

MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI INTÉZET
HIDROGEOLÓGIAI – MÉRNÖKGEOLÓGIAI INTÉZETI TANSZÉK



A Rudabányai-tó vízminőség-változásának térbeli és időbeli vizsgálata

Szerző: Fejes László Márk és Tokárszki Zoltán László

Szekció: Földtudományok

Alszekció: Hidrogeológia-geotechnika alszekció

Beadás dátuma: 2014. május 02.

Konzulens: Tóth Márton, Környezetgazdálkodási Intézet, doktorandusz

Egyetem, tanszék: Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

„Alulírott Fejes László Márk és Tokárszki Zoltán László, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatói büntetőjogi és fegyelmi felelősségünk tudatában kijelentjük és aláírásunkkal igazoljuk, hogy ezt a dolgot saját magunk készítettük, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelezzük – magunk végeztük el, és az ismertetett eredményeket magunk értük el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtuk fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettünk, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltük.”

Miskolc, 2013. november 11.

.....
hallgatók aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

„Alulírott Tóth Márton, a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetének doktorandusza a TDK dolgot beadásra alkalmasnak ítélem.”

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2013. november 11.

.....
a konzulens aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. IRODALOM	4
2.1. RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS	4
2.2. ÉRCESEDÉS, A TÓ KELETKEZÉSE	5
2.3. HIDROLÓGIA, HIDROGEOLOGIA	6
2.4. KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK	7
2.5. A KORÁBBI KUTATÓMUNKA RÉSZLETESEBB BEMUTATÁSA.....	8
3. A VIZSGÁLT ELEMÉK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI ÉS ÉLETTANI HATÁSAI	11
3.1. MANGÁN [MN]	11
3.2. VAS [FE]	11
3.3. NÁTRIUM [NA]	12
3.4. KÁLIUM [K]	12
3.5. KALCIUM [CA]	13
3.6. MAGNÉZIUM [MG]	13
3.7. CINK [ZN]	14
3.8. RÉZ [CU]	14
4. VIZSGÁLAT FOLYAMATA	15
4.1. A MINTAVÉTEL MENETE	15
4.2. ADWA 1020 pH MÉRŐ	16
4.3. ATOMABSZORPCIÓS SPEKTROMÉTER.....	18
4.4. A VIZSGÁLAT FOLYAMATA	21
5. EREDMÉNYEK, DIAGRAMOK	22
5.1. MÉLYSÉG SZERINTI KONCENTRÁCIÓ ELOSZLÁS – AUGUSZTUS	22
5.2. TOVÁBBI ADATSOROK	26
6. ÖSSZEFOGLALÁS	33
7. FELHASZNÁLT IRODALOM	35
8. ÁBRA ÉS DIAGRAMJEGYZÉK.....	36
9. TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	36
10. MELLÉKLETEK.....	37

1. Bevezetés

„Amikor a kút kiszárad, megismerjük a víz igazi értékét.”

/Benjamin Franklin/

„A vizek országa” – így nevezték az ókori rómaiak a Kárpát-medence területét. Magyarország Európa egyik legnagyobb vízkészletével rendelkező országa. Napjainkban egyre nagyobb figyelem összpontosul a felszíni és felszín alatti vízbázisaink minőségi felmérésére és megvédésére. Ezekre a vizekre számos ipari tevékenység gyakorol hatást, mint például a bányászat.

Kutatási munkánk középpontjában a Rudabányai-tó áll, mely Magyarország egyetlen karbonátos alapon fekvő vasércbányája területén, a külszíni fejtés által hátrahagyott bányagödörben keletkezett, felszíni és felszín alatti vizekből. A tó körül található meddőhányók közül néhány jelentős nehézfém tartalommal rendelkezik, mert a több évtizedes vasércbányászat során elkerülhetetlen volt, hogy ezekben felhalmozásra kerüljenek az ólom-, cink- és réztartalmú ércek is, melyek a vasérccekkel együtt keletkeztek a hidrotermális folyamatok során. Ezek a különböző környezeti tényezőknek kitett meddőhányók is hatást gyakorolnak a tó vízminőségére. Kíváncsiak voltunk, hogy ilyen alapokon nyugodva, hogyan alakul időben a tó vízkémiai összetétele. Korábbi hidrogeológiai kutatások érintőlegesen már kiterjedtek a víz kémiai összetételének vizsgálatára (Németh Ágnes, Dr. Kovács Balázs, Tóth Márton), de a havi rendszerességgű vízmintavételezéseket, mely során több mintavételi pontban, különböző mélységből veszünk mintákat, 2013 májusában kezdtük. Munkánk során elsődlegesen a vízminták elemtartalmának vizsgálatát végeztük el a jelentősebb makroelemekre (Ca, Mg, Na, K) és a rudabányai ércesedéshez kapcsolható főbb nyomelemekre (Zn, Cu, Fe, Mn). Továbbá vizsgálataink kiterjedtek a víz pH értékének pontonkénti változásának feltérképezésére.

Jövőbeli terveink közt szerepel, a tó vízminőségének további térbeli és időbeli változásának megfigyelése és vizsgálata. Kutatásainkat szeretnénk kiterjeszteni bioakkumulációs vizsgálatokra, melyekre mintát a tóban és a tó peremterületén élő halakból és vízinövényekből nyernénk. Továbbá ha a terület közbiztonsága javulni fog, félautomata műszerek kihelyezését is szeretnénk fontolóra venni.

2. Irodalom

2.1. Rövid történeti áttekintés

Rudabánya, Miskolctól 35 km-re, Kazincbarcikától 15 km-re É-i irányba található egykori bányaváros. Ezen a területen már az ókorban is folytak bányászati tevékenységek egészen napjainkig, kisebb-nagyobb megszakításokkal. A falut először egy 1299-ben kelt oklevél említi („Ruda” alakban). A 14. században jelentős fejlődésnek indult, Nagy Lajos király bányavárosi rangra emelte, majd a század végére a hét felső-magyarországi bányaváros egyikévé vált. Előkelő helyét azonban az 1500-as évek közepétől állandósult török portyázások következtében elvesztette, majd a 17. századra elvesztette bányavárosi rangját is, és jobbágyfaluként működött tovább. Ezt követően közel három évszázadon keresztül csak időnként művelték érctelepeit, nem sok sikerrel. Az érctermelés a Borsodi Bányatársulat (vasércbányászat) szorgalmazásával 1880-ban indult újra, és ezzel a település fejlődése is újra elkezdődött, a II. világháború után a bányászat erőteljes fejlődésnek indult, 1962-ben pedig megkezdte működését a vasércdúsító üzem is. (Németh & Kovács, 2011)



1. ábra Rudabányai bányató elhelyezkedése (forrás: Google earth – a szerzők saját szerkesztése)

A Miskolci Egyetem Hidrogeológia - Mérnökgeológia Tanszékét 2010-ben bízta meg a Rudabányai bányató a hidrológiai és vízkémiai viszonyainak elemzési munkálataival. Ennek az oka az volt, hogy a külszíni bányában újra elindultak a kutatások a vas, színes- és nemesfémek iránt, és korábbi szakirodalom áttekintése után a Bányatóról nem találtak hidrológiailag és hidrogeológiailag felhasználható információt (Németh & Kovács, 2011).

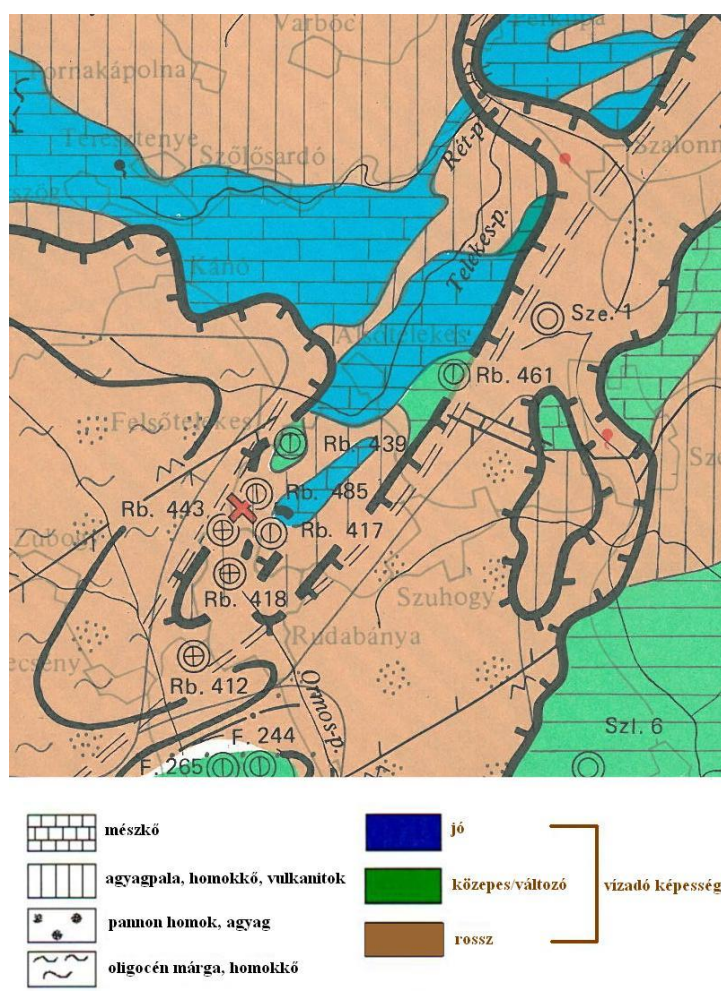
2.2. Ércesedés, tó keletkezése

Rudabánya Észak-Magyarország legöregebb polimetallikus ércesedésre települt bányája volt, melyet 1985-ben zártak be. Az érctelep a Jura korban képződött, amikor a melléti-óceáni kéreg szubdukálódott a gömöri-szilicei kontinentális lemez alá (Szentpétery & Less, 1996). Triász dolomitban és mészkőben kialakult ércesedés, figyelhető meg a területeken. A Pb, Zn, Cu szulfidok mennyisége alárendelt, uralkodó a Fe, amely metasomatózissal (átviteléssel és elemkicserélődéssel) a dolomit Ca és Mg ionjai helyére épült be. A vasércet utólagosan hidrotermális erek járták át melyeket, barit és polimetallikus Cu-Pb ércek töltöttek ki (Hartai 2006).

A bányát, főként *vasérc*(1880-1985), *galenit*[PbS](1970-1979) és *szulfidos rézérc*(1967-1979) kitermelésére használták(Less, Kovács, et al., 2006). Az 1985-ben bezárt bánya tevékenysége során keletkezett meddőhányók jelentős nehézfém tartalommal rendelkeznek, mert a több évtizedes vasércbányászat során elkerülhetetlen volt, hogy ezekben felhalmozásra kerüljenek az ólom-, cink- és réztartalmú ércek is. Rudabánya település közelében lévő rudabányai bányató két régebbi bányarész, a Vilmos és az Andrássy II találkozásánál keletkezett (Németh & Kovács, 2011). A bányászat és a víztelenítési munkálatok megszűnésével egy közel 2,1 ha felületű tó jött létre. Eredetileg két kisebb felületű tó volt, de a vízállás megemelkedésével egy mára nagyjából állandó terjedelemmel rendelkező tóvá vált. Hossza kb.: 300 m, átlagos szélessége: 80 m, legnagyobb vízmélysége pedig 36 m. A különböző környezeti hatásoknak (szél, csapadék, stb.) kitett meddőhányókból a nehézfémek a tóba mosódhatnak, így hatást gyakorolhatnak a tó vizének minőségére.

2.3. Hidrológia, hidrogeológia

A bánya területén csapadéktól függően, a karsztvizekre jellemző módon jut mélyebb szintekre a csapadék. Kisebb esőzés esetén a párolgás dominál. A területen a 2.ábrán is láthatóan megtalálható kőzetek a mészkő, az agyagpala, a homokkő, a pannon homok, az agyag és az oligocén márga, ennek megfelelően találunk jó, közepes és rossz vízvezető képességű kőzeteket. Összefüggő karsztvízrendszer nem alakulhatott ki, mert a jelentős tektonikai igénybe vétel miatt a dolomit és mészkő táblák feldarabolódtak és közéjük márga préselődött. A neogén összletben egymás után váltakozva találhatók meg a vízvezető (homok), és vízzáró (aleurolit, agyag) kőzetek (Németh & Kovács, 2011).

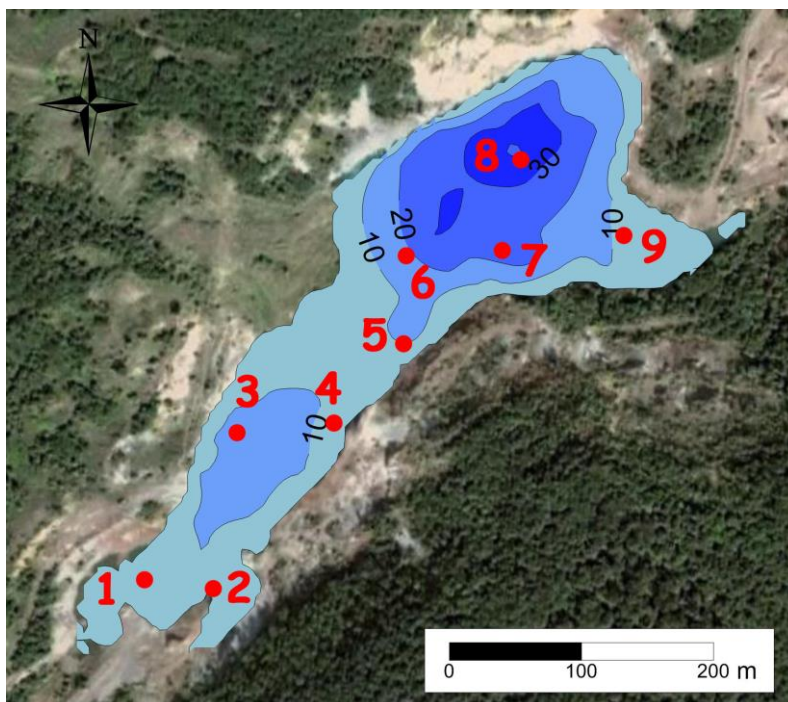


2.ábra Rudabányai hegység vízföldtani térképe
(Magyarország vízföldtani térképe)

A területre lehulló éves csapadék átlagosan kb. 630-670 mm közé esik. Általában a legcsapadékosabb hónapok nyáron fordulnak elő, június és július környékén, amikor több mint 100 mm csapadék is hullhat, de előfordult már 250 mm mennyiségű csapadék is. A legkevesebb csapadék a téli hónapokra jellemző, 10 mm alatti érték, de még márciusban is előfordulhat ugyanezen minimális szint. A területet 3 vízfolyás szeli át, a Réti, Telekes és Ormos-patak (Németh & Kovács, 2011).

