

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR**

**A budai termálkarszt hidrogeológiai vizsgálata a
Molnár János-barlang példáján**

Készítette: Nagy Judit Barbara

Konzulens: Dr. Hajnal Géza egyetemi docens

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Dr. Szieberth Dénes egyetemi docens

Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék

Szilágyi Mariann doktorandusz

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Terület bemutatása	4
2.1. Földrajzi elhelyezkedés	4
2.2. A terület geológiai adottságai.....	6
2.3. Hidrogeológiai viszonyok	7
2.4. Malom-tó.....	9
3. A Molnár János-barlang kutatástörténete.....	10
3.1. Korábbi mérések.....	10
3.2. Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék mérései	12
4. Mérések során használt műszerek	16
4.1. Signature 1000 áramlásmérő	16
4.1.1. Működés elve	16
4.1.2. Műszer felépítése.....	17
4.1.3. Mérési bizonytalanságok.....	18
4.1.4. Mintavételi mód	18
4.1.5. Alkalmazási területei.....	19
4.2. Hőmérsékletmérő	19
4.2.1. Szonda	19
4.2.2. Adatrögzítő.....	20
4.3. Csepegővizek mérése	20
4.3.1. Billenőedényes csapadékmérő.....	20
4.3.2. Dataqua DAS-LKTRB 122	21
5. Saját mérések.....	21
5.1. Áramlásmérés.....	21
5.1.1. Archív adatok	21
5.1.2. Mérési körülmények.....	24
5.1.3. Burst móddal történt mérések.....	26
5.1.4. Átlag móddal végzett mérés	27
5.1.5. Járatokban kialakuló sebességek iránya	34
5.2. Kessler-teremben végzett hőmérséklet mérések.....	35
5.2.1. Archív adatok	35
5.2.2. Mérési körülmények.....	38

5.2.3.	A Kessler-terem hőmérsékleti rétegződésének időbeli változása.....	41
5.3.	Áramlás és hőmérséklet alakulása a Kessler-teremben.....	43
5.4.	Csepegővizek.....	49
5.4.1.	Archív adatok	50
5.4.2.	Keresztkorrelációs adatfeldolgozás	52
6.	Összefoglalás.....	56
7.	Köszönetnyilvánítás	57
8.	Felhasznált irodalom	58

1. Bevezetés

A világviszonylatban is páratlan Molnár János-barlang egy, a mai napig is formálódó, járataiban hévízzel szinte teljesen kitöltött barlangrendszer. A korát tekintve alig néhány tízezer éves barlang Budapest szívében helyezkedik el. A különlegessége magában hordozza nehézségét is: a kutatások majdhogynem csak a barlangi bűvárok segítségével lehetségesek.

Nevét Molnár János gyógyszerészről kapta, akinek több, mint másfél évszázaddal ezelőtt felkeltette érdeklődését, azóta számos tudományos munka látott napvilágot.

Dolgozatom célja az eddig született publikációk, szakirodalmak megismerése, módszerek összehasonlítása, majd saját mérések elvégzése azért, hogy a barlang hidrológiai viszonyairól minél bővebb információval rendelkezünk.

A korábbi kutatások megállapították, hogy a barlang eddigi végpontjának vélt járatoknál a víz még tovább áramlik a barlangrendszerben, így egy feltételezett visszaáramlás jön létre a barlangrendszer járataiban (Solymár 2017). Kutatásom során ennek feltérképezését folytatom egy eddig még ezen a területen nem alkalmazott műszerrel. A Nortek által fejlesztett Signature 1000 sebességmérő a Doppler-effektust használva méri a vízben lévő lebegőanyagok sebességét, melyekről feltételezzük, hogy megegyezik a szállító közeg áramlási sebességével. A műszer eddigi alkalmazási területei leginkább a tengerekkel kapcsolatos turbulencia mérések, karsztos közegben való alkalmazása újdonságnak számít.

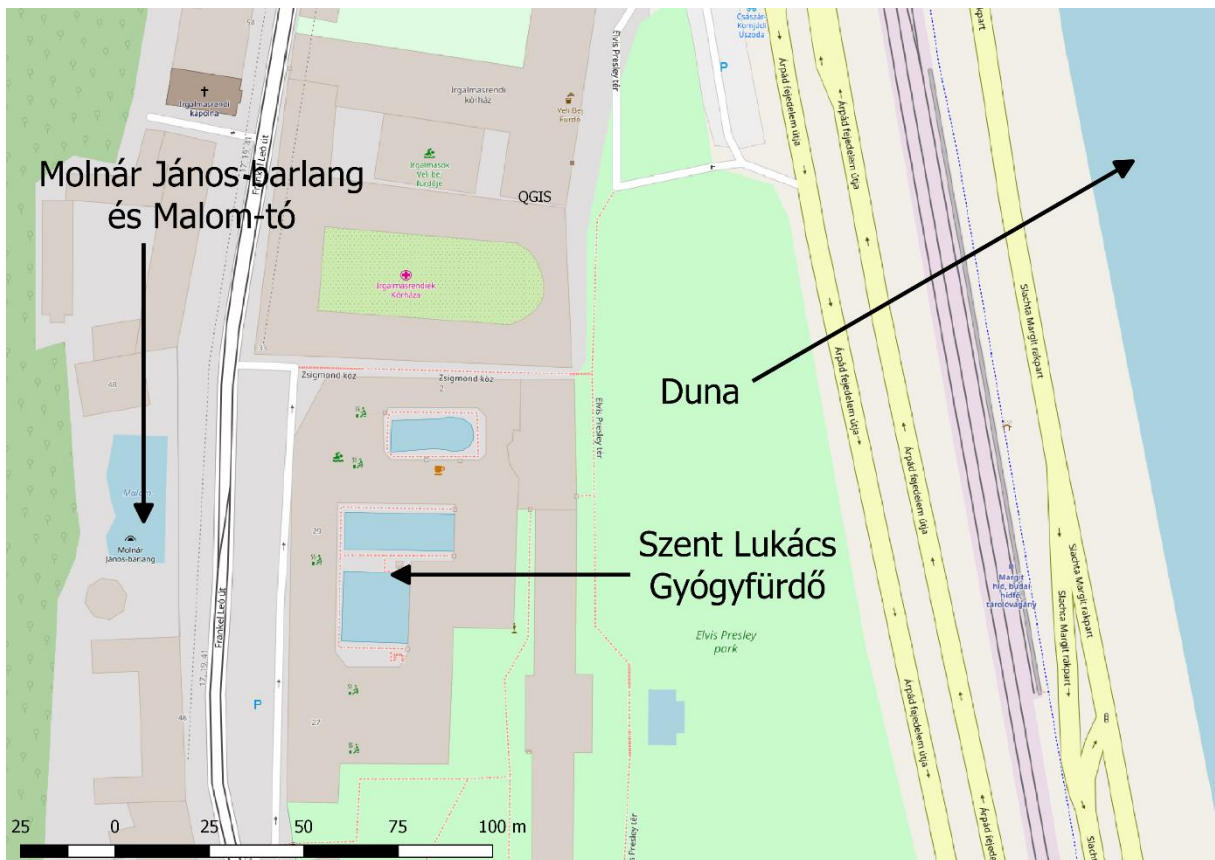
Az áramlásmérések mellett a Kessler-teremben végeztünk a hőmérsékleti rétegződésre irányuló vizsgálatokat, melyek segíthetnek alátámasztani az áramlásmérésekkel kapcsolatos eredményeimet.

A barlang levegős tereibe csepegő vizek folyamatos regisztrálásával szerzett adatokat a csapadékokkal összevetve kerestem a közöttük lévő kapcsolatot. A korábbi tanulmányokkal való összevetésével közelebb kerülhetünk a csapadék és csepegővizek közötti kapcsolat feltáráshoz.

2. Terület bemutatása

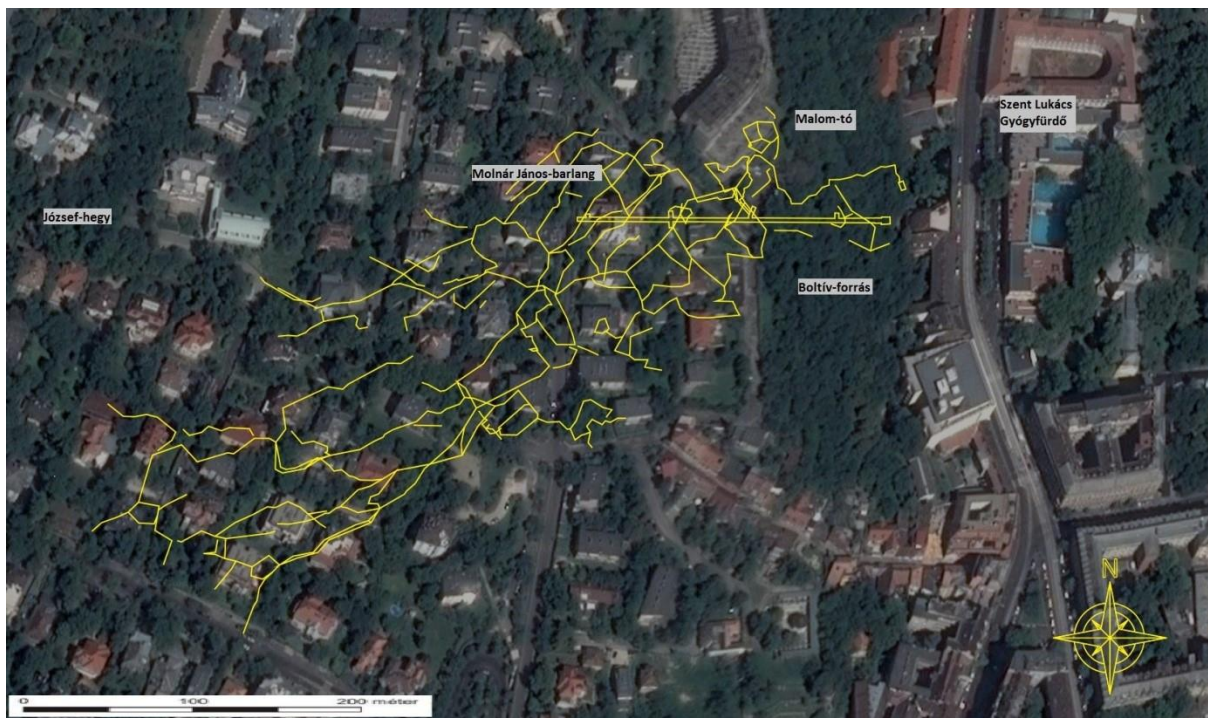
2.1. Földrajzi elhelyezkedés

A Dunántúli-középhegység része a Budai-hegység, ennek területén fekszik a Rózsadomb. Öt nagy barlang található itt, a Pál-völgyi-, József-hegyi-, Mátyás-hegyi-, Ferenc-hegyi-, Szemlő-hegyi-barlang. A József-hegy gyomrában lévő Molnár János barlangot 1982 óta fokozottan védett természeti értéként tartják számon. Ez a terület Budapest II. kerületében, a Dunával párhuzamos Frank Leo utcában, a Szent Lukács Gyógyfürdővel szemben fekszik (1.ábra).



1. ábra A vizsgált terület elhelyezkedése

A Molnár János-barlang Magyarország legnagyobb víz alatti üregrendszere, amelynek a kezdetekben 420 méter volt az ismert hossza. A búvárok mostanra pedig már körülbelül 8 km-t derítettek fel a rendszerből (2. ábra), amely nagy valószínűséggel nem a teljes kiterjedése, a búvárok a mai napig végzik az újabb járatok utáni kutatást (Farkas, 2015). A fő hasadékok nyugati irányban akár 100 méter mélységben is lenyúlnak (Leél-Őssy et al 2011).



2. ábra A vizsgált terület földrajzi elhelyezkedése a Molnár János-barlang poligonjával
(Solymár, 2017)

A telek szélén lévő „mű török fürdő” mögött az 1970-es évek közepén hajtottak egy 180 méteres vízszintes tárot, amiből 83 méternél egy keresztfolyosóból nyílik egy pár méteres segédjáró, amely a Kessler Hubert-terembe vezet. Az alagút további részén 3 helyen keresztezi a járatokat alaprajzilag, de itt nem került kiépítésre az eddigiekben segédjáró (Leél-Őssy et al 2011).



A járatok sajátossága, hogy a falakat hévforrásokcsövek illetve gömbüstök, gömbfülkék ékesítik. A Kessler-teremben sárgás elszíneződés (3. ábra) és manganátos bevonat is megfigyelhető, ami a karbonát kioldódása miatt jelent meg. A barlang nevezetessége, hogy barittelérek figyelhetőek meg (Leél-Őssy et al 2011).

3. ábra Kessler-terem sárgás elszíneződésű

2.2. A terület geológiai adottságai

A Budai-hegységet legfőképp triász és eocén karbonátok alkotják, mely rideg természetének köszönhetően a feszültségek miatt repedezik, így elősegíti a karsztos rendszer kialakulását (Wein, 1977; Bergmann et al. 2011 ; Lovrity et al. 2014).

A 4. ábrán látható a József-hegy geológiai elrendezése, mely jól mutatja a terület földtani rétegzettségét.

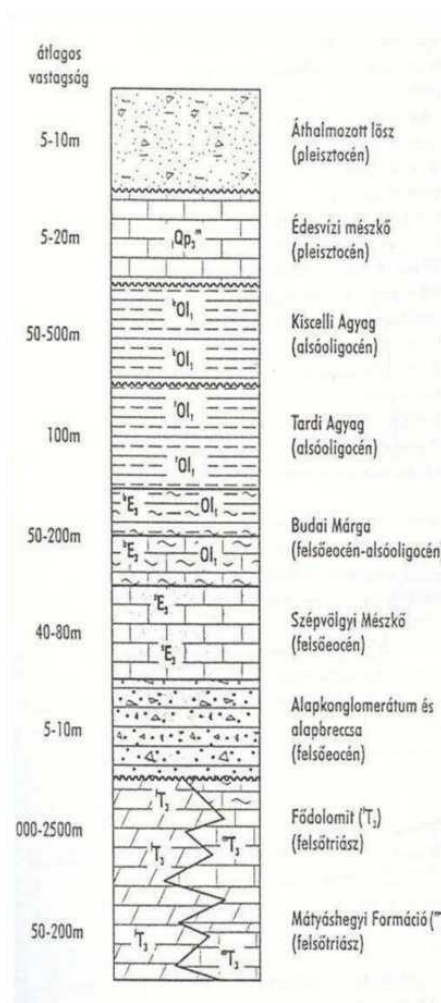
A legfiatalabb képződmény a Mátyáshegyi Formáció, amely a legidősebbre, a Budaörsi Dolomitra települt, ami akár az 1200 méteres vastagságot is elérheti (Wein 1977, Haas et al. 2000; Bodor 2014).

A felső triászra az 1000-1500 m vastag Földolomit Formáció és a karsztosodásra hajlamos Dachsteini Mészke Formáció jellemző (Wein, 1977; Haas et al., 2000; Bodor, 2014). Üledékhézaggal települnek eocén rétegek a budai-hegységi triászra.

Az oligocénre a Budai-hegység vidéke szárazulattá vált, majd szigetként, később félszigetként emelkedett ki a tengerből (Wein, 1977). Ezt a kort az ÉNy-DK-i kompresszió jellemezte, ami miatt vetőzóna alakult ki (Fodor et al., 1991). Az ezáltal kialakuló törésrendszer pedig megfelelő lehetőséget ad a le- és felszálló vizeknek.

Az eocénben sekélytengeri mészke (Szépvölgyi Mészke Formáció), majd Budai Marga települ (Wein, 1977). A folyosók sok esetben egy határrétegen helyezkednek el, így felső részük márgába, alsó pedig mészkebe mélyül (Leél-Őssy et al 2011).

A Budai-vonaltól keletre anoxikus körülmények között fejlődött a Tardi Agyag (Wein, 1977) majd a késő kiscelliben mélyvízi környezetben a Kiscelli Agyag (Nagymarosy és Báldiné, 1988).



4. ábra A József-hegy elvi geológiai rétegzettsége (Leél-Őssy, 1997)

A kora miocénben a hegység szigetként, a szarmatától kezdve félszigetként emelkedett ki a tengerből (Wein, 1977). A Duna szintje vált a felső pannónia végére a fő erózióbázissá. A hegység fokozatos kiemelkedése a karsztvízszint gyors süllyedéséhez vezetett, a források működése is mélyebb szintre helyeződött. A források a Duna szintjének megfelelő magasságban bukkannak elő (Nádor és Kraus in Hazslinszky et al., 1993, Lovrity et al., 2014). A felszínre törő hévforrások erózióbázisuk szintjén mészkövet raktak le (Wein, 1977).

2.3. Hidrogeológiai viszonyok

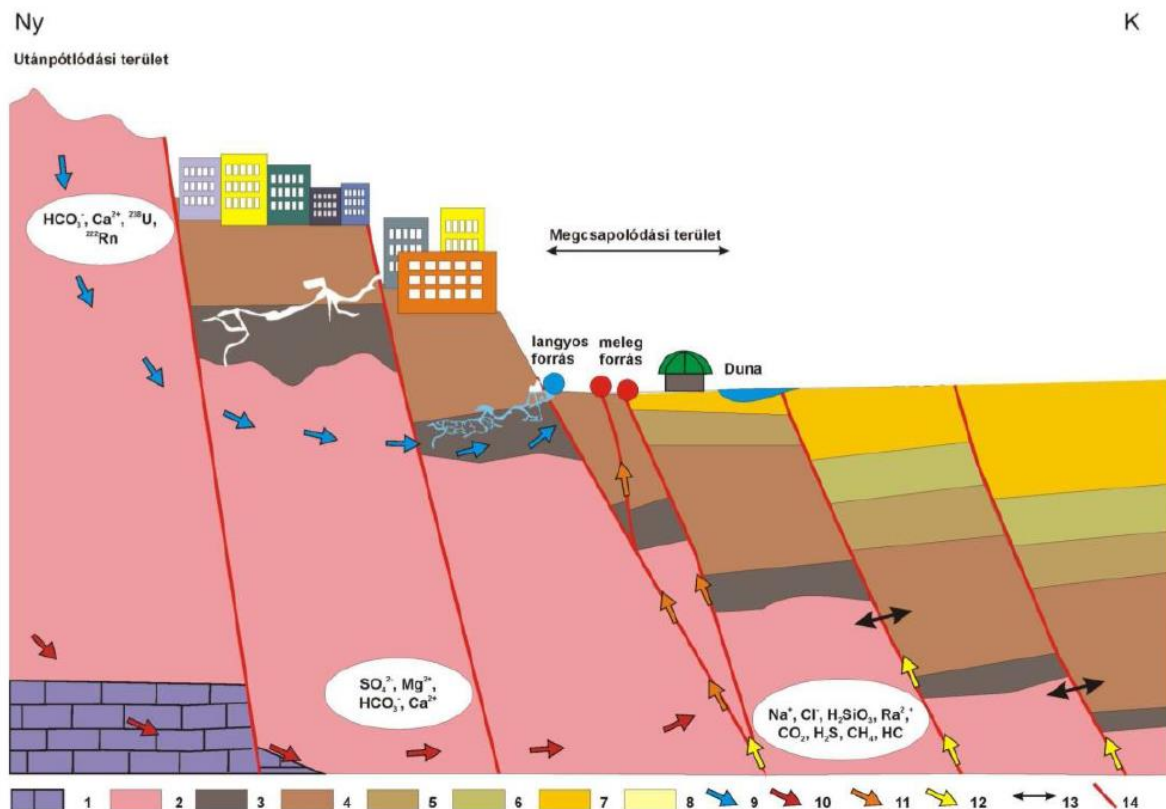
A Budai termálkarszt barlangjainak keletkezéséről a múltban már sokféle elképzelés született, ami a kutatással és a technológia fejlődésével folyamatosan változott, az viszont bizonyos, hogy ez Európa egyik legnagyobb, ma is aktív termálkarszt rendszerei közé tartozik, valamint a Dunántúli-középhegység fő karsztvíztárolójának része (Bodor, 2014). 2016-ig már több mint 50 km hosszúságú járatrendszerben figyelhetők meg a keveredésből adódó korróziós jelenségek, illetve kiválások (Virág, 2016).

A középhegység területén a gravitáció vezérelte áramlási rendszerek alakultak ki (Alföldi 1979, 1982). A Molnár János barlang keletkezését a lokális és intermedier vízáramlási rendszerek keveredésekor fellépő keveredési korrózióknak köszönheti, járatait a tektonikai irányok jelentős mértékben preformálták (Kalinovits 2006, Leél-Őssy et al. 2011). Korát alig néhány tízezer évre becsülhetjük. Vize a Malom-tavat tápláló Boltív- és Alagút-források vízvezető járatát képezi.

A Dunántúli-középhegység egész területén létrejött néhány kilométer vastagságú mezozoos karbonátos rétegsor biztosítja a kőzettani folytonosságot, ezáltal a hidrodinamikai kapcsolatot a termálkarszt és a középhegység többi része között (Mádlné Szőnyi, 1996).

A források eloszlásában egyértelmű tendencia figyelhető meg: északon csak langyos források, a Rózsadomb területén egymás mellett langyos, meleg és hévforrások, míg délen, a Gellért-hegy környezetében főként hévforrások találhatóak (Alföldi et al., 1968). A források egy-egy területen általában ún. forráscsoportokban jelennek meg. A területi elterjedésnek, valamint a kifolyó víz hőmérsékletbeli eltéréseinek az oka a források utánpótlódási területének eltérő kifejlődése, valamint a felszín alatti áramlás pályák különbözősége (Lorberer, 2002).

A természetes állapotok idején a Rózsadomb előterében a Dunához közelebb hévforrások ($>36,7\text{ °C}$) fakadtak, melyek magas oldottanyag-tartalommal (800-1350 mg/l) jellemezhetőek, míg a hegy lábához közelebb langyos források (20-36,7 °C) voltak alacsonyabb oldottanyag-tartalommal (770-980 mg/l) (5. ábra). A két csoport között feltételezhetően egy É-D csapású vető húzódik (Eröss et al., 2008).



5. ábra A rózsadombi megcsapolódási terület koncepcionális modellje (Eröss, 2010)

1. perm – alsó-triász evaporitos karbonátok; 2. triász karbonátok; 3. Szépvölgyi Mészkö; 4. Budai Márga; 5. Tardi Agzag; 6. Kiscelli Agzag; 7. miocén képződmények; 8. kvarter üledékek, 9. lokális – intermedier áramlási rendszerek; 10. regionális áramlási rendszer; 11. regionális medence eredetű fluidumok; 12. medence eredetű fluidumok; 13. komplex víz – kőzet kölcsönhatás; 14. szerkezeti elemek (Bodor, 2014.)

