

Kármán Krisztina

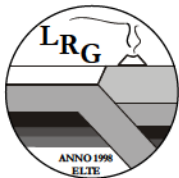
ELTE TTK, V. éves geológus hallgató

***Egyes hidrogeológiai tényezők tanulmányozásának
lehetősége és a mintavétel sajátosságai parti szűrésű
rendszerekben a Szentendrei-sziget példáján***



Témavezetők: Szabó Csaba, Ph.D. (ELTE-TTK)

Dr. Fórizs István (MTA-GKI)



ELTE TTK
Kőzettani és Geokémiai Tanszék
Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium



Budapest, 2008.

Tartalomjegyzék

<i>Tartalomjegyzék</i>	1
<i>Ábrajegyzék</i>	2
<i>Táblázatjegyzék</i>	3
1. Bevezetés	4
2. A parti szűrés rendszere	5
2.1. Történelmi áttekintés	5
2.2. A parti szűrés fogalma	6
3. A Szentendrei-sziget mint vízbázis	8
3.1. Budapest vízellátásának kezdete a XIX. századtól.....	8
3.2. A Szentendrei-sziget kiépítése	9
3.3. Megfigyelőkutak.....	10
3.4. A csáposkút.....	11
4. A Szentendrei-sziget geológiája	13
4.1 Földtani felépítés	13
4.2. Kvarter fejlődéstörténet	14
5. Egyes hidrogeológiai tényezők fontossága a parti szűrésű rendszerekben	17
6. Parti szűrésű vízbázisok oxigénizotópos vizsgálata	18
7. A mintavétel sajátosságai	20
7.1. A mintavételi terület kiválasztása.....	20
7.2. A mintavételezés	22
7.2.1. Kisoroszi 2. csáposkút vízmintavétele	23
7.2.2. Vízmintavétel a váci Duna-ágból.....	24
7.2.4 Megfigyelőkutak mintázása	25
8. Oxigénizotópos összetétel meghatározása vízmintákban	26
9. Az eredmények bemutatása és tárgyalása	28
9.1. A mintavétellel egyidőben meghatározott paraméterek (vezetőképesség, hőmérséklet, pH).....	28
9.2. Oxigénizotópos összetétel a váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. csáposkút vízmintáiban.	34
9.3. A megfigyelőkutak vezetőképesség, hőmérséklet, pH és $\delta^{18}\text{O}$ értékei.....	39
10. Összegzés	45
<i>Köszönetnyilvánítás</i>	46
<i>English summary</i>	47
<i>Irodalomjegyzék</i>	48