2.4. Kutatási előzmények

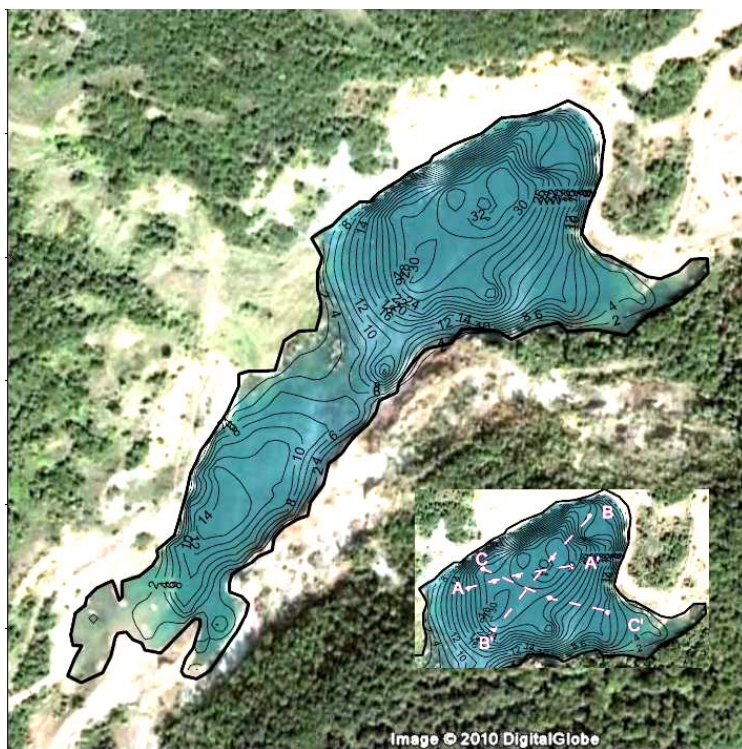
A tó vízminőségének állapotfelméréséhez korábban indultak el a kutatások. Az első lépéseket Németh Ágnes és Dr. Kovács Balázs (2011) tették meg, majd e kutatást kibővítendő indult meg egy átfogóbb vizsgálat Tóth Márton és Dr. Kovács Balázs részéről (2013), melyben már nemcsak az ún. általános környezeti állapotjelzők voltak mérve, hanem 9 mintavételi pont is kijelölésre került vízkémiai elemzések elvégzésére, melyek közül 5 a tó sekélyebb DNy-i, 4 a mélyebb ÉK-i felébe esett (3. ábra). Ebbe a kutatómunkába kapcsolódtunk be mi is. A mintákat a felszínről, 5 m és 10 m mélyről vettük a legtöbb pont esetében. Az 1-es, 2-es, 6-os mintavételi pontban a fenék mélysége kisebb volt, mint 10 m, így ezekben a pontokban csak a felszínről és 5 m-ről vettünk mintát. A 8-as pontban, a tó legmélyebb pontjában a felszínről, 5 m-es, 15 m-es 25 m-es és 30m-es mélységből vettünk mintát.



3. ábra Mintavételi pontok
(a szerzők saját szerkesztése, Németh & Kovács munkája alapján)

2.5. A korábbi kutatómunka részletesebb bemutatása(Németh & Kovács, 2011)

Vizsgálataik egy átfogó állapotfelmérést eredményeztek a Rudabányai bányatóra vonatkozóan. Első lépésben feltérképezték a tó medrét, és sikeresen készítették el annak mélységtérképét. Korábban nem készült hasonló jellegű térkép a tóról és mélység adatokat is csak korábbi bányatérképekről lehetett leolvasni. A mélységmérés mérőszalaggal készült, a tó körbecsónakázásával. A tavat egy korábbi omlás két részre, egy sekélyebb DNy-i (maximális mélység: 16,5 m) és egy mélyebb ÉK-i részre osztotta, ahol a tó legmélyebb pontja (35-36 m) is található. Nem véletlen tehát, hogy ebben a pontban van kitűzve az egyik mérési pont. A tó fenékmélység eloszlását szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra A bányató mélysége és a hőmérséklet vizsgálatára felvett szelvények nyomvonala(Németh & Kovács, 2011)

A tavon 2 különböző módon történt vízminőség mérés. Az egyik esetben nyár végén és tavasszal lett megvizsgálva a tó 4 (0 m, 11 m, 22 m, 33,5 m) különböző mélységéből vett vízminta pH-ja, vezetőképessége, oldott oxigén tartalma, illetve az összes oldott anyag tartalma.

Azon eredmények, melyekre a mi vizsgálataink nem tértek ki, de a tó állapotának felméréséhez, és megismeréséhez hasznos:

- A nyári időszakban a víz oldott oxigéntartalma számottevően nem változik 22 m-ig és határérték felett van. A mederfenekén 33,5 m-nél azonban a tűrhető határérték alá csökken. Ebből kifolyólag ezen a mélységen semmilyen élőlény nem képes megélni. A tavaszi időpontban az oldott oxigén tartalom a mélységgel szintén csökken, azonban a tó teljes magasságában jóval az elfogadható határ alatt van. Ennek oka valószínűleg az lehet, hogy a tavat nagyon sokáig jég borította, december eleje/közepétől egészen március végéig megmaradt a jégborítás, és csak ezután olvadt fel véglegesen a tó felszíne, így 3 hónapon keresztül nem tudott közvetlenül a levegővel érintkezni.
- A vezetőképesség mérés az oldott sótartalom alapján, ugyanis a vízben ezek vezetik az elektromosságot. (A tiszta víz vezetőképessége nagyon alacsony 0,055 - 1,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a csapból folyó ivóvíz vezetőképessége 500-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, az esővíz 5-20 μS közötti). A mérések esetünkben 3,5-4,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -es értéket mutattak, amiből levonható az a következtetés, hogy a tó vize tiszta. Egy mS/cm megközelítőleg 500-700 mg/l sótartalomnak felel meg, azonban ez nem 100%-ban sókat jelent, ugyanis a mért mintában más anyagok is mutatkoz(hat)nak a sókon kívül. A vezetőképesség függ továbbá a vízben oldott összes ion tartalomtól, amibe beletartoznak a Ca, Mg, K, Na, stb. ionok is.

A másik mérés:

- Szintén a tó legmélyebb pontján, 10 m-en, 20 m-en és 30 m-en lettek véve a vízminták, azonban ez esetben nehézfém koncentrációra lettek bevizsgáltatva a MIVIZ Miskolc Vízmű Kft-nél. A mérések kiterjedtek az általunk mérteken kívül:
 - Antimon[Sb]
 - Króm[Cr]
 - Kobalt[Co]
 - Nikkel[Ni]
 - Ezüst[Ag]
 - Kadmium[Cd]
 - Ólom[Pb]
 - Arzén[As]

- Szelén[Se]
 - Alumínium[Al]
 - Bárium[Ba]
 - Molibdén[Mo]
- Az ivóvíz minőségére vonatkozó 201/2001. (X. 25.) Kormányrendeletbe foglalt ivóvíz minőség és a MSZ 12749:1993 szabványba elfogadott felszíni víz minőség határértékhez képest a vas, mangán és a bárium a mélyebb vízrétegekben voltak magasabbak, a réz, cink és az alumínium viszont inkább a felsőbb rétegekben. Megállapítható, hogy a vas és a mangán jócskán átlépi a megengedett határértéket, erősen szennyezetnek tekinthető, és a mélységgel nő az értékük. Míg a cink 20 m mélységig csökken, majd azután növekszik, de nem éri el a víz felszínén mért értéket, a bárium a mélységgel együtt szintén nő, az alumínium és a réz pedig a mélységgel csökken.
 - A tavasz folyamán bűvár segítségével sikerült iszapmintát venni a tó fenekéről, mind a sekély(DNy), mind pedig a mély rész(ÉK) legmélyebb pontjairól. A minták ICP vizsgálatra kerültek, melynek eredményeit lentebb, a 1. táblázatban lehet megtekinteni. Megállapítható, hogy az iszap, nehézfémekben nagyobb mennyiségben dúsult, mint a tó vize: Hg, Mn, As, Ba, P, Pb, Sr, Zn és Cu értéke jóval a határérték felett van.

Vizsgált elem	Mély rész	Sekély rész	Vizsgált elem	Mély rész	Sekély rész	Vizsgált elem	Mély rész	Sekély rész
Ag (ppm)	2	3.8	Fe (%)	4.59	3.61	S (ppm)	2.27	0.93
Al (%)	1.18	0.81	Ga (ppm)	<10	<10	Sb (ppm)	23	27
As (ppm)	73	83	Hg (ppm)	5	3	Sc (ppm)	5	4
B (ppm)	10	<10	K (%)	0.5	0.31	Sr (ppm)	68	75
Ba (ppm)	40	110	La (ppm)	10	<10	Th (ppm)	<20	<20
Be (ppm)	1.1	1.1	Mg (ppm)	3.41	3.23	Ti (%)	<0.01	<0.01
Bi (ppm)	<2	2	Mn (ppm)	3710	4720	Tl (ppm)	<10	<10
Ca (%)	8.4	9.3	Mo (ppm)	1	<1	U (ppm)	<10	<10
Cd (ppm)	4.7	3.1	Na (%)	0.02	0.02	V (ppm)	15	12
Co (ppm)	10	11	Ni (ppm)	23	22	W (ppm)	10	<10
Cr (ppm)	12	8	P (ppm)	540	550	Zn (ppm)	3850	1445
Cu (ppm)	108	88	Pb (ppm)	460	442			

1.táblázat: Iszapminták ICP vizsgálatával (Németh & Kovács, 2011)

3. A vizsgált elemek általános jellemzői és élettani hatásai

3.1. Mangán [Mn]

Vízben nem oldódó, ezüstfehér színű, rideg fém. A természetben többnyire vassal együtt fordul elő, de sok más ásványban is megtalálható oxidos vagy karbonátos formában. Legfontosabb ércei a barnakő, a manganit és a mangánpát. Természeti előfordulása és széleskörű felhasználása miatt a környezetben változó koncentrációban fordul elő, megtalálható a levegőben lebegő anyagként, a vízben oldva vagy a talajban kötött formában.

Az ivóvízben a megengedett koncentráció értéke 0,5mg/l. A talajban ez az érték akár 7000mg/kg is lehet a földtani viszonyoktól függően.

Biológiai szempontból alapvető fontosságú elemek közé tartozik. Hatását tekintve kevésbé mérgező, ugyanakkor túladagolása esetén többek között koncentrációzavar, izomgyengeség és alacsony fehérvérsejt szám a jellemző tünetek. A növények rendszerint a föld feletti részeikben akkumulálják (szár, levél, termés) (Takács 2001).

3.2. Vas [Fe]

Jó mágneses tulajdonságú, kettő és három vegyértékű, mely a fémek közül a legszélesebb körben kerül felhasználásra napjainkban. Tisztán csak meteoritokban fordul elő. Legfontosabb ércei a hematit, sziderit és a magnetit. A ferroklorid és ferroszulfát vízben jól oldódó vegyületei.

Széleskörű felhasználása miatt nagyobb koncentrációban van jelen a talajban és a vízben és így az élő szervezetekben. A hazai határértéke igen változó, ivóvízben 0,3mg/l (ásványvízben 2mg/l), felszíni vizekben 0,1 és 1 mg/l között változik. Talajban összetételtől függően néhány mg-tól akár több száz mg-ig is változhat. Természetes vizekben gyakori komponens, nagyobb mennyiségben jellegzetes rozdszint ad a vizeknek. A vas, mint elem nem mérgező, de vegyületei élvezhetetlenné teszik az ivóvizet. Esszenciális elem, tehát az élő szervezetek számára nélkülözhetetlen. Hiányában fáradtság, fejfájás, étvágytalanság és ellenálló képesség csökkenés figyelhető meg. A növények a hajtásaikban akkumulálják (Takács 2001).

3.3. Nátrium [Na]

Igen puha, ezüstös színű alkáli fém, amely jó hő és elektromos vezető tulajdonságokkal bír. Rendkívül heves reakcióba lép a vízzel. A természetben elemi állapotban nem, csak vegyületekben fordul elő. A Föld tömegének mintegy 2,6%-át adja, így a 6. leggyakoribb elem a földön. Legközönségesebb vegyülete a konyhasó [NaCl].

Az emberi szervezetben közel 80-100 gramm nátrium található. Egy része oldott állapotban van jelen, kisebb részét pedig a csontok és kötőszövetek raktározzák. A nátrium szoros összefüggésben van a káliummal, együttesen az úgy nevezett ozmotikus nyomást szabályozzák. Emellett a nátrium fontos szerepet játszik az idegrendszer működésében, az ingerületek továbbításában. A talaj túlzott nátrium tartalma, kedvezőtlenül befolyásolja a növények fejlődését (Balázs, 1996).

3.4. Kálium [K]

Szürkés színű, puha alkáli fém mely enyhén radioaktív. A nátriumnál reakcióképesebb. A természetben - a nátriumhoz hasonlóan - nagy reakció készsége miatt elemi állapotban nem fordul elő (Greenwood, 1999).

A szervezetben körülbelül 150g kálium található. Fontos szerepe van a helyes izomműködésben, a sejtek energia ellátásában és sav-bázis egyensúlyban. Hiánya esetében izomgyengeség, szívritmus zavar és vesekárosodás léphet fel (Balázs, 1996).

3.5. Kalcium [Ca]

Ezüstfehér, az ólomnál valamivel keményebb alkáliföldfém. Vegyületei igen elterjedtek, a legfontosabb ezek közül a kalcium karbonát (CaCO_3). Számos magmás kőzet és ásvány alkotója, mint például a földpátoké, piroxéneké és amfibóloké. A felszíni vizekben megtalálható kalcium, dolomitból és mészkőből származik. Vízben való oldását a pH és a széndioxid nagymértékben befolyásolja. Jellemző tulajdonsága hogy magas koncentráció esetén mészkőkiválást, vízkövesedést okoz.

Normális esetben a kalcium koncentrációja felszíni vizekben 10 és 100mg/l között van, ivóvizeknél az ajánlott határérték 80mg/l. Az élő szervezetekben fontos szerepet játszik. Sem oldott állapotban, sem pedig szuszpenzió formájában nem fejt ki káros hatást. Alapvető szerepet játszik az élőlények vázának (csontváz, kagylóhéj) felépítésében (Neven 1997).

3.6. Magnézium [Mg]

Fehér fényű, viszonylag puha, kis fajsúlyú alkáliföldfém. Kémiai szempontból sok tekintetben a kalciumhoz hasonlít, azonban a vízben sokkal kisebb koncentrációban fordul elő. A kémiai hasonlóságok ellenére egymást nem helyettesítheti a két elem. A magnézium ionok elsősorban elektrosztatikus kölcsönhatást alakítanak ki különböző ligandumokkal (Papp, 1988).

A magnézium koncentrációja felszíni vizekben minden esetben a kalcium koncentrációja alatt marad, feltehetően a magnézium ritkább előfordulása miatt. A kalciumhoz hasonlóan a magnézium is esszenciális elem. Növények és állatok számára is egyaránt fontos tápanyag. Számos biológiai folyamatban vesz részt, emellett enzimekben is előfordulhat (Neven 1997).

3.7. Cink [Zn]

Fehér színű, erősen fénylő, könnyen olvasható, két vegyértékű fém. Széles körben felhasználható, vegyületei közül a cink-oxidot használja fel a gyógyszeripar és a gumi ipar. Fontosabb ércei a cinkpát és a szfalerit, általában ólommal, vassal és arzénal fordul elő a természetben. A cink a környezetbe főként ipari tevékenység kapcsán vagy bányaművelés során kerülhet.

Esszenciális elem, az élő szervezetek szinte minden szövetében megtalálható. Viszonylag nem nagyon mérgező, szerves vegyületei hidrolizálnak. határértéke a vízben 3 mg/l (a WHO ajánlásával) (Neven, 1997).