A két csoport között feltételezhetően egy É-D csapású vető húzódik (Eröss et al. 2008). A hévforrások regionális áramlási rendszerek megcsapolódási jelenségei, míg a langyos források esetében egy hideg vizes komponens jelenléte feltételezhető, mely lokális/intermedier áramlási rendszerből származik. Ugyan a Budai-termálkarszt beszivárgási területe földrajzilag pontosan

nem határolható le, azonban ennek utánpótlódási területét a Budai-hegység és a Pilis fedetlen karbonátos kőzetei jelenthetik. A melegvizes komponens utánpótlódási területe valószínűleg a Dunántúli-középhegység távolabbi területein helyezkedik el (Alföldi et al.,1968). Ezen két komponenshez hidrogeokémiai vizsgálatok alapján medence eredetű fluidumok hozzáadódása is valószínűsíthető. A víz hőmérsékletét a kétféle víz keveredése határozza meg, ami így a víztükör közelében 23-27 C°, 25-35 m-es mélységben pedig körülbelül 19 C° (Alföldi et al., 2007; Eröss et al., 2008; Kalinovits in Korpás, 2010 ; Eröss, 2010; Eröss et al., 2012).

Lorberer (1986) szerint a karsztos beszivárgási terület a Dunántúli-középhegységnek mintegy 15%-a. A tektonikai vonalak következtében a megcsapolódás erősen koncentrált, nagy hőáram kíséri (Lorberer, 2002).

2.4. Malom-tó

A Boltív-forrás és az Alagút-forrás vize (6. ábra) a József-hegy lábánál bukkan a felszínre, melynek vizét gáttal duzzasztották, létrehozva a Malom tavat. Utóbbi a Molnár János-barlang víz alatti bejáratául szolgált, azonban a tereprendezési munkák során a hasadékát befedték (Kordos et al, 1984; Nagy; 2012, Bodor; 2014). A Boltív-forrásból fakadó langyos karsztvíz egy részét a Szent Lukács Gyógyfürdő hasznosítja. A Malom-tó vize egy zsilipen keresztül a Frankel Leó utca szintje alá bukik és egy mesterséges csatornán keresztül a Szt. Lukács Gyógyfürdő alagsorát érintve hasznosítatlanul a Dunába folyik.



6. ábra
Malom-tó, Boltív-
forrás, Alagút-
forrás

A feltörő víz hőmérséklete Molnár János (1869) szerint 27,3 C°. Más megfigyelések szerint 24,3 C°-os, Papp Ferenc (1942) méréseit a forrástól 2 méterre, ÉK-re végezte. A különbség Papp (1942) szerint a vízszint magasságkülönbségének tudható be. A tó vizének hőmérséklete a nagy nyitott vízfelület és a külső hőmérsékleti ingadozások ellenére is csak kis mértékben változik.

3. A Molnár János-barlang kutatástörténete

Közel 150 évvel ezelőtt a Rózsadomb egyetlen természetes módon nyitott barlangbejáratán ereszkedett le Molnár János. Vízmintát vett a barlang járatait kitöltő vízből, majd összehasonlította a Malom-tó vizével. Kémia hasonlóságuk valószínűsítette azok kapcsolatát.

Az árvízi forrásszáj felől a 20. század közepén, légzőkészülék nélkül a barlang egyik felső szifonját átúszták a Holly fivérek (Plózer, 1979). Ekkor Kessler Hubert, Ráday Ödön és Chambre Attilának nem sikerült a Boltív-forrás felől bejutni a barlangba.

1960-ban Hajdú László, Marek István, Hortolányi Gyula és Monostori Ervin az Alagút-forrás felől beúsztak a barlangba, és eljutottak az árvízi forrásszájig (Leél-Össy et al. 2011).

Kessler Hubert javaslatára (Plózer, 1979), a Ferencvárosi Természetbarát SK Delfin könnyűbúvár-szakosztály megkezdte a barlang felfedezését, ezáltal fél kilométeres járatrendszert tártak fel.

2001-ben a barlang végpontján található meleg víz beáramlási helyen Gyurka Zsolt felfedezte a barlang belső járatait.

2008-ban Surányi Gergely vezetésével szeizmológiai mérést végzett Leél-Össy Szabolcs, Bergmann Csaba, Bognár Csaba és megállapították a korábban már felfedezett ún. „Széndioxidos-terem” elhelyezkedését a tárhoz képest. A 2008-as év szeptemberében vésőgép segítségével lejtős tárót hajtottak az általuk Kessler Hubertől elnevezett terembe. (Leél-Össy et al. 2011).

3.1. Korábbi mérések

Molnár János (1859) vízkémiai vizsgálatait után Papp (1942) 1935 és 1936 között 54 alkalommal mért víz hőmérsékletet a Malom-tóban. Az adatokat a Duna vízállásával összevetve arra a következtetésre jutott, hogy a Duna befolyással bír a Malom-tó hőmérsékletére.

Különböző módszerekkel vízhozamot mért. A Malom-tó vizének hőmérséklete Alföldi et al (1968) nyomán 1951-1958 között átlagosan 23°C közelében mozgott, majd 1962-65 között egy fokos esés figyelhető meg (Csordás, Pataki 2012). Mádlné et al. (2001) vízszint-, vezetőképesség- és hőmérsékletadatokat gyűjtöttek azért, hogy a csapadékeseményekkel való kapcsolatot vizsgálják, de a mérési időszak túl rövidnek bizonyult. A vízszintadatokról és a vízsebességből közvetett módon vízhozam-értékeket állítottak elő (Csordás, Pataki 2012, Farkas, 2015). Eröss et al. a 2010-es évek elején a Boltív-forrás pH-ját, hőmérsékletét és vezetőképességét mérte.

Bergmann et al (2011) és Leél-Őssy et al (2011) 2009-2011 között havonta vízmintát vettek 7 pontban (4 forrás és 3 csepegő). A mintának egyrészt reprezentatívnak, másrészt a csepegővizek esetén mérhető mennyiségűnek kellett lennie. A táróban fix mintavevő edényt helyeztek ki, míg a másik két helyen alkalmanként kézzel vettek mintát. Laborban több paramétert is vizsgáltak, többek között a fajlagos elektromos vezetőképességet, pH-t. Az adatok elemzéséhez klaszteranalízist használtak, ami egy többváltozós adatelemző módszer. A csepegő vizek intenzitásuk, kémiai és stabilizotópos összetételük alapján elkülönülnek egymástól. Ennek magyarázata megállapításuk szerint a különböző típusú vizek keveredése az eltérő geológia, felszín borítottsági és lejtésviszonyok következtében. A „Cseppkő-fal” helyen vizsgált csepegés intenzitásának növekedése összefüggést mutatott a nagy havi csapadékmennyiséggel, amit alátámasztott a vezetőképesség és ezzel együtt számos ion mennyiségének jelentős csökkenése ezekben a hónapokban. Feltételezéseik alapján a másik két csepegéshez sokkal kisebb arányban keveredhet csapadékvíz, a nitrát tartalom miatt a szennyvízhálózatból való szivárgást tartották valószínűnek. A forrásvíz-minták nem mutatnak jelentős változásokat. Összetételüket két típusú víz, meleg és hideg komponens keveredése határozza meg. A barlang belsejéből származó (Belső-tó, Kessler-terem) és a külső környezettel közvetlenebb kapcsolatban álló minták (Dexion-ág, Malom-tó) elkülönülnek. A meleg víz hosszabb áramlási pályán való mozgása miatt ugyanis több ideje van a kőzetek oldására (Bergmann et al (2011) , Leél-Őssy et al (2011)).

Csordás és Pataki (2012) pályamunkájuk során fiziko-kémiai paramétereket 3 helyen mértek, a Boltív forrás felszínre bukkanásánál, Lukács-fürdő alagsorában lévő csatornában és a Molnár János-barlangból Lukács-fürdőbe érkező cső mintavételi csapjánál. Azt vizsgálták, hogy a csapadékok milyen mértékben befolyásolják a források hozamát. Méréseik alapján a víz hőmérséklete 20-21°C körül változott, a pH semleges körüli értéket mutatott, míg a vezetőképesség kicsit nagyobb intervallumok között, 960-1080 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ingadozott. Nem

fedeztek fel egyértelmű kapcsolatot a mért paraméterek és a csapadékesemények között, melynek okát a vizsgált időszak alatt lehulló kevés csapadékban és a rövid mérési időszakban látták. Mádlné et al., 2001-ben is hasonló eredményekre jutottak. Véleményük szerint a Malom-tó és a mögötte lévő barlangrendszer hatalmas víztömegének tompító hatása játszik szerepet ebben (Csordás, Pataki 2012).

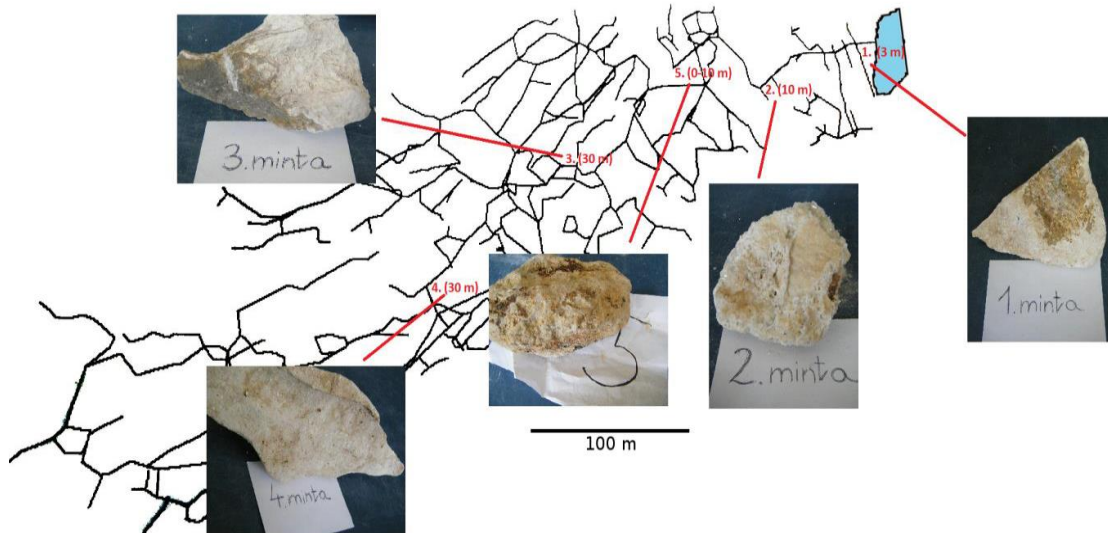
Bodor és Lovrity (2014) Csordás és Pataki méréseihez hasonlóan a fiziko-kémiai paraméterek mérésével foglalkoztak, a csapadék függvényében. Ford és Williams (2007) alapján úgy vélték, hogy a karsztjáratokban a beszivárgó csapadékvíz felszín alatti áramlásának a sebessége gyors, így a csapadékesemények hatása akár néhány óra elteltével is jelentkezhethet a forrásnál, hozamnövekedés formájában, amit a fentebb említett fiziko-kémiai paraméterek változásával is ki lehet mutatni. A jelenség időbeli lefutása függ a karsztrendszer és a forrás vízgyűjtőterületének a méretétől, a tározástól, a karsztrendszer járatrendszerének fejlettségétől, a csapadékesemény időtartamától és intenzitásától (Jakucs, 1959, Ford és Williams, 2007). A Malom-tóba telepítettek egy Dataqua DA-S-LKTRB122 műszert, mellyel mérték a vízszintet, hőmérsékletet és fajlagos elektromos vezetőképességet, majd ezek kötött az adatok között korrelációt számoltak. Megállapították, hogy a csapadék nincsen hatással a vízhozamra, illetve a fiziko-kémiai paraméterekre sem, ellenben a Duna befolyásolja a csatornában mérhető paramétereket. A fajlagos elektromos vezetőképesség esetében elmondták, hogy kisebb mértékben a csapadékkal és a Duna vízállásával is mutat összefüggést, azonban változásai nem indokolhatóak csupán e két paraméter hatásával. Mind az archív adatok feldolgozása, mind a recens mérések alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a csapadékesemények nincsenek hatással a rendszer paramétereire. Ennek oka feltételezésük szerint a karsztrendszer méretében és nagy tározóképességében keresendő (Bodor, Lovrity 2014).

3.2. Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék mérései

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke évek óta kutatja a Molnár János barlang hidrogeológiai viszonyait a barlangi búvárokkal együttműködésben. Az évek során napvilágot látott több publikáció, TDK dolgozat, szakdolgozat, amelyeket röviden az alábbiakban ismertetek.

Pekáry (2014) a Molnár János barlang kőzetfizikai vizsgálatosorozatát végezte el, melynek keretében méréseket végzett a kőzetek testsűrűségének, nyomó- és húzószilárdságának

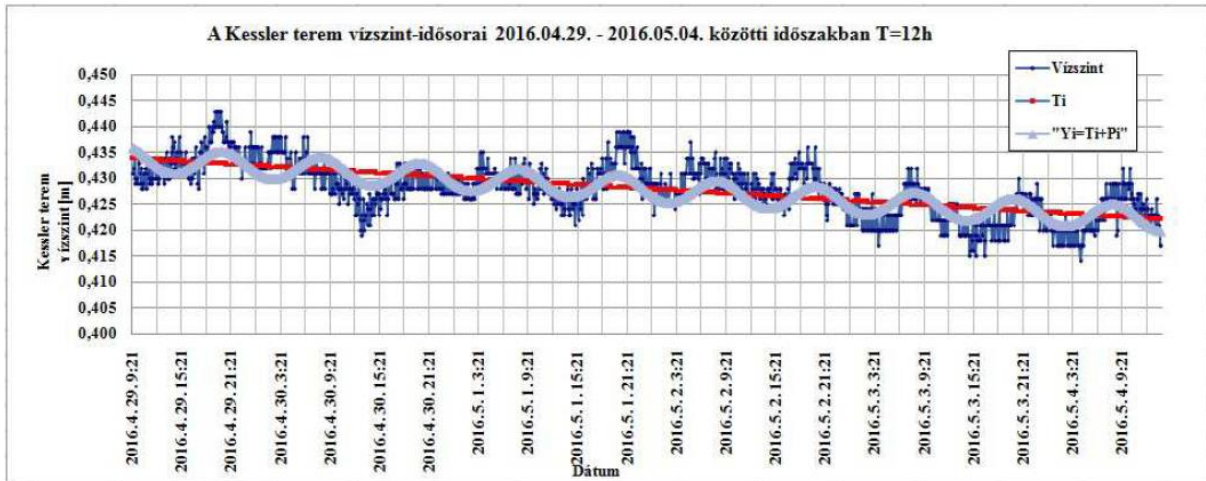
megállapítására. A barlangrendszer állékonyságának vizsgálatánál, illetve szivárgáshidraulikai szempontból jelentős a kutatás eredménye. A 7. ábrán látható a különböző mintavételi helyekről nyert kőzetminták.



7. ábra A barlangrendszer járatainak vázlatos rajza a mintavételi helyekkel, illetve egy-egy kép a mintákról (Pekáry, 2014)

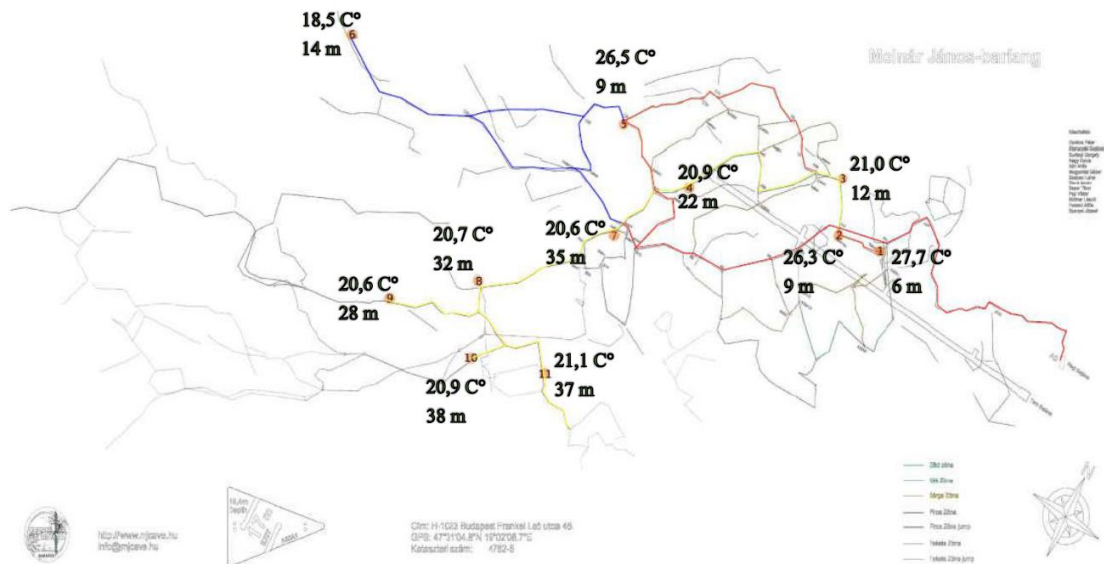
Farkas (2015) diplomamunkája során több helyen végzett számos vizsgálatot. A Malom-tó, Kessler-terem belső tavának, illetve a csepegővizek fiziko-kémiai paramétereit határozta meg, és arra a következtetésre jutott, hogy a csepegővizek jelentős hányadát a közműhibák táplálják. A Kessler-teremben és a tó több pontján csepegővíz-gyűjtőhelyet létesített, lehetővé téve a folyamatos észlelést, majd az adatokat összehasonlította a csapadékkal, de nem tudott egyértelmű kapcsolatot kimutatni. A barlang járataiban végzett áramlásmérés rámutatott az inhomogén időbeli sebességeloszlásra. Az egyik járatban mért áramlásokból készített idősorban a hosszú hullámszerű periódusát vélte felfedezni.

Tóth (2016) a tóban lévő csepegővíz mérésére beszerelt egy billenőedényes csapadékmérőt, amely segítségével egy 12 órás ciklust figyelt meg a csepegővizek intenzitásában, amely feltehetően a Hold árapályhatás jelenségének köszönhető. Hasonló periodicitást figyelt meg a Malom-tó és a Kessler-terem esetében is (8. ábra).



8. ábra Kessler-terem vízszint idősora T=12 h (Tóth, 2016)

Lakos (2017) a Malom-tó és a Kessler-terem tavának vízszintmérésén felül foglalkozott a csepegővizek minőségi, mennyiségi vizsgálatával is, ahol 24 órás periodicitást figyelt meg. A járatokban lévő hőmérsékletek alapján a 9. ábrán látható hőtérképet készítette, vizsgálta a hideg és a melegvíz keveredését.

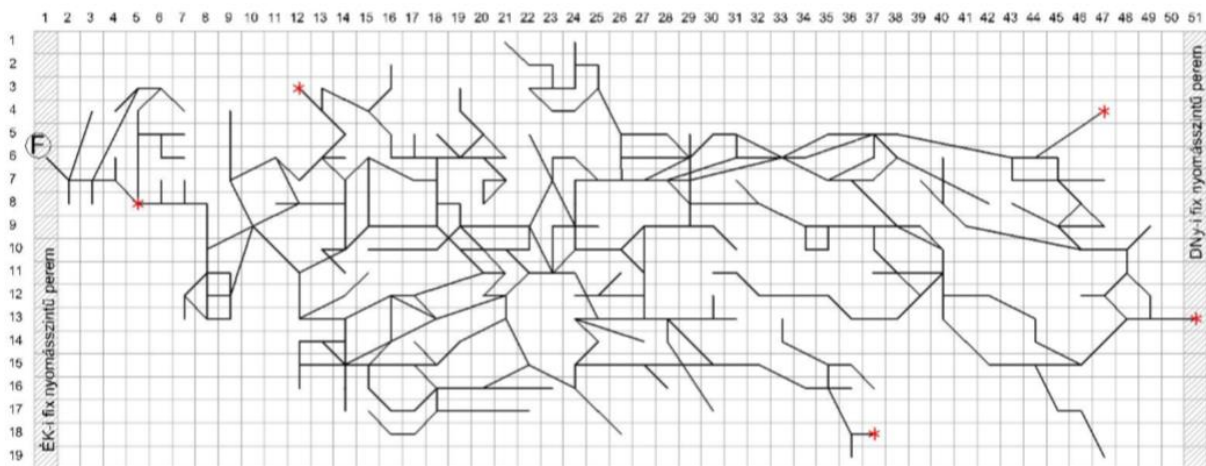


9. ábra A Molnár Jánosban lévő áramlatok (piros: 30 C° felett; narancssárga: 25 - 30 C°; sárga: 20 - 25 C°; kék: 20 C° alatt) (Lakos, 2017)

Pekáry (2017) részletesebben vizsgálta a léghőmérséklet hatását a víz hőmérsékletére, oly módon, hogy függvényeket hozott létre és méterenként mért hőmérsékleti értékeket. Kereste a kapcsolatot a csepegővizek és a csapadékadatok között.

Solymár (2017) a barlang vízzel telt járataiból származó sebességadatokkal foglalkozott, amely során több periodicitásra utaló jelet fedezett fel. Újabb folyásirányokat fedezett fel, amelyek alapján áramlástérképet készített a barlangrendszeréről. A csepegővizekből és járatokból vízmintákat vett és vízkémiai vizsgálatokat végzett, a származási hely meghatározására. Kísérletet tett a csapadék és a csepegővizek kapcsolatának megtalálására.

Farkas-Karay Gyöngyi (2018) doktori értekezésében foglalkozott többek között a Molnár János-barlang áramlási folyamataival, létrehozva egy numerikus modellt (10. ábra), amely alkalmas az itt folyó kutatások támogatására. A modell ismeretével arra a feltételezésre jutott, hogy a járatok vízutánpótlódása egyrészt a mélyebben fekvő, ezidáig még feltáratlan járatokból koncentráltan, másrészt diffúz módon a kőzetmátrixon keresztül történik.



10. ábra A Molnár János-barlang numerikus modellje a peremfeltételekkel (Karay, 2018)

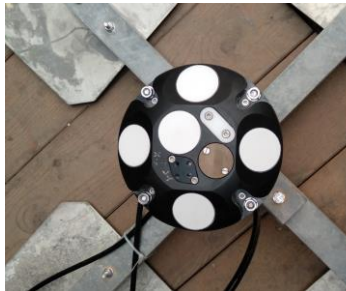
4. Mérések során használt műszerek

Dolgozatom elkészítése közben különféle méréseken vettem részt, amelyek a járatokban és a Kessler-teremben kialakuló sebességeloszlásokra, a hőmérsékleti rétegződésre, valamint a csepegővizekre vonatkoztak. Az ezekhez felhasznált műszereket az alábbiakban ismertetem.

