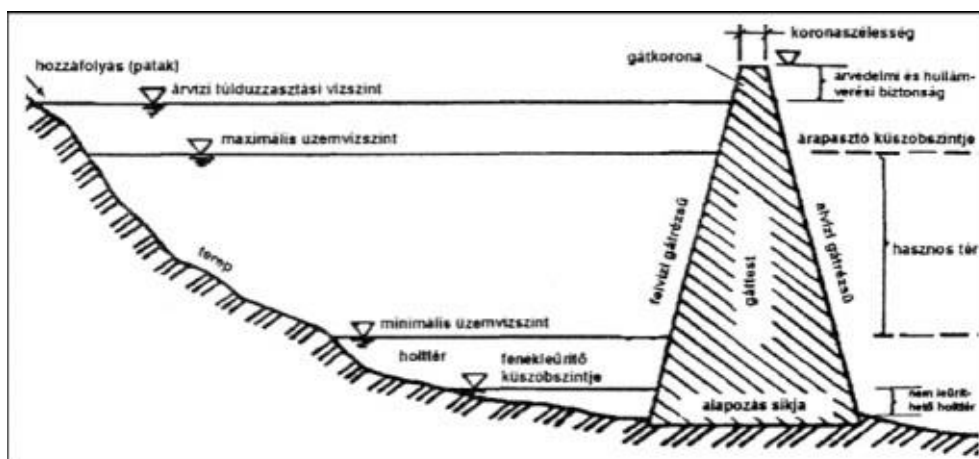
A terület fenntartója a Pilisi Parkerdő Zrt. Visegrádi Erdészet társaság. Lefedettsége vízgazdálkodási szempontból kedvező tulajdonságokkal rendelkezik, ami a geológiájának és domborzatának köszönhető. Több változatos vízhozamú vízfolyás található, melyek közül jelentősek pl. az Ágas, az Apátkúti, a Kalicsa és a Nyilas-patak. Csapadékos időszakban több helyen is megjelennek egyéb, időszakos vízfolyások, bár ezeknek vízjárása ingadozó. Olykor a nagy csapadék hatására a vízhozam akár százszorosára is növekedik rövid időn belül, ez fokozza a hordalékszállítást és az eróziót is. A számos forrás közül kb. 30-40 % foglalt. Természetes állóvíz a területen nem jött létre.

A társadalmi tényezők szintén befolyásolják a vízgazdálkodási tevékenységet. Közvetlenül Budapest vonzáskörzetében fekvő terület egyaránt alkalmas természetjárásra, kirándulásra. A horgásztavak létesítése szintén hasznos az igények kielégítése céljából. Összességében nagy szerepet kapnak a közjóléti célú vízgazdálkodási beruházások is (Oláh 2011).

## 2. Tározó bemutatása

### 2.1 Völgyzárógátas tározók

A tározók létesítésének alapvető céljai közé soroljuk a természetes vízfolyások egyenletes vagy ingadozó vízhozamának szabályozása, ill. kiegyenlítése, melynek segítségével mérsékelhetjük a nagyobb árhullámok, árvizek, valamint aszályok káros hatásait.

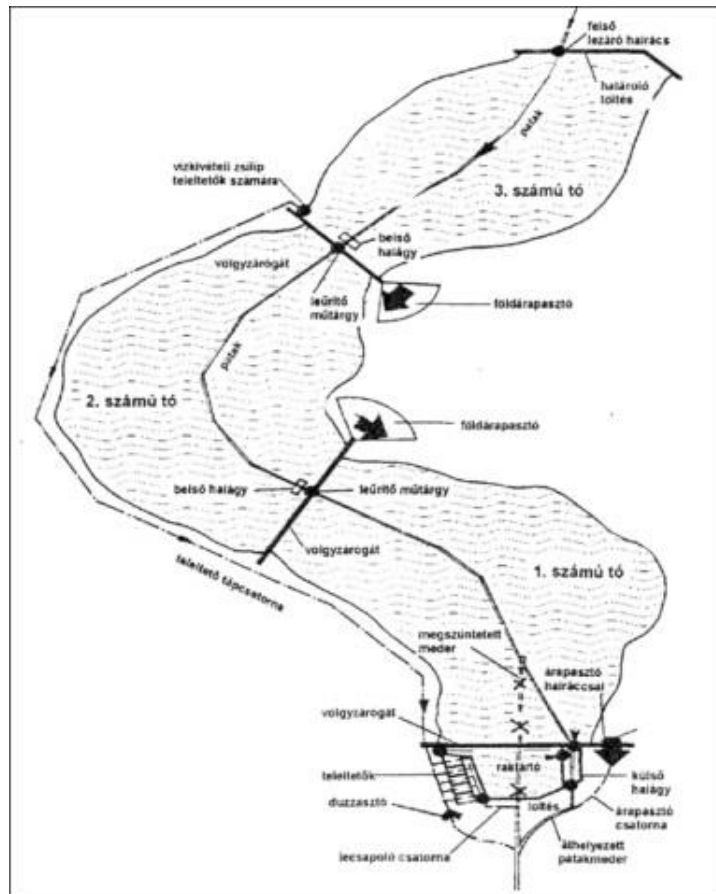


4. ábra: Völgyzárógátas tározó hosszmeteszete (Madarassy 1999)

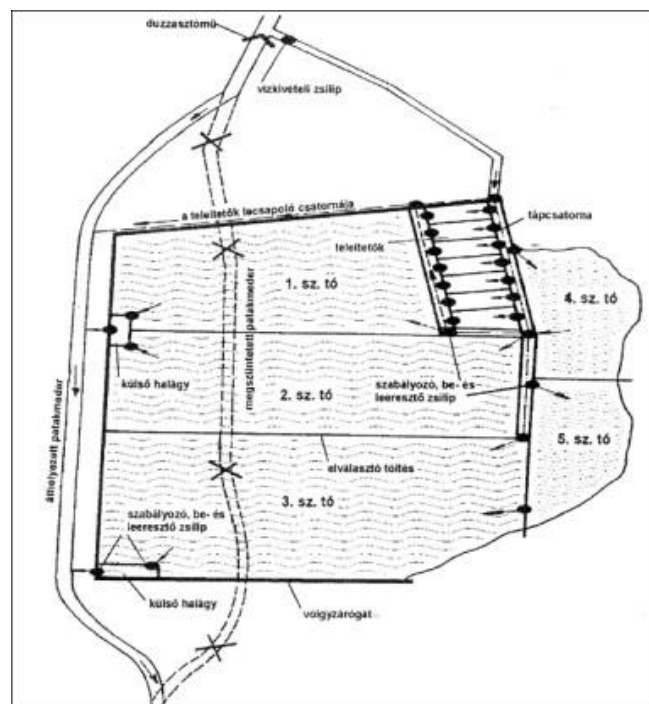
Tározók létesítésénél alapvető szempont a domborzat, hiszen ez nagyban meghatározza annak szerkezetét, elhelyezését, víztározó képességét, stb. Az előző szempont alapján megkülönböztetünk síkvidéki, dombvidéki és hegyvidéki víztározókat. A tározók építésénél különböző funkciójú és anyagú műtárgyak kerülnek kialakításra, beépítésre, ezeket természetesen az adott igényeknek és adottságoknak megfelelően (Hamvas 1994).

Dombvidéki és hegyvidéki területen alkalmazzák a jelen dolgozatban is vizsgált tározó típust, amelynél völgyzárógát biztosítja a tározást, szélesebb völgyekben ennek hosszöltéses változata alakítható ki. A két típus a lehetőségek ismeretében hátrányaik és előnyeik szerint értékelhető a hasznosítási célok szemszögéből. Sok esetben árapasztó gondoskodik a káros többletvíz elvezetéséről, ám ez a most vizsgált esetben a gáton történő átbukással történik. Az esetleges vízhasznosítást ezen típusnál vízkivételi műtárgyakkal oldják meg. A völgyzárógát a völgy szelvényét elzárja, ezáltal a gáttest a víz szintjét megemeli (Gribovszki 2010).

Az ilyen fajta tározó tavak helyszínrajzi kialakításán látszik, hogy egy kaszkárendszer alkotnak, melyeken halad át a vízfolyás. Árvízi szempontból ez a megoldás nem kedvező, az árapasztó műtárgy és csatorna létesítése szükséges az árvíz kockázatmentes elvezetéséhez.



6. ábra: Völgyzárógátas tározó helyszínrajzi kialakítása (Madarassy 2003)



7. ábra: Hossztöltéses, vagy fél völgyzárógátas tározó helyszínrajza

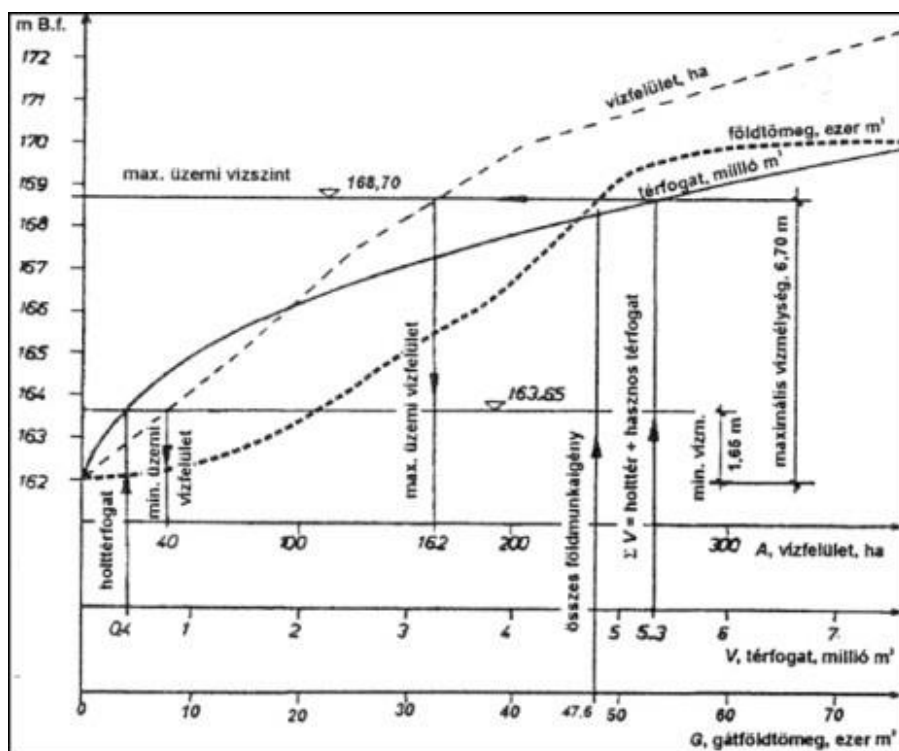


A hosszöltéses tározó tavak a fél völgyet elzáró keresztöltéssel és a vízfolyás mellett húzódó hosszöltéssel alakítható ki, így fél völgyzárógátas tározónak is hívják. Ilyen megoldás esetén a tápláló vízfolyás a tómedren kívülre kerül, ezáltal a nagyvizek a tározótérből kizárhatóak. A tározót és a vízfolyást tápcsatorna köti össze, amelynek feltöltéséhez duzzasztómű szükséges. Az ilyen fajta elrendezésnél árapasztó műtárgyra nincs szükség, ez egy előnyének tekinthető amellet, hogy a tavat tápláló vízmennyiség szabályozható, ugyanakkor megépítésének költsége nagyobb, mint a völgyzárógátasé.

A völgyzárógátas tározók megfelelő megoldást biztosítanak az árvízcsúcsok csökkentésében és visszatartják a hordalékot. A nagymértékű vízszintingadozás a műtárgyak nagyobb igénybevételén túl, a hasznosítást is károsan befolyásolja (Gribovszki 2010).

## 2.2 Térfogat szerinti tározócsoportosítás

A tározók egyik legfontosabb tulajdonságai közé tartozik az üzemi vízszint függvényében változó víztérfogat (V), vízfelület (A), valamint földmunka igényt kifejező gáttesttömeg (G), amelyeket jelleggörbékkel szokás ábrázolni.



8. ábra: A tározótavak jelleggörbéinek ábrázolása (Madarassy 2003)

A víztározó a tározótérfogat (V) szerint lehet (Madarassy 1999):

- mikro tározó, ha víztérfogata 100 ezer m<sup>3</sup>-nél kisebb;
- kis tározó, ha a víztérfogat 100- 500 ezer m<sup>3</sup> közötti;
- közepes tározó, ha 500 ezer m<sup>3</sup> és 3 millió m<sup>3</sup> közötti;
- nagy tározó, ha a víztérfogat 3 millió m<sup>3</sup> feletti.

A tározó gátjának magassága (h<sub>m</sub>) szerint megkülönböztetünk:

- alacsony gátat, ha a vízoszlop magassága 5 m-nél kisebb,
- közepes gátat, ha 5 és 10 m közötti,
- magas gátat, ha a vízoszlop magassága több, mint 10 m (Madarassy 2003).

### 2.3 A víztározás hatásai

Ez lényegében a vízjárás megváltozásából eredő hatások összessége. A hatások közé soroljuk a víz mennyiségére és minőségére, hidrológiai ciklusra, valamint a további természeti és művi környezetre. A tározás hatására a párolgás nő, míg a lefolyás csökken. Hőmérsékleti hatása legfőképpen téli időszakban jelentkezik, nagy lehülések idején. Sűrűségi rétegződés alakulhat ki mélyebb tavak esetén.

A tározóban a lelassuló víz hatására ülepedés következik be, ami a szerves anyagokra is érvényes, ezáltal azoknak hosszabb idő áll rendelkezésre lebomlani. Ez javíthat a víz minőségén azon esetben, ha a tározóba érkező víz viszonylag tiszta. Ha az érkező víz erősen szennyezett, akkor a szerves anyag bontásához szükséges nagy oxigénfogyasztás miatt oxigénhiány keletkezhet, annak negatív hatásaival együtt.

A legtöbb esetben a víztér biológiai, ökológiai feltételei változnak, a víz oldott oxigén-tartalma és oldott sótartalma szintén változik (Gribovszki és Pannonhalmi 2005).

A felduzzasztott víz a környező területen a talajvízszint növekedését okozhatja, szivárgást és talajvízminőség-változást hozhat létre.

### 2.4 Az Apátkúti-halastó

1980-as évek elején létesült völgyzárógátas tározó, melyet akkor még a Pilis Állami Parkerdőgazdaság hozott létre. Legfőbb célja a hordalék felfogása és annak tározása. Az 1984-ben kiadott vízjogi üzemeltetési engedély szerint a tározott vízmennyiség üzemvízszintnél 5720 m<sup>2</sup> és a vízfelület 0,368 ha. Árvízszintnél ugyanezek az adatok a következőképpen alakulnak: tározott vízmennyiség 8320 m<sup>3</sup>, míg a vízfelület 0,456 ha. Az előző adatok alapján a tározó mini vagy máshogy nevezve törpe tározónak minősül. A völgyzárógát anyaga homogén föld, hossza 50 m, koronaszélessége 4 m, az árapasztónál 6 m. A leürítő műtárgy egy orros barát zsilip, mely kettős pallóssal zárja a vizet az aknában. Feladata a vízállás szabályozása és szükség esetén a tározó teljes vízterének leürítése. Az árvízi túlfolyást egy széles küszöbű bukó biztosítja a gáton (Vízjogi engedély 1984).



1. kép: Leeresztő műtárgy

A vízgyűjtő hossza 10 km, szélessége 1,5-2,0 km. A gátszelvényhez (2+195 fkm) tartozó vízgyűjtő területe 15,4 km<sup>2</sup>. A teljes vízgyűjtő terület 18,0 km<sup>2</sup> (Pál 2010).