3.8. Réz [Cu]

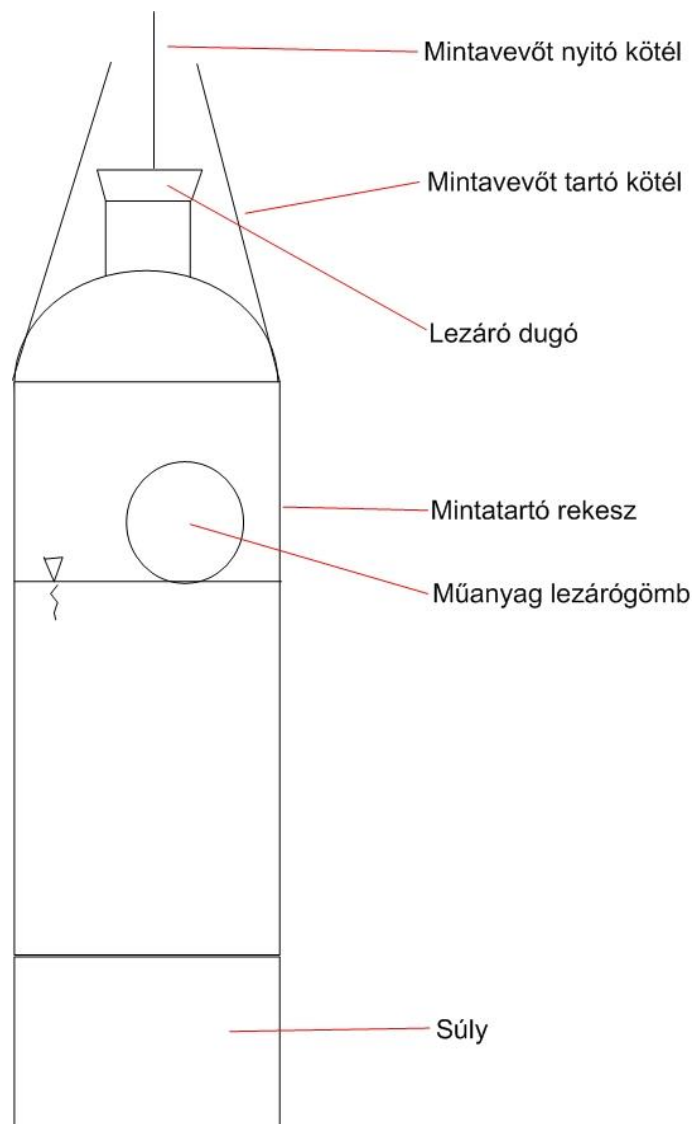
Vörös színű, fényes fém, amely a nemesfémek csoportjába tartozik. Vékony lemezei zöldeskék színben áttetszők, por alakban barna színű (Orbán, 1980). Az ipar számos területén felhasználják, többek között a vegyipar, a gyógyszeripar és a műszer ipar. Jó vezető tulajdonságokkal bír. Legfontosabb ércei a kalkopirit és a malachit (Takács 2001).

Sok élőlény számára nélkülözhetetlen elem, mivel az organizmusok életműködése kapcsán számos, redoxireakciókat szabályzó enzimben és oxigénátvivő rendszerben tölt be fontos szerepet. Nagy mennyiségben a többi fémes elemhez hasonlóan mérgező, különösen a mikroorganizmusok esetében. Élelmiszernövényeknél a réztartalmú műtrágya használata növeli a terméshozamot, túladagolva gátolja a növekedést. Környezet szennyező rézforrások lehetnek a rézcsövek, ipari szennyvizek és a kőzetek mállása. Hazai viszonylatban 1 mg/l az elfogadható határérték az ivóvizekben. Természetes vizekben koncentrációja kicsi, mivel karbonátja és hidroxidja rosszul oldódik (komplexxépző hiányában) (Papp, 1988).

4. Vizsgálat folyamata

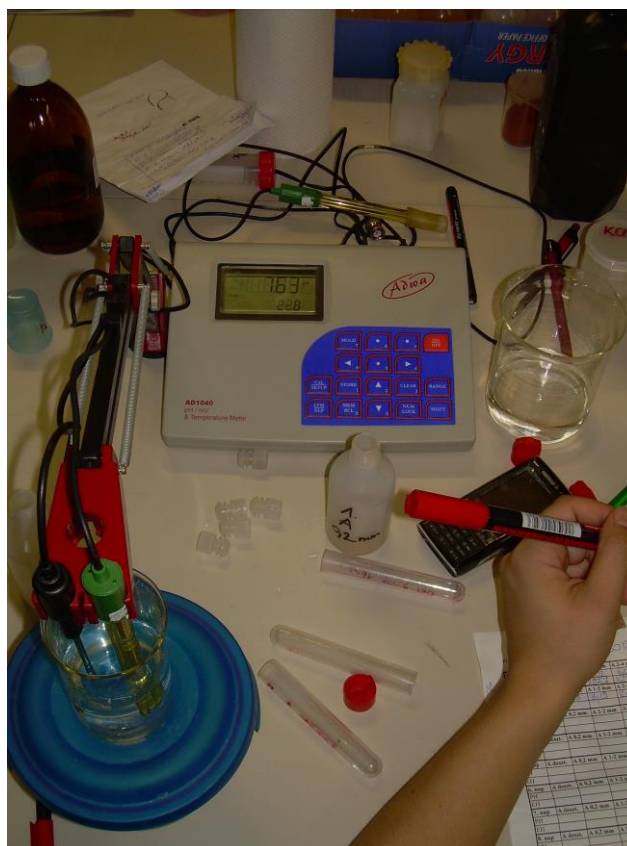
4.1. A mintavétel menete

A vízmintákat egy általunk készített eszköz segítségével végeztük el. A megtervezése során azt tartottuk szem előtt, hogy úgy tudjuk a tó, különböző mélységeit mintázni, hogy közben más réteg vizeivel ne keveredjen össze a vett vízminta. Eszközünk működési elve, hogy a mintatartó henger kívánt mélységben történő nyitásakor a víz beáramlik, megemelve a hengerbe helyezett műanyaggyömböt, mely a mintatartó henger megteltekor lezárja azt (5.ábra).



5. ábra Mélységi vízminta vevő eszköz
(A szerzők saját képe)

4.2. Adwa AD1020 pH mérő műszer



6. ábra Adwa AD1020 pH-EH mérőműszer
(A szerzők saját képe)

Az Adwa AD1020 pH mérő műszer nagy segítségünkre volt a pH értékek meghatározásához. Kezelése egyszerű és gyors. A mérések során az elemzendő mintának a pH mérő szonda fejegységét 2-3 cm-rel kell ellepnie, valamint a hozzá kapcsolódó hőmérőnek is a vízbe kell érnie, legalább 1-2 cm-re a pontos eredmények érdekében.

A műszer képes, továbbá EH mérésére is egy további szonda segítségével, melyet szintén alkalmaztunk méréseink során, de a kapott eredmények nem mutattak számunkra, felhasználható adatsort.

pH

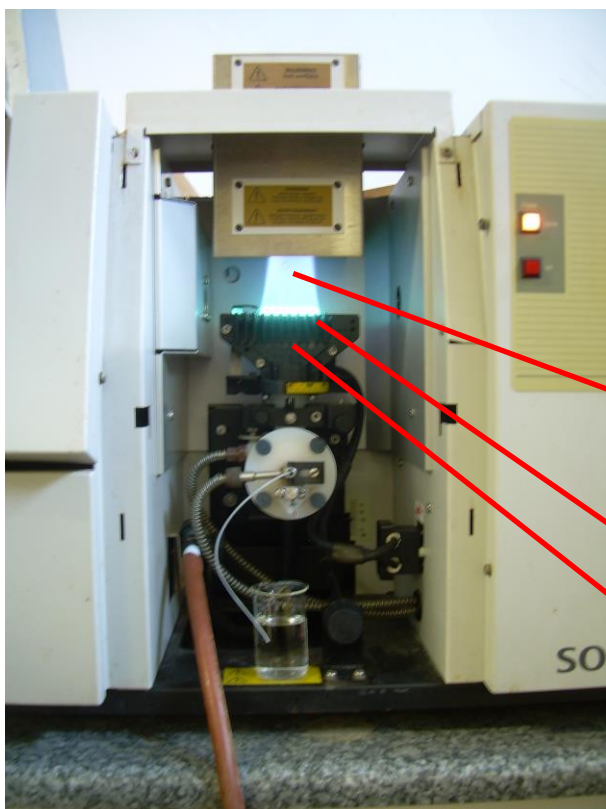
A pH a hidrogén ionok aktivitásának (híg oldatokban a koncentrációjának) a mértéke, és kifejezi az oldat savasságát vagy lúgosságát. Mivel a hidrogén ionok koncentrációja nagyon széles skálán mozog, az értelmezés és koncentráció számítások megkönnyítésére, logaritmikus egységben fejezik ki a pH és hidrogén ion koncentráció ($[H^+]$ mól/l) közti összefüggést:

$$\mathbf{pH = -\lg[H^+]}$$

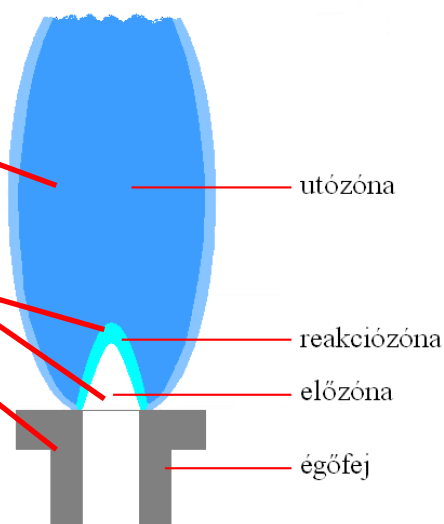
A pH skála általában pH=0 –tól, pH=14-ig terjed: ha a pH értéke kisebb, mint pH=7, akkor az oldat savas, ha a pH érték nagyobb, mint pH=7, akkor lúgos. A semleges oldat pH=7 (pl. desztillált víz)(Vízlabor, 2013).

4.3. AAS – Atomabszorpciós spektrométer

Az atom spektroszkópai módszerek az ultraibolya és látható tartományban mintegy 70 elem minőségi-mennyiségi analízisét teszik lehetővé, igen jó kimutatási képességgel. Atomspektrumok keletkezéséhez a vizsgált mintát gőzállapotba kell hozni, s atomjaira kell bontani. Tehát az atom spektroszkópai műveletek első lépése az atomizáció, melynek során a minta elpárolgása és termikus disszociációja révén atomi gőzök keletkeznek. Az atomizáció történhet lángban (1700-3200 °C), elektromos ívben (4000-5000 °C), szikrában, vagy plazmában (6000-8000 °C).



**7. ábra Unicam 929 AA Spectrometer
lángtere**
(a szerzők saját képe)



**8. ábra Előkevert acetilén -
levegő láng szerkezet**
(Dr. Posta József:
Atomabszorpciós spektrometria)

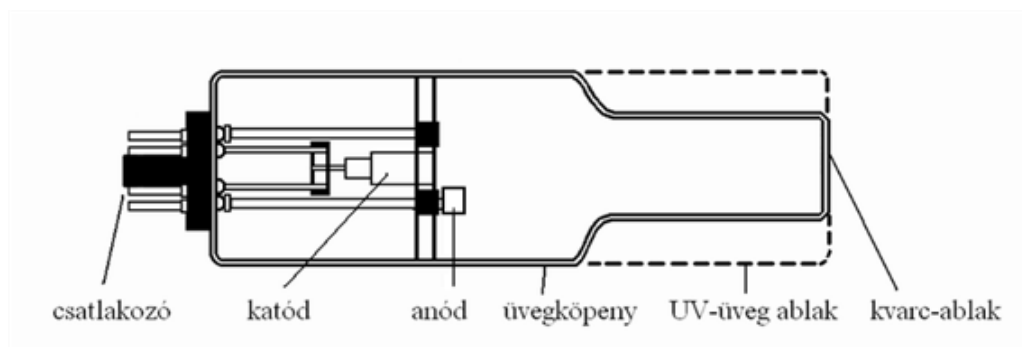
A láng olyan nagyhőmérsékletű gázhalmazállapotú rendszer, melynek fenntartásához szükséges energiát kémiai reakciók biztosítják. Az oldószer elpárolgása a láng magjában megy végbe, míg a keletkezett finom eloszlású szilárd részecskék atomokra és ionokra való bomlása a belső lángkúpban következik be, amely a láng legmelegebb része.

Az atomok gerjesztése szintén itt következik be, míg a külső lángkúpban oxidációs folyamatok mehetnek végbe. Mivel az éghető (acetilén) és az égést tápláló (oxigén, levegő) gázok nagy sebességgel áramlanak a lángon keresztül, a láng kis hőmérsékletű sugárforrásnak tekinthető, s csak a könnyen gerjeszthető elemek meghatározására alkalmas.

A sugárforrásban keletkező különböző hullámhosszúságú kevert sugárzást csak akkor rendelhetjük hozzá az egyes elemekhez, ha hullámhossz szerint felbontjuk. A fényfelbontásra alkalmas optikai eszközök az úgynevezett monokromátorok, amelyek a diszperziós elemként prizmat, vagy optikai rácsot alkalmaznak. A hullámhossz szerint felbontott sugárzás az emissziós spektrumot adja meg. A spektrum rögzítése történhet úgy, hogy a prizma egy helyben van, s a fókusz síkban fotólemezt helyezünk el (spektrográf), vagy úgynevezett pásztázó üzemmódban, amikor is a prizmat forgatjuk, s a kilépő résen az egyes hullámhosszakhoz tartozó intenzitást elektronikus úton mérjük (spektrométer).

A láng fotometria az oldatok analízisét teszi lehetővé. Az oldatot finom permet formájában a lángba juttatjuk. Az oldószer elpárolgása, a minta atomizációja és a keletkezett atomok gerjesztése termikus úton történik. Széles körben alkalmazzák az elemanalízisben, elsősorban a könnyen gerjeszthető alkáli- és alkáli földfémek analízisére alkalmas. Atomforrásként leggyakrabban a földgáz/levegő, acetilén/levegő és acetilén/di-nitrogén-oxid lángokat alkalmazzák.

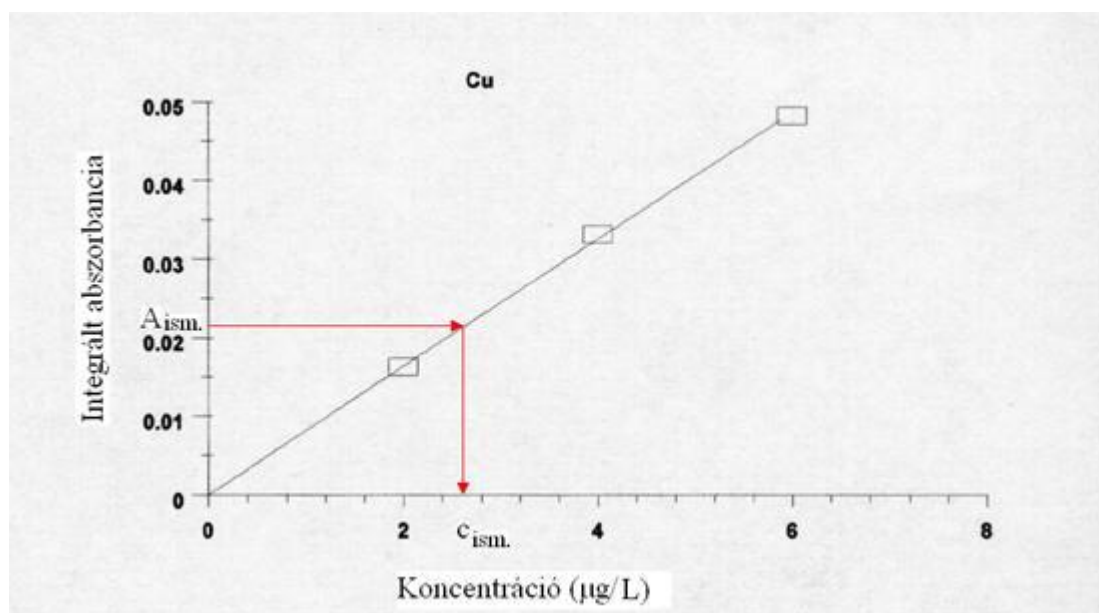
Az atomabszorpciós spektroszkópia (AAS) folyamata két részlépésre osztható. Az első lépés az atomizáció, melynek során az egyes atomokat a kémiai környezetüktől elválasztjuk, vagyis gőzállapotú, szabad atomokat hozunk létre az atomforrásba bevitt mintából. A második lépésben az abszorpciós lépés, melynek során a szabad atomok egy külső fényforrásból származó sugárzást elnyelve gerjesztődnek.