4.1. Signature 1000 áramlásmérő

4.1.1. Működés elve

A Nortek által fejlesztett Signature1000 (11. ábra) egy akusztikus Doppler-elven működő sebességmérő eszköz. A Doppler-effektus a hullámfrekvenciában megjelenő változás: ha a hangforrás mozog a vevőhöz képest, akkor a fogadott hang frekvenciája eltolódik a kibocsátott hang frekvenciájához képest (12. ábra), így tehát a következő összefüggés írható fel:



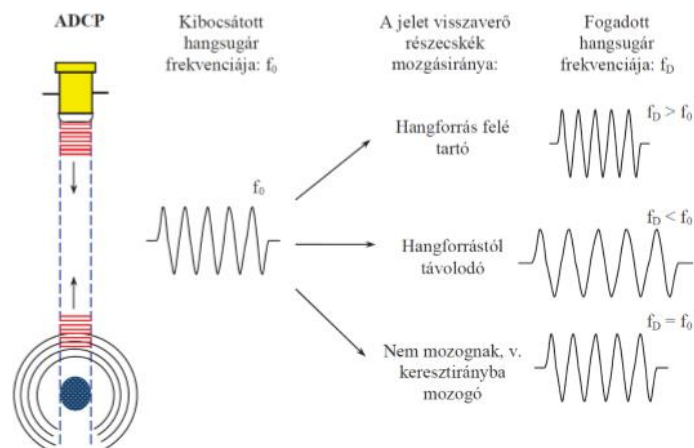
11. ábra Signature 1000 felül és oldalnézetből

$$f_{fogadott} = \frac{v_{rel}}{c_{hang}} * f_{kibocsátott}$$

ahol:

- $f_{fogadott}$ frekvenciaváltozás a vevőnél (Doppler-eltolódás)
- $f_{kibocsátott}$ a kibocsátott jel frekvenciája
- v_{rel} relatív sebesség a jeladó- és vevő között
- c_{hang} hang terjedési sebessége az adott közegben

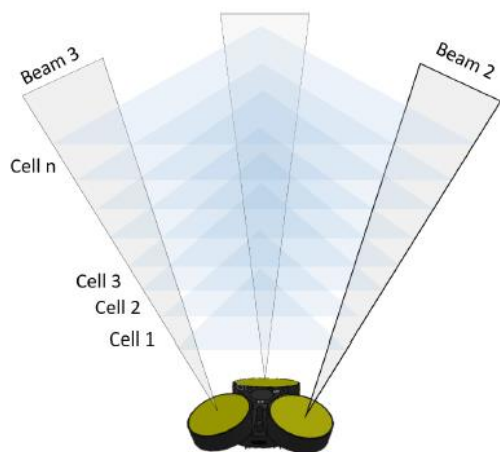
A vízsebesség meghatározása indirekt módon történik, azáltal, hogy a műszer hangsugarat bocsát ki a vízbe. A folyadékban való terjedés közben találkozik a vízzel együtt mozgó részecskékkel (lebegtetett hordalék, buborék), amelyekről a hangsugár egy része szétszóródik, másik része pedig visszaverődik a kibocsátás felé. Utóbbiakat vizsgálja a műszer úgy, hogy összehasonlítja kibocsátott hang frekvenciáját a beérkezett frekvenciával. A jel terjedési sebessége függ a víz hőmérsékletétől, a sótartalmától és a vízmélységtől.



12. ábra A Doppler-eltolódás jellege a víz mozgásirányának függvényében (Sokoray-Varga, B. & Józsa, J., 2006.)

4.1.2. Műszer felépítése

Az eszköz háromdimenziós sebességeloszlásokat mér, így a 3 sebességkomponenshez ebből adódóan minimum 3 jelnevőre, illetve jelkibocsátóra van szükség (13. ábra), amelyek szerkezetileg azonos helyen találhatóak. A Signature 1000 esetében 5 fej található, - amit a 12.



13. ábra Jeladók elhelyezkedése

ábrán már szemléltettem - amelyek közül az 1-3, 2-4 párban vannak, ezek mérik a horizontális és vertikális sebességkomponenst, míg az 5. fej a távolságot, valamint pontosítja a függőleges sebességkomponenst, ami segíti a hullámzás és turbulencia mérését. A mért területet az eszköz cellákra bontja. A felosztás az alapján történik, hogy mennyi idő alatt ér vissza a kisugárzott jel, tehát hogy milyen távol helyezkednek el a részecskék. Alacsonyabb frekvencián az eszköz nagyobb távolságban képes pontosan mérni, míg magasabb frekvencia esetén nagyobb felbontást készít a sebességeloszlásról.

4.1.3. Mérési bizonytalanságok

Mint minden mérés, ezen áramlásmérések is mérési hibával terheltek. Ennek két fajtája van, egyrészt lehet rövid távú, másrészt hosszú távú hiba.

- Rövid távú (random): véletlenszerű, nem befolyásolt hiba. Belső (sugárgeometria, mért terület) és külső (turbulencia, eszköz mozgása) tényezők befolyásolják. A véletlenszerű hiba nem korrelál, így elegendő mérés esetén átlagolással elfogadható mértékűre csökkenthető.
- Hosszú távú (bias): befolyásolt, nem lehet átlagolással eltüntetni. Iránya és nagysága lehet állandó vagy arányos a mért sebességgel. A hiba oka a jelfeldolgozásból (szűrőkből) ered.

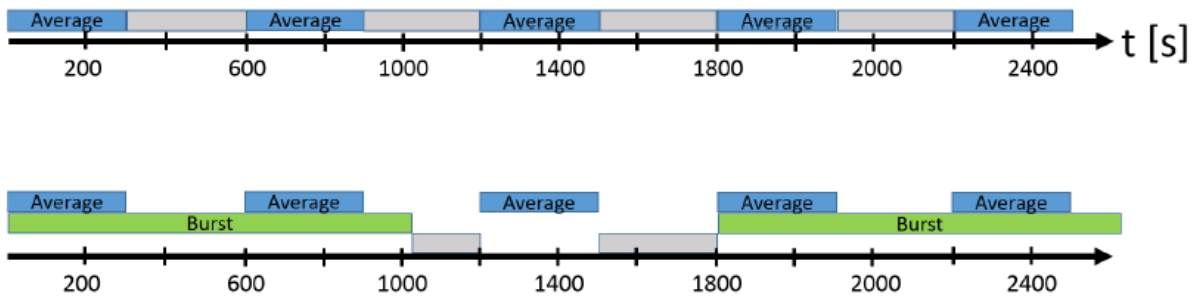
A korrelációs paraméter a mintázási periódus során a mintázási területben a szóródások viselkedésének a relatív konzisztenciájának az indikátora, tehát a korreláció fejezi ki a sebességadatok minőségét. Minél nagyobb a korreláció, annál pontosabb a mérés. Általánosan elfogadott, hogy a mérési hatótávolsága az eszköznek 50%-os korrelációnál van (Martin, 2002).

4.1.4. Mintavételi mód

Két alapvető típusa (14. ábra):

- átlag: átlagos sebességprofil készítésénél alkalmazzuk, azáltal, hogy állandó időközönként végez mérést a műszer. Általában 10 percenként mér a műszer, mivel egyetlen ping olyan sok információt hordoz, hogy akár több másodperc is eltelhet az egyes pingek között. A kapott adat maximum 1 Hz-es lehet.
- burst: az átlagméréssel ellentétben itt nagyon fontos, hogy elegendő sűrűségű mérést végezzen a műszer. Éppen ezért általában turbulencia mérés esetén alkalmazzák. A kapott adat minimum 1 Hz-es.

Az alábbi ábra szemlélteti az átlagos és a burst mód közötti különbséget.



14. ábra Az átlagos és a burst mintavételi mód

4.1.5. Alkalmazási területei

A műszert úgy fejlesztették ki, hogy képes legyen átlagos sebességprofilokat mérni, ezen felül pedig a hullámok, jég, illetve a turbulencia mérésére használják.

A világ számos részéről vannak különféle példák az alkalmazására. Az Északi-tengeren azt figyelték, hogy egy kialakított szélfarm milyen hatással van az áramlatokra. Japánban és a Brit-szigetekenél a Signature mellett alkalmazták az ADV-t (Acoustic Doppler Velocimeter), mely a magasabb frekvenciáknál segítette a mérést, ugyanis ebben a tartományban alakul ki a fehér zaj, amely a mérési pontatlanságot növeli. A tengeráramlat kinetikus energiájának felhasználásához keresték a megfelelő helyet. Ezekon kívül a Kolumbia folyónál több turbulenciára irányuló mérés folyt az elmúlt években.

4.2. Hőmérsékletmérő

4.2.1. Szonda

A 107 hőmérséklet szondát (15. ábra) alkalmaztuk a mérések során, amely BetaTherm 100K6A termisztort használ érzékelőként. A szonda egyaránt képes a lég-, talaj- és vízhőmérséklet mérésére. Az érzékelés tartománya -35 °C és $+50\text{ °C}$ között alakul, ahol a mérési felbontás $0,03\text{ °C}$. Maximum 300 méteres kábelre lehet csatlakoztatni a szondákat. A kábel átmérőjétől függő az összekapcsolható érzékelők száma.



15. ábra Hőmérő szonda

4.2.2. Adatrögzítő



16. ábra CR3000 adatrögzítő

A Campbell Scientific által gyártott CR3000 Micrologger típusú adatrögzítő (16. ábra) segítségével történt az adatgyűjtés. A szondákat csatlakoztattuk a Microloggerhez így ennek segítségével tudtuk a folyamatos adatrögzítést megoldani. A beérkező elektromos jeleket alakítja át, amelyeket a memóriájában tárol, innen lehet kinyerni későbbi adatfeldolgozásra. Az adatok mennyiségének csökkentése érdekében statisztikai számításokat is végez.

4.3. Csepegővizek mérése

4.3.1. Billenőedényes csapadékmérő

A műszer (17. ábra) lehetővé teszi, hogy a csepegővizek mennyiségén túl az intenzitásról is részletes képet kapjunk. A korábbi években egy tálcán összegyülekezett víz egy locsolócsőn keresztül kannába folyt. Ez sem a mennyiség sem pedig az intenzitás mérése szempontjából nem volt megfelelő. A csepegővíz összegyűjtésének elve nem változott, azonban a vizet egy tölcseren keresztül a kétállású billenőedénybe jut. Amint az egyik edény megtelik, átbillen és kiürül, miközben a másik edénybe kezd gyülekezni a víz. Az átbillenés meghatározott vízmennyiség esetén történik. Az átbillenések száma, ideje biztosítja az információt számunkra. A regisztráció úgy történik, hogy a műszer egy elektromos jelet állít elő egy reed-relé segítségével. Az áramkör alapvetően nyitva van és átbillenéskor egy mágnes halad el a reed-relé mellett, mely egy rövid időre zárja az áramkört. A jeleket a barlangban található számítógép gyűjti, amely a Kessler-terem bejáratánál található (Tóth, 2017).



17. ábra Táróban felszerelt billenőedényes csapadékmérő (Tóth, 2017)

4.3.2. Dataqua DAS-LKTRB 122

A műszer, mely a 18. ábrán látható a Kessler-teremben kialakított csepegővíz gyűjtőhelyen egy 210 literes hordóban van elhelyezve. A mérőszondájára ható víznyomás regisztrálását, tárolását akár percenként is képes elvégezni, emellett méri a víz hőmérsékletét, illetve a fajlagos elektromos vezetőképességét. Az adatok kiolvasása könnyedén megtehető a Smartadmin nevű szoftver segítségével illetve egy USB csatlakozóval ellátott számítógéppel (Farkas, 2015). A műszerrel ilyen módon képesek vagyunk a csepegővizek mennyiségének időbeli eloszlását regisztrálni.



18. ábra Dataqua
DAS-LKTRB 122

5. Saját mérések

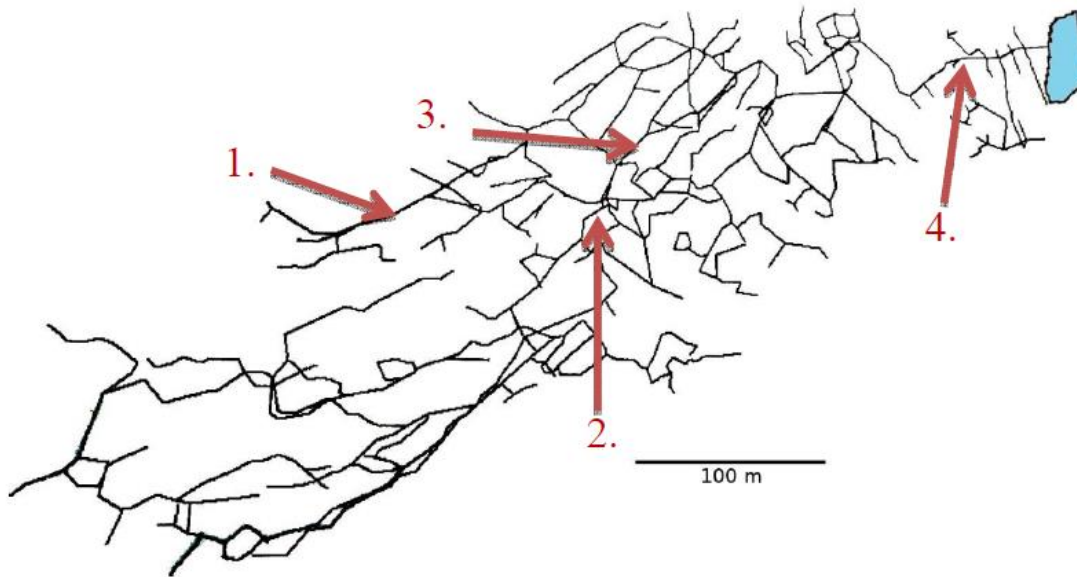
Ahogy látható a 3. fejezetben, az évek során sok területen, számos mérést végeztek a Molnár János-barlang Malom-tóval alkotott rendszerének feltérképezése érdekében. Ennek keretében a TDK dolgozatomban az áramlásméréssel, vízhőmérséklet és csepegővizek mennyiségének mérésével foglalkoztam részletesebben.

5.1. Áramlásmérés

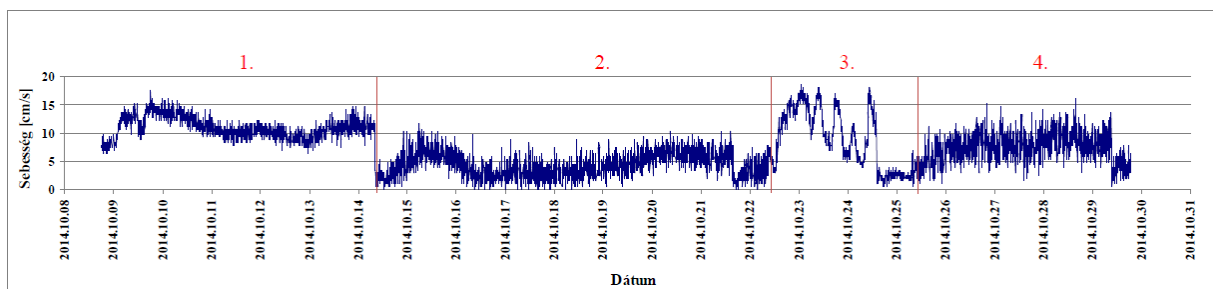
A járatok áramképének minél pontosabb megismerése elengedhetetlen a karsztos rendszer vízháztartásának megismeréséhez. Az áramlásmérés segítségével újabb hozzáfolyásokat, elfolyásokat térképezhetünk fel.

5.1.1. Archív adatok

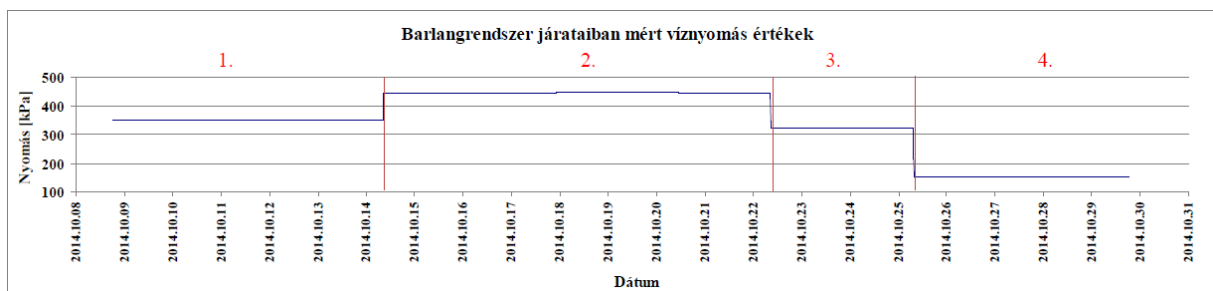
Farkas (2015) RCM 9 MKII típusú műszerrel végzett a járatokban áramlásmérést, amelynek működése a Doppler-effektuson alapszik. A pillanatnyi sebességek nagyságát és irányát a műszer 2 méteres körzetében méri, amit 5 perces gyakorisággal tett. Ezen felül regisztrálja a víz hőmérsékletét, nyomását, zavarosságát, vezetőképességét, és a benne levő oldott oxigént is képes regisztrálni, azonban kalibráció híján ezek az értékek túl pontatlanok voltak. A műszert 4 pontban helyezték el (19. ábra), mindenhol több napos méréseket végeztek. A 19. és 20. ábrán látható piros függőleges vonal a vizsgálat egyes szakaszainak a hosszát jelöli.



19. ábra A barlangrendszerben történt áramlásmérések pontos helyei (Farkas, 2015)



20. ábra Barlangrendszer járataiban mért vízsebesség-értékek (Farkas, 2015)



21. ábra Barlangrendszer járataiban mért víznyomás-értékek (Farkas, 2015)

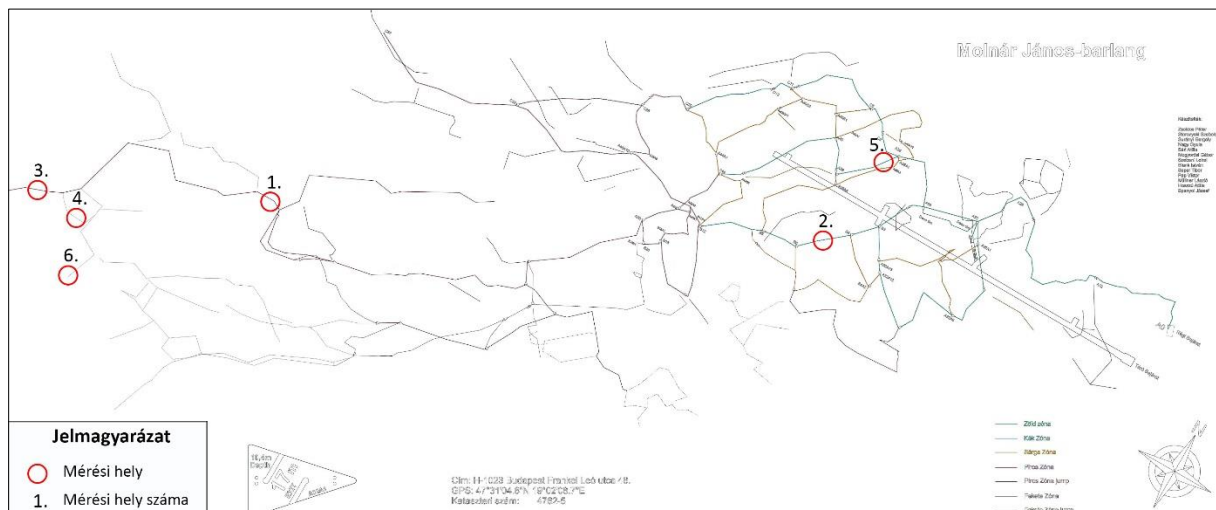
2. mérési pont	
Átlag	4,33
Maximum	11,73
Mínimum	0,00
3. mérési pont	
Átlag	8,93
Maximum	18,58
Mínimum	0,49

Összességében elmondható, hogy konstans szakaszoktól mentes az áramlás alakulása, a különböző

1. táblázat A járatokban regisztrált sebességek statisztikai adatai cm/s-ban (Farkas, 2015)

járatokban mért értékek között jelentős a különbség. A 2. pontban elhelyezett műszer feltételezések alapján a lassú hullámzás periódusát mutatja. A 3. pontnál több hullámhegy látható, amit Farkas (Farkas et al. 2015) a vízhasználatokkal magyarázott. A 2. 3. és 4. mérési helyen a mérési idő végén egy hirtelen csökkenés látható.

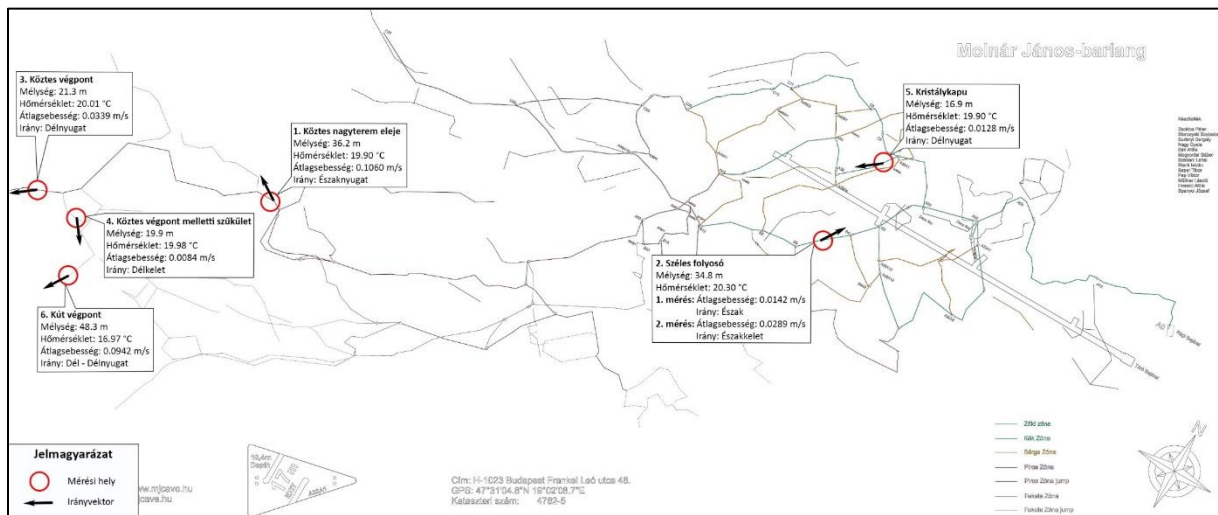
Solymár (2017) a méréseinél már az Aquadopp Profilert alkalmazta, amely hasonlóan az RCM 9 MKII típusú műszerhez egy jelen esetben 3 méteres körzetben regisztrálja a pillanatnyi sebesség nagyságát, irányát, és a nyomást. A mérések itt már jóval sűrűbben történtek, másodperces gyakorisággal. A méréseket 11 helyen végezte, azonban a barlangban lévő túlságosan kicsi lebegőanyagok mennyisége miatt ebből csupán 6 értékelhető eredményt kapott. Ezek helyét a 22. ábra mutatja.