A patak erősen ingadozó vízjárása folytán elengedhetetlen volt a tározó folyamatos karbantartása a többszöri jelentős hordalékhozam miatt, ami a létesítményt feltöltötte. Így történt 1999-es árvíz során is, amikor a teljes tározótér megtelt, emellett a műtárgyak is sérültek. A helyreállítások után is több, említésre méltó árhullám vonult le az Apátkúti-patak medrében. 2008 április havában a feliszapolódás értéke elérte a 60 %-ot, ami közel 3500 m<sup>3</sup> hordalék eltávolítását jelentett (Pál 2010).

Pontosan:  $5720 \times 0,6 = 3.430 \text{ m}^3$

2010 évben egy nagymértékű szélsőség mutatkozott az időjárásban, ez jelentős csapadékmennyiséget jelentett. A létesítmény eddigi életében ekkor történt a legnagyobb károsodás. Az esőzés miatt az Apátkúti-patak vízhozama megnőtt, ez erős sodrással járt, nagy vízsebességgel, ezáltal nagy mennyiségű hordalék, kövek kerültek a tározóba. A kő és egyéb anyag teljes mértékben feltöltötte a tározóteret, az erős sodrás pedig kimosta a telepített halakat. A tározó ekkori látványa sokkal inkább hasonlított a patak részéhez, mintsem egy állóvízhez. A befolyó víz a feltöltődés miatt átbukott a gátkoronán és egy szakaszon kimosta a háttöltést és a gátmagot, ezáltal egy természetes vízláda alakult ki (Oláh 2011).



*2. kép: A sérült vízláda 2010-ben (Kálmán Miklós)*



*3. kép: Az Apátkúti-halastó*

A helyreállítás során vissza kellett állítani az eredeti állapotot, kotrással 106 m hosszon eltávolították a hordalékot, mely összesen 7700 m<sup>3</sup>-re adódott. A kitermelt kőanyag felhasználása helyben történt, a készülő műtárgy építésénél használták fel. Fontosnak tartották a gát magasztását 1,0 m-rel annak érdekében, hogy az esetlegesen kialakuló újabb árhullám ne tudjon átbukni a gáton, ezáltal ne moshassa ki újra a háttöltés anyagát.

A gáttöltés anyagára minimum 10 % agyagtartalmú, töltésépítésre alkalmas talajt javasoltak, maximum 0,3 m vastag rétegekben, 90 %-os relatív tömörségi fokra beépítve. Figyelembe vették, hogy a töltés agyagtartalma nem tartalmazhat kövér agyagot. A mentett oldali részsűre védelem kialakítása céljából 203 mm magasságú geocella burkolat került, fele részben kavicsal, fele részben termittalajjal feltöltve és füvesítve. A gáttöltés alvízi oldalán kialakult



természetes vízládát 20 cm betonágyba rakott terméskő burkolattal látták el. A munkálatok közműveket nem érintettek (Műszaki leírás 2010).

A tó jelenleg horgásztóként is működik, tehát a védelmi mellett közjóléti, rehabilitációs funkciót is betölt. Hatására javul a víz minősége is (utalva az előzőekben leírtakra), hiszen a szerves anyag lebontására több idő áll rendelkezésre és az érkező víz viszonylag tiszta.

A tárgyalt tározó felett több, kisebb tározót is kialakítottak, jelenleg azon vízterek karbantartásával próbálkoznak, hogy az Apátkúti-tóba kevesebb hordalék kerüljön.

## 2.5 Csapadékviszonyok és a tározó vízszintészlelése

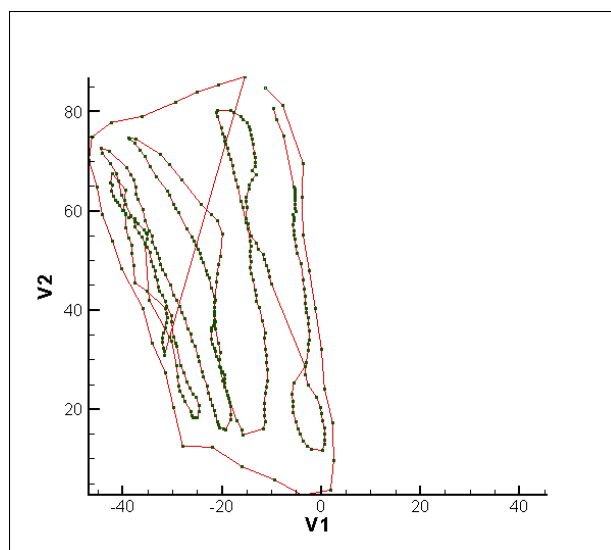
A patak vízgyűjtő területére lehulló csapadék mérésére, illetve az adatok későbbi feldolgozásának céljából a terület egy – a tározó felett elhelyezkedő – pontján kihelyezett regisztráló csapadékmérőt alkalmaztunk. Az ombrométert június hónap végén telepítettük ki, az innentől számított időszak alatt sajnos nem hullott nagyobb intenzitású és mennyiségű csapadék, valamint az azóta eltelt időszak sem megfelelő terjedelmű az érdemi vizsgálatok elvégzésére és az azokból történő érdemi következtetések levonására.

Ugyanezen időpontban helyeztünk ki egy Dataqua vízszintészlelőt is, így itt is jelentkezik a rövid és nagyobb csapadékoktól mentes mérési időköz.

Dolgozatom jövőbeni folytatása során kívánok ezen témakörök vizsgálataiba kezdeni.

## 3. A jelenlegi mederviszonyok felmérése

A 2010-es helyreállítások után készült egy mederfelmérés. Az akkori állapotok mondhatóak eredeti kialakításnak megfelelőnek. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékével 2013 június hónap végén újabb felmérést végeztünk a meder jelenlegi állapotának feltérképezéséhez.



9. ábra: Felvett pontok ábrázolása (Tecplot: Torma P.)



A mederfelmérést műszeres módon, Sökkisha mérőállomás-távmérővel – amely egy számítógépes adatgyűjtő rendszer –, illetve mérő-adatgyűjtő ultrahangos (echolottal) mélységmérővel végeztük. A műszer működéséhez szükség volt egy prizmaseregre, amelyet a Pilisi Parkerdő Zrt. Visegrádi Erdészete által felajánlott csónakunkban állítottunk fel.

A csónak mozgása lényegében kötetlen egy állóvízen. Mi a tó hossz tengelye mentén mozogtunk a torkolat közelében, egy hordalékkúpon felállított műszerállvány felé, majd attól távolodva, így megfelelő sűrűségű pontthalmazt kaptunk a hozzájuk tartozó medermélységekkel együtt. Mérés során a csónakban három személy tartózkodott: egy „kapitány”, aki evezett és irányította a csónakot, egy olyan személy, aki folyamatosan állva forgatta a prizmákat a Sökkisha mérőműszer felé, valamint egy személy, aki a mérőállomás kezelőjétől kapott jelzésekkor elmentette az ultrahangos mélységmérő által mért aktuális mélységet a pontokban.

A parton természetesen legalább egy személy foglalkozott a műszerrel, folyamatosan irányítva azt a csónakon lévő prizmák irányába.



4. kép: Mérés közben



5. kép: A feltöltődött mederrész

### 3.1 Az AutoCAD Civil3D alkalmazása az aktuális leülepedett hordalék mennyiségének meghatározására

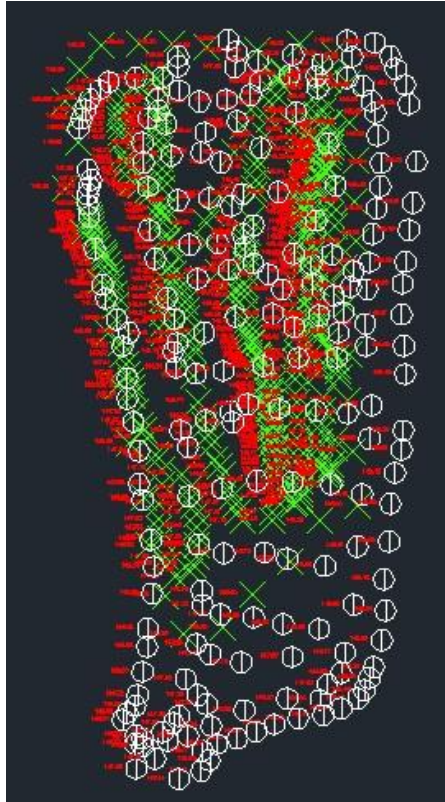
Első lépésként a 2010-es és a saját felmérésünk pontfájljait - \*.txt kiterjesztésűek - kellett megfelelő formátumba hozni, hogy utána egyszerűen kezelhessem őket. Ehhez mindegyik felmérés pontfájljainak oszlopait a következő sorrendbe tettem: *Pontnév(szám)*, *Keleti koordináta*, *Északi koordináta*, *Magasság*, *Leírás*. Amely fájlokban nem szerepelt a pontnév vagy leírás, ott saját magam határoztam azt meg. Így a pontnevek a bukó felmérése során kapott pontok esetén 1 értékkel kezdődik és onnan felfelé növekszik, a saját mederfelmérésünk 1000-el kezdődő, a 2010-es felmérés pedig 2000-el kezdődő és egyesével növekvő. A keleti, északi és magassági koordináták mindhárom esetben adottak voltak (saját felmérésünk esetén relatív ponthoz), ezért ezeket csak a megfelelő sorrendbe helyeztem. A leírás oszlopához a bukó felmérés pontjaihoz „AND”, a 2010-ben felmért pontokhoz „EXP”, míg a saját felmérésünkhöz „VVT” leírást adtam.

Bukó felmérésének pár pontja:

<u>Pontnév</u>	<u>Keleti kord.</u>	<u>Északi kord.</u>	<u>Magasság</u>	<u>Leírás</u>
1	645423.5538	270152.8170	149.3413	"AND"
2	645420.7644	270151.8389	148.3598	"AND"
3	645415.8986	270150.9749	148.1899	"AND"
4	645413.0595	270150.2520	148.1012	"AND"
5	645410.9584	270150.0324	148.0893	"AND"

Következett a pontfájlok beolvasása. Ehhez egy új rajzfelületet hoztam létre (Fájl – Új – Rajz), majd megnyitottam a Pontkészítő eszközöket (*Terepadatok létrehozása – Pontok – Pontkészítő eszközök*). Itt a *Pontok importálása* elnevezésű gombra kattintva megjelent ablakban hozzáadtam a kívánt pontfájlokat egyesével és kiválasztottam a megfelelő beolvasási formátumot, ami a *PKÉZL (szóközzel tagolt)* volt számomra.

Ezt követte, hogy a mi felmérésünket megfelelően beillesszem, ehhez a két másik felmérés pontjai voltak mérvadóak. Először Pontcsoportokat hoztam létre a leírások alapján (*Eszköztár – Pontcsoportok – Új- Felhasználás – A következőnek megfelelő belső leírásokkal:*). A pontcsoportok *Tulajdonságai* között más-más jelölést adtam, hogy meg tudjam egymástól különböztetni az egyes felmérések pontjait, valamint csak a magassági adatokat engedtem megjeleníteni. A bal egérgombbal kijelölve a saját felmérésünk pontjait a jobb egérgomb megnyomása után a felugró menüből kiválasztva az *Egyszerű módosítási eszközt* és a *Mozgatást* eltolva és forgatva a két másik felmérés pontjai közé illesztettem azokat. Kitérölve a bukó pontjait a következő képet kaptam:



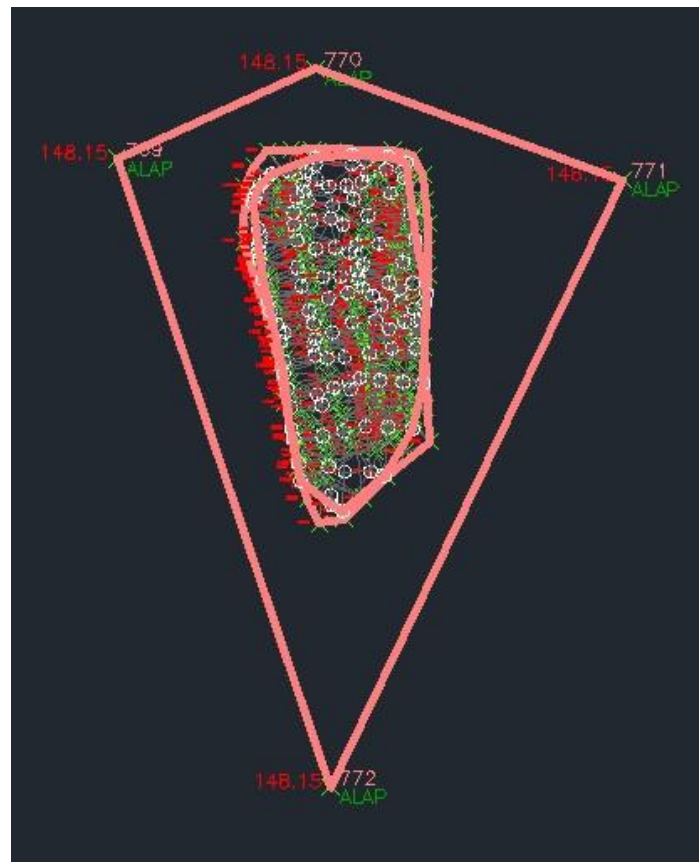
10. ábra: Beillesztett felmérési pontok (fehér kör: 2010, zöld kereszt: 2013)

Tisztán látszik, hogy a mi felmérésünk kisebb területre esett, mint a három évvel ezelőtti. A megfelelően értékelhető adatok elérése céljából töröltem a 2013-as felmérés pontjain kívül eső régebbi felmérés pontjait, majd következett a felületépítés.

Ehhez először egy felületet kellett létrehozni a következő lépésekben: *Alap fül – Terepadatok létrehozása – Felületek – Felület létrehozása*. A megjelenő ablakban a TIN-felület típusát választva Névnek az aktuális felület nevét adtam (pl.: VVT, KOTRAS (2010)). Stílusnak Perem & Háromszöglapokat alkalmaztam, de ez a későbbiek során is változtatható volt. Ezzel elkészült egy felület, de még nem volt definiálva mely pontokból építse azt, így az elnevezésnek megfelelő pontcsoportot adtam hozzá (*Módosítás fül – Felületek – Adatok hozzáadása – Pontcsoportok*). Egy Enter leütése után az előugró ablakban rákattintva a felülethez kapcsolható pontcsoportra, majd az OK parancsra kattintva a következő ablakban újra kiválasztva a pontcsoportot és az Alkalmaz gombra bal egérgombbal történő lenyomása, majd megismételt OK parancs után készen van a felület. Így készült el mind a két felmérés felülete.

Ehhez készítettem plusz egy alapfelületet, melyhez először pontokat hoztam létre 148,15 mB.f.-i magasságon. Az előzőekben leírtak szerint megnyitottam a Pontkészítő eszközt (*Terepadatok létrehozása – Pontok – Pontkészítő eszközök*) és a Kézi lehetőséget választottam. A Pontok helyének megadását követően (egérrel) a pont leírásának „ALAP” kifejezést adtam, majd egy

Enter lenyomása után magasságnak 148,15-öt. A három pont felvétele után ezekből szintén egy felületet képeztem.