9.ábra Az üregkatód lámpa

(Dr. Posta József: Atomabszorpciós spektrometria)

Az egyes atomokra jellemző hullámhosszú fény elnyelése során az alapállapotú atomok elsősorban az első elektrongerjesztési szintre kerülnek. A monokromátor a rezonancia vonalat az atomforrásból kilépő sugárzásból kiválasztja, mely a foto elektron-sokszorozós detektorra jut. Célszerű az úgynevezett vonatkoztató elemes (belső standard) módszert alkalmazni. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált mintába ismert mennyiségű, ismert összetételű standard anyagot keverünk be.



10.ábra Kalibráló egyenes réz GFAAS elemzéséhez
(Dr. Posta József: Atomabszorpciós spektrometria)

Ha a meghatározandó és a standard elemkülönböző koncentrációjú oldataiból kalibrációs görbét veszünk fel(10.ábra), akkor könnyedén meghatározható az ismeretlen koncentráció a mintában. Szokásos eljárás esetén a fényt üreghatárolólámpában keltik. A lámpában egy, a gerjesztendő fém tartalmazó hengeres fémkatód és egy anód található. Ha az anód és a katód közé nagyfeszültséget kapcsolunk, akkor a katódban található fématomok gerjesztődés révén meghatározott hullámhosszú fényt bocsátanak ki. Az üreghatárolólámpa típusa az elemzendő fémtől függ (Kristóf, 2000).

4.4. A vizsgálat folyamata

A vízmintákat különböző elemekre vizsgáltuk, melyek pontos koncentráció méréséhez más-más előkészületek voltak szükségesek. A réz [Cu], vas [Fe], mangán [Mn], és cink [Zn] esetében a vízmintákból mérőhenger segítségével kimértünk 200 cm³-nyit, majd ezt forralás során visszapároltuk körülbelül 20 cm³-re. Ezután a sűrítményhez 1 cm³ 65%-os salétromsavat adtunk, hogy a képződött CaCO₃-at visszaoldjuk a sűrítménybe. Átszűrtük szűrőpapíron, majd az így kapott párlatot lemértük. A kiindulási mennyiség és a párlat mennyiségének a hányada segítségével kiszámolhatjuk a minták eredeti koncentrációját. Mivel a rudabányai tó környezetére a karsztos kőzetek a jellemzőek, ezért nyilván valóan a vízmintákban is jelentős mennyiségű oldott kalcium [Ca] és magnézium [Mg] található. Ezért a mintákat felhígítottuk. 1cm³ mintához 9cm³ desztillált vizet adtunk, melyet pipettával mértünk ki. A nátrium [Na] és a kálium [K] esetében nem volt szükség sem sűrítésre, sem pedig hígításra. A különböző nehézfém koncentrációk meghatározásához más-más beállítások és más katód lámpa használata volt szükséges. Ezután a mintákat atomabszorpciós spektrofotométer segítségével vizsgáltuk meg.

A műszer érzékelési határai a 8 elemre a következők: Mn-0,029 mg/l Fe-0,06 mg/l, Na-0,013 mg/l, K-0,012 mg/l, Ca-0,015 mg/l, Mg-0,003 mg/l, Zn-0,013 mg/l, Cu-0,041 mg/l (UNICAM, 1994).

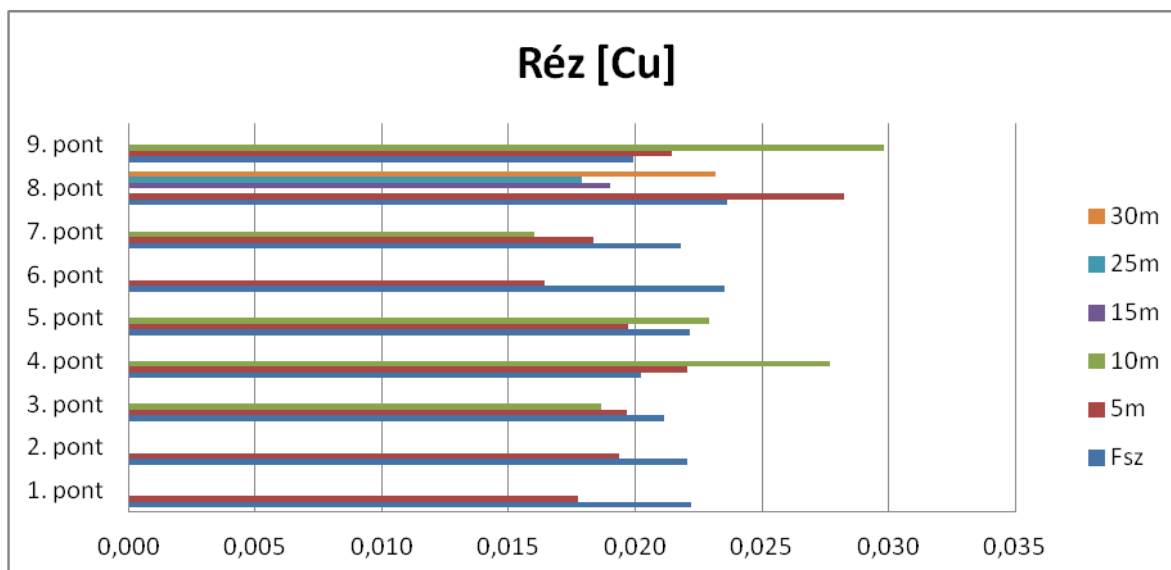
A koncentráció pontos meghatározására kalibrációs görbét vettünk fel, melyet különböző koncentrációjú törzsoldatok segítségével határoztunk meg. A pontos mérés érdekében úgynevezett vak oldatokat használtunk a különböző elemek koncentráció mérése előtt, illetve az edényeket és lombikokat gondosan elmostuk és szárítottuk, kizárva ezzel a külső szennyezés lehetőségét.

A pH mérés során a pH mérő szondáját körülbelül 2-3 cm-nyire merítettük el a vízmintákban. A pontos mérés érdekében 15-20 mp-ig hagytuk a mintában a szondát. Minden minta után desztillált vízzel leöblítettük az elektródát majd gondosan áttörölgettük, hogy ne szennyezzük el a következő mintát.

A kapott eredményeket táblázatban és grafikonon egyaránt ábrázoltuk a könnyebb áttekinthetőség érdekében, így tisztább képet kaphatunk a tó vízminőségi állapotáról.

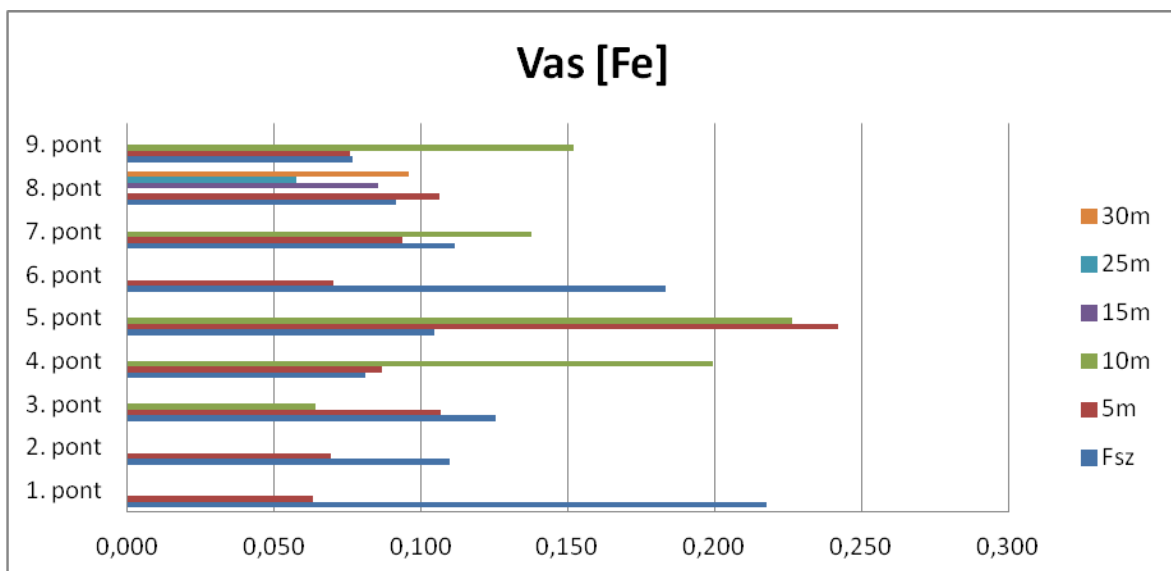
5. Eredmények, diagramok

5.1. Mélység szerinti koncentráció eloszlás – Augusztus -



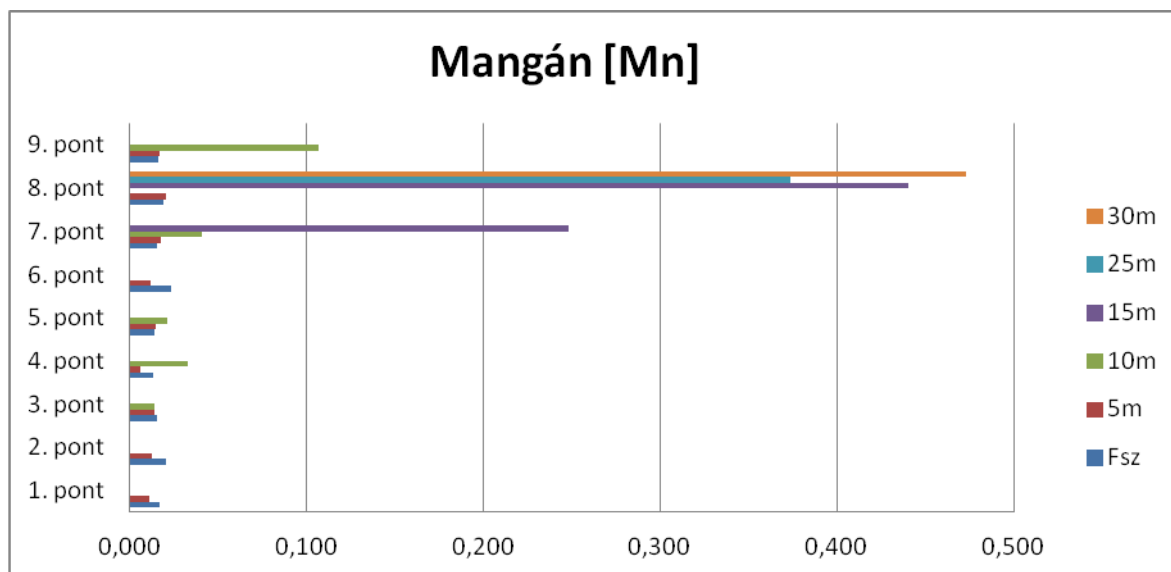
1. diagram a réz koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

Ahogy az első diagramon is látszik, a mélység növekedésével növekszik a réz koncentrációja a tó vizében. Az egyes és kettes pontban a felszíni koncentráció magasabb értéket mutat, feltehetően a part felőli kioldódás miatt.



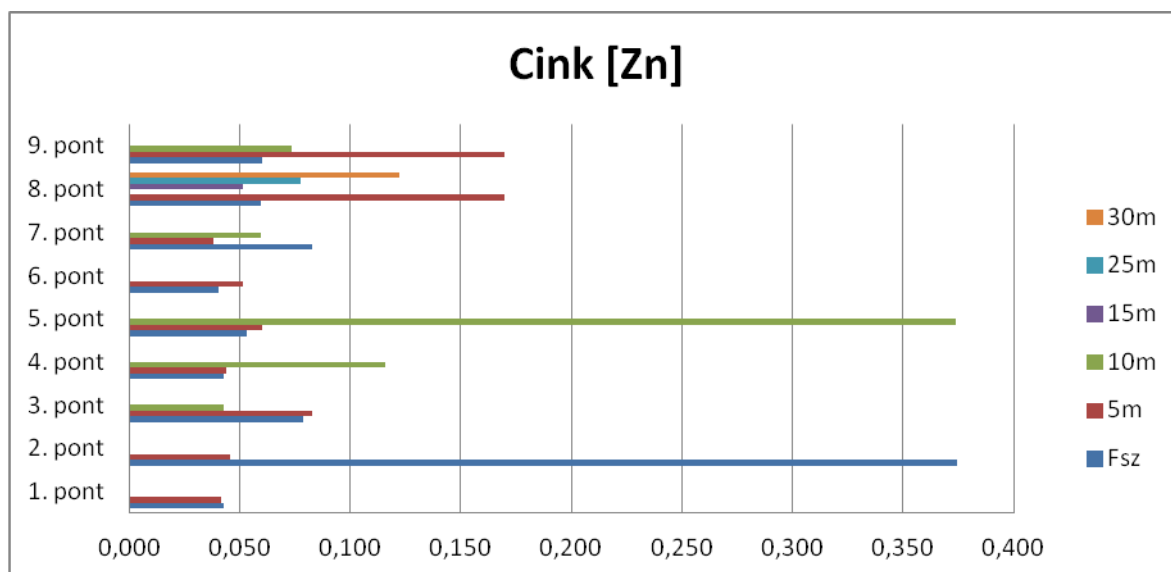
2. diagram a vas koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A második diagram jól szemlélteti a vas oldott mennyiségét a tó különböző pontjaiban és mélységeiben. Az ötös pontban jelentős eltérés tapasztalható.