22. ábra Aquadopp Profiler műszerrel végzett áramlási mérési helyek (Solymár, 2017)

Az 1. pont, az úgynevezett Köztes nagyterem mérési eredményei 2 nyolcórás periódust mutattak, illetve 90 és 180 fokos irányváltást, amelyek akár az ár-apály jelenségre is visszavezethetőek. A 2. ponton, vagyis a Széles folyosón történt mérések nagyrészt sajnos sikertelennek mondhatók a túl alacsony korreláció miatt. A 3. mérési pont a Köztes végpontban létesült, amelyről azt feltételezték, hogy az a barlang végpontja, azonban az áramlásmérések iránya abba az irányba mutatott, ahol eddig elzáródást gyanítottak. Ezen kívül 2 órás periodicitást és irányváltást is mért, melynél az utóbbiból akár az eltérő hőmérsékletű rétegek elnyíródása is valószínűsíthető. A 4. pont a Köztes végpont melletti szűkületnél volt, itt is az előbb említett hőmérsékleti rétegek elnyíródása feltételezhető. Az 5. pont a Kristálykapu, itt már Farkas (2015) is feldolgozott korábbi áramlásmérési eredményeket. Solymár eredményei

azt mutatták, hogy egy másik forrás zavarta meg a méréseket. A 6. pont az ún. Kút végpontnál található, ahol a 4 órás periodicitás mellett felfedezték, hogy az eddigi feltételezésekkel ellentétben nem járat végpont. A 3. és 6. ponton mért eredmények azt a feltételezést támasztják alá, miszerint az áramlás leír egy félkört a barlang azon részein, amiket még nem derítettek fel. Készített egy térképet, amelyen jól láthatóak az általa mért járatokból lévő áramlási sebességek nagysága és iránya, amelyet a 23. ábra szemléltet.



23. ábra Aquadopp Profilerrel végzett áramlás mérési eredményeket összefoglaló térkép (Solymár, 2017)

5.1.2. Mérési körülmények

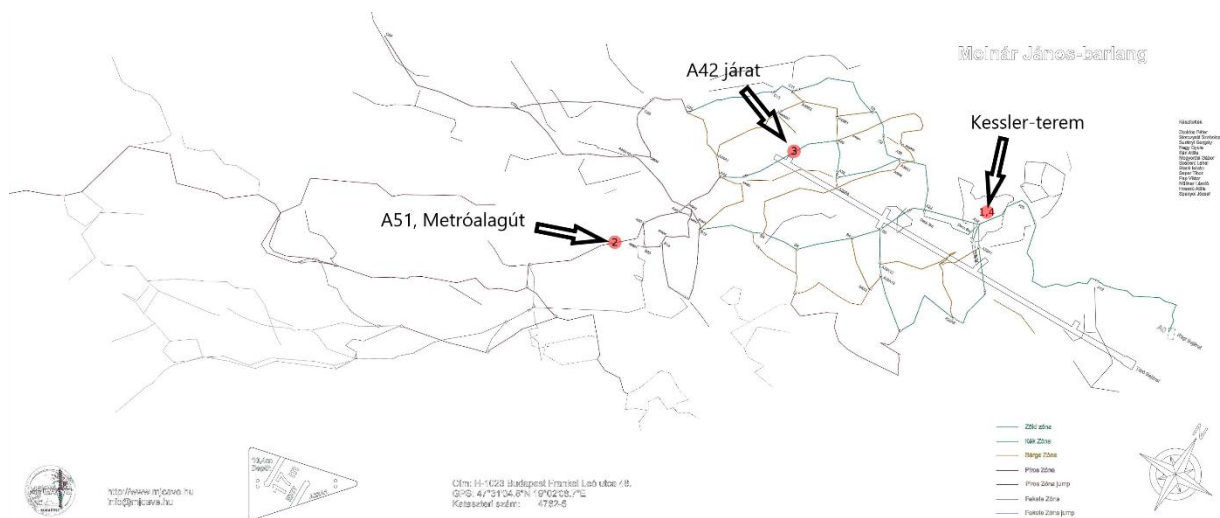
Az eddigi mérésekhez képest újdonság, hogy a már 4. fejezetben részletesen ismertetett



24. ábra Signature a mérési pontba való elhelyezés előtt az emelőballonnal

Signature 1000 áramlásmérővel (24. ábra) végeztük a méréseket. A műszerrel 3 alkalommal mértünk körülbelül 1 hetes időszakokat. Az első mérés 2018. április 25-től május 3-áig, a második június 12-től június 22-éig, a harmadik pedig október 16-tól október 20-áig tartott. A műszer

beállításai a 1-2. és a 3. mérés alkalmával eltértek. Előbbi esetében úgynevezett burstököt mértünk, amelyet a 4.1.4. fejezetben már ismertettem. Az 5 perces intervallumokból az első 2 percet töltötte a műszer méréssel, a további 3 perc anélkül telt az akkumulátor kímélése érdekében. Ennek eredményeképp a 8 Hz-es frekvenciának köszönhetően másodpercenként 8 értéket kaptunk. A feldolgozást követően láttuk, hogy nincs szükség ilyen sűrűségű mérésekre, ehelyett inkább a pontosság került előtérbe. Az októberi mérés alkalmával a már megszerzett tapasztalatok fényében a mintavétel frekvenciája az átlagos beállítással történt. Ekkora a műszer ugyan másodpercenként végzett 1 mérést, de ebből már 1 perces átlagokat számolt, később pedig ezeket dolgoztuk fel.

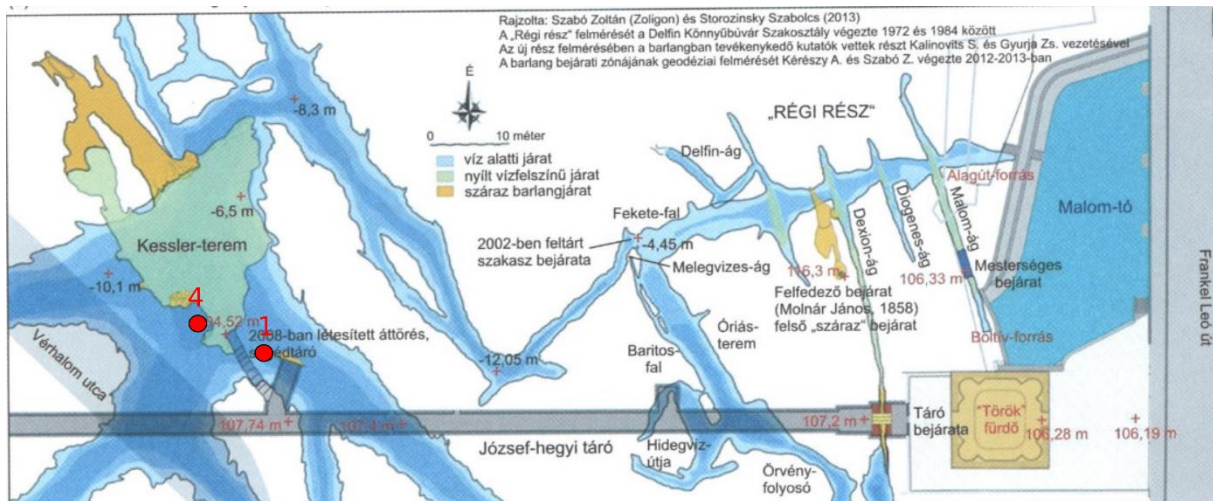


25. ábra Signature 1000 áramlásmérővel végzett mérések helyszínei

A mérés helyszínei (25. ábra) a Molnár János-barlang vízzel telített járatai és a Kessler-terem voltak, ahova a műszereket a barlangi bűvárok segítségével helyeztük el. A műszer szállítása méretei és nagy tömege miatt emelőballonnal történt (25. ábra). A mérési pontok kiválasztásánál több szempontot kellett figyelembe vennünk. Egyrészt a műszer helyigényét, mivel 35 cm magas és a felette lévő 10 cm-es sávban nem képes méréseket végezni, mert időre van szüksége a jel kibocsátása és érzékelése között, így a szűkebb járatokban való mérés ötletét elvetettük. Másrészt szerettünk volna olyan helyszíneket találni, ahol már voltak korábban ilyen jellegű mérések, így választottuk ki a 2. és 3. mérési pontot, amelyek Farkas (2015) mérési helyszíneivel közel azonosak. Az Kessler-teremben való mérés a hőmérsékleti rétegek elnyíródása szempontjából volt fontos, illetve a melegvízes komponens beáramlási helyének megállapításából.

Az áprilisi és júniusi mérések alkalmával a közel egy hetes időszakokat a műszer egy helyen töltötte, a 25. ábrán 1-essel jelölt helyen, amely a Kessler-teremben található az ún. trejni jobb

oldalán. Az októberi mérések során körülbelül 24 óránként új helyre került a műszer. Kedden-szerdán az előbb említett helyen, szerdán-csütörtökön a 2-essel jelölt ún. Metróalagút, A51 járatban, csütörtökön-pénteken a 3-assal jelölt A42 járatban, pénteken-szombaton pedig a Kessler teremben a trepni bal oldalára helyezték át a búvárok a Signature-t. A 1. és 4. mérési hely pontosabb elhelyezkedése a 26. ábrán látható.



26. ábra Kessler-terem trepni két oldalán lévő mérési hely

5.1.3. Burst móddal történt mérések

Ahogy azt fentebb említettem, az első két mérés alkalmával ugyanazzal a műszerbeállítással mértünk, ugyanazon a helyen így ezeket egyben tárgyalom. Mivel az eddigiekben nem volt tapasztalat a műszer ilyen közegben történő használatáról, illetve mivel a korábbi mérések során ár-apály jelenséget vélték felfedezni a barlangban, amit a burst módban való adatrögzítéssel jobban meg lehet figyelni, így e mellett döntöttünk.

A Signature hatalmas mennyiségű adatot regisztrált az egy hetes mérések folyamán, így az adatok feldolgozását a Matlabban végeztem el. A hőmérőlánc – amit a sebességmérő mellett rögzítettünk – adatrögzítése 1 perces gyakorisággal történt. Mivel a legfőbb célunk egy olyan műszerkombináció kidolgozása volt, amivel a hőmérséklet időbeli változása nyomon követhető és alátámasztható, így a sebességadatokat is 1 perces átlagokká kellett átdolgozni. Ehhez a következő lépésekre volt szükség.

- A több száz .mat kiterjesztésű fájlt egyesítettem, hogy kezelhető méretű legyen az adathalmaz.

- Korreláció alapján szűrtem az adatokat. A műszer ismertetésénél említettem, hogy 50-es korreláció felett tekintjük megfelelően zajmentesnek az adatot. Több korrelációs értékkel vizsgáltam meg az adatsort. Annak függvényében választottunk korrelációt, hogy megfelelő mennyiségű adatunk maradjon, így végül maradtunk az 50-es korrelációs értéknél.
- Mivel a műszer 8 mérést végzett másodpercenként, így ezekből átlagolással 1 perces adatokat állítottam elő a már szűrt adatokból.
- Ábrázoltam az átlagolt adatokat a plot paranccsal.

A műszer által rögzített adatokból felhasználtam ezen kívül a nyomásértékeket és hőmérsékleti értékeket. A nyomásokat a műszer dbar-ban adta meg, így ezt átszámítottam métervízoszlopba és kivontam belőle a Signature leírásában található kalibrációs értéket. A hőmérsékleti értékek segítségével képet kaphatunk a Kessler-terem alján uralkodó vízhőmérsékletekről. Szieberth Dénes szóbeli közlése alapján tudom, hogy nagyjából 13 méter alatt 20,8 - 20,9 °C-os hőmérséklet uralkodik. Ezt támasztja alá az általunk mért érték is.

Mérési pont	Átlagos vízoszlopmagasság (m)	Hőmérséklet (°C)
2018.04.25.-05.03. Kessler-terem trepni jobb oldala	12,11	20,93
2018.06.12-06.22. Kessler-terem trepni jobb oldala	13,35	20,76
Kalibrációs érték	0,6843 (dbar)	

2. táblázat Az 1. és 2. alkalommal a Kessler-teremben mért hőmérséklet és nyomás

Az adatfeldolgozást követően azt tapasztaltuk, hogy a használható adatok mennyisége túlságosan kevés, így az októberi mérés alkalmával már másik műszerbeállítással végeztük a méréseket.

5.1.4. Átlag móddal végzett mérés

Az első két mérés tapasztalatai alapján az utolsó mérésnél a műszerbeállításnál az átlag módot használtuk, vagyis a műszer csak másodpercenként rögzített adatot, amit később 1 perces átlagokká számolt. Az adatfeldolgozása így némelyest változott. Bár a mérési intervallum közel

egy hetes volt, mint az előző esetekben, itt már közel sem kellett annyi adattal dolgozni. Egyesítés után az átlagolásra értelemszerűen már nem volt szükség. A sebességkomponenseket eredővé számítottam át. A jobb szemléltetés és átláthatóság érdekében a négy különböző hely méréseit külön ábrázoltam.

A 3. táblázatban összefoglaltam a mérés alatt kialakuló nyomás és hőmérsékleti értékeket, amit sebességmérő regisztrált. A Lakos (2017) által készített hőmérsékleti térképpel (10. ábra) közel egyező eredményeket kaptam.

Mérési pont	Általános vízoszlopmagasság (m)	Hőmérséklet (°C)
Kessler-terem trepni jobb oldala	13,81	20,80
Kessler-terem trepni bal oldala	10,35	24,99
A51, Metróalagút	36,74	20,34
A42 járat	24,66	20,59
Kalibrációs érték	0,6843 (dbar)	

3. táblázat 2018. október 16-20. közötti mérés nyomás és hőmérséklet értékei

A járatokban kialakuló sebességekre néhány alap statisztikai paramétert számítottam (3. táblázat), hogy az jobban összevethető legyen a Farkas (2015) által feldolgozott eredményekkel.

Az ún. Metróalagút mélyebben fekszik, mint a másik általunk mért járat. Alsó részein szélesebb, nagyjából 8 méteres, ami felfele elkezd szűkülni, ahol már alig éri el a 4 métert. Magassága megközelíti a 10 métert. Jellegzetessége, hogy a mért ponttól nagyjából 10 méterre elkezd keskenyedni egy 3 méter széles, 1,5 méter magas lencseformájú szűkületté. A műszer lehelyezésekor tapasztaltak a meder alján egy nagy sebességű áramlást, azonban a műszer magassága miatt ezt mi nem tudtuk regisztrálni.

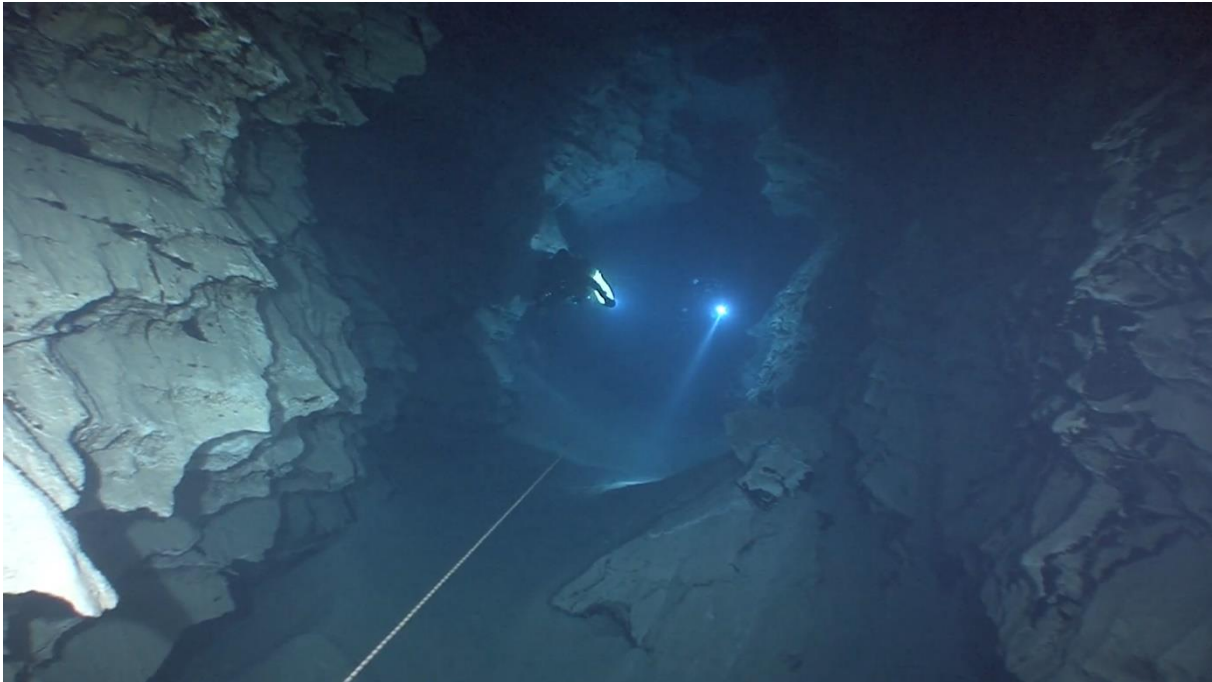
A51, Metróalagút eredő sebesség		
Átlag (cm/s)	Maximum (cm/s)	Minimum (cm/s)
7,45	25,35	0,20

4. táblázat A51 járat eredő sebességére vonatkozó statisztikai paraméterei

Az A42 járat (27. ábra) több, mint 10 méterrel feljebb található, mint a Metróalagút. Hasonló alakú, tehát alul szélesebb, feljebb összeszűkülő járat, azonban ennek a keresztmetszeti méretei nem változnak. Zavaró forrás a bűvárok tapasztalata alapján itt nem valószínű.

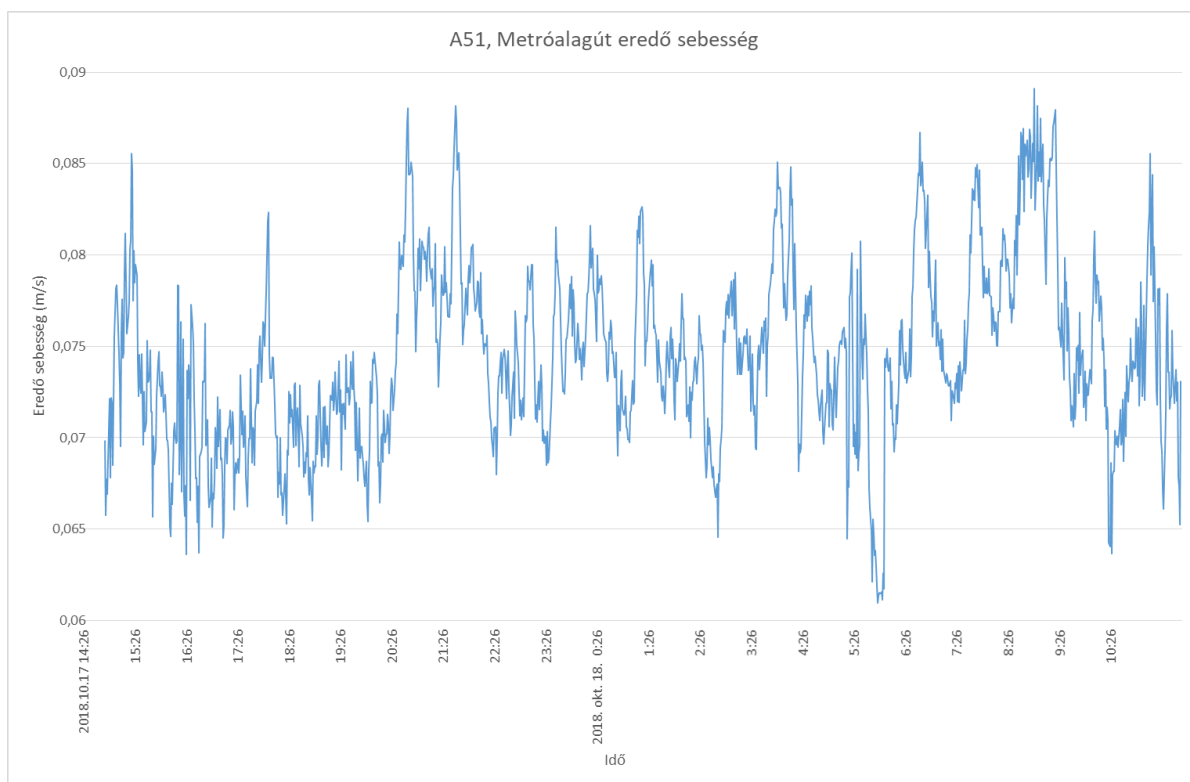
A42 járat eredő sebesség		
Átlag (cm/s)	Maximum (cm/s)	Minimum (cm/s)
10,13	31,15	0,14

5. táblázat A42 járat eredő sebességére vonatkozó statisztikai paraméterek



27. ábra Az A42 járat

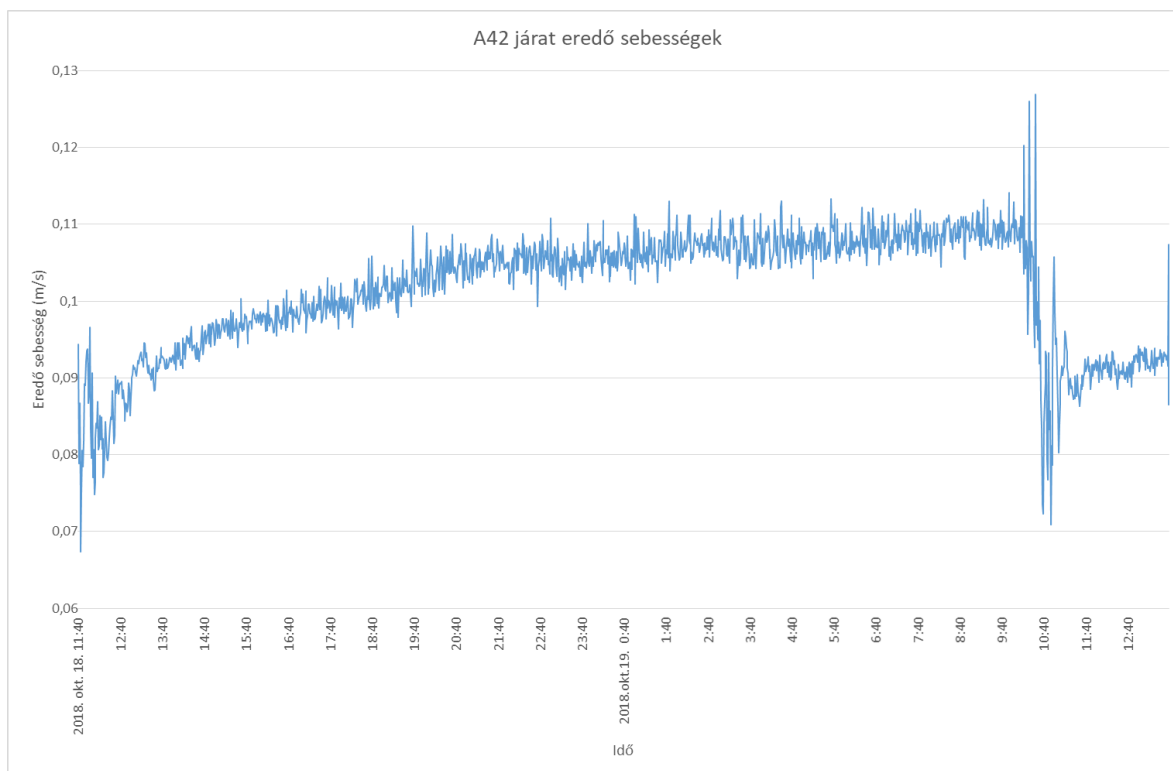
A Farkas (2015) által számított eredményekkel (1. táblázat) összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a Metróalagút esetében, mi közel kétszer akkora átlag- és maximumsebességet mértünk. Ennek véleményem szerint két oka lehet, az egyik az, hogy teljesen nem egyezett meg a két mérési pont és tudjuk az évek során tapasztaltak alapján, hogy a barlangrendszerben a sebességek eloszlása közel sem homogén. A másik magyarázat az lehet, hogy a Farkas (Farkas et al. 2015) által számított adatok hosszabb időt öleltek fel, így jobban kiegyenlítették a szélsőségeket, a mi közel 1 napos mérésünkben pedig éppen a feltételezett ár-apály jelenség hullámhegyét mértük ki. Ez azonban nem indokolja a kétszeres maximumsebességet, ugyanis az adatsort úgy vizsgáltam, hogy a műszer mozgásakor fellépő sebességek ne befolyásolják az eredményeket.