11. ábra: Az elkészült felületek

A fent leírt folyamatok után értem el oda, hogy a felmérések közötti térfogatkülönbséget meghatározhassem. Ehhez az AutoCAD Civil3D földmunka becsléséhez használt eljárást alkalmaztam, a következők szerint: *Elemzés fül – Térfogatok – legördülő menüsorból újra Térfogatok*. A felugró ablakban a felső sor első ikonjára kattintva (*Új térfogatbejegyzés létrehozása*) egy kitöltendő sort kaptam. Itt kiválasztva Alapfelületnek a két felmérés egyikét, Viszonyítási felületnek pedig az Alap elnevezésű felületet. Ugyanezt elvégezve a másik felmért felületre is megkapjuk mindkét esetben a Töltés értékét, mely a most vizsgált esetben megegyezik a víztérfogattal ( $V_{\text{víz}}$ ). Kivonva egymásból a 2013-as saját felmérésünk és a 2010-ben végzett felmérés Töltés (víztérfogat) értékét megkapjuk a feltöltődés értékét, a leülepedett hordalék mennyiségét (kerekítve  $4679 - 3332 = 1347 \text{ m}^3$ ). A Bevágás értéke jelen esetben nem számít, azok a 148,15 mB.f. szint feletti felületrészekből adódnak.

1. táblázat: Az eredményül kapott víztérfogatok (Töltés oszlopban)

Sorszám	Felület pár		Térfogat				
	Alapfelület	Viszonyítási felület	Bevágás	Töltés	Nettó	Bevágási tényező	Töltési tényező
1	KOTRAS	ALAP	0.11 m3	4678.52 m3	4678.41 m3<Tölt...	1.000	1.000
2	VVT	ALAP	3.89 m3	3336.20 m3	3332.30 m3<Tölt...	1.000	1.000

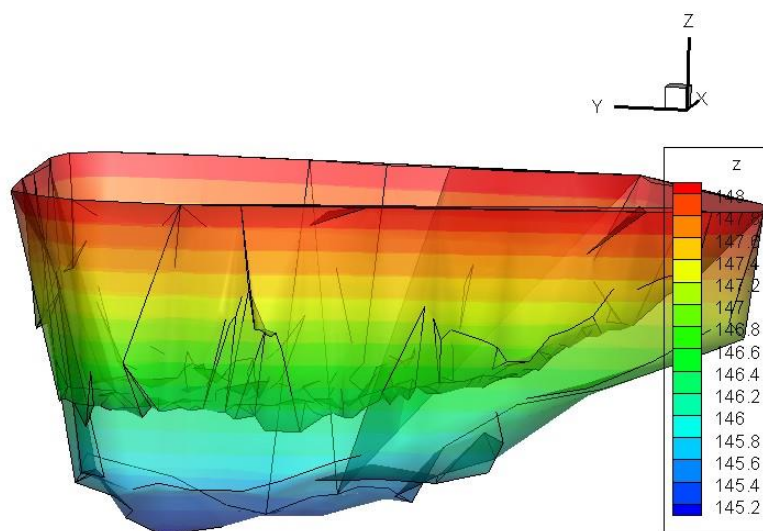


### 3.2 A Tecplot alkalmazása

A Tecplot szoftver alkalmazásához előkészítő munkát végeztem az AutoCAD Civil3D segítségével, a saját felmérésünkbe eső 2010-ben felmért pontok meghagyása után az általunk felmért vízfelszín pontjaihoz kötöttem a megmaradt pontokat. Ezáltal két azonos vízfelszínű medermodellt kaptam, csupán mélységi adataikban voltak eltérések, így láthatóvá vált a feltöltődés mértéke vizuálisan is a két felmérés időpontjai között.

Ehhez az AutoCAD Civil3D szoftverből a két pontcsoportot exportáltam egy-egy \*.txt kiterjesztésű fájlba, majd ezt – Torma P. segítségével – átalakítottuk a Tecplot-ban használatos fájltypussá (\*.plt) egy kiegészítő szoftverrel. Ennek segítségével, a 2010-es felmérés eredményeit először beimportálva (*File – Load data file(s) – Tecplot data loader*), majd 3D Cartesian-t megjelenítési típust választva kaptam az előbb említett felmérés képét. Ezután a *File – Load data file(s)* parancsokat követően a felajánlott beillesztési lehetőségek közül a *Replace data set and reset plot style* lehetőséget választva a képre importáltam a 2013-ban készült felmérésünket. A Contour lehetőséget kiválasztva színskálás megjelenítést kaptam.

Az eredményül kapott modell mutatja a két felmérés között lerakódott hordalékmennyiséget *magassági – z tengely menti – torzítás* után.



12. ábra: A Tecplot-ban készített mederfelmérések eredményei

### 3.3 Mederfelvétel eredményei

A felmérés eredménye egy pontfájl volt, amelyben szerepeltek a mérőállomástól számított koordináták, tehát ezek nem voltak a szabványos EOV koordinátarendszerben használhatóak. Ahhoz, hogy adatokat tudjak szerezni a felmérésünkből az első lépés ennek beillesztése volt az Egységes Országos Vetületi rendszerbe. A Pilisi Parkerdő Zrt. rendelkezésemre bocsájtotta a 2010-es felmérés eredményeül kapott pontfájl, ami már megfelelő koordinátákkal volt ellátva, mind az X,Y és Z értékek is meg voltak adva az egyes felmért pontokhoz.

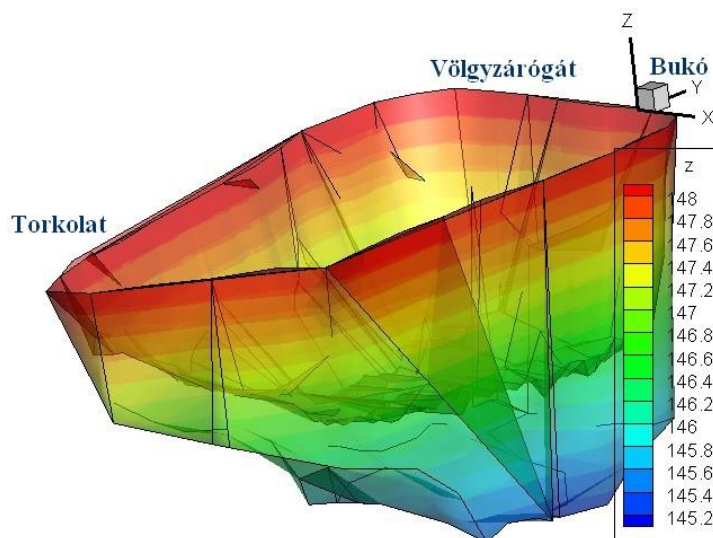
A szerkesztést az AutoCAD Civil3D program segítségével végeztem. Első lépésként a kapott pontfájlokat olvastam be, ekkor természetesen a két felmérés területe nem egyezett meg.



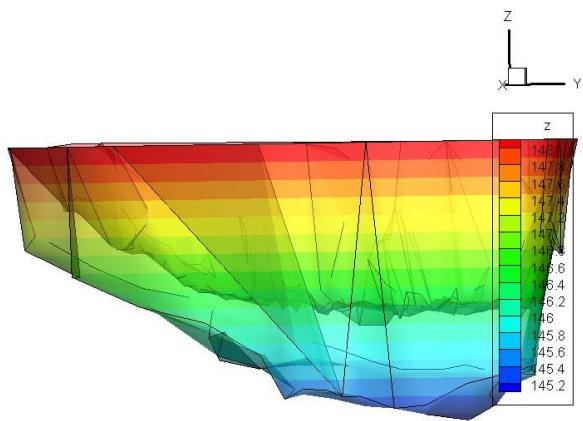
Ahhoz, hogy az általunk készített felmérés eredményeit is beillesszem a koordinátarendszerbe, transzformációs lépéseket végeztem. A saját pontjaimat kijelölve, azt mozgatva és forgatva ráillesztettem a 2010-es mérés ponthalmazára, valamint a bukó felmérésének pontjaira, odafigyelve, hogy semmilyen torzítás ne következzen be. Ezen lépések után lényegében sikerült a beillesztés az EOVS rendszerébe, kinyerhettem egy másik pontfájlba a mért pontok X, illetve Y koordinátáit. Következett a megfelelő magasságok megadása. Ehhez a bukó felmérésének pontfájlját illesztettem be újra a felmérésünk mellé. Itt a bukóélen és a mederfelmérés során készített pontok között kerestem egy közel azonos helyre eső X és Y értéket, majd kiszámoltam a közöttük lévő magasságkülönbséget. Ezt az értéket hozzáadva a megfelelő magasságot kaptam az adott pontban (tehát a bukóélen mért pont és a felmérés pontja megegyezett). Ezután minden egyes pontomhoz hozzáadtam az előző magasságok különbségét, így minden pontomnak megfelelő magasságot adtam, a beillesztés elkészült.

Következett a meder térfogatainak meghatározása, és ezáltal a hordalék feltöltődés értékének számítása. Ezt szintén az előbb említett program segítségével végeztem. A 2010-es mérés és az általunk mért (már EOVS koordinátákkal ellátott) pontok beillesztése szintén megtörtént. Mivel a mi felmérésünk egy kisebb mederrészre történt, így a 2010. felmérés pontjainak csak a mi felmérésünk területére eső adatait vettem figyelembe. A kialakult hordalékkúp, amelyet nem mértünk fel bizonytalan eredményre vezetne véleményem szerint a nagyobb szemcseátmérőjű (akár 30 cm) kövek miatt, amik között víz is áramolhat. A ponthalmazokból (melyekből pontcsoportot készítettem a pontfájlban beiktatott leírásuk alapján) egy-egy felületet (TIN felületet) hoztam létre. A program rendelkezik térfogatszámító menüvel, melyhez készítettem egy harmadik felületet konstans 148,15 mB.f.-i magasságon. A felmérések felületeit tekintve alapfelületnek, és az előzőleg ismertetett felület metszéséből a térfogatszámítást elvégeztem. Eredményül a 2010-es felmérésnél 4678 m<sup>3</sup>-t, míg az általunk végzett felmérés esetén 3336 m<sup>3</sup> „töltés”-t kaptam, azaz ekkora a víztérfogat a 148,15 mB.f. vízszintmagasság esetén. Ebből számítható a feltöltődés az adott mederrészre, amely:

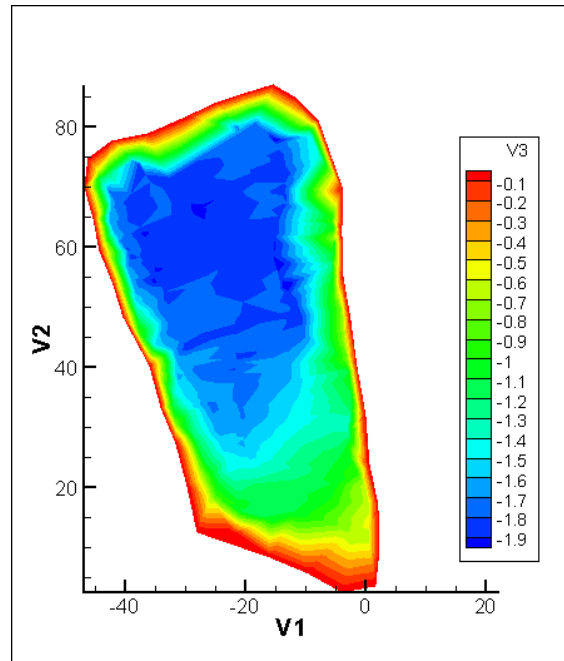
$$4678,52 - 3336,20 = 1342,32 \text{ m}^3$$



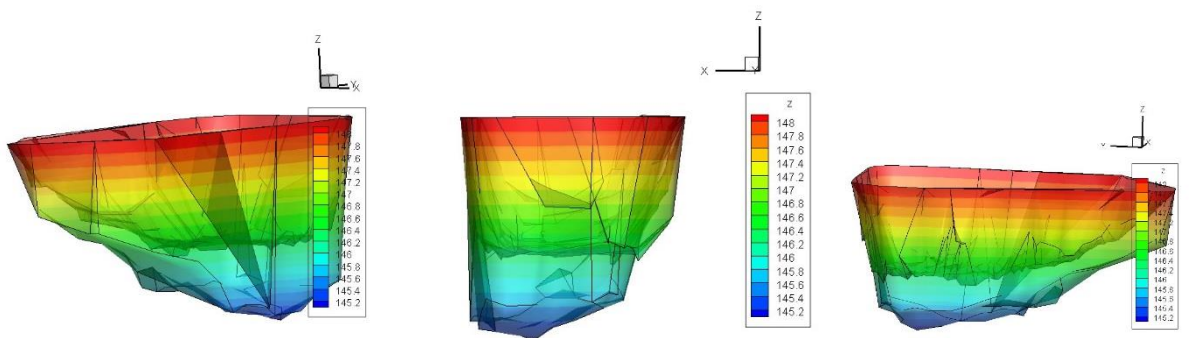
13. ábra: A két felmérés különbsége



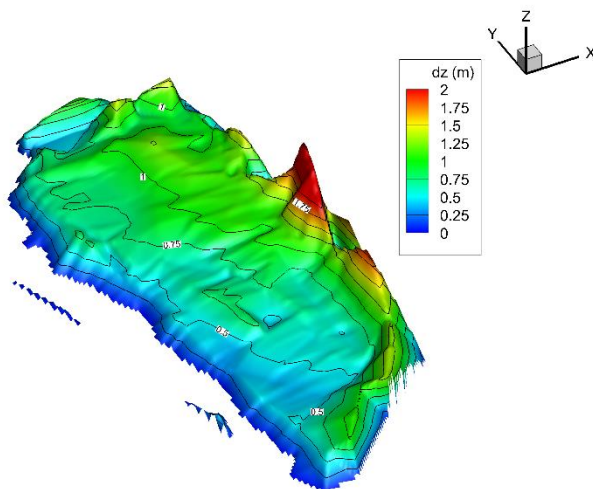
14. ábra: A két mederfelmérés ábrázolva magassági torzítással (Tecplot, saját)



15. ábra: A saját felmérésünk eredménye magasságilag torzítva (Tecplot, Torma P.)



16. ábra: 2010 és 2013-ban végzett mederfelmérések közös ábrákon magassági torzítással (Tecplot, saját)



17. ábra: Mederkülönbség térkép (Tecplot, Torma P.)

### 3.4 A tó alaktana és fontosabb méretei

A tavak alakja változatos kialakításuk miatt sokféle lehet. Hasznos információ lehet, ha ezeket a tómedence jellemző adatait, méreteit, amelyekre ebben a fejezetben Felföldy (1981), Koris és Józsa (2001) és Lovász (2000) alapján kerül sor. Habár ezeket a tulajdonságokat természetes állóvizekre határozták meg, mesterséges tavakra is érvényeseknek mondhatóak.



18 ábra: Tó alaktana és jellemző méretei (BME-VKKT)

A tó *hosszúsága* a meder tükreben két legtávolabbi pontot összekötő egyenes hossza (l). A tó *hossztengelye* (főtengelye) a szemközti (rövidebb) partok közti felezőpontokat összekötő egyenes, valamint a tó mélységi hossz tengelyét megkapjuk, ha a legmélyebb pontokat kötjük össze. A kistengely a tó két szemközti partvonalának két legtávolabbi pontját köti össze. A tó szélessége a hosszúság vonalára merőleges, parttól partig húzható egyenes. Hosszú és keskeny tavaknál azonban a szélesség pontosabb meghatározása a part valamely pontjáról a túlsó partig húzható legrövidebb vonal hosszának megadásával történik. A tó szélességeket megkülönböztethetjük egymástól valamely hosszúsági tengelyen felvett x ponttal ( $b_x$ ), esetleg parti végződéseik segítségével, vagy nézhetjük a *legkisebb és legnagyobb szélességeket* is ( $b_{\min}$ ,  $b_{\max}$ ). Általános szélességet kapjuk meg a következő összefüggésből:  $b=A/l$ . Itt A a tó felületét jelenti.