Ábrajegyzék

1. ábra Egy parti szűrésű rendszer egyszerűsített vázlata (Ray et al., 2003).....	6
2. ábra Balpart II. kútsor ma	9
3. ábra A víztermelés és víztértékesítés alakulása 1887-től (Károlyi & Tolnai, 2008)	10
4. ábra Egy megfigyelőkút a Szentendrei-szigeten.....	10
5. ábra Kisoroszi 2. törpecsáposkút a Szentendrei-szigeten	12
6. ábra Kisoroszi 2. csáposkút csápkiosztása. A csápok hossza: 1. csáp = 7,6 m; 2. csáp = 32,8 m; 3. csáp = 31 m; 4. csáp = 19,3 m; 5. csáp = 39,9 m; 6. csáp = 41 m. A képen K.73 és K.74 jelzéssel két, közeli megfigyelőkut is fel van tüntetve.	12
7. ábra Ny-K irányú, torzított sematikus keresztmetszvény a Szentendrei-szigeten (Góczán, 1955 után módosítva).....	14
8. ábra Adott kút vizének utánpótlódási lehetőségeit szemléltető vázlat az egyes források viszonylagos $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek feltüntetésével (Fórizs, 2008).....	19
9. ábra Mintavételi szelvény a Szentendrei-szigeten.....	22
10. ábra A minden vízmintavételi alkalommal történő hőmérséklet és vezetőképesség (Multi 340i), valamint pH (Votcraft pH-100 ATC) mérésére használatos műszerek	23
11. ábra Vízmintavétel a Kisoroszi 2. kút egyik szivattyújához tartozó vízmintavevő csapból	23
12. ábra Vízmintavétel a váci Duna-ágból.....	24
13. ábra Az F.12-es megfigyelőkút mintázása.....	25
14. ábra A K.73-as megfigyelőkút mintázása előtérben a szivattyút működtető aggregátorral.....	25
15. ábra A vivőgázás tömegspektrométer felépítése (A = minta bevezetése a tömegspektrométer kapilláris-rendszerébe; B = első Nafion cső; C = Valco egység; D = gázkromatográf oszlop; E = 2. Nafion cső; F = út a tömegspektrométerbe, vagyis az ionforrásba, a kamrába és a kollektor rendszerbe; G = referenciagáz) (White, 2007 után módosítva).....	27
16. ábra $\delta^{18}\text{O}$ -érték számításának módja	27
17. ábra A váci Duna-ág 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért vezetőképesség adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,3018.	29
18. ábra A váci Duna-ág 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért hőmérséklet adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,8645.	30
19. ábra A váci Duna-ág 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért pH adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,7515.....	30
20. ábra A Kisoroszi 2. csáposkút 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért vezetőképesség adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,7165.	32
21. ábra A Kisoroszi 2. csáposkút 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért hőmérséklet adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,824.	32

22. ábra A Kisoroszi 2. csáposkút 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért pH adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,6552.	33
23. ábra A váci Duna-ág pH adatsorából készült empirikus félvariogram függvény.....	34
24. ábra A váci Duna és a Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ -értékeinek változása 2008. 10. 29-e és 2008. 11. 24-e között 10-10 minta oxigénizotópos összetétele alapján.	37
25. ábra A mintázott megfigyelőkutak $\delta^{18}\text{O}$ értékei két időpillanatban vizsgálva (szaggatott vonal: 2008. 11. 17., folytonos vonal: 2008. 11. 24.).....	41
26. ábra A 2008.11.24-én mintázott megfigyelőkutak $\delta^{18}\text{O}$ értékeiből rajzolt térkép.....	41
27. ábra Duna-víz / csapadékvíz részarányának alakulása a megfigyelőkutakban 2008. 11. 17-én (K.74, K.73 és F.12) és 2008. 11. 24-én (K.74, K.73, F.12, F.11, F.10, T.I.55)	43

Táblázatjegyzék

1. táblázat Az kijelölt nyomvonal megfigyelőkútjai és EOV koordinátái.....	21
2. táblázat A váci Duna-ág napi vízmintavétele során mért vezetőképesség, hőmérséklet és pH.....	28
3. táblázat A Kisoroszi 2. csáposkút napi vízmintavétele során mért vezetőképesség, hőmérséklet és pH adatok.....	31
4. táblázat Különböző időpillanatokban (lásd: mintavétel dátuma) vett vízminták $\delta^{18}\text{O}$ értékei a váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. csáposkút esetén.....	35
5. táblázat A 2008. 11. 24-én mintázott megfigyelőkutak (K.74, K.75, F.12, F.11, F.10 és T.I.55 jelű) vezetőképesség, hőmérséklet és pH adatai.....	39
6. táblázat A 2008. 11. 17-én mintázott megfigyelőkutak (K.74, K.73, F.12) $\delta^{18}\text{O}$ értékei.....	39
7. táblázat A 2008. 11. 24-én mintázott megfigyelőkutak (K.74, K.73, F.12, F.11, F.10, T.I.55) $\delta^{18}\text{O}$ értékei.....	40
8. táblázat Duna-víz részaránya %-ban a megfigyelőkutakban a két mintavételi nap szerint oszlopba rendezve Deák et al. (1992) módszere alapján.....	43
9. táblázat Az F.12, F.11 és F.10-es megfigyelőkutak $\delta^{18}\text{O}$ értékei Fórizs et al. (1998) és saját méréseim alapján.....	44