28. ábra A51 járatban kialakuló függély menti átlagsebességek

Az 28. ábrán látható, hogy nincsenek konstans szakaszok a Metróalagút eredő sebességeiben. A lokális csúcserkékek általában 2-3 óránként követik egymást. Az átlagos eredő sebesség 7,45 cm/s.

Az A42 járat esetében körülbelül 1 cm/s-os az eltérés az átlagsebességben, így nagy hasonlóságot mutat az archív adatokkal. A maximumsebességben viszont itt is jóval nagyobb, több mint 10 cm/s-os a differencia Farkas (2015) számított értékeihez képest.



29. ábra A42 járatban kialakuló függély menti átlagsebességek

Az 29. ábrán látható, hogy az idő előrehaladtával a mért értékek folyamatosan változnak, azonban egy folyamatosan növekedő tendenciát mutatnak. Az idősor végén egy hirtelen csökkenés látható, mindössze fél óra alatt a sebesség egy nagyságrenddel lecsökken. Lehetséges, hogy ez a Szent Lukács Gyógyfürdő vízkivételével van kapcsolatban, de erről nem rendelkezünk adattal, hogy milyen időközönként és mennyi vizet vételeznek.

A két járatban egy közelítő számítással vízhozam értékeket határoztunk meg az átlagos vízsebességek alapján. A feljebb jellemzett keresztmetszélyt egy trapézzal közelítettük, melynek alapja 8 méter, teteje 4 méter, magassága pedig 10 méter. Az ebből kiszámított terület így 60 m^2 -re adódott. A folytonossági egyenlet alapján az átlagsebességekkel való beszorzás és átváltás után az A51 és A42 járatban áramló vízhozam értéke számítható volt. Az eredményeket az alábbi táblázatban közlöm.

Járatokban kialakuló vízhozamok				
Járat száma	Szelvény területe	Átlagos eredő sebesség	Vízhozam (m^3/nap)	Vízhozam (l/min)
A51	60	7,45	386208	268200
A42	60	10,13	525139	364680

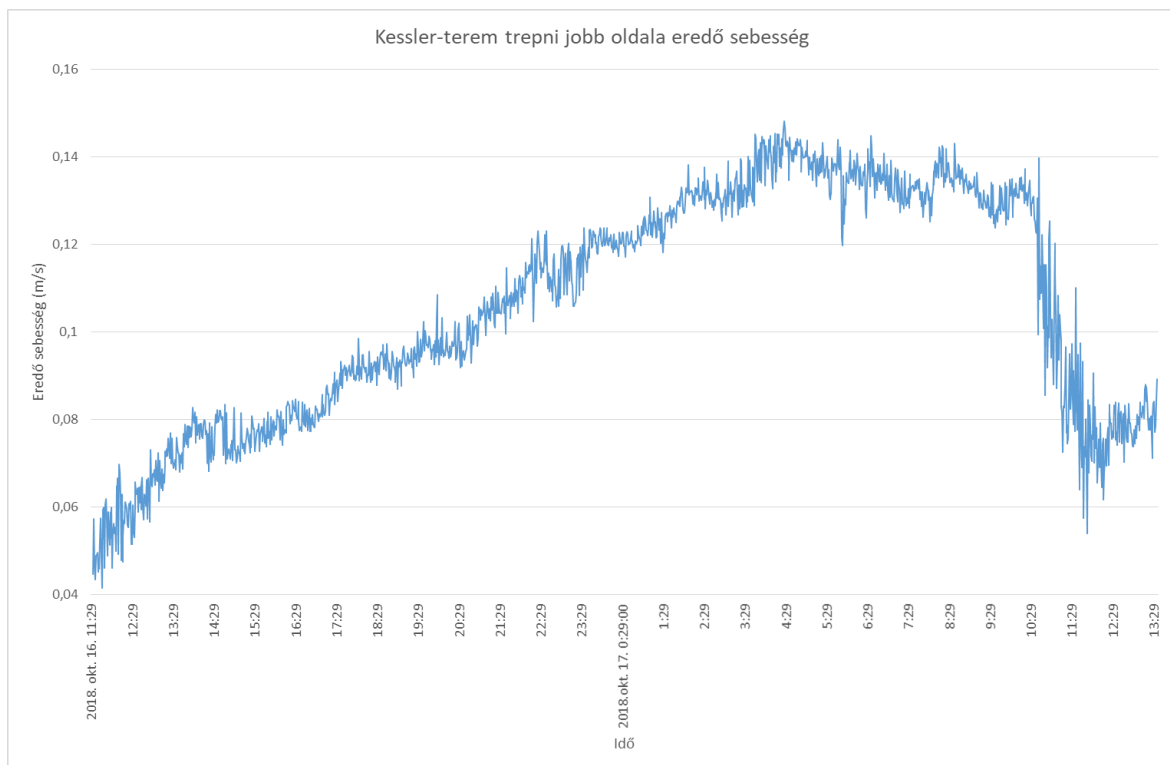
6. táblázat A járatokban kialakuló vízhozam értékek

Tudomásom szerint a Kessler-teremben mindezidáig még nem voltak áramlással kapcsolatos mérések. A 6. táblázatban összefoglaltam az alap statisztikai paramétereket, amelyek a Kessler-terem két különböző pontján mértünk 2018. október 17-18-án, illetve október 19-20-án.

	Átlag (cm/s)	Maximum (cm/s)	Minimum (cm/s)
Kessler-terem trepni jobb oldala	10,21	37,22	0,10
Kessler-terem trepni bal oldala	8,26	62,86	0,00

7. táblázat Kessler-terem eredő sebességére vonatkozó statisztikai paraméterek

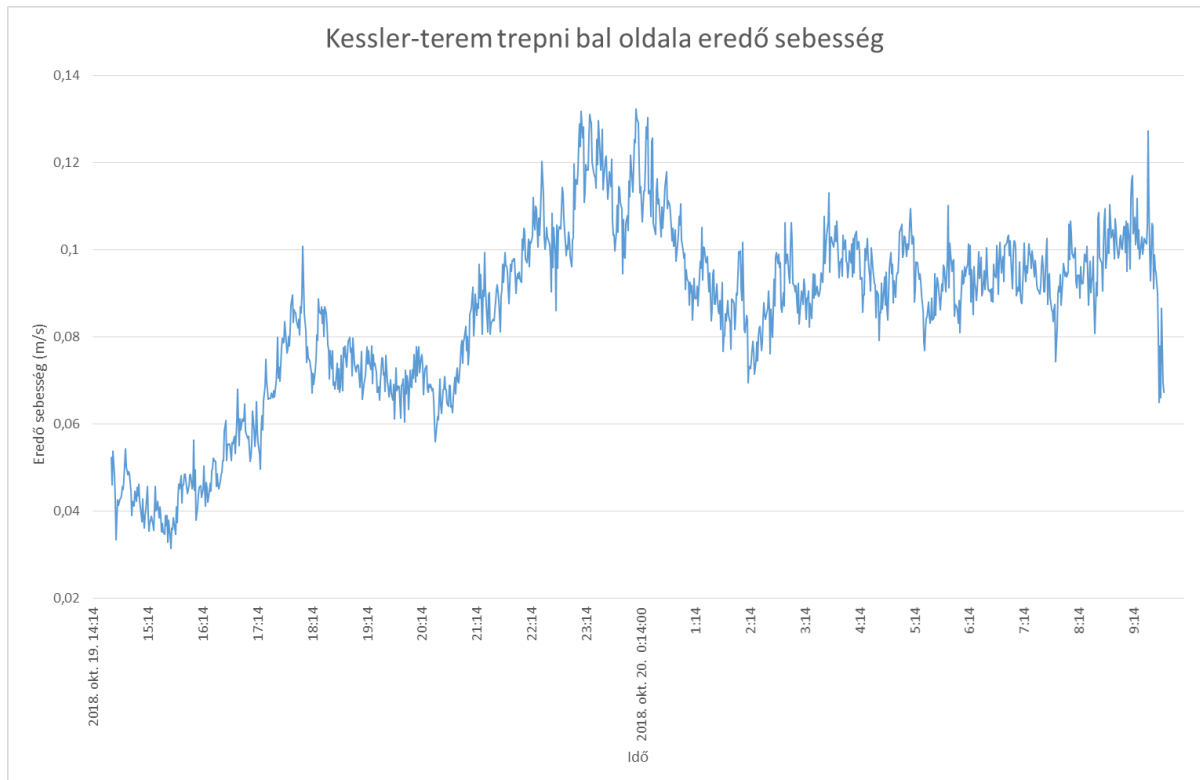
Az átlag eredő sebességek között nem fedeztem fel nagy különbséget a járatokban kialakuló sebességekkel összehasonlítva. A kialakuló differencia véleményünk szerint a 2 mérési pont helyi adottságaiból adódik. A trepni bal oldalánál a műszer egy védettebb részen lett felállítva. A trepni jobb oldalánál viszont egy szükületszerű hely van, ahol lehetséges, hogy a sebességek nagyobb értékűek. A maximum értékek között ellenben nagy a kontraszt, azonban ez valószínűleg a bűvárok tevékenységének köszönhető, ugyanis ebben a teremben kezdik meg a merülést.



30. ábra a Kessler-terem trepni jobb oldalán kialakuló átlagsebességek

A 30. ábrán megfigyelhető, hogy a mérés kezdetétől egészen másnap 4 óra 30 percig egyenletesen növekszik 4 cm/s-os érték 14 cm/s-os sebességig, majd egy lassabb csökkenésbe

kezd. Fél 11-kor egy hirtelen csökkenés figyelhető meg, mely következtében a sebesség több mint felére esik vissza. A mérési periódus végén egy lassú növekedés rajzolódik ki. Az A42 járatnál is hasonlóan alakult a regisztrált értékek hirtelen csökkenése, ez egybevág a Farkas (2015) által leírtakkal. Ami ezen kívül még elmondható, hogy ezek a hirtelen változások mindig a késő délelőtti, dél körüli időszakra tehetőek, ez ugyancsak összecseng az archív mérésekkel.



31. ábra Kessler-teremben trepni bal oldalán kialakuló átlagsebességek

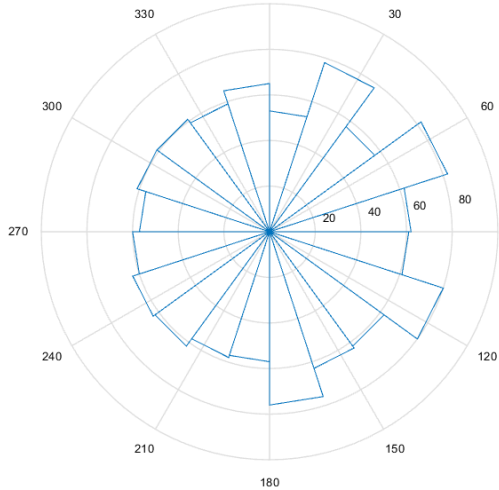
A trepni bal oldalának (31. ábra) időbeli sebesség alakulása már nem mutatja azt az egyenletes növekedést. A mérés első felében nagyobb szórás és ugrás figyelhető meg, a második szakasz alakulása ennél szabályosabb, kisebb szórású. Az ábra végén a délelőtti órákban lehetséges, hogy ugyanaz a hirtelen csökkenés észlelhető, ami a terem másik pontján is.

Csak a Metróalagútnál nem sikerült megfigyelni a hirtelen csökkenő szakaszt, aminek oka feltételezésem szerint nem a távolságban keresendő, hanem hogy abban az időszakban nem történt vízkivétel, ehhez hosszabb észlelési időszakra lenne szükség. Azonban elmondható, hogy a barlangban lévő áramlási rendszert nagymértékben befolyásolja a vízkivétel, hiszen egy igen rövid időn belül (0,5-1 óra) több mint felére csökken a víz sebessége.

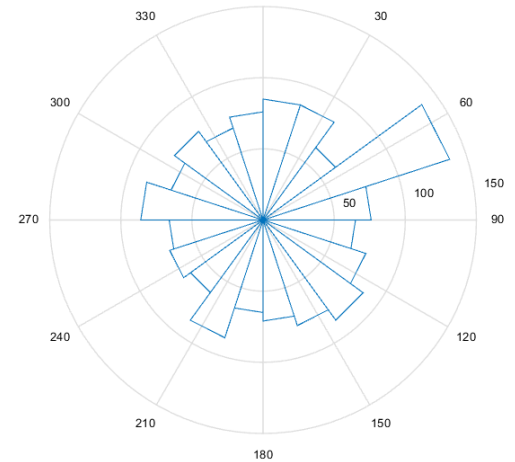
5.1.5. Járatokban kialakuló sebességek iránya

A két járatban kialakuló sebességek statisztikai paraméterei mellett vizsgáltuk a leggyakoribb áramlási irányt vízszintes értelemben.

Áramlási irányok É-i iránytól való eltéréseinek gyakorisága az A51 jelű (Metróalagút) járatban

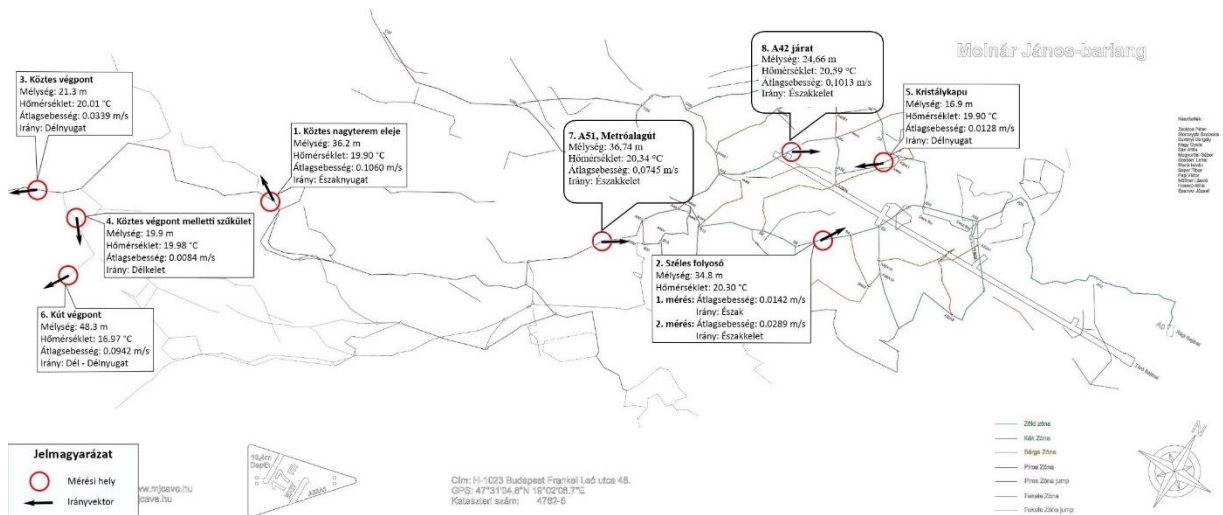


Áramlási irányok É-i iránytól való eltéréseinek gyakorisága az A42 jelű járatban



32. ábra Az A51 és A42 jelű járat sebességirány gyakorisága

A sebességek irányát a gyakoriságuk alapján vizsgáltuk. Az A51 jelű járatban látható, hogy 30°-os, 60°-os és 120°-os északról való eltérés a leggyakoribb. Az A42 járatban egyértelműen a 60°-os északról való eltérés dominál.



33. ábra Aquadopp Profilerrel végzett áramlás mérési eredményeket összefoglaló térkép kiegészítve a Signaturrel végzett áramlási mérések eredményével (Solymár, 2017 módosítva)

A 33. ábrán Solymár (2017) által készített összefoglaló térkép látható, amelyet kiegészítettem az általunk végzett mérési eredményekkel. A 7. és 8. pont jelöli a Signaturrel készült áramlási vizsgálatokat.

5.2. Kessler-teremben végzett hőmérséklet mérések

Az áramlásmérő mellett a Kessler-teremben hőmérőláncot helyeztünk el, ugyanis itt keverednek a hideg- és melegvizes áramlatok (Lakos, 2017). A hőmérők elhelyezésének több célja is volt. Egyrészt a hőmérsékleti rétegződés pontosabb megismerése, másrészt a fentebb részletezett áramlási profilok magyarázata, harmadrészt pedig az eddigiekben még nem sikerült a melegvizes áramlat Kessler-terembe való pontos bejutási helyének meghatározása. Ezen hiányosságok pótlását kíséreltük meg a mérések során.

5.2.1. Archív adatok

Farkas (2015) 2013-ban és 2014-ben végzett vizsgálatokat a Kessler-teremben a Dataqua-val. Megfigyelt egy évszakos változást a felsőbb (7 méteres vízmélység) rétegek hőmérsékletének tekintetében: télen csökkenő, tavasszal növekvő tendencia volt jellemző. Kiszámított a különböző időszakokra néhány statisztikai paramétert, ami a 8. és 9. táblázaton látható.

Statisztikai paraméterek	Időszakok			
	2013. 11. 13. - 2013. 11. 27.	2013. 11. 27. - 2014. 01. 14.	2014. 01. 14. - 2014. 03. 12.	2014. 09. 03. - 2014. 10. 08.
Átlag [°C]	22,215	27,321	26,605	27,544
Szórás [°C]	0,120	0,0346	0,0422	0,0246
Minimum [°C]	22,054	27,167	26,400	27,452
Maximum [°C]	22,816	27,389	27,059	27,643

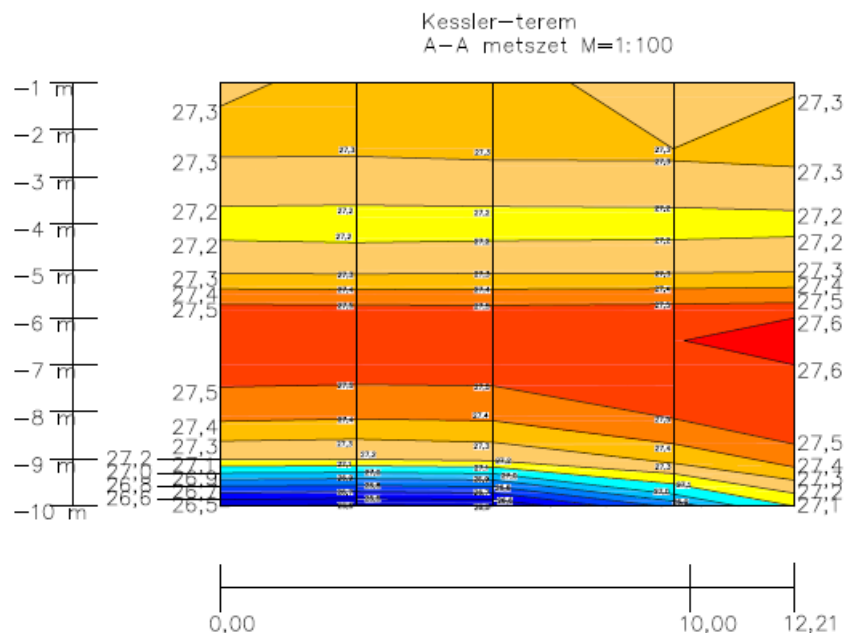
8. táblázat A Kessler-terem hőmérsékletének statisztikai paraméterei
2013.11.13. - 2014.10.08. között (Farkas, 2015)

Statisztikai paraméterek	A két mérési mélység szerint összesítve	
	2013. 11. 13. - 2013. 11. 27.	2013. 11. 27. - 2014. 10. 08.
Átlag [°C]	22,22	27,09
Szórás [°C]	0,120	0,408
Minimum [°C]	22,05	26,40
Maximum [°C]	22,82	27,64

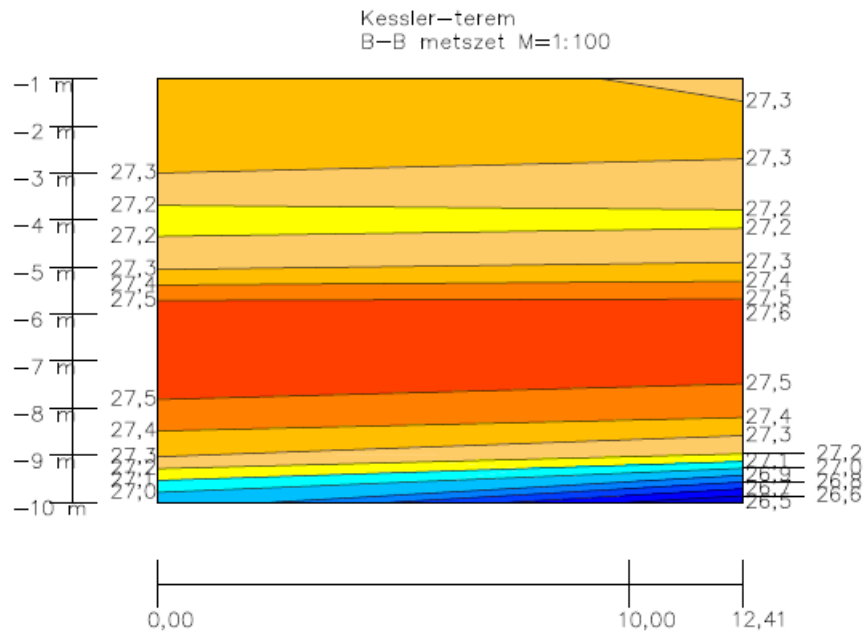
9. táblázat A Kessler-terem alsóbb és felsőbb rétegei hőmérsékletének statisztikai paraméterei (Farkas, 2015)

Elmondható, hogy a mélyebb rétegek szórása jóval kisebb, ami nem meglepő, hiszen a felső rétegek hőmérséklete jobban függ a léghőmérséklettől. Az átlaghőmérséklet a vízfelszín közelében közel 5 °C-kal magasabb, mint a mélyebb rétegekben.