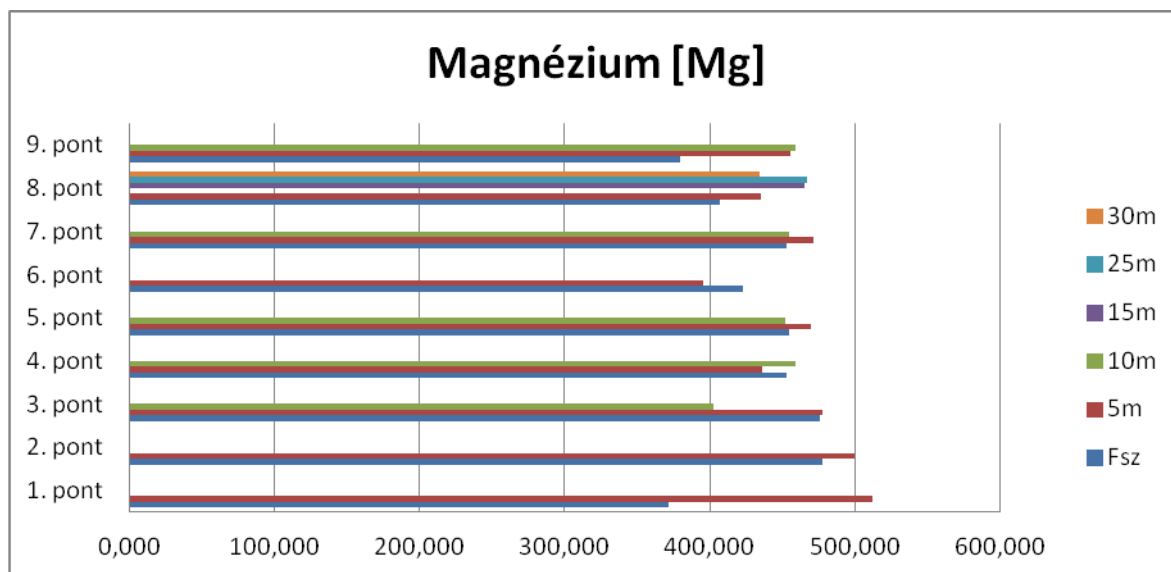
3. diagram a mangán koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A hármas diagramon a mangán térbeli koncentráció változását ábrázoltuk. Szembetűnő a nyolcas számú pont, ahol a mangán koncentrációja 15 méteres mélységben jelentősen, a felszíni érték többszörösére növekszik.



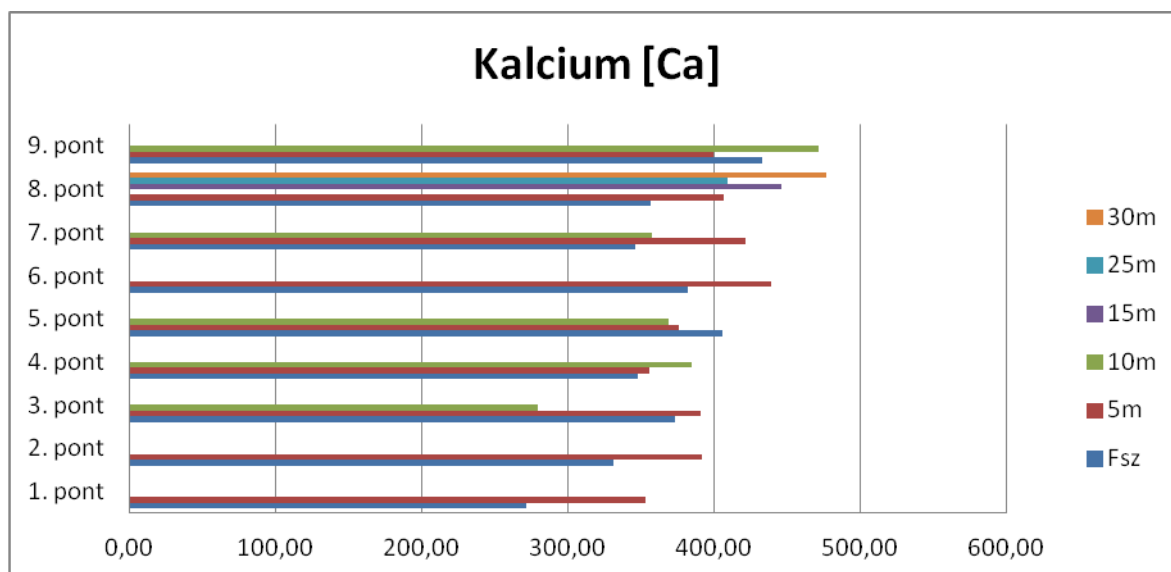
4. diagram a cink koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A negyedik diagram a korábbiakhoz hasonló módon, mélység szerint ábrázolja a koncentrációt az egyes pontokban a cink esetében. Itt is jól látszik a fém koncentráció növekedése a mélység növekedésével.



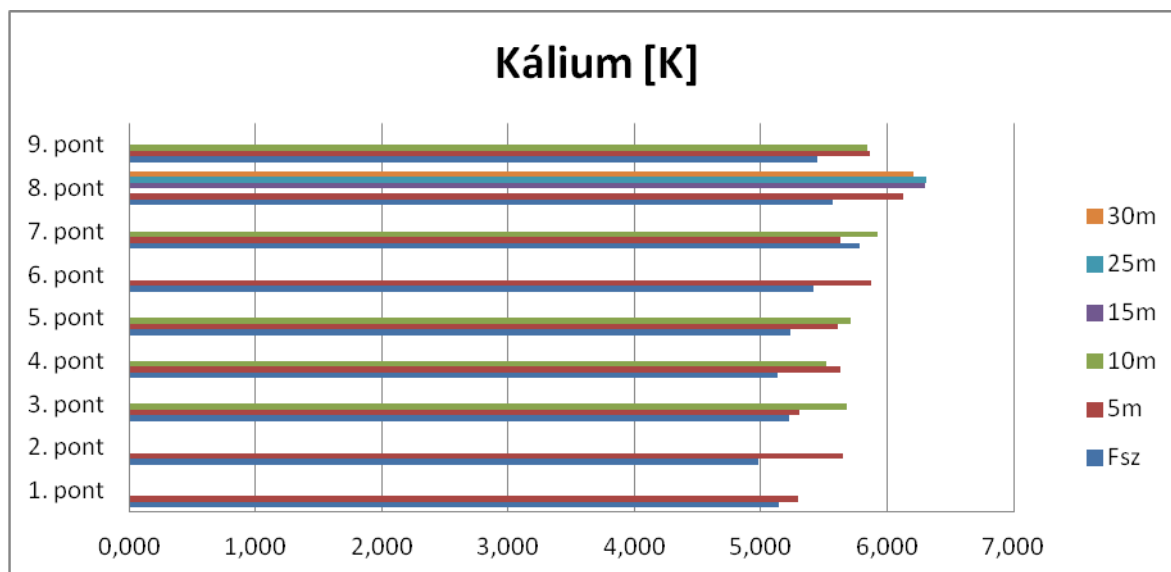
5. diagram a magnézium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A magnézium esetében jól látható, hogy jóval magasabb a koncentráció a többi vizsgált eleméhez képest. A mélység növekedésével itt is koncentrációnövekedés tapasztalható. Ezeket az adatokat az ötödik diagramon szemléltettük.



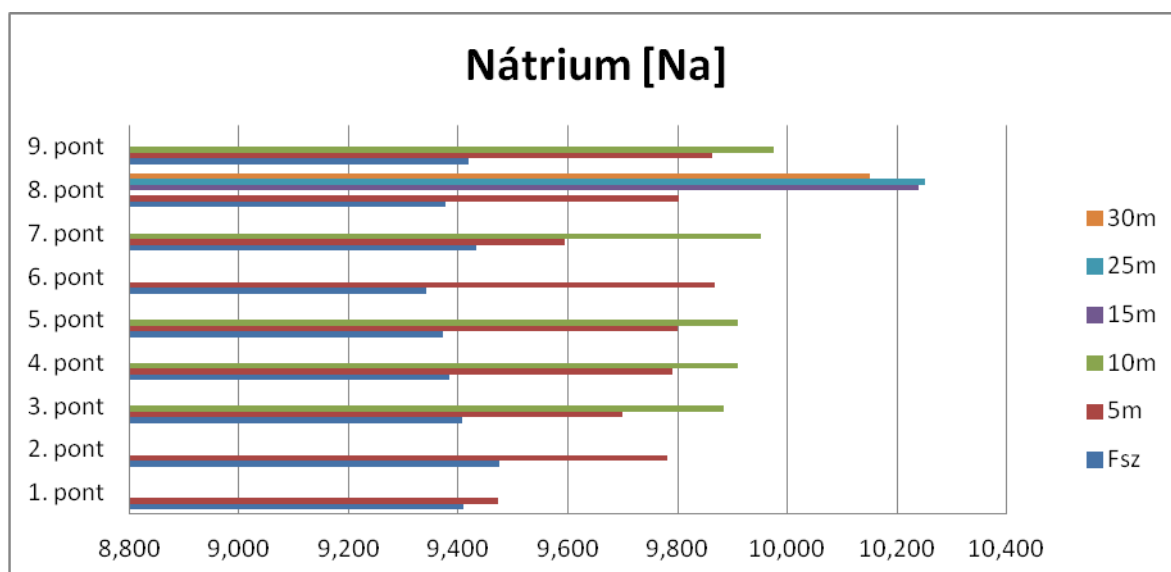
6. diagram a kalcium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A magnéziumhoz hasonlóan az oldott kalcium koncentráció is jelentősen magasabb, mint az oldott fém koncentráció, melynek geológiai okai vannak. A hatodik diagramon megfigyelhető a koncentrációváltozás és a különböző mélységek közötti kapcsolat.



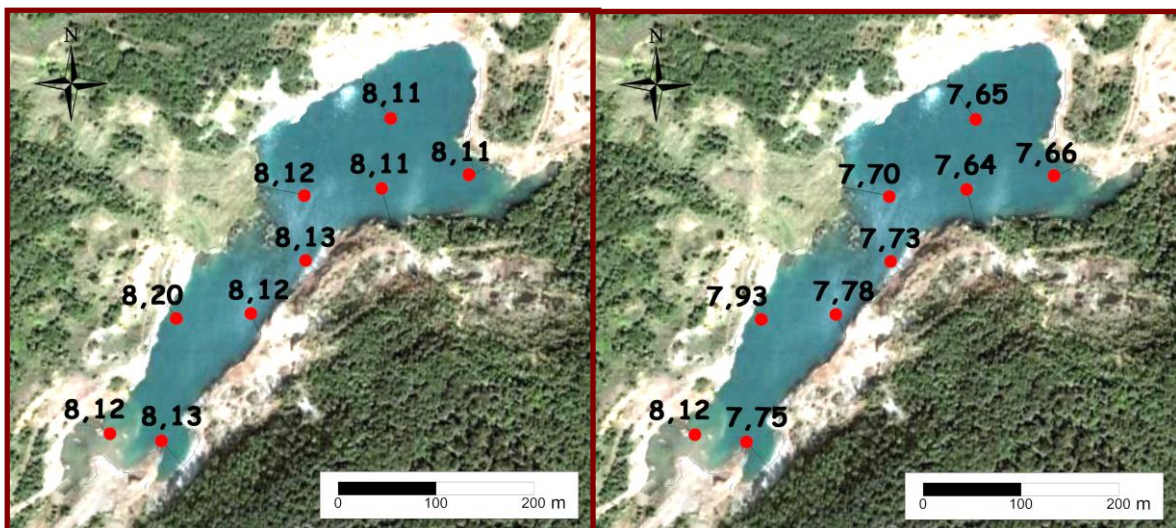
7. diagram a kálium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A kálium koncentrációja is magasabb a fém koncentrációktól, de messze elmarad a kalcium vagy a magnézium koncentrációjától. A hetedik diagram jól szemlélteti a koncentrációváltozást az egyes mélységekben.



8. diagram a nátrium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben
(a szerzők saját szerkesztése)

A nyolcadik diagramon a nátrium koncentráció változása figyelhető meg. A szemlélő számára azonnal világossá válik hogy a felszínhez képest, 5 méteres mélységben jelentősen megnő az oldott nátrium tartalma a tó vízében, majd a mélyebb pontokban tovább növekszik a koncentráció.



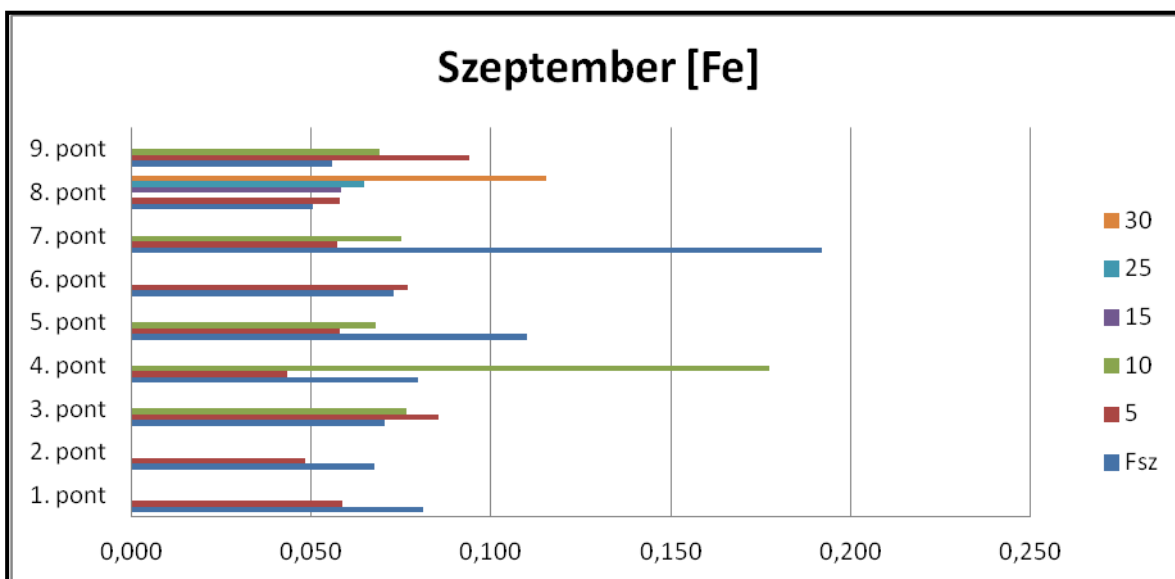
11. ábra Augusztusi pH értékek a felszínen 12. ábra Augusztusi pH értékek 5 m-en
(A szerzők saját szerkesztése)

5.2. További adatsorok

A fentebb található diagramokon az augusztusi mérés eredményeit ábrázoltuk. Jól látszik, hogy majdnem minden vizsgált elem esetében (fém és nem fém elemeknél egyaránt), a mélység növekedésével nő az oldott anyag koncentráció.

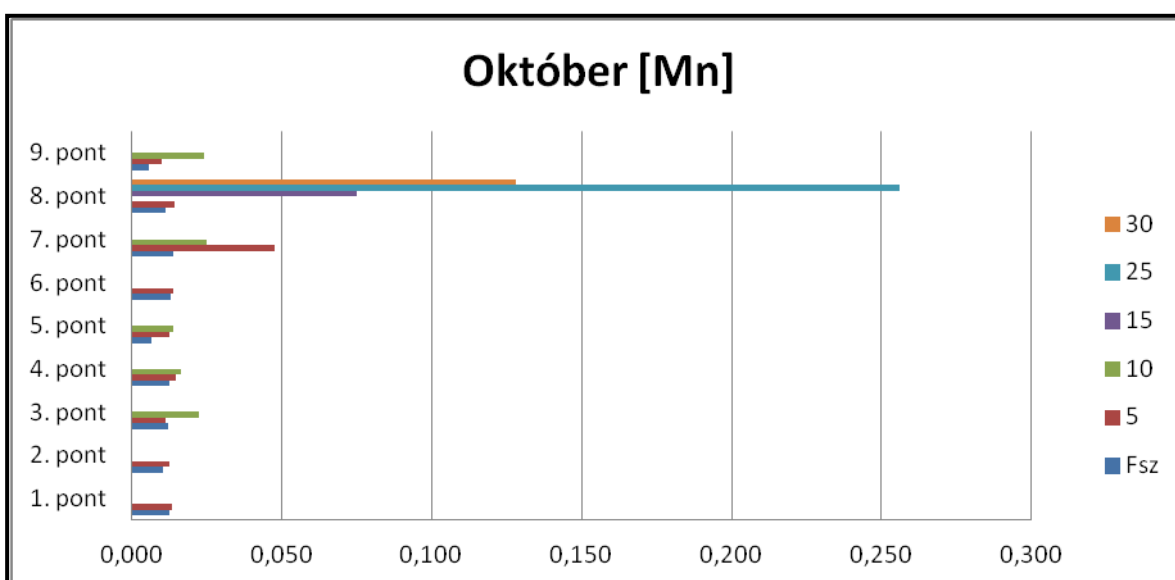
Méréseink és észrevételeink összehasonlítására felhasználtuk Németh Ágnes és Dr. Kovács Balázs korábbi munkáját, melyben a rudabányai tó hidrológiai és hidrogeológiai viszonyait vizsgálták. Írásukban kitértek a tó vízminőségi paramétereire, melyhez átfogó és körültekintő vizsgálatokat végeztek. Méréseik során nehézfém koncentrációt, hőmérsékletet, vezetőképességet, oldott oxigén tartalmat és pH-t is mértek.