A tavak jellemzői közül a *vízmélység* (z vagy H) a legfontosabb. Aktuális értékét a vízállás szerint értékeljük, a tavakra jellemző *legnagyobb vízmélység* ( $z_m$  vagy  $z_{\max}$ ), míg a tó térfogatának és a tófelszínnek a hányadosa (aktuális vízállás mellett) a tó *átlagmélységét* (közepes mélység) adja meg:  $z_k=V/A$ . A *relatív mélység* ( $z_r$ ) megadja, hogy a legnagyobb mélység hány százaléka a tó közepes átmérőjének:

$$z_r = \frac{50 \cdot z_m \cdot \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}}$$

A képletben szereplő karakterek jelentése:

- A – a tó területe, mely a víztükrő felülete is egyben,
- $z_m$  – a tó legnagyobb vízmélysége.

Az esetek többségében ez az érték 2 %-nál kisebb, 4 %-ot csak a nagyon mély és jelentősen rétegzett tavaknál haladja meg.

Sok esetben meg kell adni az egyes mélységvonalakhoz tartozó területet is, amelyet  $A_z$ -vel jelölünk. Ennek indoka, hogy a tófelület az aktuális vízállástól függően nagymértékben változhat. Lapos, vízínövénnyel borított partú medence esetén a tó szélének kijelölése bizonytalan lehet, az Apátkúti-tónál viszont egyedül a torkolatnál van jelenleg egy nagyobb hordalékkupac, a meder többi oldala meredek, így ez itt nem okoz problémát. A meder térfogatát, amit  $V$ -vel jelölünk szintvonalas mélységvonalas (batimetrikus) térkép alapján állapítjuk meg. Egy réteg, azaz két mélységvonal közötti térfogat számítására a következő azonosság szolgál:

$$V_r = \frac{1}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \cdot h$$

Ahol:

- $A_1$  – a réteg felső síkjának felülete,
- $A_2$  – a réteg alsó síkjának felülete,
- $h$  - a réteg vastagsága.

A  $z$  mélyséig tartó rész térfogatának jele  $V_z$ . A be- valamint kifolyás gyorsaságából és a tározó térfogatából számítható a víz átlagos *tartózkodási ideje* ( $\tau$ ), melyet *kicserélődési időnek* is szokás nevezni. Ez az érték megadja, hogy mennyi idő szükséges ahhoz, hogy annyi víz folyjék át a tavon amennyi a tó térfogata, tehát ami a tóban van. A tó jellemzésére szolgál még a megújulás sebessége (*hígulás*), melyen úgy kapunk, ha vesszük a tartózkodási idő reciprokát.

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{Q}{V}$$

A *partindexek* jelentősége abban áll, hogy a part a víz és a szárazföld érintkezőhelye. A legáltalánosabb ezek közül a tóhossz valamint a parthossz aránya, azaz  $L/l$ . A *part tagoltságát* a tó felületével azonos területű kör kerületének és a part hosszának aránya fejezi ki a következő képpen:

$$D_L = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{\pi A}}$$

Ahol:

- $L$  – a part hosszúsága,
- (esetlegesen  $L_z$  – a  $z$  mélységben futó mélységvonal hossza.

Ha ennek értéke 1-hez közelít, azon esetben a tó kör alakú, ha pedig 1-nél jóval kisebb, akkor igen fejlett partvonalú az állóvíz.

A *partvíztömeg index* adja meg a partvonal hosszának és a tó víztömegének viszonyát, melyet a valódi part hosszúságának és a tó vízmennyiségével egyenlő térfogatú félgömb legnagyobb köre kerületének arányával adunk meg:

$$D_v = \frac{L}{2 \cdot \sqrt[3]{1,5\pi^2 V}}$$

A *parthossz-térfogat index* a parti tényezők befolyását mutatja a meder térfogatra (Kerekes 1974). Számítása a következőképpen történik: a parthossz-felület arányát osztjuk a közepes mélységgel, tehát:

$$\frac{L}{z_k} = \frac{L}{V}$$

Ezen index értéke sekély tavak esetében nagyobb, mint 10, nagy és mély tavakban pedig kisebb, mint 0,001.

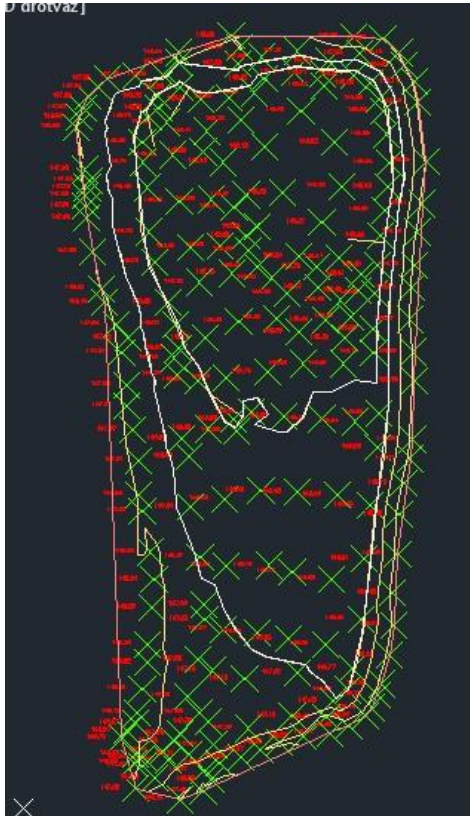
Ebből számítható a *tómedence állandósági indexe*, mely az előző érték reciproka:  $V/L$

### 3.5 A tó alaktanához, morfológiájához szükséges adatok kinyerése

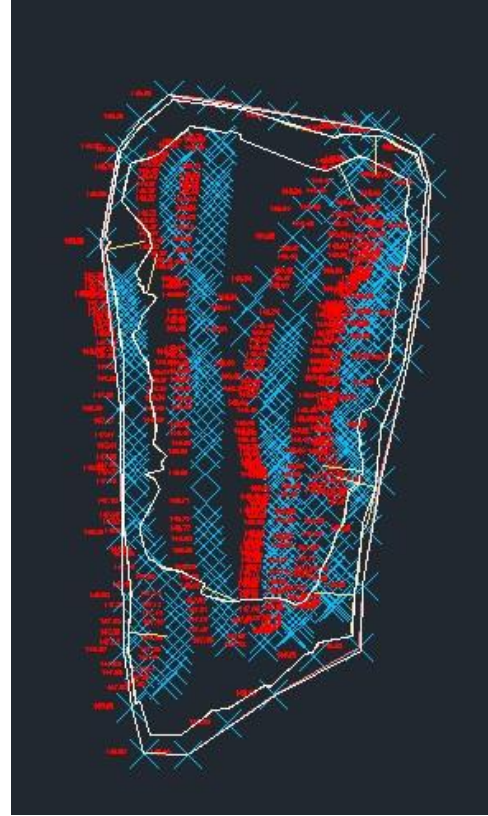
Ehhez kezdő lépésként elő kell állítani a két felmérés felületét, úgy, ahogy azt leírtam fentebb. Különbség egyedül a felület Stílusában van, amelyet vagy csak módosítani kell az elkészült felületnél (*Tulajdonságok – Felületstílus*) vagy a felület építésénél már eleve a megfelelőt állítjuk be.

A számítani kívánt értékekhez megfelelő stílust kellett kiválasztani, hogy abból a kívánt információk megkaphatóak legyenek. Ehhez a *Perem & Szintvonal 1 és 5 m-t* választottam. A AutoCAD Civil3D-ből ekkor elmentett rajzot megnyitottam az *AutoCAD* nevű programmal (nem Civil3D kiterjesztésű) és *Vonalláncok* segítségével a peremvonalat, valamint a szintvonalakat áthúztam. Az egyes vonalláncok tulajdonságaiból kinyerhető volt az általuk bezárt terület.





19. ábra: 2010-ben felmért adatok alapján



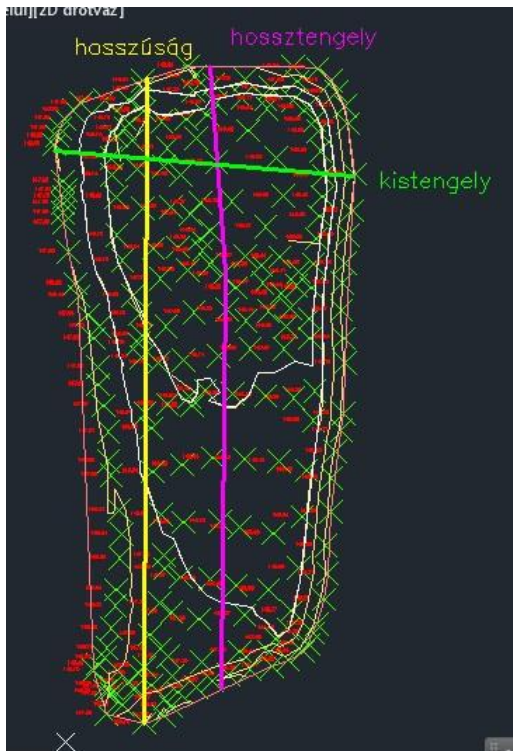
20. ábra: 2013-ban felmért adatok alapján

Vonallánc	
<b>Általános</b>	
Szín	<input type="checkbox"/> Fólia
Fólia	0
Vonaltípus	———— Fólia
Vonaltípuslépték	1
Nyomatási stílus	Szín
Vonalvastagság	———— Fólia
Átlátszóság	Fólia
Hiperhivatkozás	
Vastagság	0
<b>3D látványtervezés</b>	
Anyag	Fólia
<b>Geometria</b>	
Aktuális csúcspont	1
Csúcspont - X	645399.6353
Csúcspont - Y	270105.1623
Kezdő szakasz szélesség...	0
Befejező szakasz szélesség...	0
Globális szélesség	0
Szint	0
Terület	1405.6966
Hossz	157.7595
<b>Egyéb</b>	
Zárt	Nem
Vonaltípusok létrehozása...	Letiltva

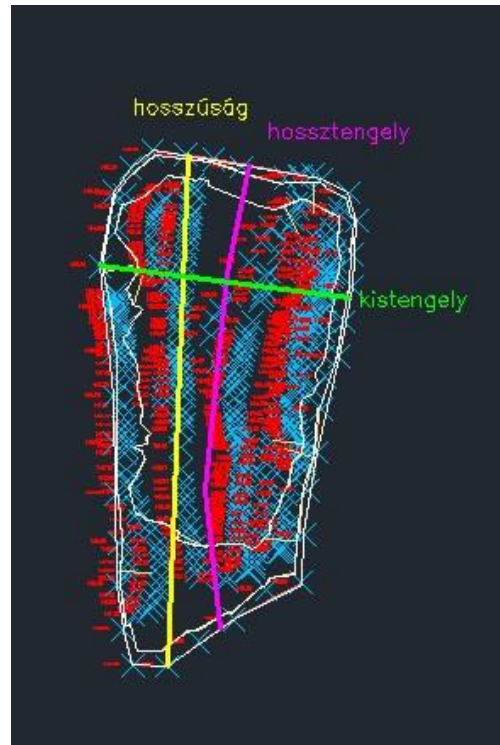
21. ábra: Vonallánc tulajdonságai (példa)

Ebben a fájlban húztam be szintén vonallánccal a mederfelületek hossz tengelyét, hosszát és kistengelyét és az előzőekben bemutatott tulajdonságokból nyertem ki azok hosszértékét.





22. ábra: A tározó hosszúsága, hossz tengelye és kistengelye a 2010-es adatok alapján



23. ábra: A tározó hosszúsága, hossz tengelye és kistengelye a 2013-as adatok alapján

### 3.6 Az Apátkúti-tó morfológiai jellemzői

A fent ismertetett összefüggéseket mind a 2010-ben felmért, mind az általunk felmért adatok alapján elvégeztem. A tó területe a víztükör azon felülete, amely 148,15 mB.f. szinten mérhető. Ebből következik, hogy más vízállások esetén ezek az összehasonlított adatok nagymértékben változhatnak. A vízmélységet és minden egyéb ehhez kapcsolódó adatot szintúgy a 148.15 mB.f.-i magassághoz viszonyított mindkét számítás során.

A két felmérés között a térfogatadatok nagyobb különbsége abból is adódik a feliszapolódáson kívül, hogy a mi felmérésünk során jóval kisebb mederterületet mértünk fel, mivel a többi, hordalékkal megtelt rész már jóval az általam meghatározott viszonyított magasság (bukóél magasság) felé estek, felmérésünkkor víz nem is borította. A szintvonalak mentén és a lehatárolt mederrész mentén „Vonallánc” segítségével meghatároztam a közrefogott területet és a behúzott hosszúsági, hossz tengely mentén pedig lemértem az adott vonalak hosszát.

A következő táblázatok az előzőekben felsorolt és ismertetett összefüggések eredményeit foglalja össze:

2. táblázat: Morfológiai jellemzők a 2010-es felmérés alapján

Morfológia 2010						
Viszonyítási magasság	148,15	mB.f.	b (általános szélesség)	40,15	m	
Legmélyebb pont	145,13	mB.f.	L/l (tóhossz és parthossz aránya)	2,62	m	
$z_m$ (max. mélység)	3,02	m	$z_k$ (átlagmélység)	1,52	m	
A (Tófelület)	4159,08	m <sup>2</sup>	$z_r$ (relatív mélység)	4,15	m	
$A_{147}$	2647,59	m <sup>2</sup>	$V_r$ (rétegek közötti térfogat)	1994,15	m <sup>3</sup>	
$A_{146}$	1405,70	m <sup>3</sup>	$\tau$ (tartózkodási idő)	526194	s	146,2 h (óra)
h	1,00	m	Hígulás	0,000001900	1/s	0,0068 1/h
l (tó hosszúsága)	103,58	m	$D_L$ (part tagoltsága)	1,19	nem fejlett partvonalú	
L (parthossz)	271,14	m	$D_V$ (víztömeg index)	1,14		
Hossztengely	100,85	m	Parthossz-térfogat index	0,04		
Kistengely	48,78	m	Tómedence állandósági index	23,31		
V (térfogat)	6320,12	m <sup>3</sup>				
Q (vízhozam)	0,01201	m <sup>3</sup> /s				

3. táblázat: Morfológiai jellemzők a 2013-as saját felmérésünk alapján

Morfológia VVT						
Viszonyítási magasság	148,15	mB.f.	b (általános szélesség)	32,60	m	
Legmélyebb pont	146,19	mB.f.	L/l (tóhossz és parthossz aránya)	2,59	m	
$z_m$ (max. mélység)	1,96	m	$z_k$ (átlagmélység)	1,21	m	
A (Tófelület)	2758,61	m <sup>2</sup>	$z_r$ (relatív mélység)	3,31	m	
$A_{148}$	2544,93	m <sup>3</sup>	$V_r$ (rétegek közötti térfogat)	2103,26		
$A_{147}$	1690,61	m <sup>3</sup>	$\tau$ (tartózkodási idő)	277762	s	77,2 h (óra)
h	1,00	m	Hígulás	0,00000360	1/s	0,0130 1/óra
l (tó hosszúsága)	84,63	m	$D_L$ (part tagoltsága)	1,18	nem fejlett partvonalú	
L (parthossz)	219,47	m	$D_V$ (víztömeg index)	1,15		
Hossztengely	77,38	m	Parthossz-térfogat index	0,07		
Kistengely	41,83	m	Tómedence állandósági index	15,20		
V (térfogat)	3336,20	m <sup>3</sup>				
Q (vízhozam)	0,01201	m <sup>3</sup> /s				

A táblázat adatait a tározón gátja utáni szakaszon, egy alsó szelvényben észlelt vízhozamra vonatkoztattam (átlagolva a szózással és forgószárnyas vízhozam-mérés eredményeit). A kapott adatok alapján látszik, hogy az általános szélesség 5 m-rel csökkent, viszont a tóhossz-parthossz aránya közel azonos. Ebből azt lehet feltételezni, hogy a tározóban főként a partok mentén történik a hordalék lerakása. Az átlagmélység 30 cm-rel csökkent a 3 év alatt, tehát átlagosan évente 10 cm hordalék ülepedett le a mederben (a torkolatnál valószínűleg nagyobb vastagságban). A rétegek közötti térfogat nőtt, de figyelembe kell venni, hogy míg a 2010-es felmérésnél a 147,0 – 148,0 mB.f.-i magasságú szintvonalak között végeztem, addig a 2013-as saját felmérésünkön a 147,0 és 148,0 m közötti réteget számoltam. Ennek fizikai oka, hogy a feltöltődés már akkora volt, hogy nem volt lehetőségem két azonos réteg kiválasztására. A tartózkodási idő egyértelműen csökkent, majdnem felére, ez egyértelműen következik a tározó térfogatának csökkenéséből. A part tagoltságának értéke 1-hez közelít, tehát nem túl fejlett, ez a mesterséges kialakításnak és a part folyamatos karbantartásának köszönhető. A parthossz-térfogat index nő, ennek oka lehet, hogy a part menti sekélyebb részek töltődnek fel, így csökken a parthossz, viszont a víztérfogat nagy része a tározótér belső részén van, így az akkora mértékben nem csökken.