1. Bevezetés

A parti szűrésű vízbázis Magyarország jövő vízkészlet-gazdálkodásának egyik pillére. A jelentősége abban rejlik, hogy más, ekkora vízáadó kapacitással rendelkező és folyamatosan utánpótlódó víznyerési lehetőséget nem ismerünk. A parti szűrésű rendszerek egyik fontos tudományos kérdése a szivárgás alatt végbemenő természetes tisztítási folyamat jobb megismerése. Magyarország területének legnagyobb parti szűréssel üzemelő vízműlétesítményei a Szentendrei-szigeten találhatóak. Ez az alig 55,7 km²-nyi terület több, mint 500 víztermelő kút segítségével látja el Budapest és számos környező település lakosságát ivóvízzel. A Fővárosi Vízművek ZRt. által kitermelt vízmennyiség körülbelül 2/3-át fedezik manapság a szigeten üzemelő kutak.

Munkám során a Szentendrei-sziget csodálatos természeti szépsége alatt lezajló természetes szűrésű folyamatokat szeretném jobban megismerni. Irodalmi ismereteim bővülése és az egyetemi előadásokon szerzett ismeretek arra tereltek, hogy egy ilyen bonyolultságú rendszer megismeréséhez, mint a Szentendrei-sziget parti szűrésű rendszere, speciális vizsgálatok is szükségesek a megszokott vízkémiai adatok és paraméterek kiértékelése mellett. Ezért kezdtem el a Szentendrei-sziget egy kiválasztott víztermelő objektumát, a Kisoroszi 2. csáposkút vizét és a környezetét (a Dunát és megfelelő számú megfigyelőkutat) stabil oxigénizotópok tanulmányozásával jellemezni. Eddigi eredményeim azt mutatják, hogy – bár a különböző, hagyományos analitikai módszerekkel mérhető kémiai komponensek statisztikai vizsgálata hasznos eredményekkel szolgálhat, amelyek bővíthetik az ismeretek körét – a parti szűrésű rendszerekre igazán nagy jelentőséggel bíró ún. elérési idő meghatározásában (a Szentendrei-sziget esetén) már viszonylag rövid (32 napos) vizsgálati periódus után is kiemelkedően jó eredményeket kaptunk.

2. A parti szűrés rendszere

2.1. Történelmi áttekintés

Az első ismert parti szűrésű vízbeszerzést az angliai Glasgow Waterworks Company valósította meg 1810-ben a Clyde folyó mentén (Ray et al., 2003). Ezt a vízbeszerzési módot a 19. század közepére Angliában már több területen használták.

A kontinensen az egyik első parti szűrésű vízbeszerzés William Lindley angol mérnök tervei alapján indult meg Németországban (Ray et al., 2003). Lindley megalapította a Flehe Waterworks nevű céget, amely működését 1870-ben kezdte meg a Rajna mentén, Düsseldorfban. 1892-ben az ország lakosságának már 15,3 %-a parti szűrésű vizet (vagy a parti szűréshez hasonló mesterséges rendszerrel előállított vizet) fogyasztott, ami 1998-ban 49 %-ra nőtt (Ray et al., 2003). Németországban a Rajnán kívül még számtalan folyó mellé építettek parti szűrésű vízbázist (pl. Ruhr, Elba). Európában ilyen vízbeszerzési rendszer üzemel még többek között az Enns, a Llobregat, a Meuse, a Lek, a Waal és az Yssel folyók mentén (Caldwell, 2006; Stuyfzand et al., 2006).