Méréseik alapján megállapították, hogy a vas [Fe] és a mangán [Mn] ionok koncentrációja a mélység növekedésével együtt fokozatosan növekszik. Az általunk vizsgált időszakra (május-október) elmondhatjuk, hogy a vas esetében, ugyanezt a viszonylag arányos koncentrációnövekedést tapasztaltuk néhány pont kivételével (1-es, 2-es, 4-es, 5-ös és 7-es pont), ahol a felszíni mért koncentráció érték meghaladta a mélyebb pontokban mért mennyiséget, ezt a 9. diagramon szemléltettük.



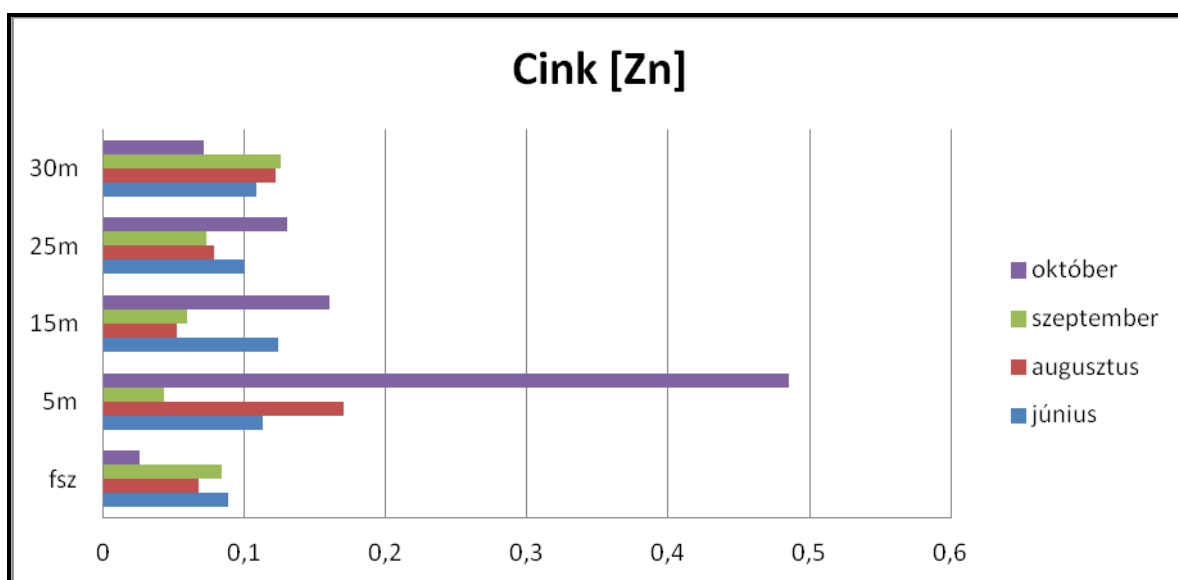
9. diagram vas koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében szeptember hónapra
(a szerzők saját szerkesztése)

Több hónap méréseiből egyértelműen látható hogy a tó vizében, a mangán koncentrációja a felszínen és 5 m-es mélységben, a különböző mérési pontokban, hasonló értékek körül alakul. Ezzel szemben a 15 méter vagy annál mélyebbről vett minták jelentős oldott anyag tartalomnövekedésről árulkodtak, mely meghaladta a felszíni érték többszörösét. Ez az eltérés jól megfigyelhető a 10. diagramon



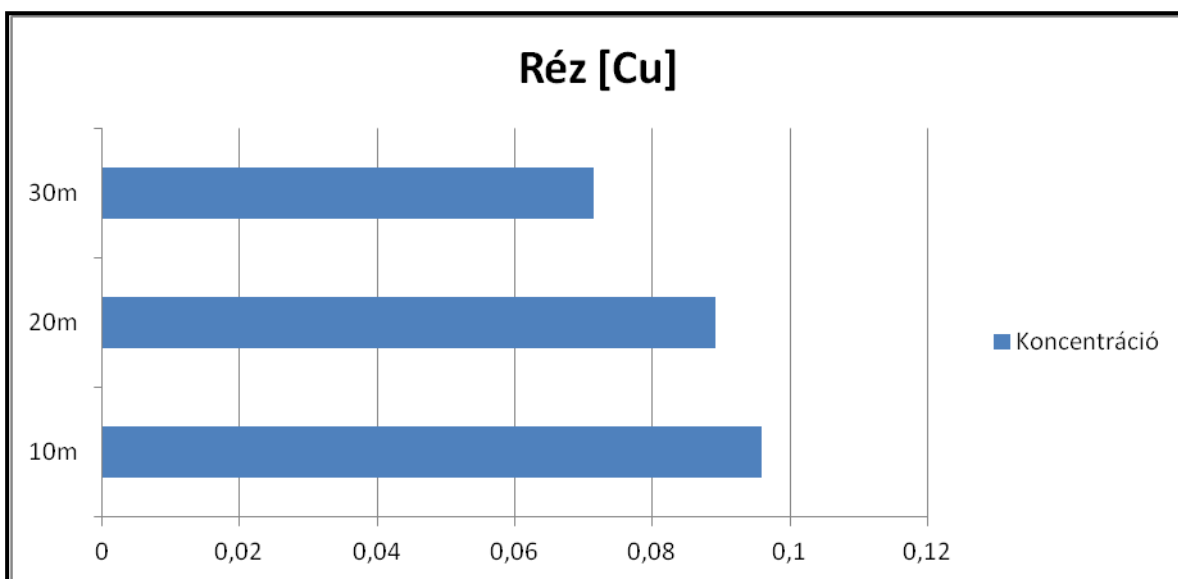
10. diagram mangán koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében október hónapra
(a szerzők saját szerkesztése)

A cink koncentráció számunkra igen szokatlan anomáliát mutatott, ugyanis az eddigiekkel ellentétben nem mondható ki egyértelműen, hogy a mélység növekedésével megegyezően nő vagy csökken a vízben mért mennyisége. Németh Ágnes mérései alapján megállapította, hogy a cink koncentrációja 20 méterig csökken, majd ezután lefele haladva újra nő. Ezzel szemben mi azt tapasztaltuk, hogy az oldott cink mennyisége június és október hónapban 15 és 5 méteres mélységig nő, majd csökkenni kezd és csupán augusztus és szeptember hónapban hasonlóak az eredményeink, mint a Németh Ágnes által mértek. A megfelelő szemléltetés céljából a 8-as pontban mért koncentrációváltozásokat ábrázoltuk, amely megtekinthető a 11. diagramon.

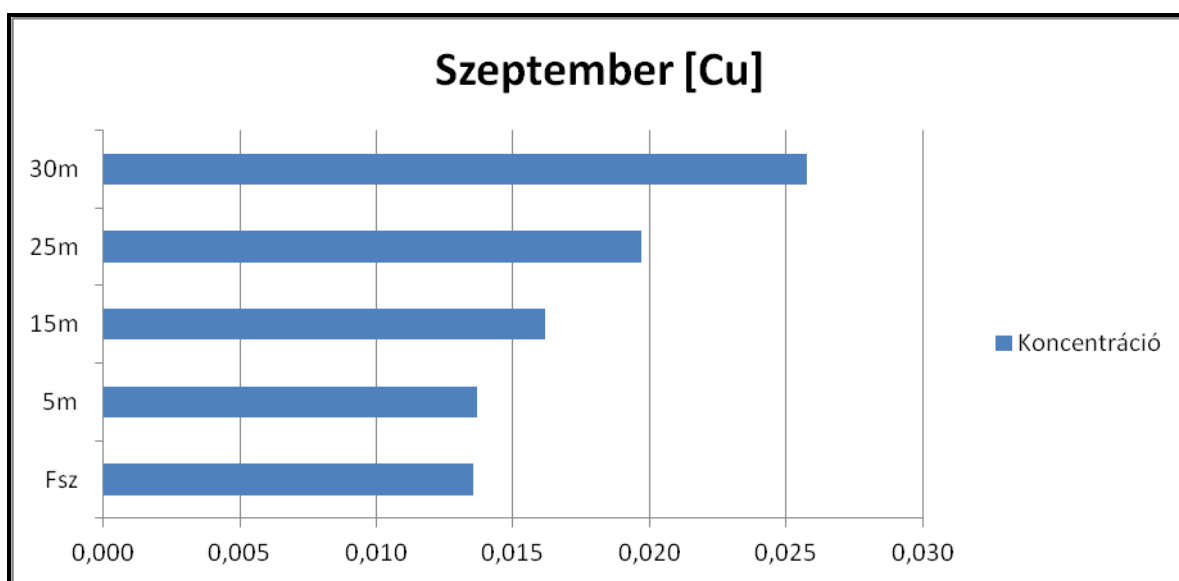


11. diagram cink koncentráció [mg/l] változás a 8. pontban
(szerzők saját szerkesztése)

A réz esetében elmondható, hogy bár csekély mértékben, de a mélység növekedéssel együtt nőtt az oldott réz koncentráció, amely minden vizsgált hónapban 0,01 és 0,035 mg/l között maradt. Ezzel szemben Németh Ágnes korábbi mérései alapján megállapította, hogy a réz koncentrációja inkább a felszínen és a felszín közeli mélységekben volt magasabb és a mélység növekedésével, ha nem is látványosan, de egyértelműen csökkenő tendenciát mutat. Továbbá megállapítható, hogy a két mérés sorozat között eltelt idő alatt jelentősen csökkent a tó réz koncentrációja. Mérési eredményeit a 12. és a 13. diagramon hasonlítottuk össze saját méréseinkkel.



12. diagram réz koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében Németh Ágnes mérései alapján
(szerzők saját szerkesztése)



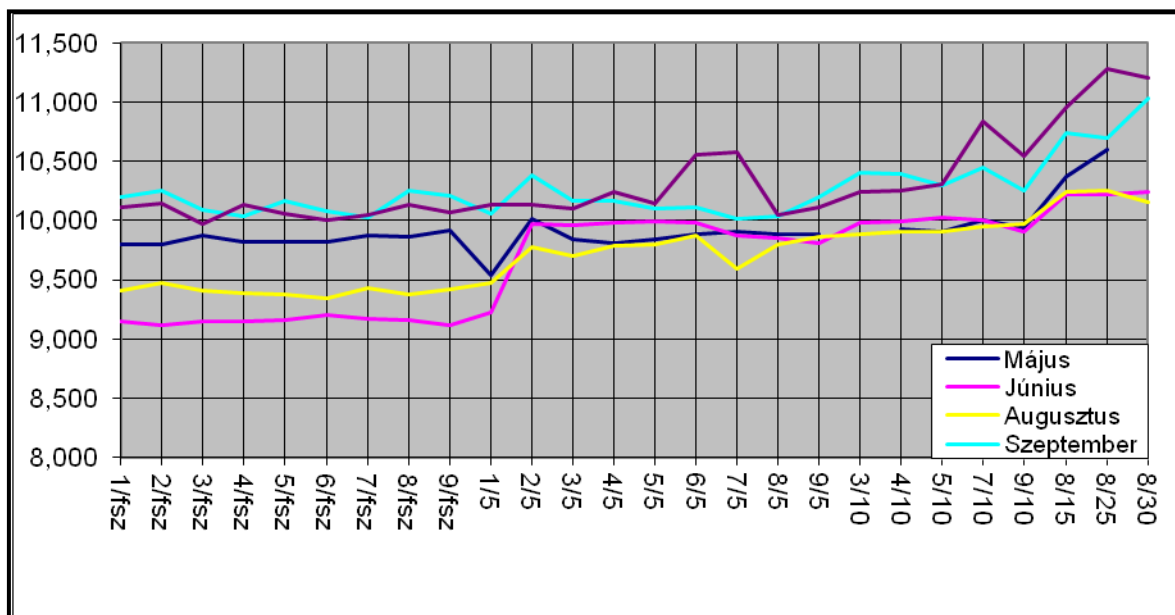
13. diagram réz koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében Szeptember hónapra a 8-as számú mérési pontban
(szerzők saját szerkesztése)

A mérések megkezdése előtt feltételeztük, hogy az oldott kalcium és magnézium mennyisége nagyságrendekkel nagyobb lesz a tó vizében, mint a nehéz fémeké melyet a méréseink alátámasztottak. Ennek geológiai és földtani okai vannak, melyet korábban fejtettünk ki