A számítást elvégeztem a tározó előtt és a tározó után észlelt vízhozamok közös átlagával is, ezzel a tartózkodási értéke változott a következő szám adatokra:

4. táblázat: Az átlagos vízhozammal számolva 2010-es adatok alapján

<b>Morfológia 2010</b>			
Q (vízhozam)	0,02797		m <sup>3</sup> /s
τ (tartózkodási idő)	225960,6721 s	62,8 h (óra)	
Hígulás	0,00000443 1/s	0,0159 1/h	

5. táblázat: Az átlagos vízhozammal számolva 2013-as adatok alapján

<b>Morfológia 2013</b>			
Q (vízhozam)	0,02797		m <sup>3</sup> /s
τ (tartózkodási idő)	119277,7976 s	33,1 h (óra)	
Hígulás	0,00000838 1/s	0,0302 1/h	

A táblázatokból látszik, hogy a vízhozam milyen mértékben befolyásolja a tározóba kerülő víz átfolyásának idejét, ezáltal az ülepitési hatás csökkenését előidézve.

## 4. A vízhozam mérése

Mind a tározóba érkező víz, mind a tározóból távozó víz hozamát szerettem volna megtudni. Sajnos ennek mérésére csak egy időpontban került sor, egy esős nap és este után, így a különböző viszonyokra nem tudunk következtetni.

A felmérés során két módszert is alkalmaztunk a pontosság és saját magunk ellenőrzése végett. Mérést végeztünk *kémiai úton (szózás) és forgószárnyas sebességmérővel is.*

## 4.1 Kémiai vízhozam-mérés (sózás)

A kémiai vízhozam-mérés megfelelő eredményt akkor ad, ha ki tudunk alakítani vagy már természetes úton kialakult egy olyan mederszűkület, ahol az érkező összes víz átfolyik.

A vízhozam számítása során integráló (összegző) vízhozam-méréssel számolunk. Egy felsőbb szelvényben beadagolt, megadott sómennyiséggel rendelkező keveréket öntünk a vízbe hirtelen mozdulattal. A beadagolt só által létrejött sóhullám időben változó  $c(t)$  koncentrációval szállítja a sómennyiséget. A beadagolt só mennyisége a következő képletből adódik:

$$S = c_1 \cdot Q \cdot \Delta t + c_2 \cdot Q \cdot \Delta t + \dots + c_n \cdot Q \cdot \Delta t$$

Ahol:

- $S$  – a beadagolt só mennyisége [g],
- $c_i$  – az  $i$ -dik időpillanatban vett minta töménysége [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],
- $\Delta t$  – a mintavételek között eltelt konstans (állandó) időszak [s],
- $Q$  – a folyás ismeretlen vízhozama [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- $n$  – a  $\Delta t$  időközönként vett mintavételek száma.

Az egyenletből kiemeljük  $Q \cdot \Delta t$  szorzatot és osztást végzünk  $n$ -el:

$$S = Q \cdot n \cdot \Delta t \cdot \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_n}{n}$$

Figyelembe véve, hogy  $n \cdot \Delta t = T$ , azaz a sóhullám levonulási ideje, valamint  $(c_1 + c_2 + \dots + c_n)/n = C_{\text{átl}}$ , azaz átlagsótöménység elhanyagolva a  $c_0$  természetes sókoncentráció értékét adódik a vízhozam meghatározására használható összefüggés:

$$S = Q \cdot T \cdot C_{\text{átl}}$$

Ebből számítható az Apátkúti-patak eddig ismeretlen vízhozama:

$$Q = \frac{S}{T \cdot C_{\text{átl}}}$$

Amelyben:

- $Q$  – az ismeretlen vízhozam [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],
- $S$  – a felsőbb szelvényben beadagolt sómennyiség [g],
- $T$  – a mintavételi szelvényen történő átvonulási idő [s],
- $C_{\text{átl}}$  – az átlagos sókoncentráció a mintavételi szelvényben [ $\text{g}/\text{m}^3$ ].

A vezetőképességet konduktométerrel mértük.

A számítási mellékletek a [Melléklet](#)ben találhatóak.

## 4.2 Vízhozam-mérés forgószárnyas sebességmérővel

A méréshez szükségünk van a forgószárnyas berendezésre, számlálóra, geodéziai szintezőlécre és egy stopperórára.

A sebesség mérésének megkezdése előtt felvesszük a mérésre kijelölt szelvényt, amely lehetőség szerint legyen szabályos alakú. A meder jellemző méreteit lemérjük, ilyen a mederszélesség és a kiosztott függélytávolságoknál leolvasható vízmélység. A sebességmérő szárny alá talpat helyezünk, hogy az ne akadjon meg. Mérés megkezdése előtt ügyelünk, hogy ne álljunk el a víz útján az adott függély előtt, ill. után, ezáltal ne befolyásoljuk a mérési eredményt. A mérés során a kiválasztott forgószárny teljes fordulatainak számát adott idő (lehetőleg min. fél perc) leolvashatjuk a számlálóról, ezt feljegyezzük. A mi mérésünk során 1 perces időközönként olvastunk le, minden függélyben kétszer mértünk és végül a kettő átlagát vettem.

A feldolgozás során első lépésben a leolvasott fordulatszám és az eltelt idő hányadosaként a sebességmérő szárny  $n$  fordulatszámát határoztam meg. Ezután a forgószárnyra kalibrált diagram és a hozzá tartozó egyenlet alapján átszámoltam  $n$  értékét sebességre. A forgószárnyamhoz (20400-as számú) társuló összefüggés:

$$v = a \cdot n + b \text{ [m/s]}$$

Ahol:

- $a = 0,0601$
- $b = 0,0181$

Ennek eredményei táblázatba foglalva:

6. táblázat: Sebességek az egyes függélyekben

Sebességek	f; fordulatszám	t; mérési idő [s]	n [1/s]	v; sebesség [m/s]
Tározó felett	94	60	1,56	0,112
	241	60	4,01	0,259
	289	60	4,82	0,307
	181	60	3,01	0,199
Tározó alatt	152	60	2,53	0,170
	748	60	12,47	0,767
	735	60	12,25	0,754

A vízhozam ezek után úgy kapható, ha a függélyek közötti területeket megszorozzunk az ott lineáris interpolációval (eltekintettünk a szelvényben az esetleges sebességeloszlástól) megkapott középsebességgel.

A számítási mellékletek a [Melléklet](#)ben találhatóak.



### 4.3 Vízhozam adatok összefoglalása

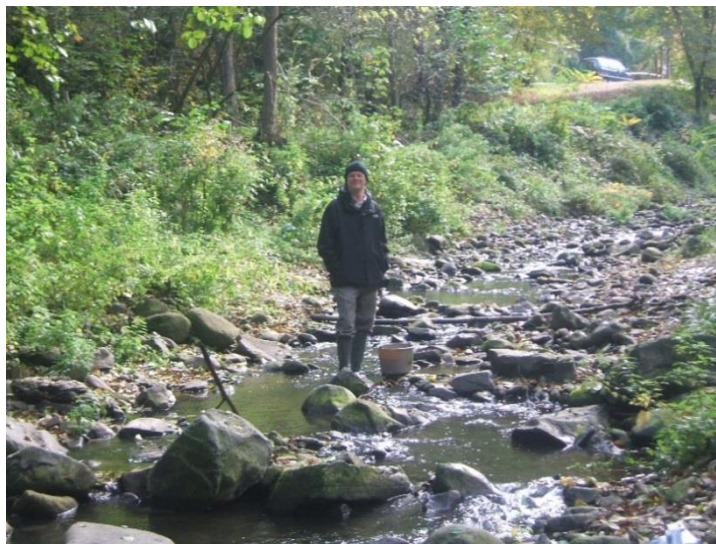
A mért vízhozamok a következő táblázatban foglalom össze:

7. táblázat: Mérés után számított vízhozamok

Vízhozam	Sózás	Forgószárnyas
$Q_{\text{Tározó felett}} \text{ [l/s]}$	12,72	11,30
$Q_{\text{Tározó alatt}} \text{ [l/s]}$	15,94	43,92

Az adatokból kitűnik egy nagy különbség a sózás és a forgószárnyas által mért vízhozamok között a felső szelvényben. Ennek oka, hogy a sózáshoz nem sikerült megfelelő keresztmetszetű, beszűkült mederszakaszt találni, valószínűleg ebből adódik a hiba. Ebből következik, hogy itt a forgószárnyal mért adat tekinthető pontos értéknek. A tó alatti szelvényben közel azonos eredményt kaptunk. Ennek átlaga 12,011 l/s.

Összességében elmondható, hogy a tározó feletti és a tározó alatti vízhozamok nagy differenciált mutatnak, közel egyharmadára csökken. Ez a nagy eltérés a méréseket megelőző napon történő nagyobb csapadék lehullásának valószínűsíthető.



6. kép: A sós keverék beöntésére várva a felsőbb szelvényben



7. kép: Vezetőképesség mérése konduktométerrel



8. kép: Forgószárny (20400 típusú)



9. kép: Forgószárnyas sebességmérés (vízhozam-mérés)

## 5. Mederanyag vizsgálata

A hidrológiai vizsgálat kapcsán kíváncsi voltam a tározóban leülepedett hordalék tulajdonságaira, ehhez kapcsolódóan szemeloszlás vizsgálatot szerettem volna végezni. A szemmagyságok ismerete nélkülözhetetlen a szemeloszlási görbe felrajzolásához, amely a hordalék általános megítélése és osztályozása szempontjából fontos, valamint további vizsgálatok kiindulási alapja. Ilyen lehet a továbbiakban például a hordalékkotrési teschnológia megállapítása és a zagy rézsülejtésének meghatározása.

*Szemeloszlás vizsgálat* során csupán a hidrometrálás módszerét alkalmaztam, mely 0,125 mm szemmagyság alatt már kielégítő eredményeket nyújt. Ennek oka, hogy ennél nagyobb szemcsék jelenléte a mederminta vétel során vett mintákban aligha volt reális.

A *hidrometrálás* (vagy aerométeres eljárás, esetleg iszapolás) a Stokes-törvényen alapszik, ami egy viszkózus folyadékban ülepedő gömb sebességét adja meg. A vizsgálat során egy 6 cm átmérőjű, 45 cm magas mérőhengert 1000 cm<sup>3</sup>-ig megtöltünk a vizsgált szuszpenzióval (jelen esetben desztillált vízzel és a tömegállandóságig szárított medermintákkal), majd erős rázással az anyagot összekeverjük. Ezek után az üveghengert rázkódásmentes, egyenletes felületre helyezük, majd a sűrűségmérő (hidrométer vagy aerométer) segítségével innentől kezdve meghatározott időközönként leolvasást végzünk. Az aerométert a mérések között ki kell emelni a szuszpenzióból és le kell öblíteni. A hőmérsékletet folyamatosan mérjük (Balázs 1983)

A  $t$  időpontban  $d_t$ -nél kisebb szemcsék  $m\%$ -a a szuszpenzióban a következő összefüggésből adódnak:

$$a = 100 \cdot \frac{\rho_{sz}}{\rho_{sz} - \rho_f} \cdot \frac{V}{m} (\rho_t - \rho_f)$$

Ahol:

- $a$  – a szemeloszlási görbe ordinátája [m%],
- $\rho_t$  – a szuszpenzió sűrűsége  $t$  időpontban [kg/m<sup>3</sup>],
- $V$  – a szuszpenzió térfogata [m<sup>3</sup>],
- $m$  – a szuszpenzióban lévő szilárd anyagok tömege [kg].

$d_t$  a *Stokes-képletből* megkapható:

$$d_t = \sqrt{\frac{1}{c} \frac{h}{t}}$$

Ahol:

- $c = \frac{1}{18\eta} \cdot g \cdot (\rho_{sz} - \rho_f)$ ,
- $h$  – a szemcse által megtett út [m],
- $t$  – a  $h$  úthoz tartozó idő [s],
- $g$  – a nehézségi gyorsulás [m/s<sup>2</sup>].



## 5.1 Mintavétel a mederanyagból

A saját vizsgálatomhoz *medermintákra* volt szükség. Ezen minták vételének helyét a tó hossz tengelye mentén jelöltük ki, *három pontban*. Így közelítő becslést kaphattunk arra, hogy a tározón átfolyó víz hol milyen finomságú szemcséket hagy el a lelassuló sebesség hatására.

A mederből történő mintavételhez a csónakon kívül egy nehéz szerkezetre volt szükség, hogy az a meder alján belekaphasson a hordalékba. Erre egy fém mintavevő eszközt használtunk, amelyet az alábbi kép ábrázol.



10. kép: Mintavevő a mederanyag vizsgálatához

Csónak segítségével bevittük, majd a három kijelölt pontban a meder aljára engedték. A partról egy kötéll segítségével megrántottuk és kb. 5 m hosszban húztuk, ettől az teljesen megtelt. A csónakba történő emelés után kiürítettük, zsákokba helyeztük és a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének laborjába szállítottuk. Itt fém tálcákba öntöttük, majd szárítószekrénybe helyeztük, hogy a további vizsgálatokhoz megfelelő állapotba kerüljön.

Ezek után a minták egy-egy részét 0,125 mm lyukbőségű szitán átszitáltam, mivel a szemcsék teljesen összetapadtak, valamint azért, hogy a szerves anyagtól megtisztítsam. Az átszitált mintákat újfent szárítószekrénybe helyeztem és tömegállandóságig szárítottam.

Azokon a pontokon, ahol mederminta vétele történt vízmintát is vettünk, ezt kiszárítva próbáltunk következtetni a lebegőanyag mennyiségére, de ez az egyszerűsített eljárás nem vezetett eredményre, mivel túl kevés volt hozzá az ásványi anyag.