Lakos (2017) összesen két alkalommal mért hőmérsékletet a Kessler-teremben 2017. április 5-én és május 10-én. Egy kötélén keresztül lógatták a vízbe a hőmérőláncokat, amelyen az érzékelők 1 méterenként lettek elhelyezve. Ezáltal függvényeket alakítottak ki, szám szerint tizet, melyeknek pontos koordinátáit egy mérőállomás segítségével mérték be. 2 profilt (34. és 35. ábra) alakított ki mind a két mérés alkalmával, ahol a legalsó hőmérő 10 méter mélyen, a legfelső 1 méter mélyen található. Megfigyelte, hogy a tóban 4 méter mélyen egy hidegebb réteg (27,0-27,2 °C), 6-7,5 méter mélyen pedig egy melegebb (27,5-27,6 °C) található. 8 méteres mélység alatt pedig a víz hőmérsékletének rohamos csökkenéséről számolt be.



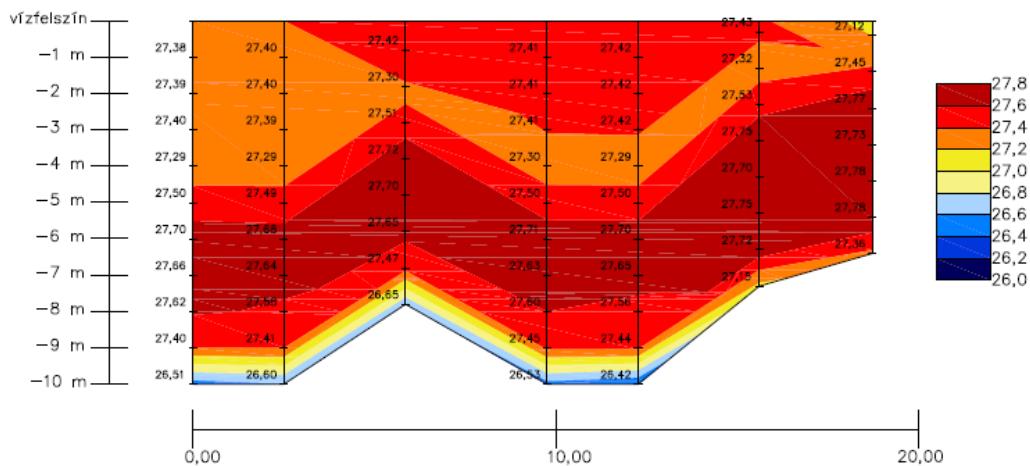
34. ábra Kessler-terem hőmérsékleti metszete 2017. április 5. (Lakos, 2017)



35. ábra Kessler-terem hőmérsékleti metszete 2017. május 10. (Lakos, 2017)

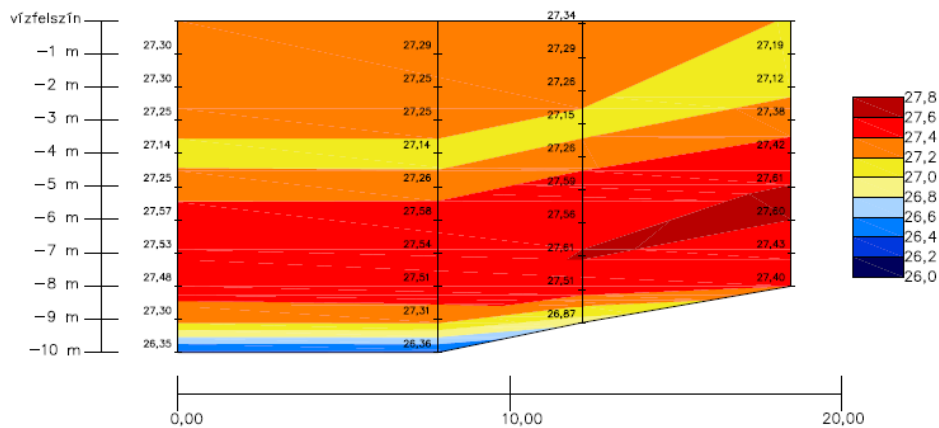
Pekáry (2017) Lakoshoz hasonló mérésmódszert alkalmazott a Kessler-teremben, függőlegesen 4-5 percig mérték a hőmérsékletet, valamint egy prizma és mérőállomás segítségével megállapították a pontos koordinátákat. A bűvárok jelenlétében 2 alkalommal, 2017. november 2-án és november 22-én regisztráltak hőmérsékleti adatokat, amiket metszeten ábrázolt (36. és 37. ábra). Megfigyelték, hogy a Malom-tó illetve a külső hőmérséklet nincs hatással a vízhőmérsékletére. 9-10 méter mélyen Pekáry is egy lehűlési szakaszcsoportról, e felett 6-8 méterre pedig egy melegebb áramlatról számolt be. Utóbbi hőmérséklete november elején 27,6 - 27,8 °C, november végén pedig már csak 27,4 - 27,6 °C között alakult. Az egyik metszeten megfigyelte, hogy ahol a barlang meder szintje feljebb van, ott a melegebb zóna is feljebb, 3 és 6 méter mélység közé tolódott.

Kessler-terem A-A metszet M=1:100



36. ábra Kessler-terem hőmérsékleti metszete 2017.11.02. (Pekáry, 2017)

Kessler-terem A-A metszet M=1:100

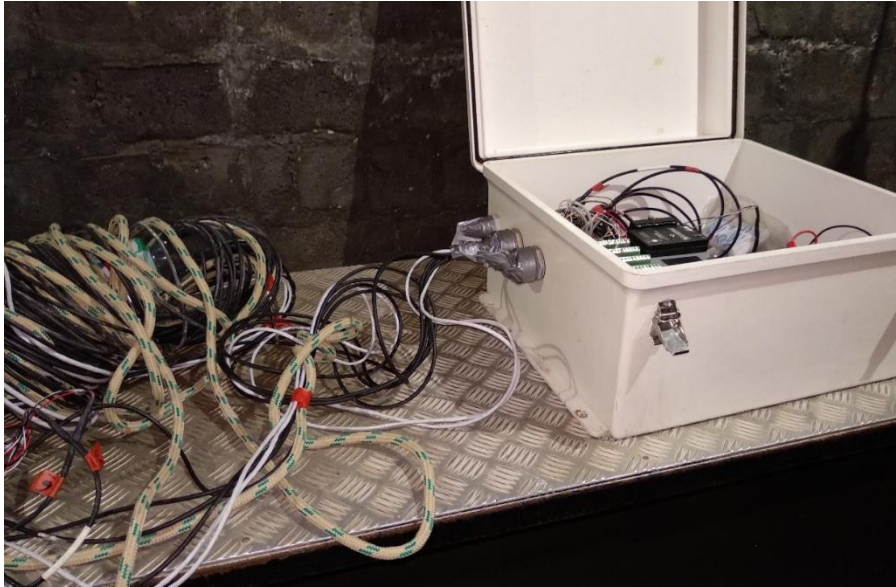


37. ábra Kessler-terem hőmérsékleti metszete 2017.11.22. (Pekáry, 2017)

5.2.2. Mérési körülmények

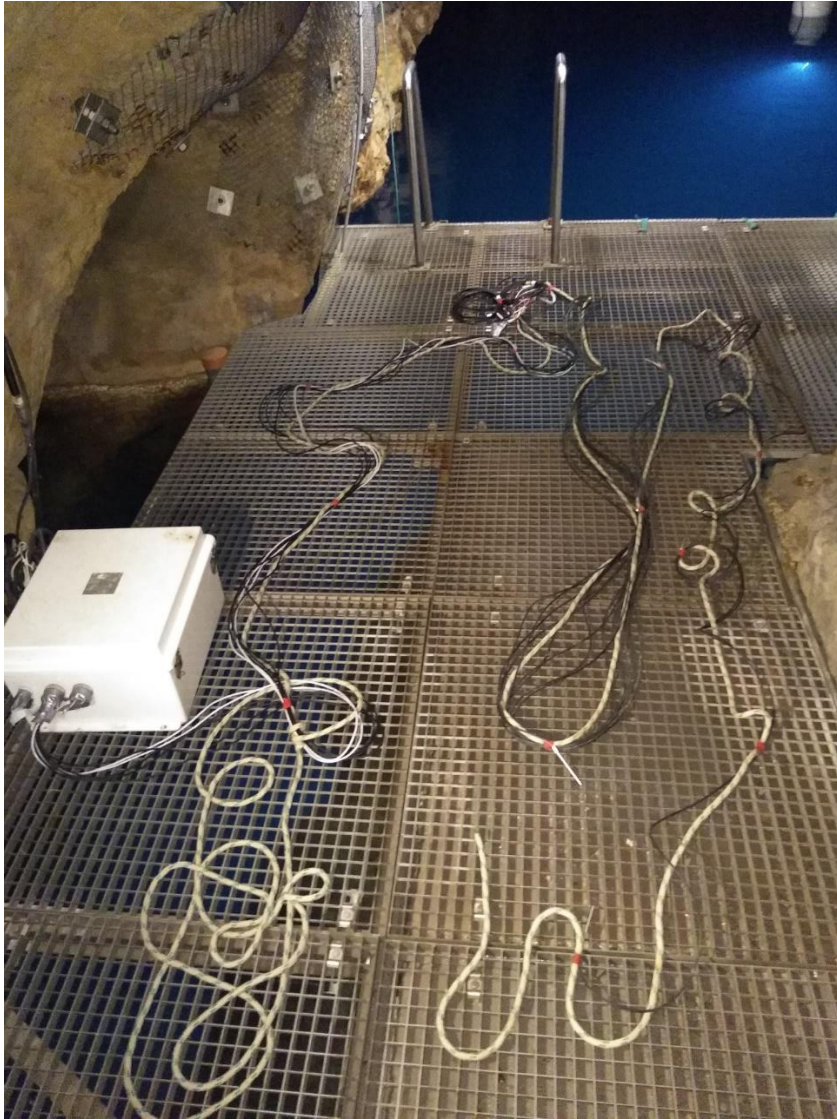
Amint a fentiekben látható, az évek során csupán 1 napos mérésekre került sor a Kessler-teremben. Ezzel ellentétben a mostani mérések során alkalom nyílt, hogy a hőmérőlánc akár egy héten keresztül is regisztrálhassa a hőmérséklet alakulását egy adott függélyben. Ezzel az eddig még nem látott időbeli változást is megfigyelhetjük.

Az adatrögzítéshez szükséges CR3000 Microloggert egy dobozba helyeztük, a vezetékeket az egyik oldalfalon lévő résen vezettük ki. Mivel a barlangban a páratartalom nagyon magas, így a műszer védelme érdekében a vezetékek és a doboz széle közötti rést szikszalaggal légmentesen lezártunk a 38. ábrán látható módon.



38. ábra
CR3000
Micrologger
adatrögzítő
légmentes
lezárása

A hőmérőláncot az eddigiekhez hasonlóan egy kötélnél rögzítettük (39. ábra), így vittük le a segédtrón keresztül a Kessler-terem levegős részéig, ahol a bűvárok által épített rácsos szerkezet szélén helyeztük el az adatrögzítőt (40. ábra). A hőmérőláncot a kötélnel együtt lassan leeresztettük a barlang fala és a rácsos szerkezet közötti résen a vízbe, ahol a barlangi bűvárok átvették, majd fixen rögzítettek gyorskötözőkkel a trepni egyik oldalán az áramlásmérő mellett. Emellett még minden egyes hőmérőhöz tartozó vízmélységet is lemérték.



39. ábra
Hőmérőlánc
kötélhez való
rögzítése



40. ábra
Hőmérőlánc
leengedése a
rácsos szerkezet
mellett

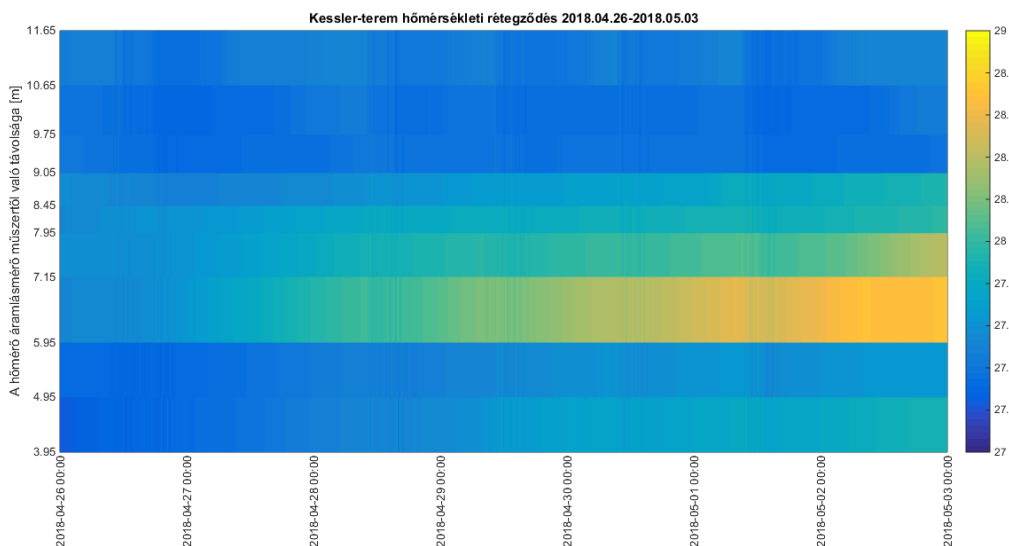
Hőmérő száma	Vízmélység (m)		
	április 25.-május 3.	június 12-22.	október 16-20.
1	8,30	8,8	1,5
2	7,3	7,8	2,9
3	6,3	6,8	3,8
4	5,1	5,8	4,9
5	4,3	4,9	5,4
6	3,8	4,1	5,9
7	3,2	3,6	6,4
8	2,5	2,8	6,9
9	1,6	2	7,4
10	0,6	1	8,4

10. táblázat A hőmérők vízfelszín alatti elhelyezkedése

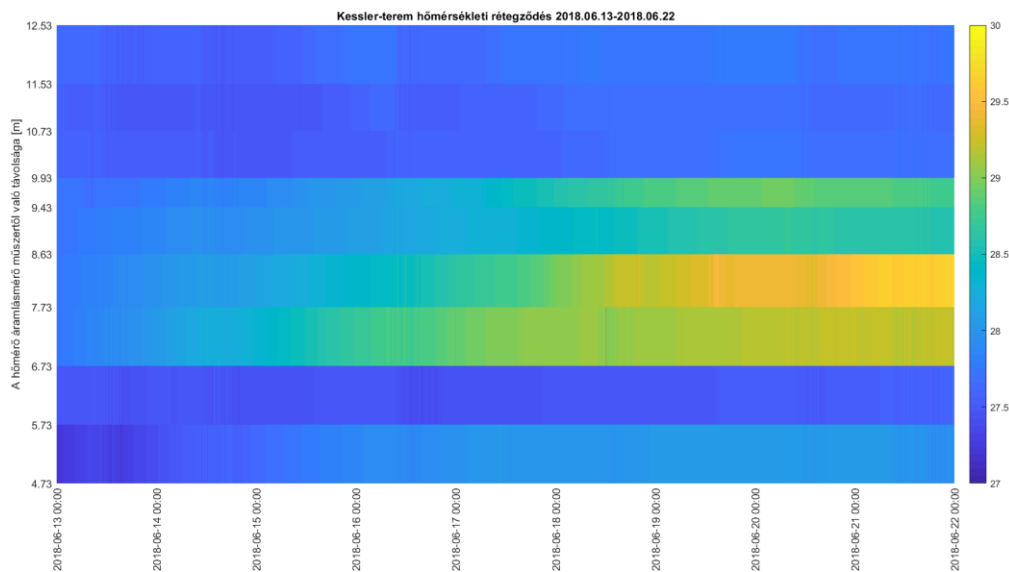
A 10. táblázatban foglaltam össze, hogy a három mérés során hogyan alakult a hőmérők vízfelszín alatti elhelyezkedése. A hőmérők száma az adatgyűjtőbe való bekötés szempontjából fontosak.

5.2.3. A Kessler-terem hőmérsékleti rétegződésének időbeli változása

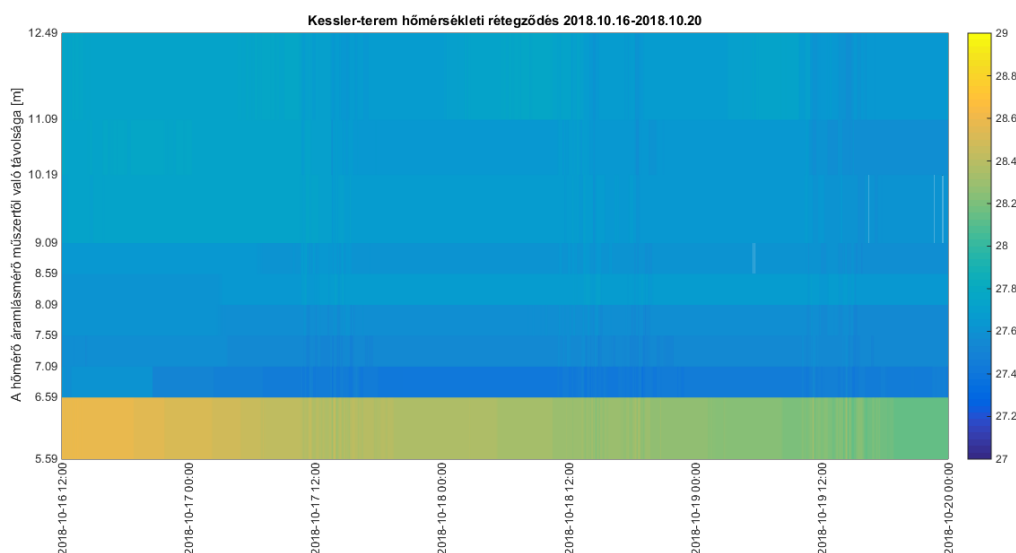
Mind a három mérésünk során lehetőségünk volt a Kessler-teremben közel egy hétig folyamatosan rögzíteni a vízhőmérsékleteket. A korábbi mérésekkel ellentétben így meg tudtuk figyelni a hőmérsékletek időbeli változását is.



41. ábra Kessler-terem hőmérsékleti rétegződése 2018.04.26-2018.05.03.



42. ábra Kessler-terem hőmérsékleti rétegződése 2018.06.13-2018.06.22.



43. ábra Kessler-terem hőmérsékleti rétegződése 2018.10.16-2018.10.20.

Az ábrákon (41., 42. és 43.) szembejövő, hogy a hőmérsékletek bizonyos vízrétegekben markáns változást mutatnak. A korábbi mérések során már többen is írtak az itt létrejövő rétegződésről. Pekáry és Lakos 4 méter mélységig egy hidegebb, 6-8 méter körül egy melegebb rétegről számolt be. A körülbelül 6-8 méteres mélységben található meleg vizes áramlat az időben folyamatosan változik. Ez egy nagyon érdekes eredmény, amelyről messzemenő következtetéseket még nem lehet levonni, hiszen több mérésre lenne szükség ennek alaposabb tanulmányozására.

5.3. Áramlás és hőmérséklet alakulása a Kessler-teremben

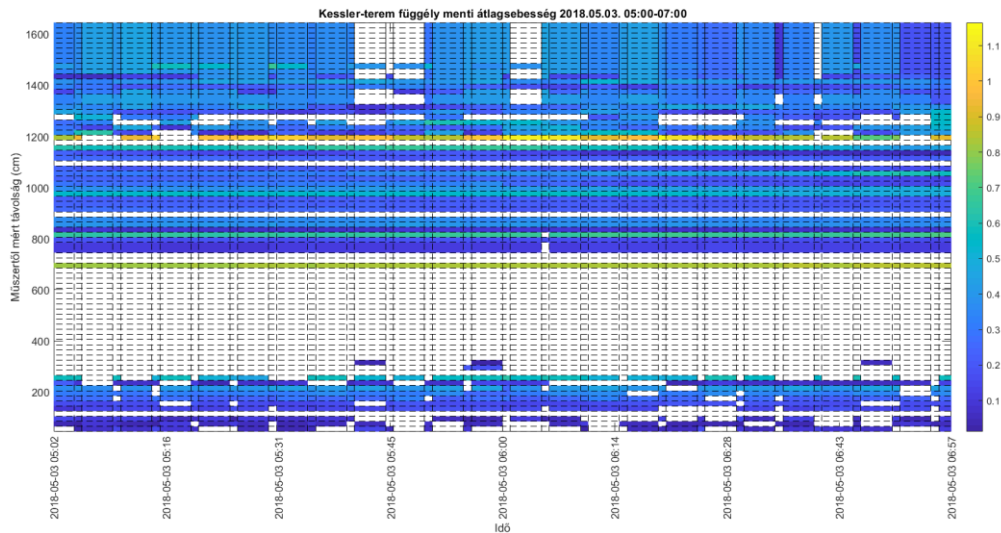
Az 5.1.4. fejezetben az idősorhoz az eredő sebességeket átlagoltam a mélység mentén, azonban a műszer egyik nagy előnye, hogy a sebességeket a cellák szerint regisztrálja, így az időbeli eloszlás mellett a térbeli függély menti is jól megfigyelhető.

Célunk egy műszerkombináció kidolgozása volt, amelyek által regisztrált együttes adatokkal, kellő bizonyossággal tudjuk megállapítani a Kessler-teremben kialakuló áramlási rendszer alakulását. Éppen ezért a műszereket úgy helyeztük el, hogy egy adott függélyben kialakuló vízhőmérsékleti értékeket és sebességeket együtt tudjuk elemezni.

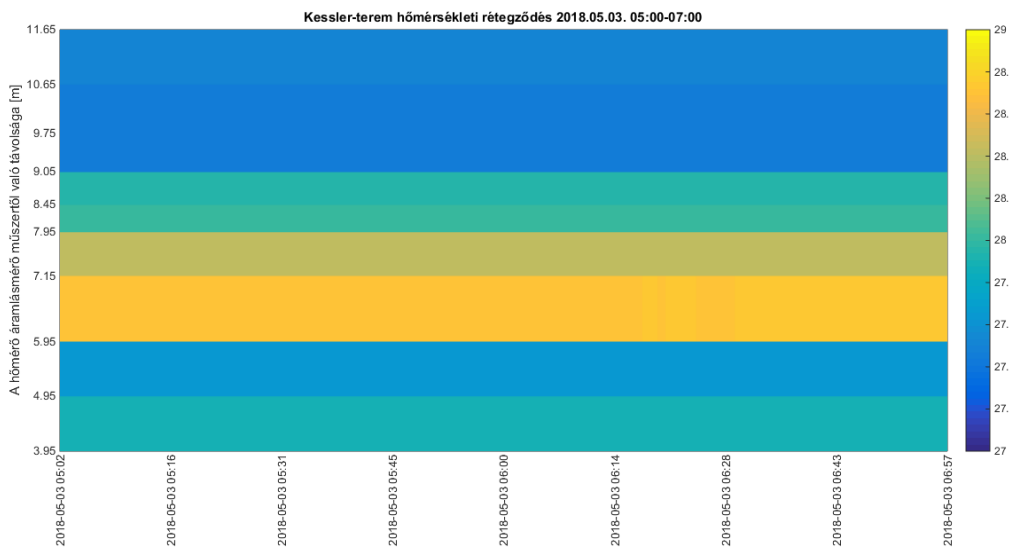
Az alábbiakban részletesebben elemeztem az utolsó mérésünk alkalmával kapott adatokat, annak ellenére, hogy az áprilisi és júliusi alkalomkor hosszabb időszak áll rendelkezésemre. Ennek oka a már fentebb is ismertetett adathiány a nem megfelelő mérési módszer miatt. Az 52. ábrán látható a Kessler-teremben elhelyezett műszer függély menti 24 órás sebességeloszlása, ebből a 2 órás időszakok ábrázolása mellett döntöttem a szemléletesség érdekében, amiket az alábbiakban részletezek.