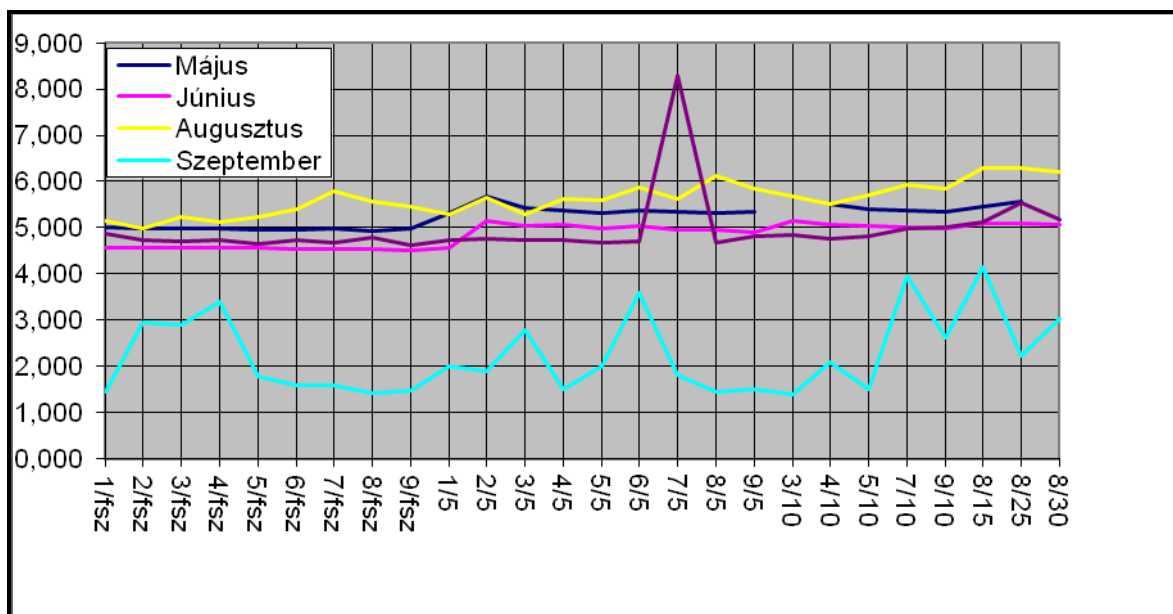
Magnézium [Mg]						Kalcium [Ca]					
Minta helye	Máj.	Jún.	Aug.	Szept.	Okt.	Minta helye	Máj.	Jún.	Aug.	Szept.	Okt.
1/fsz	447,9	412,4	371,8	559,8	449,6	1/fsz	n.a.	359,6	271,8	391,6	351,8
2/fsz	434,8	412,4	477,5	560,6	449,5	2/fsz	n.a.	333	331,5	385,9	332,4
3/fsz	429,6	414,5	475,9	554,3	447,5	3/fsz	n.a.	320,4	373,6	386,5	334,2
4/fsz	428,2	415,2	453,3	592,6	448,7	4/fsz	n.a.	372,4	347,9	391,4	343,6
5/fsz	436,4	404,7	454,9	556,4	454,0	5/fsz	n.a.	338,7	405,7	384,8	334,4
6/fsz	433,0	409,5	422,8	586,4	457,5	6/fsz	n.a.	288,3	381,9	377,1	354,7
7/fsz	432,6	406,9	453,0	569,6	461,4	7/fsz	n.a.	417,9	345,8	390,5	369
8/fsz	435,6	413,4	407,3	569,1	456,9	8/fsz	n.a.	361,4	356,9	388,6	359,9
9/fsz	430,8	411,9	379,8	557,2	452,2	9/fsz	n.a.	406,4	432,9	382,6	346
1/5	445,5	408,4	512,2	569,6	455,6	1/5	n.a.	255,9	353,3	383	393,2
2/5	471,4	459,2	499,4	562,5	462,4	2/5	n.a.	364,6	391,6	396,9	393
3/5	465,6	453,3	477,4	550,9	444,5	3/5	n.a.	421,5	391	379,5	379,7
4/5	472,9	450,2	436,2	544,5	465,7	4/5	n.a.	379,3	355,8	376,9	380,5
5/5	479,7	452,7	469,8	549,8	465,9	5/5	n.a.	338,7	375,8	385,6	365,9
6/5	468,9	451,2	395,6	523,0	458,3	6/5	n.a.	n.a.	438,7	392,6	337,6
7/5	463,3	446,1	471,8	546,4	460,5	7/5	n.a.	393,4	421,5	374,5	353,6
8/5	464,1	445,1	435,3	567,9	469,1	8/5	n.a.	409,6	406,8	399,2	334,5
9/5	465,1	442,8	455,9	558,8	469,0	9/5	n.a.	314,6	399,9	386,5	341,4
3/10	n.a.	448,4	402,4	539,3	468,8	3/10	n.a.	567,3	279	409,4	346,3
4/10	469,4	452,8	458,8	562,3	470,2	4/10	n.a.	348	384,4	387,5	347,7
5/10	473,2	453,9	452,0	569,8	473,1	5/10	n.a.	391,7	369	394,3	336,4
7/10	477,4	446,4	454,9	534,2	474,3	7/10	n.a.	346,2	357,3	424,3	342,5
9/10	465,3	451,3	458,9	570,4	485,8	9/10	n.a.	421,1	471,6	395,6	343,1
8/15	479,7	458,0	464,9	585,1	482,0	8/15	n.a.	406,9	446	410,4	350,8
8/25	486,9	461,5	467,1	622,6	495,1	8/25	n.a.	422,3	409	417,9	357,3
8/30	n.a.	461,7	434,0	587,1	488,6	8/30	n.a.	445,2	476,2	414,2	342,8

2. táblázat magnézium és kalcium koncentrációk [mg/l] a mérési pontokban
(a szerzők saját szerkesztése)

A korábban feltüntetett elemekhez hasonlóan a kálium és a nátrium koncentráció is összefüggésbe hozható a mélységváltozással. A mélység növekedéssel koncentrációnövekedést állapíthatunk meg, igaz ezen elemek esetében ez nem annyira nagymértékű, mint például a mangán vagy a vas esetében. Továbbá megfigyelhető, hogy míg a kálium koncentráció nagyon kis mértékben növekszik, szinte stagnál, addig a nátrium koncentrációja viszonylag egyenletesen, a mélység növekedésével arányosan nő. Ezeket a 14. és 15. diagramon ábrázoltuk.



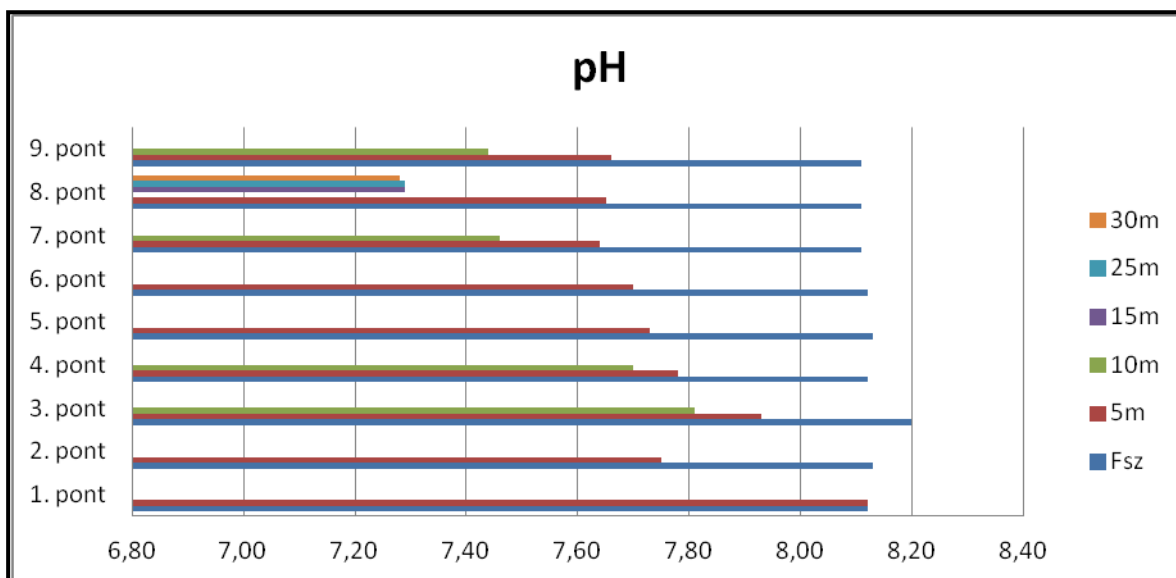
14. diagram a nátrium koncentráció [mg/l] változása a mélység függvényében
(szerzők saját szerkesztése)



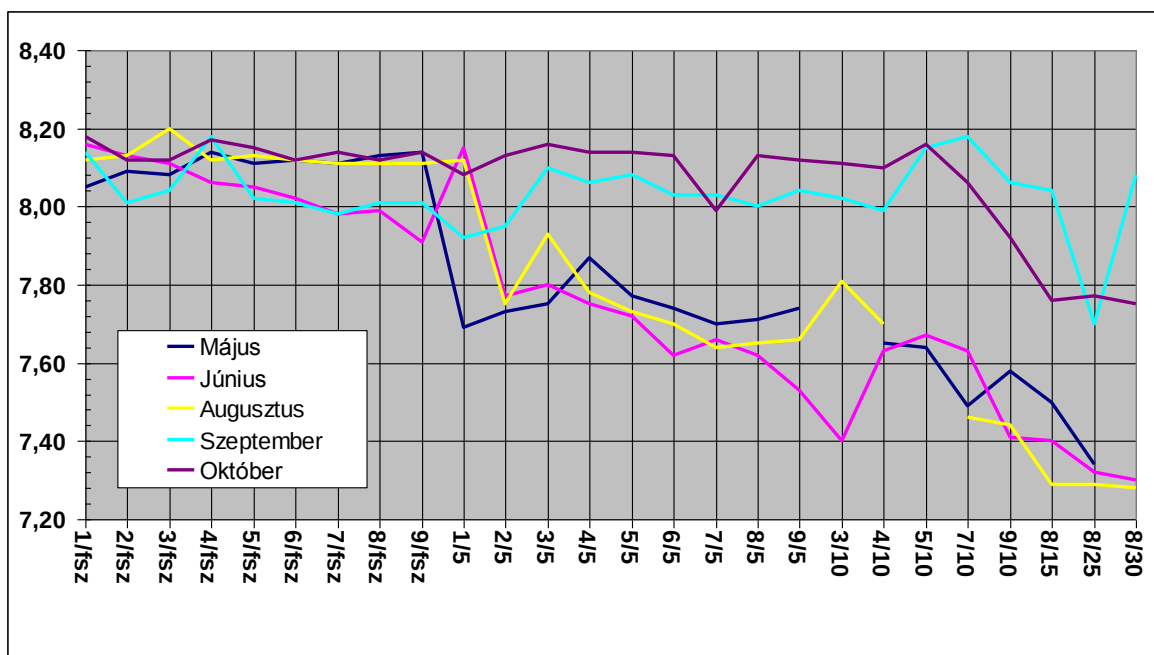
15. diagram a kálium koncentráció [mg/l] változása a mélység függvényében
(szerzők saját szerkesztése)

Magnézium, nátrium, kálium és kalcium esetében sajnos nem volt összehasonlítási alapunk, mivel korábban Németh Ágnes csak nehézfém koncentrációt mért a vételezett vízmintáiban. Ezért mélyreható, átfogó következtetéseket nem tudunk levonni. Ezekre remélhetőleg később sor kerül, ha már megfelelő mennyiségű adat fog rendelkezésünkre állni.

Az oldott anyag koncentráció mellett minden alkalommal megmértük a vízmintáink pH értékét is, melyek 7,2-8,2-es értékek között változtak, csakúgy, mint Németh Ágnes méréseinél, aki 7,3-8,3 közötti értékeket mért. Tehát elmondható, hogy a tó pH-ja jelentős mértékben nem változott.



16. diagram a pH változása a mélység függvényében augusztus hónapra
(szerzők saját szerkesztése)



17. diagram a pH változása a mélység függvényében
(szerzők saját szerkesztése)

6. Összefoglalás

Kutatómunkánkban a Rudabányai tó vízkémiai vizsgálatát végeztük el, mely során a speciálisan gyűjtött vízmintákban, a főbb makroelemek (Ca, Mg, Na, K) és az ércesedéshez köthető mikroelemek (Pb, Zn, Cu, Fe, Mn) koncentrációját vizsgáltuk atomabszorpciós spektrofotométer segítségével.

Munkánk során be szeretnénk bizonyítani, hogy a bányatavat övező meddőhányók hatást gyakorolnak a felszíni víz minőségére, kémiai összetételére. Mivel az alkalmazott analitikai módszer mérési határai nem biztosítják az elemek pontos koncentrációjának meghatározását a vízminták eredeti állapotában, ezért sűrítést alkalmazva sikerült azokat megbízhatóan kimutatni. A mérési eredményeinket a Mellékletek című fejezet maradéktalanul összefoglalja. Összevetve a korábbi mérési adatokat és a saját méréseinket, összefüggést vélünk felfedezni az oldott anyag koncentráció és a pH között. Méréseink alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy azokban a mélységekben ahol a felszíninél magasabb koncentráció értékeket mértünk, ott rendszerint a felszíninél alacsonyabb pH érték volt a jellemző. Ebből arra következtetünk, hogy a pH növekedésével csökken a víz oldott anyag tartalma. Ezt Németh Ágnes mérési adatainál is megállapítottuk.

Kutatásunkat a bányató hidrogeokémiai környezetének alaposabb megismerésével szeretnénk folytatni, melytől azt reméljük, hogy segíteni fog a nehézfémek koncentrációjának mélységbeli változásának megértésében.

7. Felhasznált irodalom

1. **(Balázs, 1996)**: Dr. Balázs Lóránt: A kémia története, (Nemzeti Tankönyvkiadó, 1996)
2. **(Dr. Posta József: Atomabszorpciós spektrometria)**: Dr. Posta J.: Atomabszorpciós spektrometria, Hallgatói Információs Központ
(<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/atomabszorpcios/pr01.html>) (2013.10.01.)
3. **(Greenwood, 1999)**: N. N. Greenwood, A. Earnshaw, Az elemek kémiája, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999
4. **(Hartai 2006)**: Hartai Éva: Teleptani Alapismeretek (2006)
5. **(Kristóf, 2000)**: Kémiai Analízis II. (Nagyműszeres analízis). Kiadja: Veszprémi Egyetemi Kiadó, pp. 29-49., Veszprém
6. **(Less, Kovács, et al., 2006)**: Less, György – Szentpétery, I.: Az Aggtelek-Rudabányai-hegység földtana, (2006)
7. **(Németh & Kovács, 2011)**: Németh Ágnes és Dr. Kovács Balázs: A Rudabányai bányató Hidrológiai és Hidrogeológiai viszonyainak vizsgálata (Miskolc, 2011)
8. **(Neven 1997)**: Neven Kresic: Hydrogeology and Groundwater Modeling (CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 1997)
9. **(Orbán, 1980)**: Dr. Orbán Vera: Vízkémia I. (Pollack Mihály Műszaki Főiskola Vízgazdálkodási Intézet, Baja, 1980)
10. **(Papp, 1988)**: Papp Sándor: Szervetlen Kémia II. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1988)
11. **(Takács 2001)**: Takács Sándor: A nyomelemek nyomában, (Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest, 2001)
12. **(Tóth & Kovács, 2013)**: A rudabányai meddőhányók felszíni és felszínalatti vizek minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata (Miskolc, 2013)
13. **(UniCam, 1994)**: UniCam – Atomic Absorption Spectrometry, Manual Methods UniCam AAS 929, (Cambridge, 1994)
14. **(Vízlabor, 2013)**:
(http://www.vizlabor.shp.hu/hpc/web.php?azonosito=vizlabor&oldalkod=ph_fogalma_DkMI) (2013.10.01)

8. Ábra és diagram jegyzék

1. ábra Rudabányai bányató elhelyezkedése	4
2. ábra Rudabányai hegység vízföldtani térképe.....	6
3. ábra Mintavételi pontok	7
4. ábra A bányató mélysége és a hőmérséklet vizsgálatára felvett szelvények nyomvonala	8
5. ábra Mélységi vízminta vevő eszköz	15
6. ábra Adwa AD1020 pH-EH mérőműszer	16
7. ábra Unicam 929 AA Spectrometer lángtere	18
8. ábra Előkevert acetilén - levegő láng szerkezet	18
9. ábra Az üregkátód lámpa.....	19
10. ábra kalibráló egyenese réz GFAAS elemzéséhez	20
11. ábra Augusztusi pH értékek a felszínen	26
12. ábra Augusztusi pH értékek 5 m-en	26
1. diagram a Réz koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben	22
2. diagram a Vas koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben	22
3. diagram a Mangán koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben.....	23
4. diagram a Cink koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben	23
5. diagram a Magnézium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben.....	24
6. diagram a Kalcium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben	24
7. diagram a Kálium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben.....	25
8. diagram a Nátrium koncentrációja [mg/l] különböző mélységekben	25
9. diagram Vas koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében szeptember hónapra .	27
10. diagram Mangán koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében október hónapra	27
11. diagram Cink koncentráció [mg/l] változás a 8. pontban.....	28
12. diagram Réz koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében Németh Ágnes mérései alapján.....	29
13. diagram Réz koncentráció [mg/l] változás a mélység függvényében Szeptember hónapra a 8-as számú mérési pontban	29
14. diagram a Nátrium koncentráció [mg/l] változása a mélység függvényében	31
15. diagram a Kálium koncentráció [mg/l] változása a mélység függvényében.....	31
16. diagram a pH változása a mélység függvényében augusztus hónapra.....	32
17. diagram a pH változása a mélység függvényében	33