11. kép: Az összeszáradt, repedezett minta



12. kép: Mederminta a szárítás előtt

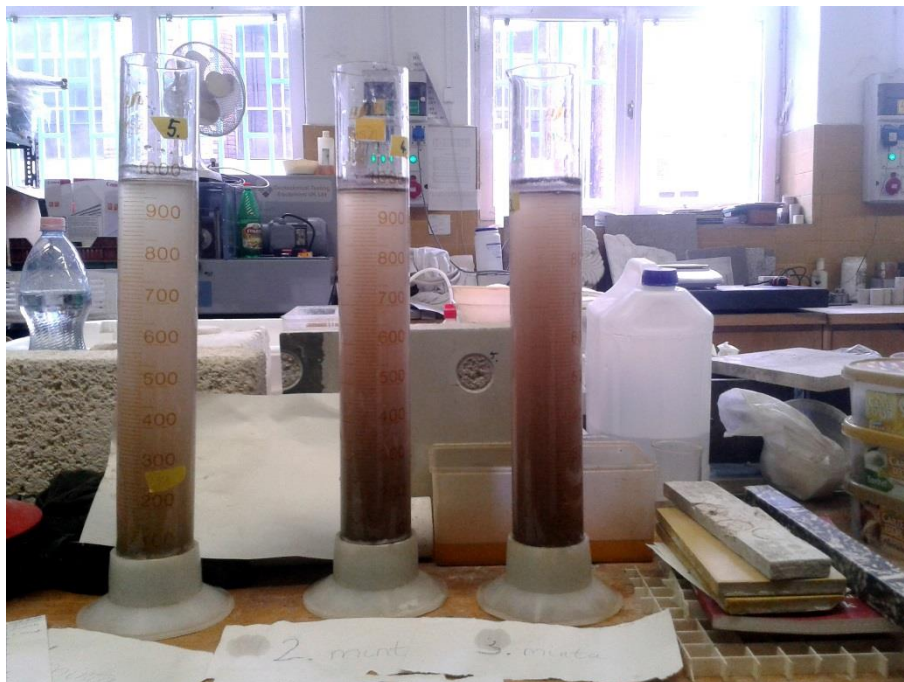


## 5.2 A hordalékminták szemeloszlás-vizsgálata

Mint említettem, a minták tulajdonságai folytán csakis *hidrometrálást* végeztem. Ehhez a már korábban átszitált (0,125 mm lyukbőségű) mintákat használtam tömegállandóságig történő szárítás után. Mind a három mintából 50 g-ot kimértem és elkészítettem a szuszpenziót. Miután a fent leírt méretekkel rendelkező mérőhengerbe helyeztem összeráztam, lemértem a hőmérsékletet, felkavartam és elindítottam a mérést. Előre elkészített ütemterv időpontjában elvégeztem a hidrométer-leolvasásokat, majd feljegyeztem az eredményeket. A leolvasásokat a kísérlet kezdetétől véve 1, 2, 5, 15, 45, 120, 240, 480 és 1440 perckor végeztem el. A hőmérséklet is folyamatos leolvasásra került (végig 22 °C). Minden leolvasás után az aerométert kiemeltem az oldatot tartalmazó hengerből, tiszta vizes hengerbe tettem, leolvasás előtt pedig a hengerből kivéve letöröltem.



13. kép: A minta tömegének mérése

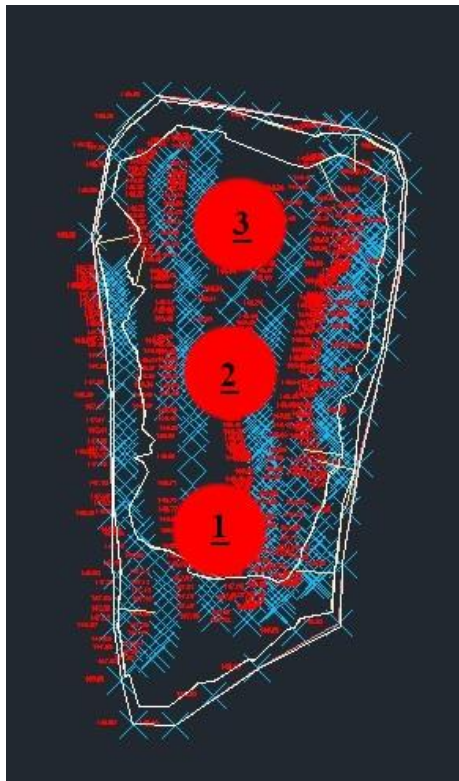


14. kép: Hidrometrálás, az 1. minta már sokkal jobban leülepedett, mint a 3. minta.



15. kép: Leülepedett minta, a különböző finomsági szemcsék rétegenként ülepednek le (egy másik menzúrába tett minta).

A mérések eredményei a [Melléklet](#)ben található.



24. ábra: Mederminták vételének helye

A kapott értékek és a mellékelt vizsgálat során készült kép alapján is látszik, hogy minél távolabb kerülünk a torkolattól, annál nagyobb a finom szemcsék aránya a mintákban (ez fizikailag logikus is).

## 6. Lebegtetett hordalék vizsgálata

A lebegtetett hordalék meghatározása fontos volt annak érdekében, hogy igazolni tudjam az általam felvett meder modellek realitását, azaz, hogy lehetséges-e ilyen mértékű feltöltődés a vizsgált időszak alatt. A korábbi sikertelen próbálkozás után, amely során szárítószekrényben elpárologtattam a vizet azt remélve, hogy a hátramaradt apró szemcsék tömege megadja a lebegtetett hordalék értékét sikertelennek bizonyult annak kis mennyisége miatt, így újabb vízmintákra volt szükség. Ekkor már vízmintákat vettem három szelvényben, a tározó feletti szakaszon, a tározóban – csónak és hosszabb mintavevő hiányában a torkolat utáni laposabb, járható mederszakaszon (óvatosan lépdelve, hogy ne kavarjam fel a lerakódott hordalékot) –, valamint a tározó utáni, vízládából való kifolyás utáni szakaszon. Minden helyszínen három mintát vettem a későbbi adatok pontosságának érdekében, később ezek átlagértékét vettem.

Az elvégzett laboratóriumi hordalékmennyiség meghatározása után (Kiss Melinda és Nagy Krisztina) a következő eredményeket kaptam:

8. táblázat: Lebegtetett hordalékmennyiség alapján számolt hordalékmennyiségek

Lebegtetett hordalékszámítás					Q = 28,0 l/s	Q = 43,9 l/s
Mintavétel helye	Mért adatok [mg/l]			Átlag [mg/l]	m <sup>3</sup> /3év	m <sup>3</sup> /3év
Felső szelvény	287	300	277	288	286,1	448,5
Tározó	297	287	303	296	293,5	460,2
Alsó szelvény	305	295	295	298	296,0	464,1

A lebegtetett hordalék meghatározása során egy üvegtégelybe kimérték 40 ml vízmintát, majd ennek határozták meg lebegtetett hordaléktömegét, ezt vetítve liter dimenzióra. A számítást elvégeztem mind egy általam megállapított közepes vízhozamra – a felvízi szelvényben mért vízhozam és az alvízi szelvényben mért vízhozam átlagértéke 28,0 l/s – és a tározó felett észlelt vízhozam esetére is (43,9 l/s). Az átváltás elvégzése során végeredményként 3 év-re számoltam a figyelembe vett 2670 kg/m<sup>2</sup>-es anyagsűrűséggel. A minták közel azonos mennyiségű hordalékot tartalmaztak.

Az eredmények alapján véleményem szerint reális az általam megállapított hordalékmennyiség (kb. 1330 m<sup>3</sup>), hiszen ezen értékek egy átlagostól kissé eltérő, de semmiképpen nem kiugró novemberi vízhozam esetén jelentkeztek. Figyelembe veendő, hogy nagy esőzésekkor a patakban levonuló hordalék sokkal nagyobb szemcséket is magával ragad, és a mederanyagot is jobban bontja, mivel ilyen nagy esés mellett nagy sebességek alakulnak ki és ez nagy erodáló hatással bír, ahogy ezt a *Bevezetőben* is kifejtettem a 2010-es esemény kapcsán.





16. kép: Feltöltődött tározó, nagy szemcseátmérőjű hordalék (Műszaki leírás 2010)

## 7. Vízterelő feliszapolódása, arra alkalmas számítási módszerek bemutatása

### 7.1 A hordalék keletkezése

A vízfolyásokban a vízzel együtt szilárd anyagok is mozognak, melyeket gyűjtőnéven *hordaléknak* nevezünk eredetüktől és származásuktól függetlenül. A folyóvizek hordaléka ásványi és szerves anyagokból tevődik össze. A szerves hordalék a különböző hulladék anyagokból származik, amelyek leginkább a nagyvárosok csatornahálózatán jutnak a folyóba. Megjelenésük alkalmoszerű, mozgásuk pedig rendszertelen, ezáltal vízfolyások hordalékmozgásának vizsgálatakor kizárólag az ásványi hordalékot vesszük figyelembe (Bogárdi 1971).

A hordalék az erózió jelenségének következtében keletkezik, és így a mező- és erdőgazdálkodási területek mellett a települések és a különböző emberi létesítmények biztonsága és fenntartása szempontjából is lényeges. Szinte magától értetődő, hogy a hordalék keletkezése a medermélyülések és a partok rongálása esetén mind a természetes, mind a mesterséges vízfolyások létét is fenyegeti.

A hordalék keletkezése után valamely szállító közeg révén mozgásba jöhet. Mozgása, hasonlóan keletkezéséhez jelentős problémákat jelenthet. Folyók esetén főleg a felső szakaszokon árvízkor, nagyméretű szikladarabok is mozoghatnak (mint látszik, esetünkben is ez történt 2010-ben), amelyek a vízi műtárgyakat súlyosan megrongálhatják. De az igen finom lebegő hordalék is sok gondot okozhat, elég, ha csak az ipari és kommunális vízellátásra gondolunk – bár ez jelen esetben nem áll fenn –, súlyos problémát jelent a hordalékos víz tisztítása (Bogárdi 1971).

Végül a hordalék problémát jelent, ha akár időszakosan, akár véglegesen leülepszik. Ez káros feltöltődést okoz, árvíz idején pedig az árterületen és az emberi településeken nagy károkat okozhat. A leülepedő hordalék sok esetben veszélyezteti a tározók működését, a folyótorkolatoknál pedig fokozatosan feltölti a befogadót.

Mérnöki gyakorlatban csupán a 0,002 mm-nél nagyobb szemnagyságú anyagot tekintjük hordaléknak.

A hordalék keletkezését elsősorban a vízgyűjtőterületen a vízerózió idézi elő. Természettani viszonyok határozzák meg, és ezért a hordalékképződés változik időben, de változik a hely, a geológiai, a klimatikus viszonyok, sőt még a természetes növénytakaró milyensége szerint. Ez a *természetes erózió*, amely állandóan működésben van. Az emberi beavatkozások következtében, leginkább erdőirtással és a mezőgazdasági művelés bevezetésével az eróziót meghatározó viszonyok megváltozhatnak, az erózió nagyobb mértékű lesz, felgyorsul. Ezt a mesterséges eróziót *gyorsított erózió*nak szokás nevezni. Növeli a hordalékképződést és a természetes erózió jelenségét nagymértékben megváltoztatja (Bogári 1971).

## 7.2 A hordalék mozgása

Minden víznél nehezebb részecske a gravitáció hatására lefelé irányuló mozgást végez, ülepedik, mely mozgást a víz viszkozitása és súrlódási ellenállása hátráltatja. A hordalékszemek tiszta vízre vonatkoztatott ülepedési sebessége  $v$  [cm/s] (Bogárdi 1954,1971).

Először a *Stokes-törvény* segítségével adták meg az ülepedés sebességét. Eszerint a részecskére lefelé ható erő megegyezik a nehézségi erő részecskére való hatásának és a folyadék által a részecskére kifejtett felhajtó erő különbségével. Azaz:

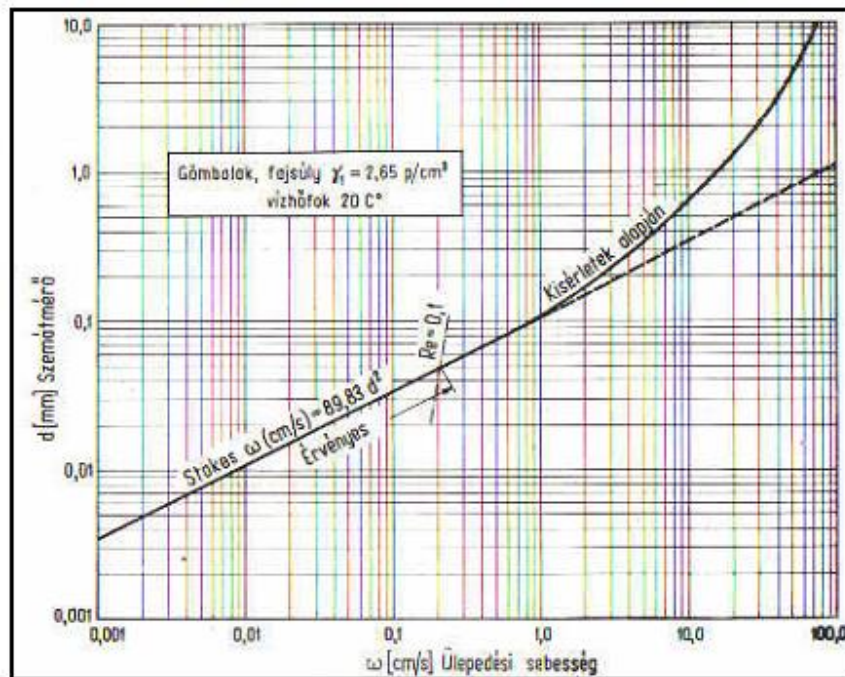
$$\frac{(\rho_s - \rho)d^2}{18\eta} = c \cdot d^2 = v$$

Ahol:

- $\rho_s$  - a részecske sűrűsége [g/cm<sup>3</sup>],
- $\rho$  - a folyadék sűrűsége [g/cm<sup>3</sup>],
- $d$  - a részecske átmérője [cm],
- $\eta$  - abszolút viszkozitási együttható [Pa s].



Az előbb említett ülepedési sebesség csak bizonyos esetekben határozható meg. Befolyásolja értékét például a szemcse és a folyadék sűrűsége, a folyadék hőmérséklete. Ezt ábrázolva:



25. ábra: Gömb alakú, adott sűrűségű hordalékszemek ülepedési sebessége 20 °C-ú vízben (Bogárdi 1971)

A tározóba érkező hordalék csoportosítására szolgál például azon megkülönböztetés, hogy az lebegtetett vagy görgetett hordalék.

A *görgetett hordalék* a mederfenéken csúszva, gördülve mozog. Így az érintkezés a mederfenékkal állandó, kis szakaszokat kivéve.

Lényeges kérdés a szállított mennyiség meghatározása, amely természetes vízfolyásokban nagy változatosságot mutat, például a vízjárástól függ. Meghatározása a legnehezebb megoldható feladatokhoz tartozik.

A *lebegtetett hordalék* mozgását a lebegtetettel szemben az jellemzi, hogy a hordalékanyag a vízben lebegve, a vízsebességgel közel azonos sebességgel mozog. Általában kiegyensúlyozottabb, mint a görgetett hordalékmozgás.

A víztárolók feltöltődésének számítása során az évenkénti lebegtetett ( $G_l$ ) és görgetett ( $G_g$ ) hordalékmennyiségek összegével kell számolni:

$$G = G_l + G_g \text{ [m}^3\text{]}$$

Ha a tározó térfogatát  $V$ -vel jelöljük,  $A$  duzzasztómű keresztmetszvényéhez tartozó vízgyűjtőterület és  $G$  a tározóba egy év alatt érkező hordalékmennyiség, akkor ezen jelölések felhasználásával a tározó feliszapolódása az alábbi mértékszámokkal jellemezhető.  $G$  érkező hordalékmennyiségből  $G_0$  ülepedik le. Évenkénti *hordalék-feltöltődést* kapjuk meg a következő összefüggésből:

$$g_0 = \frac{G_0}{A}$$

Ugyanez kifejezhető a tározó térfogatszázalékában is:

$$g_0 = \frac{G_0}{V} \cdot 100$$

A tározási magasság (s) mm-ben adja meg a tározó térfogatának a teljes vízgyűjtőterületre való elosztása esetén az elméletben lehetséges *tározási vízoszlopmagasságot*:

$$s = \frac{V}{A \cdot 1000}$$

Ahol:

- V – tározótérfogat [m<sup>3</sup>]
- A – vízgyűjtőterület nagysága [km<sup>2</sup>]

A vízgyűjtőterület 1 km<sup>2</sup>-ére eső tározótérfogat meghatározása: V/A [m]

A víztárolók feliszapolódásánál a *legfontosabb mértékszám* a G<sub>0</sub>/A, vagy a G/A, ha G<sub>0</sub> értéke ismeretlen (jelen esetben tudjuk) (Bogárdi 1953).