Az ábrák értelmezéséhez szükséges tudni, hogy a bal oldalon feltüntetett értékek centiméterben értendőek, ezek a műszertől mért távolságok. A sebességmérő a mederfenékre lett elhelyezve, így a mederfenék fölötti magasságot úgy kapjuk meg, ha a műszer magasságához (35 cm) hozzáadjuk a 10 centiméteres vakzónát – ahol a műszer nem képes mérni – majd az ábra beosztása szerinti cellaméreteket. A jobb oldali színskála a sebességeket jelöli m/s-os mértékegységben. A vízszintes tengelyen az idő látható, balról jobbra haladva a mérés kezdetétől a végéig.

A hőmérők vízmélységét átszámítottuk a könnyebb értelmezhetőség érdekében. A Signature által mért nyomásértékekből kivontam a hőmérők vízmélységét, így megkaptam a hőmérők áramlásmérőtől való távolságát.



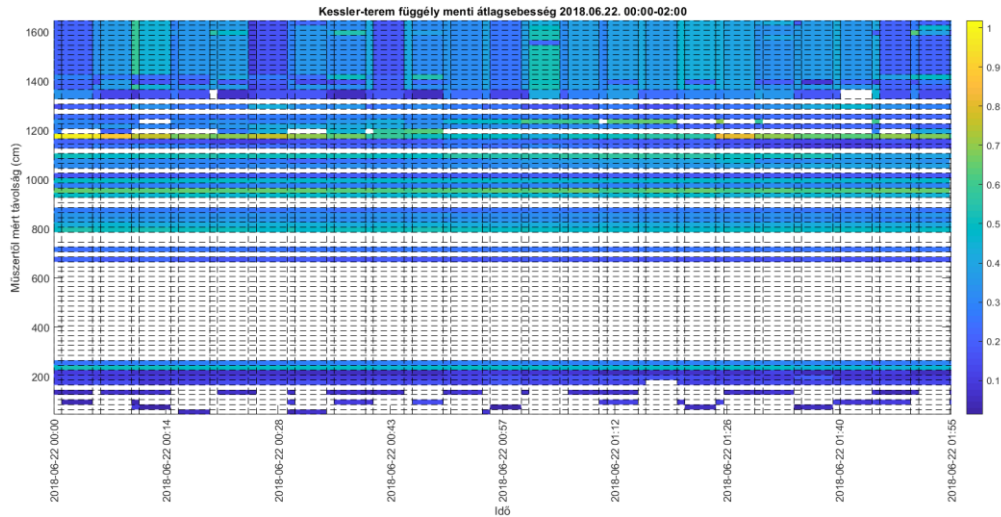
44. ábra Kessler-teremben kialakuló áramlás 2018.05.03.



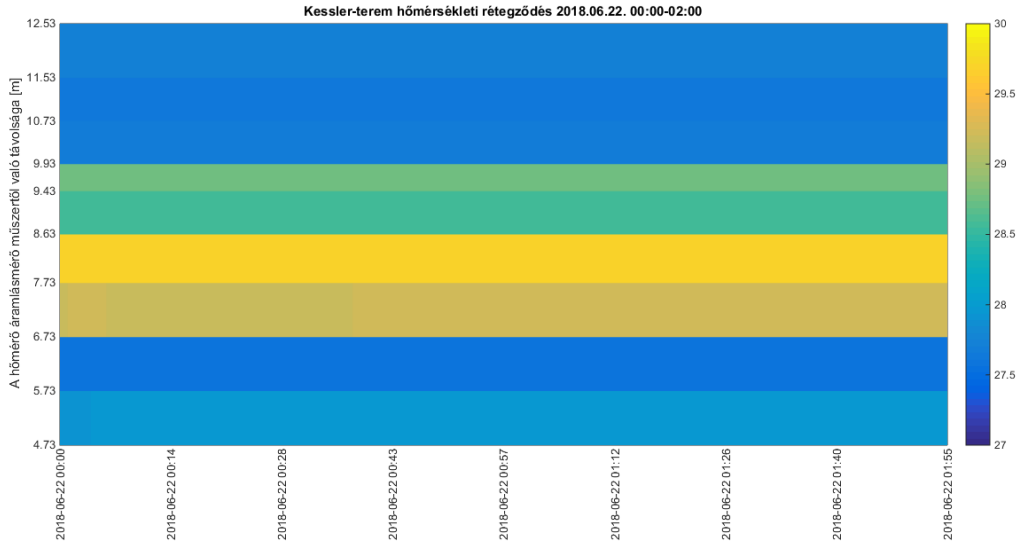
45. ábra Kessler-teremben kialakuló hőmérsékleti rétegződés 2018.05.03.

A sebességábrán (44. ábra) a legszembetűnőbb a műszer felett 3-8 méterrel kialakuló sötét sáv. E szín jelöli azokat a cellákat, ahol az alacsony korreláció miatt (<50 %) az adatokat szűrnünk kellett. Tudjuk, hogy a műszer által mért víznyomás nagysága 12,11 méter vízoszlopmagasságot jelent a műszer felett, így az is egyértelmű, hogy az e felett mért adatok már nem értékelhetőek. A hőmérsékleti ábrán (45. ábra) látható, hogy a fentebbi rétegekben (műszertől 9-11 méterre) hidegebb, 27,4 °C-os a víz. Ez alatt jól elkülönül egy melegebb, 28 °C feletti régió. Az áramlásmérőtől 6 méterre a legmelegebb a víz, az elkeveredés miatt pedig alatta és felette egyre csökken a hőmérséklet. Körülbelül 8 méternél a sebességábrán egy gyorsabb réteg látható, amelyet ha megnézünk a hőmérsékleti ábrán, láthatjuk, hogy itt található

a meleg és hideg víz határa. Ez arra enged következtetni, hogy a különböző hőmérsékletű rétegek elnyíródnak egymáson. Ezt Solymár (2017) áramlásmérése alkalmával már feltételezte az egyes járatokban, azonban hőmérsékletekkel nem tudta ezt alátámasztani.



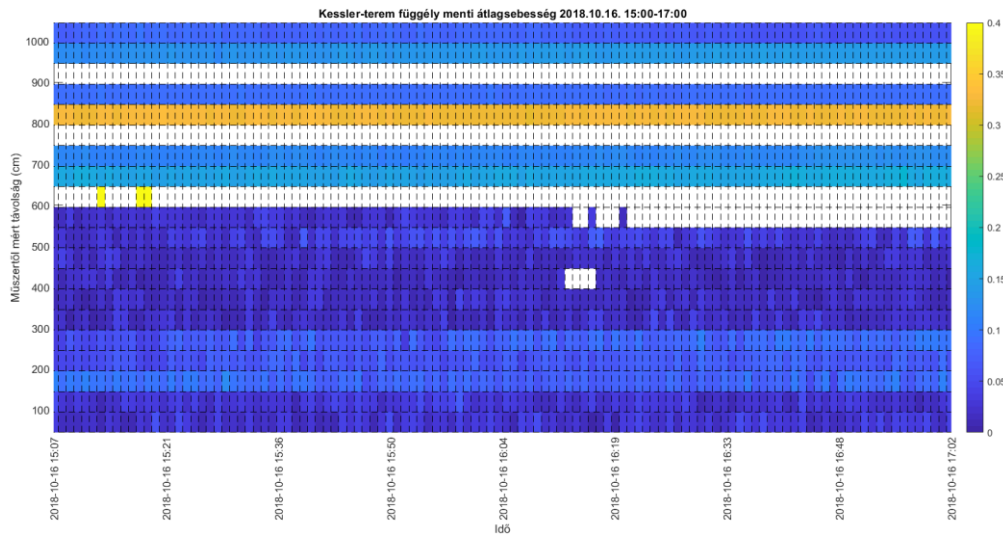
46. ábra Kessler-teremben kialakuló áramlás 2018.06.22.



47. ábra Kessler-teremben kialakuló hőmérsékleti rétegződés 2018.06.22.

A júniusi mérés során a sebességábrán (46. ábra) hasonló kép rajzolódik ki, a műszer felett 3-8 méterrel nincsen adatunk a sebességek eloszlásáról, a vízfelszín miatt pedig 13,35 méter feletti értékek nem mértékadóak. A műszer felett körülbelül 9,5 méterrel egy gyorsabb áramlási zóna látható. A hőmérsékleti ábrán (47. ábra) a Signaturetól 10 méteres távolságban hidegebb, ez alatt nagyjából 7 méterig egy melegebb sáv található. A májusi méréshez képest a maximum

vízhőmérséklet közel 1°C-kal magasabb, ennek oka lehet az 5.2.3. fejezetben ismertetett időben változó hőmérsékletei eloszlásból, hogy ez a 2 órás időszak akkor készült, amikor a melegvizes rétegek felmelegedtek. Az archív adatokhoz képest is ez a legmagasabb eddigi mért érték, azonban véleményem szerint ez lehetséges, hiszen eddig tavasszal és tél elején készültek hasonló mérések, mi pedig a nyár közepén regisztráltuk ezeket az adatokat.



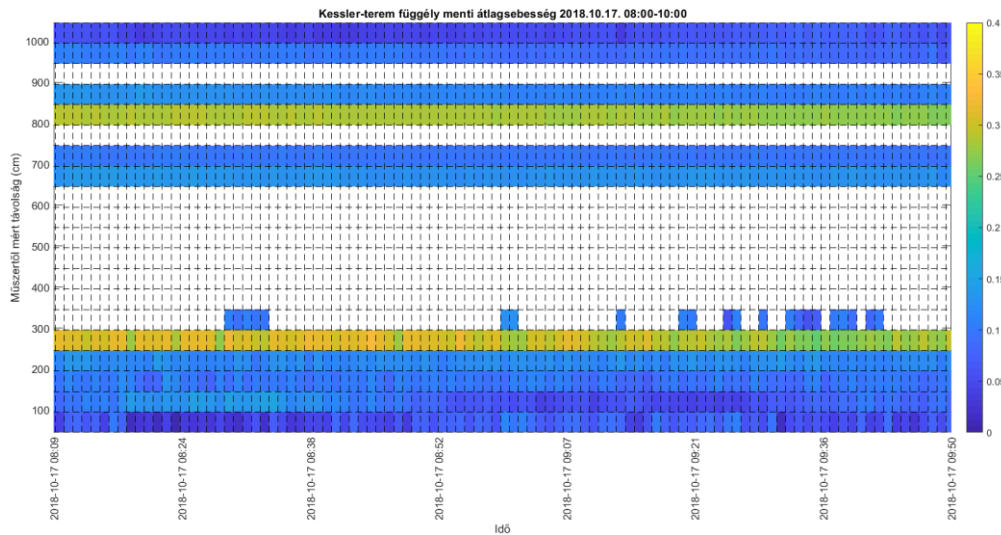
48. ábra Kessler-teremben kialakuló áramlás 2018.10.16-án a műszer elhelyezése után



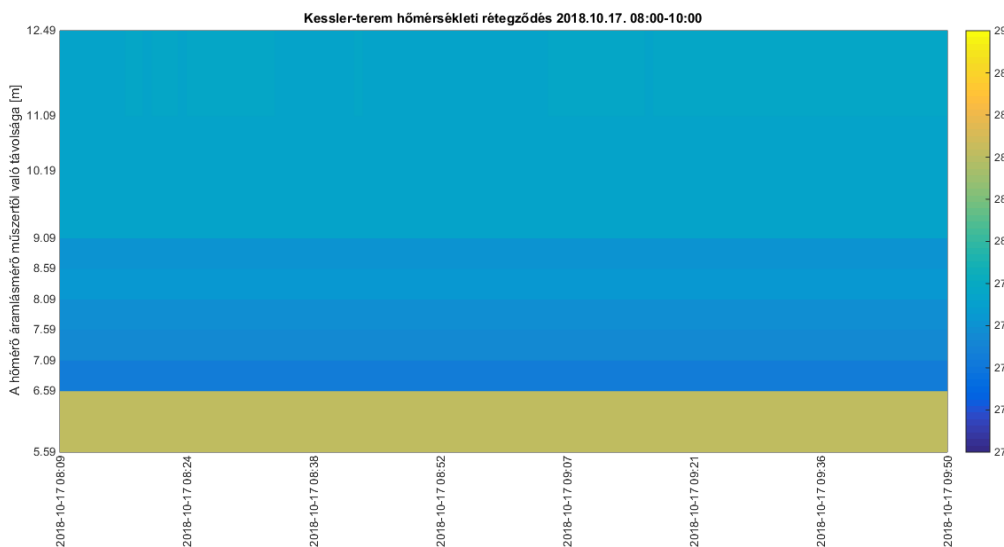
49. ábra Kessler-teremben kialakuló hőmérsékleti rétegződés 2018.10.16-án a műszer elhelyezése után

Az októberi mérés során (48. ábra és 49. ábra) megfigyelhető, hogy az áramlás ábráján már nem tapasztalható a műszer fölött lévő körülbelül 3-8 méteres rétegben az alacsony korrelációval jellemezhető adatsor. Ez azonban nem a műszerbeállításnak köszönhető, hanem annak, hogy ez a műszer felállítását követő időszak, amikor a búvárok felkeverték a leülepedett szemcséket,

amik a Kessler-terem alján találhatóak. Ezekről a részecskékről verődött vissza a műszer által kibocsátott sugár, mely az adatok pontosabb voltát okozta. Ettől függetlenül összességében elmondható, hogy a más mérési módszer pontosabb adatokat szolgáltatott a sebességek eloszlásában. A meleg vizes réteg a műszertől 6-7 méterre megint megjelent, ettől távolabb a víz hőmérséklete szinte egyöntetűnek mondható.



50. ábra Kessler-teremben kialakuló áramlás 2018.10.17.



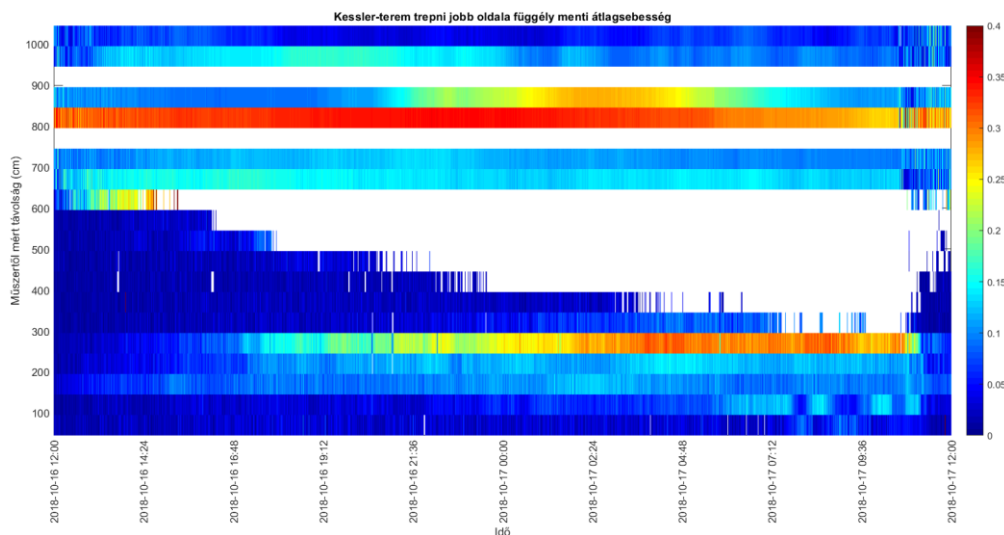
51. ábra Kessler-teremben kialakuló hőmérsékleti rétegződés 2018.10.17.

Az október 17-e délelőttjén regisztrált sebességadatokon (50. ábra) már újra látható a rossz korrelációs érték miatti adatkiesés, ennek oka a lebegőanyagok leülepedése, hiszen az éjszaka folyamán nem dolgoztak a barlangi búvárok. A műszer fölött 8-8,5 méterrel egy gyorsabb réteg

alakult ki, hasonló látható 3 méter alatt is. A hőmérsékletek (51. ábra) az egy nappal ezelőttihez képest nem sokban térnek el, csupán néhány tizedfokos lehülés észlelhető.

Ha összességében tekintjük az ábrákat kirajzolódnak a főbb jellemzők. A legszembetűnőbb, hogy ahol a sebességábrán nincsen értékelhető adat –tehát a mérés túl alacsony korrelációval volt jellemezhető –a kis lebegőanyag mennyiség miatt, ott a hőmérsékleti ábrán egy melegebb vízréteg figyelhető meg. Feltételezésünk szerint ennek oka egy beáramló melegvizes csóva eltérő vízkémiai összetételében rejlik.

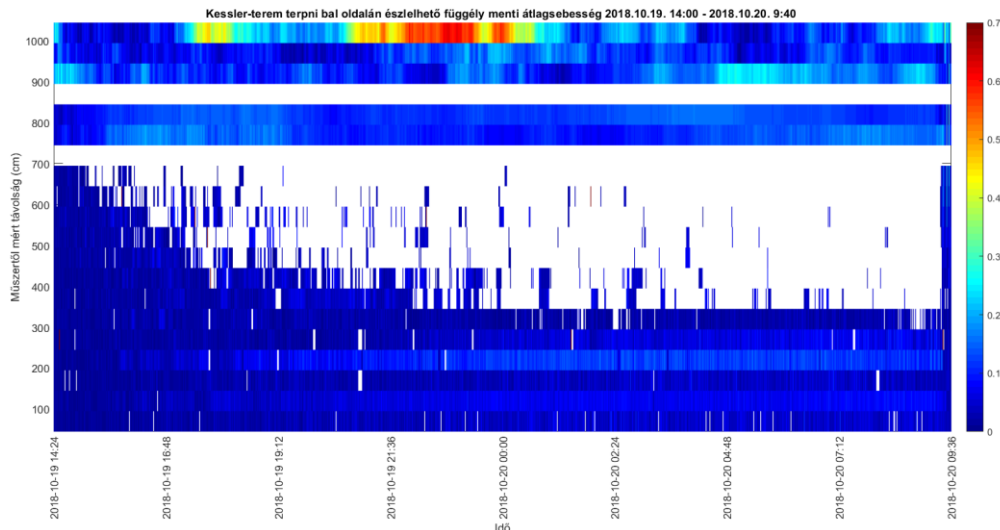
Ahol a sebességek jobban elkülönülnek (gyorsabb áramlás) ott a hőmérsékleti ábrán látható, hogy a hideg és meleg víz határa van, tehát a Solymár (2017) által a járatokban feltételezett elnyíródások a Kessler-teremben is megfigyelhetőek.



52. ábra Kessler-teremben kialakuló sebességek

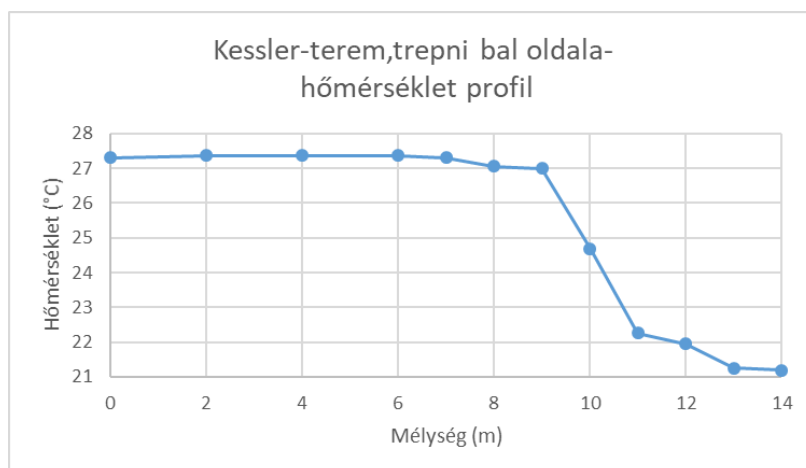
Hogy teljes képet kapjunk a feljebb részletezettekről az 52. ábrán mutatom be, hogy egy nap alatt hogyan alakul az áramlás a Kessler-teremben. Jól megfigyelhető a mérés elején és végén a búvárok tevékenységének (műszer elhelyezése) hatása, illetve, hogy az esti órákra a felkevert lebegőrészecskék leülepednek, így kirajzolódik az a sáv, ahol a melegvizes áramlás megjelenik.

A Kessler-teremben a trepni bal oldalán is mértünk sebességeket, azonban a hőmérőláncot itt nem tudtuk rögzíteni, így itt a búvárok mértek a hőmérsékleteket az áramlásmérő függelyében. Mivel nem áll rendelkezésemre részletesebb adat, így a sebességábrát egyben közlöm, nem 2 órás bontásban.



53. ábra Kessler-terem trapni bal oldalán kialakuló áramlás

Az 53. ábrán jól kivehető, hogy a búvárok jelenléte itt is zavarja a sebességek alakulását. Az áramlás homogénebb térben és időben is a terem másik oldalához képest.



54. ábra Kessler-terem hőmérsékleti profilja

A búvárok által mért hőmérsékleteknél (54. ábra) nem olyan kiugró a 6 méteres mélységben mért melegvizes réteg, de ez adódhat az elkülönülő helyszíni adottságokból, vagy az időszakos lehűlésből. Az egyöntetűbb sebességeloszlás is azt támasztja alá, hogy itt nincsenek olyan differenciák a hőmérsékletben.

5.4. Csepegővizek

Ahogy azt korábban már említettem, számos kísérletet tettek a lehullott csapadék és csepegővizek közötti összefüggés megállapítására. Különböző módszereket alkalmaztak, ennek ellenére azonban eddig még nem tudtak érdemleges kapcsolatot kimutatni.

a „Hordó” mérőhelyhez, innentől kezdve már nem csak a mennyiség, hanem az intenzitás is rendelkezésünkre áll. A műszer működését a 4. fejezetben már részleteztem. Az táróban lévő másik mérőhelyet („Új”) átmenetileg megszüntették, ezt azóta nem üzemelték be újra.