9. Táblázatjegyzék:

1. táblázat: Iszapminták ICP vizsgálattal	10
2. táblázat Magnézium és Kalcium koncentrációk [mg/l] a mérési pontokban	30

10. Mellékletek

Cink[Zn] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	0,041	0,052	0,043	0,072	0,096
1/5	0,065	0,072	0,042	0,310	0,046
2/fsz	0,039	0,054	0,374	0,046	0,039
2/5	0,073	0,087	0,046	0,081	0,053
3/fsz	0,045	0,060	0,079	0,051	0,116
3/5	0,067	0,088	0,083	0,070	0,076
3/10	n.a.	0,102	0,042	0,099	0,060
4/fsz	0,043	0,065	0,043	0,047	0,038
4/5	0,057	0,087	0,044	0,082	0,031
4/10	0,062	0,100	0,116	0,095	0,057
5/fsz	0,045	0,072	0,053	0,081	0,053
5/5	0,061	0,099	0,060	0,190	0,047
5/10	0,066	0,097	0,374	0,053	0,294
6/fsz	0,047	0,080	0,040	0,375	0,037
6/5	0,064	0,100	0,052	0,054	0,026
7/fsz	0,055	0,083	0,083	0,096	0,074
7/5	0,069	0,101	0,038	0,034	0,097
7/10	0,089	0,123	0,059	0,084	0,044
8/fsz	0,056	0,088	0,060	0,084	0,026
8/5	0,066	0,113	0,170	0,043	0,485
8/15	0,075	0,124	0,052	0,059	0,160
8/25	0,105	0,100	0,078	0,073	0,130
8/30	n.a.	0,108	0,122	0,126	0,071
9/fsz	0,046	0,092	0,060	0,058	0,022
9/5	0,064	0,137	0,170	0,085	0,045
9/10	0,073	0,127	0,074	0,053	0,048

Magnézium [Mg] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	447,9	412,4	371,8	559,8	449,6
1/5	445,5	408,4	512,2	569,6	455,6
2/fsz	434,8	412,4	477,5	560,6	449,5
2/5	471,4	459,2	499,4	562,5	462,4
3/fsz	429,6	414,5	475,9	554,3	447,5
3/5	465,6	453,3	477,4	550,9	444,5
3/10	n.a.	448,4	402,4	539,3	468,8
4/fsz	428,2	415,2	453,3	592,6	448,7
4/5	472,9	450,2	436,2	544,5	465,7
4/10	469,4	452,8	458,8	562,3	470,2
5/fsz	436,4	404,7	454,9	556,4	454,0
5/5	479,7	452,7	469,8	549,8	465,9
5/10	473,2	453,9	452,0	569,8	473,1
6/fsz	433,0	409,5	422,8	586,4	457,5
6/5	468,9	451,2	395,6	523,0	458,3
7/fsz	432,6	406,9	453,0	569,6	461,4
7/5	463,3	446,1	471,8	546,4	460,5
7/10	477,4	446,4	454,9	534,2	474,3
8/fsz	435,6	413,4	407,3	569,1	456,9
8/5	464,1	445,1	435,3	567,9	469,1
8/15	479,7	458,0	464,9	585,1	482,0
8/25	486,9	461,5	467,1	622,6	495,1
8/30	n.a.	461,7	434,0	587,1	488,6
9/fsz	430,8	411,9	379,8	557,2	452,2
9/5	465,1	442,8	455,9	558,8	469,0
9/10	465,3	451,3	458,9	570,4	485,8

Kálium [K] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	5,024	4,578	5,144	1,444	4,874
1/5	5,314	4,577	5,291	1,997	4,748
2/fsz	4,988	4,581	4,985	2,967	4,746
2/5	5,689	5,163	5,646	1,898	4,773
3/fsz	4,998	4,558	5,221	2,905	4,699
3/5	5,431	5,046	5,304	2,786	4,722
3/10	n.a.	5,142	5,679	1,400	4,844
4/fsz	4,977	4,564	5,136	3,407	4,745
4/5	5,367	5,063	5,629	1,511	4,733
4/10	5,506	5,074	5,515	2,081	4,774
5/fsz	4,970	4,570	5,236	1,790	4,654
5/5	5,321	4,994	5,607	2,002	4,685
5/10	5,394	5,044	5,709	1,505	4,823
6/fsz	4,945	4,531	5,413	1,594	4,738
6/5	5,360	5,049	5,877	3,599	4,720
7/fsz	4,980	4,545	5,782	1,592	4,673
7/5	5,335	4,943	5,632	1,804	8,306
7/10	5,380	5,002	5,929	3,960	4,988
8/fsz	4,936	4,544	5,568	1,433	4,796
8/5	5,330	4,957	6,130	1,444	4,673
8/15	5,461	5,100	6,302	4,139	5,124
8/25	5,559	5,090	6,305	2,234	5,536
8/30	n.a.	5,078	6,209	3,032	5,187
9/fsz	4,998	4,521	5,452	1,482	4,635
9/5	5,345	4,901	5,859	1,518	4,829
9/10	5,352	4,979	5,838	2,616	5,008

Nátrium [Na] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	9,797	9,148	9,409	10,200	10,110
1/5	9,543	9,221	9,473	10,060	10,130
2/fsz	9,794	9,120	9,475	10,250	10,140
2/5	10,010	9,974	9,780	10,380	10,130
3/fsz	9,875	9,152	9,407	10,090	9,967
3/5	9,837	9,960	9,699	10,160	10,100
3/10	n.a.	9,979	9,885	10,400	10,240
4/fsz	9,824	9,150	9,384	10,040	10,130
4/5	9,813	9,981	9,790	10,170	10,240
4/10	9,932	9,992	9,909	10,390	10,250
5/fsz	9,821	9,164	9,372	10,160	10,060
5/5	9,846	9,996	9,801	10,100	10,140
5/10	9,906	10,030	9,910	10,300	10,310
6/fsz	9,821	9,203	9,342	10,080	9,998
6/5	9,886	9,979	9,868	10,110	10,560
7/fsz	9,878	9,169	9,432	10,030	10,050
7/5	9,911	9,877	9,594	10,010	10,580
7/10	10,000	10,000	9,951	10,450	10,840
8/fsz	9,861	9,161	9,376	10,250	10,130
8/5	9,886	9,856	9,802	10,040	10,050
8/15	10,370	10,220	10,240	10,740	10,950
8/25	10,600	10,220	10,250	10,690	11,280
8/30	n.a.	10,240	10,150	11,030	11,200
9/fsz	9,916	9,114	9,420	10,210	10,070
9/5	9,886	9,812	9,864	10,200	10,110
9/10	9,937	9,905	9,976	10,250	10,540

Kalcium [Ca] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	n.a.	359,6	271,8	391,6	351,8
1/5	n.a.	255,9	353,3	383,0	393,2
2/fsz	n.a.	333,0	331,5	385,9	332,4
2/5	n.a.	364,6	391,6	396,9	393,0
3/fsz	n.a.	320,4	373,6	386,5	334,2
3/5	n.a.	421,5	391,0	379,5	379,7
3/10	n.a.	567,3	279,0	409,4	346,3
4/fsz	n.a.	372,4	347,9	391,4	343,6
4/5	n.a.	379,3	355,8	376,9	380,5
4/10	n.a.	348,0	384,4	387,5	347,7
5/fsz	n.a.	338,7	405,7	384,8	334,4
5/5	n.a.	338,7	375,8	385,6	365,9
5/10	n.a.	391,7	369,0	394,3	336,4
6/fsz	n.a.	288,3	381,9	377,1	354,7
6/5	n.a.	n.a.	438,7	392,6	337,6
7/fsz	n.a.	417,9	345,8	390,5	369,0
7/5	n.a.	393,4	421,5	374,5	353,6
7/10	n.a.	346,2	357,3	424,3	342,5
8/fsz	n.a.	361,4	356,9	388,6	359,9
8/5	n.a.	409,6	406,8	399,2	334,5
8/15	n.a.	406,9	446,0	410,4	350,8
8/25	n.a.	422,3	409,0	417,9	357,3
8/30	n.a.	445,2	476,2	414,2	342,8
9/fsz	n.a.	406,4	432,9	382,6	346,0
9/5	n.a.	314,6	399,9	386,5	341,4
9/10	n.a.	421,1	471,6	395,6	343,1

Réz [Cu] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	0,013	n.a.	0,022	0,021	0,018
1/5	0,018	n.a.	0,018	0,015	0,019
2/fsz	0,001	n.a.	0,022	0,016	0,014
2/5	0,014	n.a.	0,019	0,012	0,015
3/fsz	0,019	n.a.	0,021	0,015	0,019
3/5	0,015	n.a.	0,020	0,018	0,017
3/10	n.a.	n.a.	0,019	0,021	0,023
4/fsz	0,016	n.a.	0,020	0,015	0,016
4/5	0,015	n.a.	0,022	0,031	0,022
4/10	0,022	n.a.	0,028	0,020	0,022
5/fsz	0,015	n.a.	0,022	0,019	0,012
5/5	0,023	n.a.	0,020	0,015	0,015
5/10	0,023	n.a.	0,023	0,022	0,021
6/fsz	0,017	n.a.	0,024	0,016	0,019
6/5	0,021	n.a.	0,016	0,016	0,022
7/fsz	0,021	n.a.	0,022	0,021	0,022
7/5	0,034	n.a.	0,018	0,011	0,028
7/10	0,024	n.a.	0,016	0,022	0,024
8/fsz	0,004	n.a.	0,024	0,014	0,015
8/5	0,003	n.a.	0,028	0,014	0,023
8/15	0,004	n.a.	0,019	0,016	0,030
8/25	0,010	n.a.	0,018	0,020	0,022
8/30	n.a.	n.a.	0,023	0,026	0,022
9/fsz	0,002	n.a.	0,020	0,016	0,012
9/5	0,009	n.a.	0,021	0,013	0,015
9/10	0,013	n.a.	0,030	0,018	0,023

Vas [Fe] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	0,070	n.a.	0,218	0,081	0,129
1/5	0,096	n.a.	0,063	0,059	0,058
2/fsz	0,079	n.a.	0,110	0,068	0,060
2/5	0,109	n.a.	0,069	0,048	0,087
3/fsz	0,078	n.a.	0,126	0,071	0,196
3/5	0,102	n.a.	0,107	0,085	0,066
3/10	n.a.	n.a.	0,064	0,077	0,188
4/fsz	0,077	n.a.	0,081	0,080	0,130
4/5	0,073	n.a.	0,087	0,043	0,093
4/10	0,110	n.a.	0,199	0,177	0,072
5/fsz	0,080	n.a.	0,105	0,110	0,208
5/5	0,106	n.a.	0,242	0,058	0,094
5/10	0,103	n.a.	0,227	0,068	0,080
6/fsz	0,078	n.a.	0,184	0,073	0,141
6/5	0,108	n.a.	0,070	0,077	0,098
7/fsz	0,076	n.a.	0,112	0,192	0,095
7/5	0,098	n.a.	0,094	0,057	0,283
7/10	0,106	n.a.	0,138	0,075	0,081
8/fsz	0,086	n.a.	0,092	0,051	0,061
8/5	0,101	n.a.	0,107	0,058	0,074
8/15	0,099	n.a.	0,086	0,058	0,067
8/25	0,108	n.a.	0,058	0,065	0,076
8/30	n.a.	n.a.	0,096	0,115	0,088
9/fsz	0,081	n.a.	0,077	0,056	0,110
9/5	0,092	n.a.	0,076	0,094	0,062
	0,089	n.a.	0,152	0,069	0,072

Mangán [Mn] [mg/l]					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	0,045	n.a.	0,017	0,020	0,013
1/5	0,055	n.a.	0,012	0,027	0,013
2/fsz	0,050	n.a.	0,021	0,078	0,011
2/5	0,083	n.a.	0,013	0,032	0,013
3/fsz	0,060	n.a.	0,016	0,060	0,012
3/5	0,073	n.a.	0,014	0,035	0,011
3/10	n.a.	n.a.	0,014	0,074	0,022
4/fsz	0,069	n.a.	0,014	0,024	0,013
4/5	0,079	n.a.	0,006	0,013	0,015
4/10	0,107	n.a.	0,033	0,133	0,017
5/fsz	0,071	n.a.	0,014	0,019	0,007
5/5	0,073	n.a.	0,015	0,130	0,013
5/10	0,111	n.a.	0,021	0,030	0,014
6/fsz	0,077	n.a.	0,023	0,024	0,013
6/5	0,090	n.a.	0,012	0,059	0,014
7/fsz	0,076	n.a.	0,016	0,063	0,014
7/5	0,086	n.a.	0,018	0,017	0,048
7/10	0,186	n.a.	0,041	0,076	0,025
8/fsz	0,084	n.a.	0,019	0,016	0,011
8/5	0,098	n.a.	0,021	0,109	0,014
8/15	0,442	n.a.	0,441	0,384	0,075
8/25	0,640	n.a.	0,374	0,417	0,256
8/30	n.a.	n.a.	0,473	0,316	0,128
9/fsz	0,086	n.a.	0,016	0,016	0,006
9/5	0,109	n.a.	0,017	0,017	0,010
9/10	0,156	n.a.	0,107	0,062	0,024

pH					
Mintavétel helye	Május	Június	Augusztus	Szeptember	Október
1/fsz	8,05	8,16	8,12	8,14	8,18
1/5	7,69	8,15	8,12	7,92	8,08
2/fsz	8,09	8,13	8,13	8,01	8,12
2/5	7,73	7,77	7,75	7,95	8,13
3/fsz	8,08	8,11	8,20	8,04	8,12
3/5	7,75	7,80	7,93	8,10	8,16
3/10	n.a.	7,40	7,81	8,02	8,11
4/fsz	8,14	8,06	8,12	8,18	8,17
4/5	7,87	7,75	7,78	8,06	8,14
4/10	7,65	7,63	7,70	7,99	8,10
5/fsz	8,11	8,05	8,13	8,02	8,15
5/5	7,77	7,72	7,73	8,08	8,14
5/10	7,64	7,67	n.a.	8,15	8,16
6/fsz	8,12	8,02	8,12	8,01	8,12
6/5	7,74	7,62	7,70	8,03	8,13
7/fsz	8,11	7,98	8,11	7,98	8,14
7/5	7,70	7,66	7,64	8,03	7,99
7/10	7,49	7,63	7,46	8,18	8,06
8/fsz	8,13	7,99	8,11	8,01	8,12
8/5	7,71	7,62	7,65	8,00	8,13
8/15	7,50	7,40	7,29	8,04	7,76
8/25	7,34	7,32	7,29	7,70	7,77
8/30	n.a.	7,30	7,28	8,08	7,75
9/fsz	8,14	7,91	8,11	8,01	8,14
9/5	7,74	7,53	7,66	8,04	8,12
9/10	7,58	7,41	7,44	8,06	7,92