Természetesen a tározókban történő ülepedés összefügg azzal is, hogy a duzzasztott víz hatására lecsökken a sebesség. Ez befolyásoló tényező lehet a lebegtetett hordaléknál, megszabja annak leülepedését, valamint megszabja azt a határt, amelynél megszűnik a görgetett hordalék szállítása. Ezáltal megközelíthető a várható feltöltődés nagysága.

*Samov és Velikanov* (in Bogárdi 1953) eljárásának lényege, hogy bizonyos ω ülepedési sebességű hordalékszemek által megtett út L, ha H a vízmélység és v a vízfolyás sebessége, amely a víztároló mentén változik:

$$L = t \cdot v = \frac{H}{\omega \cdot v}$$

Ebből következik, hogy a sebességek változásának figyelembe vételével kiszámolható, milyen szemmagyságok ülepednek le a tározótérben, amíg a hordalékot szállító víz a duzzasztóműig elér.

A leülepedhető szemmagyságokat, illetve ezek alsó határát ismerve, és ebből a szemmagyságokhoz tartozó súlysúlyalékokat kiszámítva megkapjuk, hogy a vízfolyás által szállított hordalékmennyiség hány százaléka fog leülepedni a tározóban. Jelen esetben, mivel a hordalékszállítás során szállított anyag szemeloszlása nagyban függ a vízhozamtól – amely intenzíven változik és kiugró eredményeket mutat – erre konkrét eredményt nem lehet adni.

### 7.2.1 A hordalékszámítás eredményei

Az előzőekben ismertetett eljárások alapján kapott értékeket a következő táblázat foglalja össze:

9. táblázat: A hordalékszámítás eredményei a saját felmérésünk után

Hordalékszámítás		
2010	4678,52	m <sup>3</sup>
V (VVT felmérés, térfogat)	3336,2	m <sup>3</sup>
G (hordalékmennyiség)	1342,32	m <sup>3</sup>
A (VVT felmérés, tőfelület)	2758,61	m <sup>2</sup>
A <sub>vgy</sub> (vízgyűjtő terület nagysága)	15,6	km <sup>2</sup>
G <sub>0</sub> (évenkénti hordalékmennyiség)	447,44	m <sup>3</sup>
g <sub>0</sub> (hordalék-feltöltődés) (G <sub>0</sub> /A)	0,162	m
g <sub>0</sub> (hordalék-feltöltődés) ((G <sub>0</sub> /V)*100)	13,41	%
s (tározási magasság)	0,2139	mm
V/A	213,8590	m
G <sub>0</sub> /V	28,6821	
G/V	0,4023	3 évre

Az évenkénti hordalékmennyiség egy ilyen sekély tározóhoz képest magasnak mondható, átlagosan 16 cm-es feltöltődés tapasztalható évente. A többi adatból is kitűnik, hogy a tározó jelenlegi mérete kezd kicsi lenni a vízgyűjtőterület nagyságához képest.

## 8. Összefoglalás

TDK munkám kapcsán szerettem volna átfogóbb képet adni az Apátkúti-völgyben található patak és az ahhoz kapcsolódó tározó jelenségeiről lehetőségeimhez mérten. Felméréseim, vizsgálataim ellenőrzésére és pontosítására semmilyen konkrét hidrológiai adatsor nem állt rendelkezésre, így csak a saját vizsgálataimat tudtam alapul venni, amelyekhez szükséges adatokat saját terepi munkák segítségével kaptam meg

Előzetes középiskolai és egyetemi tanulmányaim és az egyetemi könyvtárban történő szakirodalom felkeresése nagyban segítette dolgozatom elkészítését, a hozzá kapcsolódó vizsgálatok és számítások elsajátítását. Mint az irodalmi hivatkozásokból is látszik ötvöztem az 1970-es években végzett kutatásokat a jelen kor számítástechnikai megoldásával.

A dolgozat eddigi eredményeképp látható, hogy a tározó feltöltődése folyamatos, annak karbantartása folyamatosan szükséges.

A következőkben szeretném összefoglalni vizsgálataim, felméréseim eredményét. Véleményem szerint a legfontosabb adat a meder feltöltődése, mely  $1342 \text{ m}^3$ -re adódott. A vízhozam a tározót megelőző szelvényben egy novemberi átlagosnak mondható időszakban, pár órás esőzés után  $43,9 \text{ l/s}$ , a tározó alatti szelvényben pedig  $12,0 \text{ l/s}$  ugyanezen érték. Több hasonló vizsgálat alapján természetesen jellemzőbb értékekkel lehetne szolgálni az időjárási viszonyoknak megfelelően. A leülepedett szemcsék vizsgálatából kiderül, hogy az előbb említett időszakban csak apró,  $0,125 \text{ mm}$  ( $0,08 \text{ mm}$  alatt főleg) szemnagyság alatti hordalék ülepszik le. Természetesen ez nagyobb intenzitású, hosszabb ideig tartó esőzésekkor változik, akár  $10 \text{ cm}$ -nél nagyobb szemcséket is magával sodorhat a mederbe az Apátkúti-patak.

A lebegtetett hordalék mennyisége mind a tározó felett, a tározóban és alatta is hasonló értékeket mutatott, továbbszámolva egy átlagos és egy felső szelvényben mért vízsebességgel megkaptam a hordalékhozamot. Ennek értéke a vizsgált 3 évre tekintve  $290 \text{ m}^3$  és  $460 \text{ m}^3$ , mely egy nagyobb intenzitású esőzés esetén többszörösére is növekedhet, így ezt megfelelőnek feltételezem előzetes számításaim igazolására.

A tározó hordalékszámításának és feliszapolódásának eredményeként feltűnik, hogy a tározó arányaiban kicsinek mondható a vízgyűjtőterület nagyságához képest, átlagos  $16 \text{ cm}$  feltöltődés várható évente. Ha egy hasonló meteorológiai eseménysorozat következik be, mint 2010 évben, akkor a több éves folyamatos feltöltődés után a hirtelen lezúduló hordalék sokkal hamarabb megtöltheti a tározót.

A jövőben szeretnék további vizsgálatokat végezni az Apátkúti-völgy vízgazdálkodásával és hidrológiai tulajdonságaival kapcsolatban, hosszabb időszak alatt biztosabb eredményeket kapni.

## *Irodalom*

*Bogárdi J. (1953): Folyószabályozással kapcsolatos hordalékvizsgálatok, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest*

*Bogárdi J. (1971): Vízfolyások hordalékszállítása, Akadémiai Kiadó, Budapest*

*Balázs Gy. (2009): Építőanyagok és kémia, Műegyetemi kiadó, Budapest*

*Danszky I. (1963): Magyarország erdőgazdasági tájainak erdőfelújítási, erdőtelepítési irányelvei és eljárásai, IV. Dunántúli Középhegység erdőgazdasági tájcsoport. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest*

*Dukay G. (2006): Ökoturizmus a védett természeti területeken. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest*

*Marosi S.–Somogyi S. (1990): Magyarország kistájainak katasztere 2. kötet. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest*

*Dövényi Z. (2010): Magyarország kistájainak katasztere, második átdolgozott és bővített kiadás. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest*

*Felföldy L. (1981): A vizek környezettana (Általános hidrobiológia), Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*

*Gribovszki Z. (2010): Mezőgazdasági infrastruktúra alapjai 9., Sík-, hegy- és dombvidéki vízrendezés, Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, TAMOP 4.2.5 Pályázat könyvei*

*Gribovszki Z. - Pannonhalmi M. (2005): Vízvédelem (oktatási segédlet), Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geomatika és Mérnöki Létesítmények Intézet, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék, Sopron*

*Hamvas F. (1994): Vízépítés, Műegyetemi Kiadó, Budapest*

*Ilyas A. : Magyarország Talajai című tantárgy, Visegrádi-hegység c. jegyzete, Magyarország talajai c. tantárgy*



*Janata K. (2013):* Visegrádi-hegység kialakulása,

*Koris K.-Winter J. (1999):* Hidrológiai mérőgyakorlat. (91099) Műegyetemi Kiadó, Budapest

*Koris K. - Józsa J. (2001):* Tóhidrológia I., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, ÉMK, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

*Lovász Gy. (2000):* Általános vízföldrajz, University Press, Pécs

*Madarassy L.(1999):* Tározótavak tervezése, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Tájépítészeti, Védelmi és -Fejlesztési Kar hallgatói számára, Budapest

*Oláh P. (2008):* A Brennbergi-tározó hordaléklerakódás-vizsgálata és környezetvédelmi szempontú rendezése, Sárvár, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki kar, Diplomamunka

*Oláh P. (2011):* Az erdészeti vízgazdálkodás helyzete és fejlesztésének lehetőségei a Visegrádi Erdészet területén, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki kar, Sopron

*Pál J. (2010):* Műszaki leírás a 2010-es Apátkúti-halastó helyreállításról

*Stefanovits P. (1963):* Magyarország talajai, Budapest, Akadémiai Kiadó

*Széles B. (2011):* A Bükkös-patak vízgyűjtőjének átfogó hidrológiai vizsgálata, BME Építőmérnöki kar, TDK Konferencia 2011., Budapest

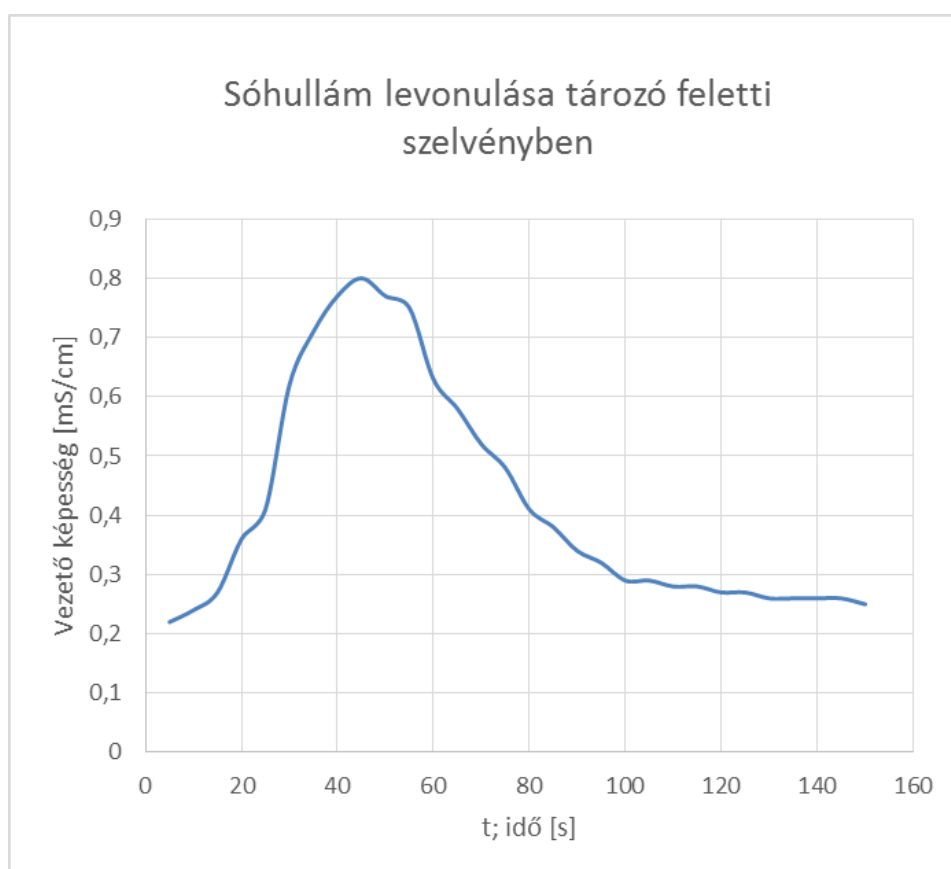
*Vendl A. (1969):* Az Esztergom-Visegrádi andezithegység forrásai. Hidrológiai tájékoztató 1969

## Melléklet

### 1. Vízhozam-mérés eredményei

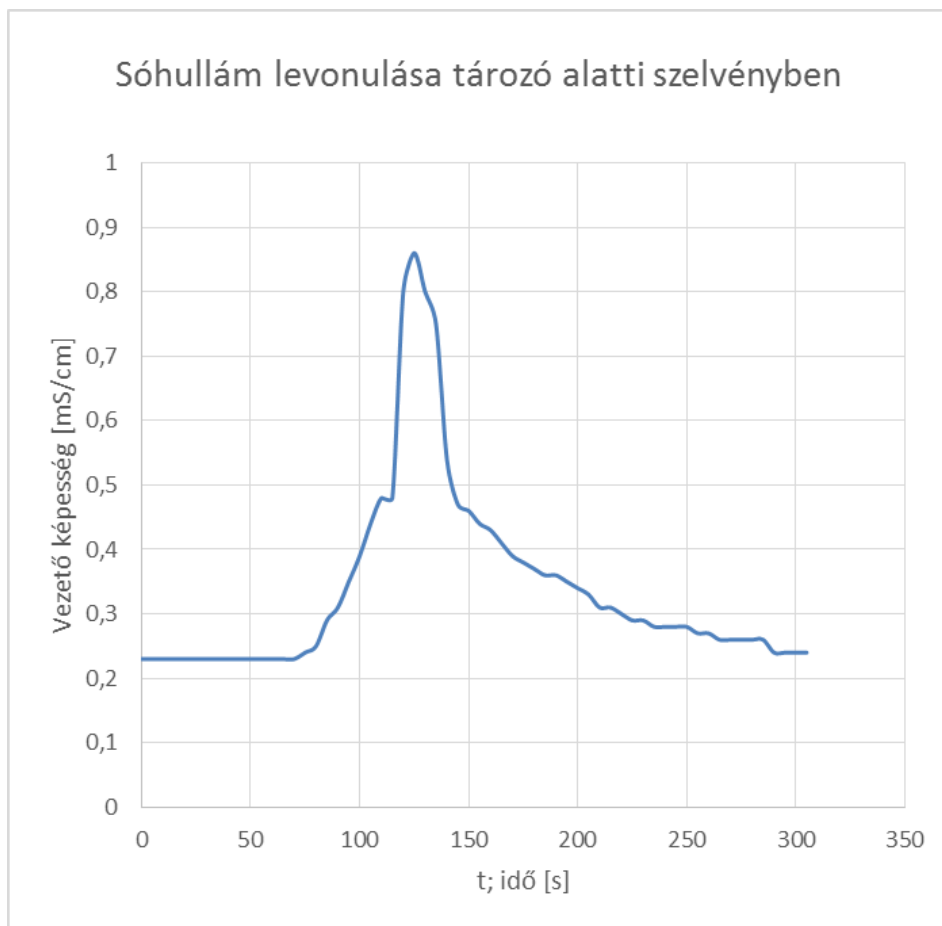
#### 1.1 Kémiai vízhozam-mérés (sózás)

Tározó feletti szelvényben:



26. ábra: Sóhullám levonulása az Apátkúti-tó feletti szelvényben

*Tározó alatti szelvényben:*



27. ábra: Sóhullám levonulása az Apátkúti-tó alatti szelvényben

## 1.2 Vízhozam-mérés forgószárnyas sebességmérővel

Tározó feletti szelvényben

Tározó alatti szelvényben

9. táblázat: Vízhozam számítása az Apátkúti-tó feletti szelvényben forgószárnyas sebességmérővel