57. ábra Billenőedényes csapadékmérő a „Kanna” csepegővízgyűjtő helyen

Solymár (2017) napi összegzést készített, amiből kiderült, hogy az általa tapasztalt maximum kétszerese a Tóth (2017) által észleltnek. Az egyes csepegőhelyek adatsorait időben eltolva is összehasonlította a csapadék-idősorral, azonban párhozamot ekkor sem talált. (Solymár, 2017)

5.4.2. Keresztkorrelációs adatfeldolgozás

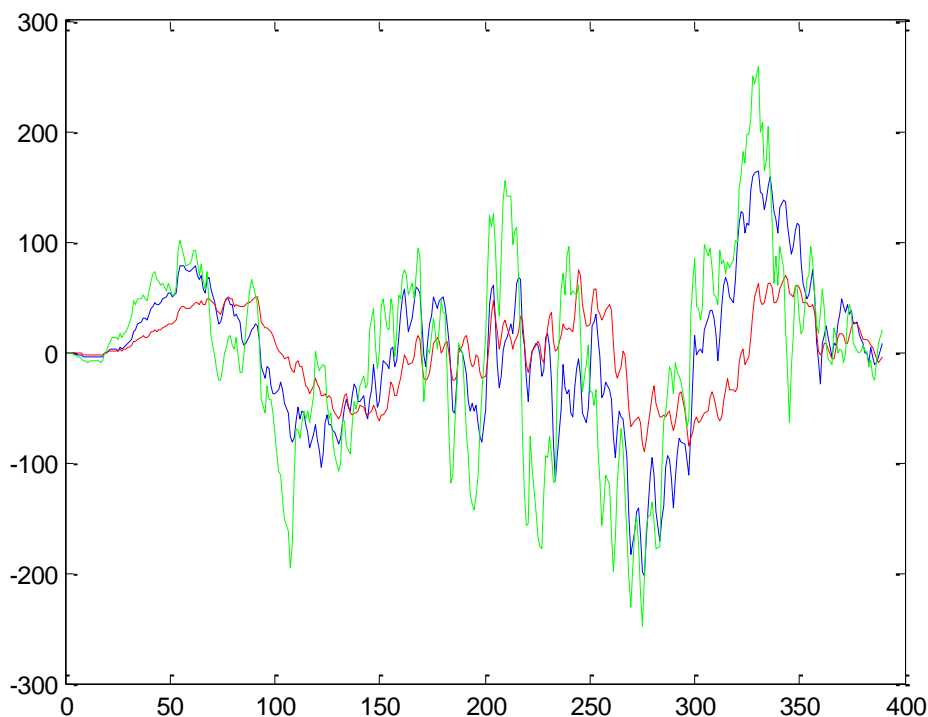
A táróban található „Kanna” billenőedényes csapadékmérő által regisztrált adatok 2018 január-2018 szeptember között állnak rendelkezésemre.

Az eddigi kutatási munkák során általában előállították a csepegővizek hozam-idősorát és a csapadékösszegek idősorát, majd elemezték a jellegzetességeket, tendenciákat. Tóth a karsztforrásokra vonatkozó empirikus vizsgálati módszerét alkalmazta, azonban feltehetően a beépítettség, ezáltal a közművesítésből eredő hibák olyan nagyban befolyásolják az adatokat, hogy nem sikerült párhuzamot vonnia a csepegővizek és a csapadékesemények között.

A csapadék és csepegővizek között úgynevezett sztochasztikus kapcsolat áll fenn, ami azt jelenti, hogy egymástól nem függetlenek, tehát az egyik befolyásolja a másikat, de teljes mértékben nem határozza meg azt. A csepegővíz mennyisége ugyanis függ a csapadéktól, de ezen kívül még a beszivárgástól, lefolyástól, tározódástól, közeztől, illetve az imént említett közművekből eredő hibáktól. A két valószínűségi változó - esetünkben a csapadék és a csepegővíz – között korrelációs kapcsolat van, vagyis az egyik konkrét értékéhez a másik legvalószínűbb értékét rendeli. A kapcsolat jellege lehet lineáris és nem lineáris is, amit az ábrázolt adatok alapján érdemes felvenni.

Korreláció állhat fent egy adatsor és saját, időben eltolta adatai között, ekkor autokorrelációról beszélünk. Ha azonban két különböző adatsor közötti kapcsolat szorosságát szeretnénk vizsgálni térben vagy időben, akkor a keresztkorrelációt alkalmazzuk. A késleltetett hatások az egyik adatsor időben való eltolásával vizsgálhatóak. Vizsgálataink során az utóbbit alkalmazzuk az adatok feldolgozása során.

Az 58. ábrán $t=0$ a 195. mintánál van. Nagy valószínűséggel a csapadék 15-30 nap között tud tárolódni a kőzetben és úgy ürül ki a csepegési helyeken. Sajnos nagyon kevés adat áll rendelkezésünkre és ez további vizsgálatokat igényel, hogy a csapadékesemények és csepegővizek közötti kapcsolatot pontosabban ki lehessen mutatni.



58. ábra
 zöld: 15
 napos
 simítás a
 csepegésen,
 kék: 30
 napos, piros:
 60 napos

Célunk volt a „Hordó” csepegővízgyűjtő legújabb, eddig még nem ismertett adatait feldolgozni, azonban adatkinyerés során derült ki, hogy a műszer idő közben meghibásodott, és csupán csak egy 10 napos időszakot sikerült rögzíteni. Új adatok hiányában a régebbi, már ismertett adatokat dolgoztuk fel a keresztkorrelációval. A fentebb bemutatott módszer alkalmazása erre az adatsorra nem volt lehetséges, mert a csepegővíz adatokban több hosszabb adathiányos időszak is volt. Ezért kiválasztottam egy rövidebb szakaszt, amit külön elemeztem. Vizsgáltam a 15, 30, illetve a 60 napos eltolás esetét is.

Az általam is vizsgált időszakot Lakos tanulmányozta diplomamunkája során. Farkas (2015) határozta meg, hogy hordóban lévő vízszintekhez milyen térfogatérték rendelhető hozzá. Lakos ennek segítségével tudta kiszámítani a csepegővizek intenzitását, amelyből megállapította, hogy november és december között több mint a felére csökkent az értéke. Májusra több ugrásszerű és fokozatos változás következtében 0,348 ml/percről 1,666 ml/percre növekszik.

Rendelkezéseimre bocsátották korábbi évek csepegővíz adatait, az OMSZ által mért napi csapadékösszegeket pedig a honlapjukról szereztem be. Az eddigi évek során sok esetben csak egy távolabbi csapadékmérő állomás adatait tudták a kutatók használni. Idén ennek köszönhetően a barlanghoz legközelebb működő meteorológiai állomás mérései adatait használtuk fel, amely a II. kerületben, a Kitaibel Pál u. 1-ben regisztrálja a csapadékmennyiségeket.

A számítás menete a következő, mivel lineáris korrelációs kapcsolatot feltételeztem.

A kapcsolati egyenlethez ($y=a+bx$) kiszámítottam az a és b állandókat, illetve a fordított kapcsolati egyenlethez ($x=c+dy$) pedig a c és d konstansokat. Ehhez legkisebb négyzetek elvét alkalmazva meg kell határozni célfüggvény minimumát. A célfüggvény jelen esetben:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \min!$$

Mivel

$$y' = a + bx$$

így

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \min!$$

adódik.

Parciálisan deriválunk a és b állandó szerint, amelyből 2 normál egyenletet kapunk. Az egyenletek átrendezése után ezekből kifejezhető a és b , amelyek:

$$a = \frac{\sum x_i * \sum x_i * y_i - \sum y_i * \sum x_i^2}{(\sum x_i)^2 - n * \sum x_i^2}$$

$$b = \frac{\sum x_i * \sum y_i - n * \sum y_i * x_i}{(\sum x_i)^2 - n * \sum x_i^2}$$

Ahol x a csepegővíz, y a csapadék.

C és d értéke is nagyon hasonló módon határozható meg.

a	6,941
b	0,021
c	9,398
d	0,054

11. táblázat A lineáris korrelációs kapcsolathoz szükséges konstansok

Ezen adatok ismeretében már ki tudtam számítani a lineáris korrelációs tényezőt (r).

$$r(x, y) = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 * (y_i - \bar{y})^2}}$$

eltolás mértéke (nap)	r
15	0,052
30	0,022
60	0,077

12. táblázat
A korrelációs tényezőkre kapott eredmények az eltolás függvényében

Fisher-teszt segítségével a megkapott korrelációs tényezőt leellenőriztem. Ez a rendelkezésre álló adatok számának függvényében mondja meg, hogy mennyire megbízható a kapott eredmény (KOKOWIN 2-31 ábra).

Már a korrelációs tényező alapján is egyértelmű volt, hogy nem áll fenn lineáris korreláció. Ennek oka véleményem szerint a minta reprezentativitásában keresendő. A csapadékadatok között nehéz olyan időszakot találni, ahol több napon keresztül lehulló napi csapadékösszegek rendelkezésünkre állnának, vagy több nagyobb csapadékesemény követné egymást. A csepegővizek a csapadékos időszak nélkül is jelen vannak, mennyiségük, intenzitásuk változik. Ebből egyrészt a közetben való tározódásra lehet következtetni, másrészt pedig hogy a közműhibák nagy befolyással vannak a csepegővizek mennyiségére. A későbbiekben érdemes lenne kidolgozni egy olyan mérést vagy eszközt, melynek segítségével folyamatosan regisztrálható lenne a csepegővizek minősége. A különböző kémiai paraméterekből (pl.: klór) könnyen lehetne következtetni a csepegővizek származási helyére, ennek tudatában pedig kidolgozni egy súlyozást, ami figyelembe vehető a korrelációs számítás alkalmával. A korrelációs számítást érdemes lenne elvégezni nemlineáris kapcsolatot feltételezve is. Dolgozatom elkészítése során próbát tettem erre, azonban a számítások még nem elég kiforrottak és pontosak, hogy ezt jelen írásban közöljem.

A további mérések után mindenképpen javasolható a csapadék-beszivárgás kapcsolat más karszthidrológiai módszerekkel való vizsgálata. A csepegővíz vizsgálatokat nagy mértékben megnehezíti, hogy a barlangrendszer szinte teljes egészében vízzel telített, ezért csak a táróban és a Kessler-teremben van mód ilyen vizsgálatok elvégzésére, amiből nehéz általános következtetéseket tenni az egész terület beszivárgásáról.

6. Összefoglalás

Dolgozatom elkészítése során számos vizsgálatot végeztem, mellyel a Molnár János-barlang hidrogeológiai viszonyainak alaposabb megismerése volt a célom. Ennek keretében részletesen megvizsgáltam a fellelhető szakirodalmakat.

A Signature 1000 áramlásmérővel két mérés alkalmával körülbelül egy hetes időszakot vizsgáltunk a Kessler-teremben. Ugyanazon függélyben elhelyeztünk egy hőmérőláncot, amellyel percenként regisztráltuk a vízhőmérsékleteket. Ezzel kialakítottunk egy olyan műszerkombinációt, amellyel jelen körülmények között alá tudtuk támasztani a mérések eredményét. Az ábrázolást követően egyértelműen látható, hogy ahol a sebességmérés a nem megfelelő korreláció miatt eredménytelennek bizonyult, ott a hőmérsékleti ábrán megjelent a melegvizes zóna. Ennek oka, hogy a meleg víz áramlási pályája hosszabb, így a kőzetek oldása miatt más kémiai összetétellel rendelkezik, mint a hidegvíz. Mindemellett megfigyeltük az eltérő hőmérsékletű vizek elnyíródását. Ezáltal egyértelműen azonosítottunk egy beáramlási helyet a Kessler-teremben, mely szükségessé tesz további vizsgálatokat a későbbiekben. Feltételezhető, hogy a terem más pontjain is azonosíthatunk ilyen beáramlási helyeket a fent részletezett műszerkombinációval.

Elemeztem a Kessler-terem hőmérsékleti rétegződésének időbeli változását, amely nagyon érdekes eredményekkel zárult. A korábban már megfigyelt meleg vizes áramlat hőmérséklete időben folyamatosan változik. Olyan időszakokat is regisztráltunk, amikor szinte teljesen lehűlt, így a Kessler-teremben csaknem homogén hőmérsékleti rétegződés jelent meg. Messzemenő következtetéseket még nem lehet levonni, hiszen több mérésre lenne szükség, hogy ennek okát megtaláljuk. A későbbiekben szükséges lenne emellett a mélyebb rétegek hőmérsékletének feltérképezésére is.

A vízzel telt járatokban is elemeztük a sebességek alakulását, ennek során érdekes eredményre jutottunk. A két szelvényben mért sebességekből számított vízhozam mennyiségek legalább egy nagyságrenddel nagyobbak, mint amekkorát a két vízkivételi helyen feltételezésünk szerint elvezetnek (folyókában és a fürdő felhasználásában), ami alátámasztja a korábbi feltételezést, hogy a karsztrendszerben jóval több víz áramlik, mint ami a budai oldalon szökevényforrásként vagy pedig felhasznált vízként megjelenik. A járatokban megjelenő hirtelen sebességcsökkenés feltételezéseink szerint a vízkivételekkel van összefüggésben, amelynek gyakoriságáról és mennyiségéről sajnos nincsenek adataink.

Az A51 járat esetében a bűvárok már több alkalommal tapasztaltak a meder aljánál egy gyorsabb áramlást, ezt a későbbiekben érdemes lenne regisztrálni.

Kapcsolatot kerestem a Kessler-teremben és a táróban elhelyezett csepegőmérők által regisztrált értékek és a csapadék mennyisége között. Keresztkorrelációs számításokat végeztem az idősor eltolásával, azonban nem sikerült párhuzamot felfedeznem. Ennek oka abban rejlik, hogy a minta nem elég reprezentatív, illetve hogy nem áll rendelkezésünkre megfelelő hosszúságú csepegővíz adatsor. A további kutatás folyamán nagyobb hangsúlyt kell fektetni az adatok folyamatos regisztrálására mind a csepegőintenzitás mind pedig a vízkémiai paraméterek tekintetében. A közöttük lévő kapcsolatot nemlineáris módszerekkel lenne szükséges vizsgálni, a tározódás figyelembevételével.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Hajnal Géza konzulensemnek, hogy felkeltette érdeklődésemet a téma iránt, így betekintést nyerhettem Magyarország egyik legszebb és legérdekesebb barlangrendszerébe.

Köszönöm Dr. Szieberth Dénes konzulensemnek a terepi mérések során nyújtott pótolhatatlan segítségét, hogy segítette munkámat hasznos tanácsokkal és minden szükséges információt biztosított számomra.

Köszönöm Szilágyi Mariann konzulensemnek az adatfeldolgozás során nyújtott nélkülözhetetlen segítségét, valamint dolgozatom véglegesítéséért tett fáradozásait.

Köszönöm Rehák Andrásnak a mérőeszközök elhelyezésénél és a műszer adatainak kinyerésénél nyújtott segítségét.

Köszönöm Papp Viktornak a Matlab használatában nyújtott segítségét, de legfőképp az elvesztett jegyzetem kutatásánál nyújtott támogatását.

Köszönöm Nagy Eszter Dórának a csapadékadatok beszerzéséhez adott ismereteit.

Köszönöm a barlangi bűvároknak, hogy segítették a barlangba való bejutásomat.

Köszönöm családomnak a támogatást, külön hálás vagyok bátyámnak, Nagy Máténak az angol szakirodalmak megértésében való segítségét.

Köszönöm páromnak, Hudák Istvánnak azt a végtelen türelmet és támogatást, amelyet tőle kaptam.

8. Felhasznált irodalom

Alföldi L. (1979): Budapesti hévizek. – VITUKI Közlemények 20, pp. 1-102.

Alföldi L. (1982): A layered thermal-water twin flow system. – Journal of Hydrology

Alföldi L., Béltéky L., Böcker T., Horváth J., Kessler H., Korim K., Oravetz J., Szalótyai G. (1968): Budapesti hévizei. – A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet kiadványa, Budapest, 365p.

Alföldi L., Csepregi A., Kapolyi L. (2007): Bányászati Karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-Középhegységben - Magyar Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 138p.

Bodor P. (2014): A rózsadombi megcsapolódási terület felszín alatti vizeiben bekövetkező időbeli változások vizsgálata – geológus Msc diplomamunka, ELTE

Csordás, J. – Pataki, L. (2012): Elfolyó kilowattok! A rózsadombi Boltív-forrás langyos vizének vizsgálata és felhasználhatósága. Tudományos Diákköri Dolgozat. ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Erőss A. (2010): Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. – Doktoridisszertáció, ELTE, 171p.

Erőss A., Mádl-Szőnyi J., Csoma É. A. (2008): Characteristics of discharge at Rose and Gellért Hills, Budapest, Hungary. – Central European Geology 51(3), pp. 267-281.

Erőss A., Mádl-Szőnyi J., Csoma É. A. (2012a): Hypogenic karst development in a hydrogeological context, Buda Thermal Karst, Budapest, Hungary. – IN: Maloszewski, P., Witczak, S., Malina, G. (EDS.): Groundwater Quality Sustainability, IAH Selected Papers on Hydrogeology 17, London, CRC Press - Taylor and Frances Group, pp. 119-133.

Farkas, D. (2015): A Molnár János-barlang térségének hidrológiai vizsgálata, MSc diplomamunka, BME Vízügyi és Vízgazdálkodási Tanszék

Farkas Karay Gy. (2018): Repedezett és karsztos kőzetek szivárgáshidraulikai vizsgálata
Doktori értekezés

- Farkas D. – Hajnal G. – Szieberth D. – Rehák A.: A Molnár János-barlang térségének hidrológiai vizsgálata In: Török Ákos, Görög Péter, Vásárhelyi Balázs (szerk.), Mérnökgeológia - Kőzetmechanika 2015. pp. 61-74. (ISBN:978-615-5086-09-0)
- Fodor, L. – Leél-Őssy, Sz. – Tari, G. (1991): En-echelon fractures in a dextral shear zone – Tectonic heritage for a hydrothermal cave (Budapest, Hungary). Terra Nova. 4. pp. 165-17.
- Ford, D. C., Williams, P. W., (2007), Karst Hydrogeology and Geomorphology, Chichester, John Wiley and Sons Ltd., 562 p.
- Haas, J. – Korpás, L. – Török, Á. – Dosztály, L. – Góczán, F. – Hámor-Vidó, M. – Oraveczné Scheffer, A. – Tardi-Filác, E. (2000): Felső-triász medence- és lejtőfáciesek a Budai-hegységben – a Vérhalom téri fúrás vizsgálatának tükrében. Földtani Közlöny. 130/3. pp. 371–421.
- Hazslinszky T., Nádor A., Szablyár P. (1993): Ajánlás a budai Rózsadomb és környéke termálkarsztja UNESCO Világörökség-listára történő felterjesztéséhez. - MKBT Kiadvány, Budapest, 64 p.
- Jakucs, L. (1959): Neue Methoden der Höhlenforschung in Ungarn und ihre Ergebnisse. Die Höhle 10, 88-98.pp
- Kalinovits, S. (2006): Molnár János-barlang új szakaszainak felfedezése. Karszt és Barlang. 1995-1996. p. 3-8.
- Kordos, L. – Jakucs, L. – Gádoros, M. – Tardy, J. (1984): Magyarország barlangjai. Gondolat Kiadó. Budapest. p. 326.
- Kontur I., Koris K., Winter J. (1993) Hidrológiai számítások, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Leél-Őssy, Sz., Bergmann, Cs., Bognár, Cs. 2011. A budapesti Molnár János-barlang termálvizeinek veszélyeztetettsége. A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 81. kötet.
- Leél-Őssy, Sz. – Bergmann, Cs. – Bognár, Cs. (2011): A budapesti Molnár Jánosbarlang termálvizének veszélyeztetettsége. A Miskolci Egyetem Közleménye. A sorozat. Bányászat. 81. pp. 91.

Lovrity Vencel, Bodor Petra: A Boltív-forrás vízhozamának és fizikai, kémiai paramétereinek változása a csapadékesemények és a Duna vízállás függvényében. Értékelés archív adatok és recens mérések alapján (TDK dolgozat, Budapest, 2014.)

Leél-Őssy, Sz. (1997): A József-hegyi-barlang (Budapest) termálkarsztos keletkezése és fejlődése. Kandidátusi értekezés. MTA. p. 114.

Lorberer Á. (2002): A budapesti termálkarszt állapot-értékelése - Zárójelentés - Vituki Rt. Budapest, 1-45p.

Lovrity Vencel, Bodor Petra: A Boltív-forrás vízhozamának és fizikai, kémiai paramétereinek változása a csapadékesemények és a Duna vízállás függvényében.

Értékelés archív adatok és recens mérések alapján (TDK dolgozat, Budapest, 2014.)

Lakos P. T. (2017): A Molnár János-barlang áramlási viszonyainak vizsgálata, MSc diplomamunka, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Mádlné Szőnyi, J. (1996): Vízartó rendszerek sérülékenységi vizsgálata. Elméleti háttér és gyakorlat. – Egyetemi doktori disszertáció, ELTE TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest, 1-138.

Mádlné Sz. J., Leél-Őssy Sz., Kádár M., Angelus B., Zsemle F., Erőss A., Kalinovits S., Segesdi J., Müller I., Mindszenty A. (2001): A Budai Termálkarszt-rendszer hidrodinamikájának vizsgálata nyomjelzéssel. – Jelentés, Budapest, pp 46.

Martin, V., T.S.R., F., Millar, R. & Quick, M., 2002. *ADV Data Analysis for Turbulent Flows: Low Correlation Problem*. Colorado, United States, ASCE, pp. 1-10.

Nagymarosy, A. – Báldiné Beke, M. (1988): The position of the Palogene Formations in Hungary. Ann. Univ. Sci. Eötv. Sect. Geol. 28. pp. 3-25.

Nagy, H. (2012): Radonkoncentráció dinamikájának és forrásainak vizsgálata a budai-hegységi barlangokban. Doktori értekezés. ELTE TTK Környezettudományi Doktori Iskola. Környezeti Földtudomány Program

Plózer István: A malom-tavi Molnár János-barlang vízalatti járatainak kutatása. Karszt és Barlang, 1972. 1–2. félév. 13–16. old.

Pekáry, A. (2014): Molnár János barlang kőzetkörnyezetének mérnökgeológiai vizsgálata. Tudományos Diákköri Dolgozat. BME Építőmérnöki Kar

Pekáry A. (2017): Molnár János-barlang vizeinek karszthidrológiai vizsgálata MSc diplomamunka, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Solymár, K. (2017). A Molnár János-barlang hidrológiai vizsgálata [Diplomamunka]. BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

Sokoray-Varga, B. & Józsa, J., 2006. Akusztikus Doppler-elvű terepi turbulencia-mérések módszertana és adatelemzése (Flow measurement technology based on Acoustic Doppler principle). *Hidrológiai Közlöny*, 86, Volume 5, pp. 27-34.

Tóth D. (2016): Hidrológiai vizsgálatok a Molnár János-barlangban, BSc diplomamunka, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Török Á., Görög P., Vásárhelyi B. (2015) Mérnökgeológia – Kőzetmechanika 2015

Wein Gy. (1977): A Budai-hegység tektonikája. - MÁFI Alk. kiadvány, Budapest, 76 p.

https://www.researchgate.net/publication/304495552_Torteneti_attekintes_a_budai_barlangok_keletkezeserol_a_klasszikus_karsztfjlodestol_a_hipogen_barlangkepzodesig_Speleogenesis_in_the_Buda_Thermal_Karst_-_a_Historical_Review_from_the_Classical_Epig

[http://www.hydrocourse.bme.hu/downloads/akusztikus-meromuszerek_\(hun\).pdf](http://www.hydrocourse.bme.hu/downloads/akusztikus-meromuszerek_(hun).pdf)

http://www.dataqua.hu/products/product.php?lang=hu&id=DA-S-LKTRB_122

vimeo.com/9620029