Forgószárnyas vízhozam-mérés a tározó felett															
Függély pozíciója [cm]	$h_i$ mélység [cm]	$f_{1i}$ fordulatszám	$f_{2i}$ fordulatszám	$f_i$ fordulatszám	$t_i$ mérési idő [s]	$n$ [1/s]	$v_i$ sebesség [m/s]	$A_i$ függély terület [m <sup>2</sup> ]	$V_{ki}$ középsebesség [m/s]	$Q_{fi}$ függély vízhozam [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{fi}$ függély vízhozam [l/min]	$Q_{fi}$ függély vízhozam [l/min]	$Q_{felső}$ szakasz [l/min]	$Q_{felső}$ szakasz [l/s]	$Q_{felső}$ szakasz [m <sup>3</sup> /s]
20	14,5	99	88	94	60	1,56	0,112	0,015	0,056	0,001	48,584				
60	15	251	230	241	60	4,01	0,259	0,059	0,185	0,011	655,919				
100	17	292	286	289	60	4,82	0,307	0,064	0,283	0,018	1087,377	2635,3	43,9	0,0439	
140	9	182	179	181	60	3,01	0,199	0,052	0,253	0,013	789,766				
160	0	0	0	0	60	0,00	0,000	0,009	0,099	0,001	53,678				

10. táblázat: Vízhozam számítása az Apátkúti-tó alatti szelvényben forgószárnyas sebességmérővel

Forgószárnyas vízhozam-mérés a tározó alatt													
Függély pozíciója [cm]	$h_i$ mélység [cm]	$f_i$ fordulatszám	$t_i$ mérési idő [s]	$n$ [1/s]	$v_i$ sebesség [m/s]	$A_i$ függély terület [m <sup>2</sup> ]	$V_{ki}$ középsebesség [m/s]	$Q_{fi}$ függély vízhozam [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{fi}$ függély vízhozam [l/min]	$Q_{alsó}$ szakasz [l/min]	$Q_{alsó}$ szakasz [l/s]	$Q_{alsó}$ szakasz [m <sup>3</sup> /s]	
40	6	152	60	2,53	0,170	0,012	0,085	0,001	61,296				
65	10	748	60	12,47	0,767	0,005	0,469	0,002	140,602	677,9	11,3	0,0113	
90	8	735	60	12,25	0,754	0,0025	0,761	0,002	114,086				
130	0	0	60	0	0	0,016	0,377	0,006	361,950				

## 2. Hidrometrálás eredményei

11. táblázat: A számításhoz használt értékek

h	0,45	m
$\rho_{sz}$	2670	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_f$	997,79	kg/m <sup>3</sup>
V	0,001	m <sup>3</sup>
m	0,05	kg
c	0,9527	Pa*s
g	9,81	m/s <sup>2</sup>

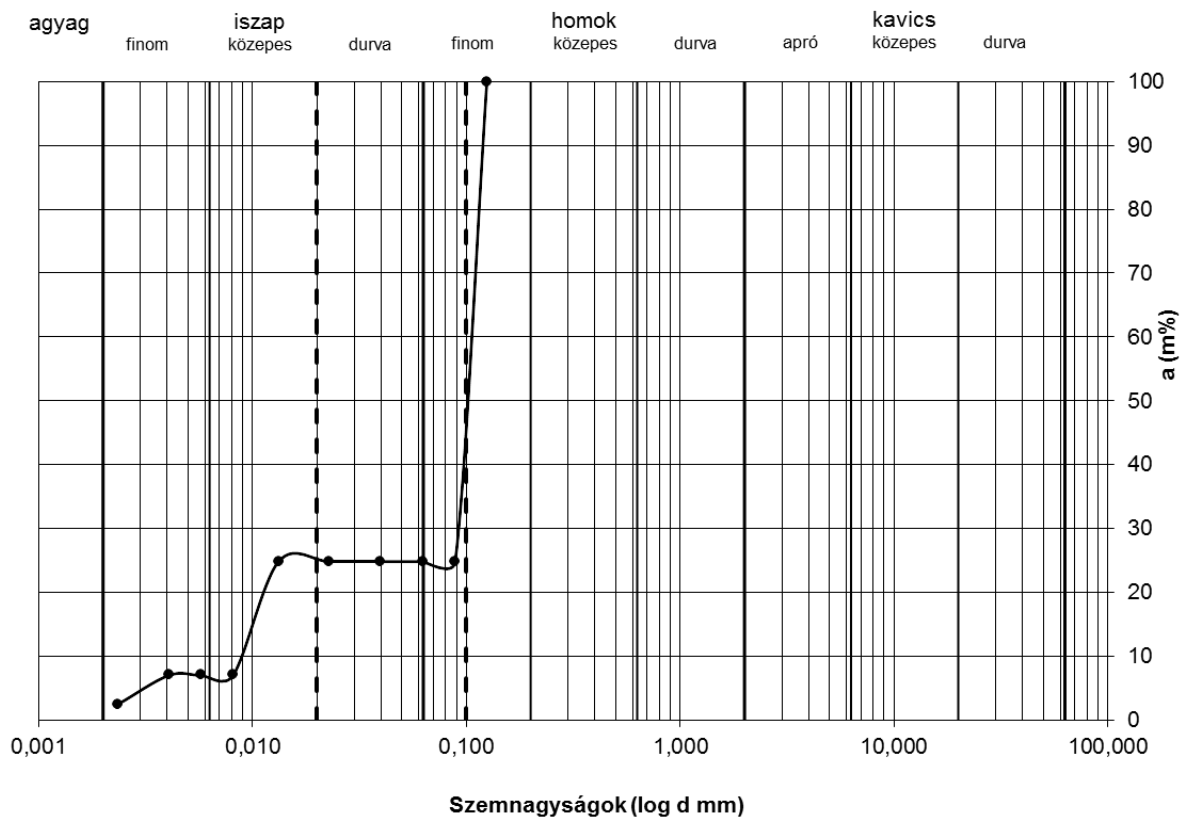


## 1. minta

12. táblázat: 1. minta hidrometrálási jegyzőkönyve

Hidrometrálási eredmény 1. minta				
Idő (t) [perc]	Leolvasott sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]	T [°C]	a [m%]	d [mm]
1	990	22	24,88	0,0887
2	990	22	24,88	0,0627
5	990	22	24,88	0,0397
15	990	22	24,88	0,0229
45	990	22	24,88	0,0132
120	1000	22	7,06	0,0081
240	1000	22	7,06	0,0057
480	1000	22	7,06	0,0040
1440	997	22	2,52	0,0023

### SZEMELOSZLÁSI GÖRBE



28. ábra: 1. minta szemeloszlási görbéje

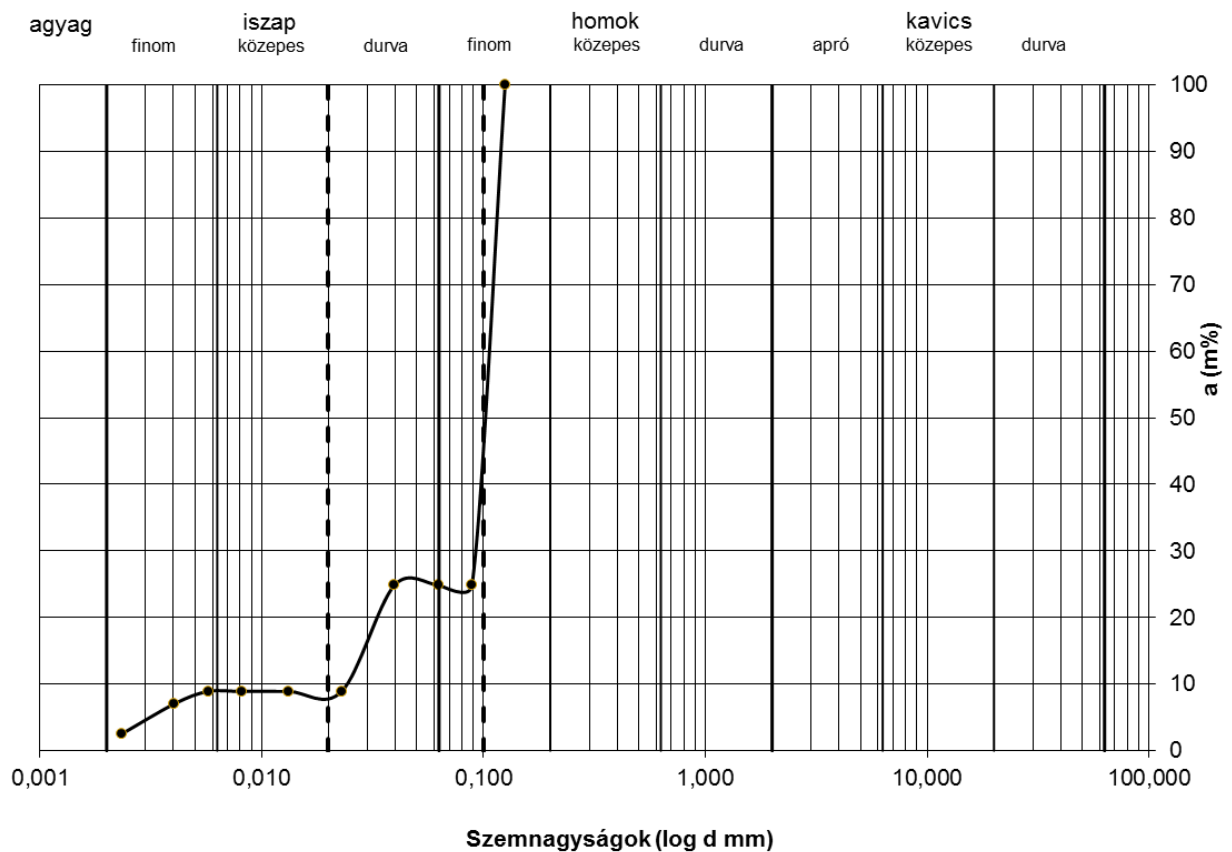
Megjegyzés: A görbe rajzolásában hibát a Microsoft Office Excel ad a pontok összekötése során

## 2. minta

13. táblázat: 2. minta hidrometrálási jegyzőkönyve

Hidrometrálási eredmény 2. minta				
Idő (t) [perc]	Leolvasott sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]	T [°C]	a [m%]	d [mm]
1	990	22	24,88	0,0887
2	990	22	24,88	0,0627
5	990	22	24,88	0,0397
15	995	22	8,91	0,0229
45	995	22	8,91	0,0132
120	995	22	8,91	0,0081
240	995	22	8,91	0,0057
480	1000	22	7,06	0,0040
1440	997	22	2,52	0,0023

### SZEMELOSZLÁSI GÖRBE



29. ábra: 2. minta szemeloszlási görbéje

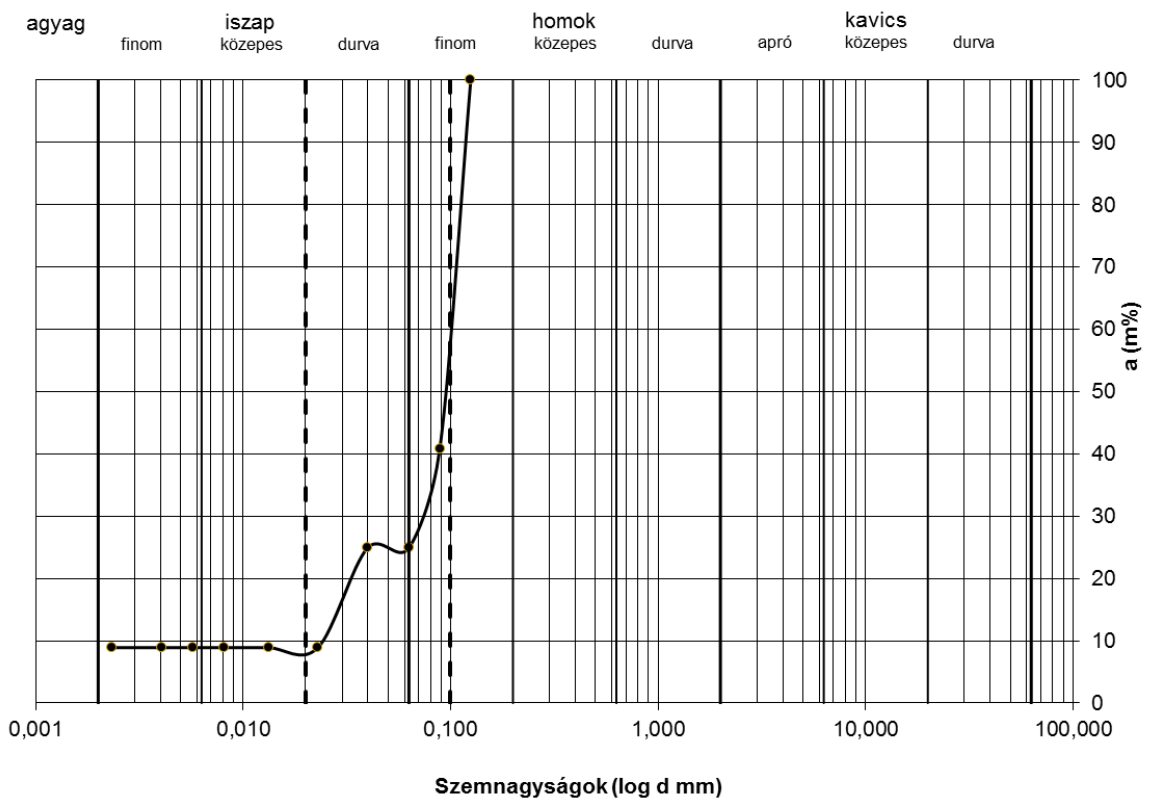
Megjegyzés: A görbe rajzolásában hibát a Microsoft Office Excel ad a pontok összekötése során

### 3. minta

14. táblázat: 3. minta hidrometrálási jegyzőkönyve

Hidrometrálási eredmény 3. minta				
Idő (t) [perc]	Leolvasott sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]	T [°C]	a [m%]	d [mm]
1	985	22	40,84	0,0887
2	990	22	24,88	0,0627
5	990	22	24,88	0,0397
15	995	22	8,91	0,0229
45	995	22	8,91	0,0132
120	995	22	8,91	0,0081
240	995	22	8,91	0,0057
480	995	22	8,91	0,0040
1440	995	22	8,91	0,0023

#### SZEMELOSZLÁSI GÖRBE



30. ábra: 3. minta szemeloszlási görbéje

Megjegyzés: A görbe rajzolásában hibát a Microsoft Office Excel ad a pontok összekötése során

## *Köszönetnyilvánítás:*

Köszönöm Szépen a felmérésekhez, terepi mérésekhez, adatgyűjtéshez nyújtott segítséget és együttműködését a Pilisi Parkerdő Zrt. Visegrádi Erdészeti munkatársainak, *Kálmán Miklós*nak és *Csontos Dömötör*nek.

Szintén köszönöm a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék munkatársainak segítő munkáját és kedvességét, *Torma Péter*nek terepi felmérésben és számítógépes feldolgozásban való segítségét, *Tóth Károly*nak terepi munkálatokban való részvételét, *Kiss Melinda*nak és *Nagy Krisztina*nak a vizsgálatokban való segítségét, *Rehák András*nak a terepi mérések mindegyikén való segítő részvételét és együttműködését.

Köszönöm a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumi munkatársainak, *Emszt Gyula*nak és *Pálinkás Bálint*nak a mintavételek utáni vizsgálatokban való segítséget és igyekezetét.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm *Dr. Hajnal Géza*nak, a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék egyetemi docensének TDK munkám készítése során nyújtott folyamatos segítségét, a szakirodalom kutatásában, terepi mérésekben, vizsgálatokban és szervezésben való közreműködését, útmutatásait, bátorítását és kedvességét.

*Mák Balázs*

BME Építőmérnöki kar

2013, Budapest