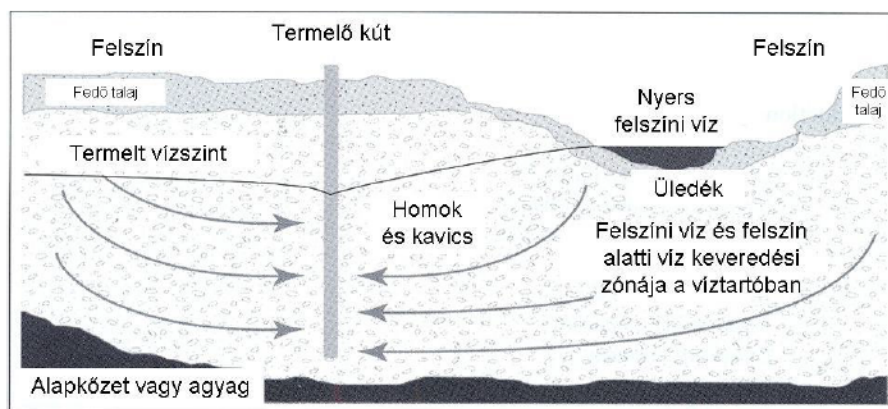
Az Amerikai Egyesült Államokban is számtalan példát találunk parti szűrésű vízbázisok termelésére. Ilyen rendszerek biztosítják az ivóvizet többek közt a Great Miami, a Missouri, az Ohio, a Platte, a Russian és az Illinois folyók mentén is (Caldwell, 2006; Ray & Prommer, 2006).

A Duna menti parti szűrésű vízbázist Németország nem használja (Ray et al., 2003). A folyam mentén az első ilyen rendszerű vízmű Ausztriában, Bécsben, található. Ezt követi a Pozsony lakosságát ellátó vízmű. A következő nagyobb vízbázis Budapest térségében található. Az utolsó nagyobb parti szűrésű rendszer a Duna mentén Újvidéken, majd Belgrádban van. Magyarországon jelenleg a közüzemi vízellátás jelentős részét, körülbelül 40 %-át nyerik parti szűrésű kutakból (<http://www.edukovizig.hu>).

2.2. A parti szűrés fogalma

A parti szűrés fogalmát az irodalom igen tág keretek között kezeli. Különböző szerzők különböző feltételekhez szabják a vízbeszerzés ezen fajtáját. Abban azonban mindenki egyet ért, hogy parti szűrésű rendszerek akkor tekintünk egy vízbázist, ha az ott található vízmennyiség valamilyen hányada felszíni forrásból származik, és egy jó vízvezető, permeabilis, törmelékes üledékes közeg közvetítésével jut el a vízbázist termelő kútba.

A parti szűrés a felszín alatti vízbeszerzés egy speciális formája. Szemben más vízbeszerzéssel, ahol a csapadék beszivárgó hányadának valamilyen formája adja a vízutánpótlást, itt az utánpótlást a kavicssteraszba ágyazódott folyam (jelen esetben a Duna) biztosítja. A parti szűrésű víz termelése esetén tehát elsősorban a felszíni vizeket használjuk, csak a velük érintkező vízvezető kőzetek, pl. kavics, kavicsos homok, homok által megszűrve. Innen ered a „parti szűrés” elnevezés (<http://www.edukovizig.hu>). A víztartóból az adott folyó mentén található valamilyen csőrendszer (kút) gyűjti a vizet. A folyóvízből a határoló földtani közegen történő szivárgás ideje alatt a szerves vegyületek és kórokozó szervezetek, illetve az egyéb potenciális szennyeződések részlegesen vagy majdnem teljes mértékben kitisztulnak (Ray et al., 2003). Ez csak abban az esetben valósul meg, ha a víztartó rétegben nincs szennyeződés, vagy kisebb koncentrációban van jelen, mint a folyóvízben. Az így átszűrődött, kutak által kitermelt víz minősége az eredeti folyóvízhez képest jobb lesz. A víztermelés hatására a víz a földtani közegen a folyó felől a termelő kút irányába áramlik (1. ábra). Ez a mesterségesen létrehozott



1. ábra Egy parti szűrésű rendszer egyszerűsített vázlatja (Ray et al., 2003)

gradiens a tulajdonképpeni tisztító tényező, hiszen az áramlás sebességének mértékét, vagyis a szűrés időtartamát ez határozza meg (a földtani közeg mellett).

A termelt víz az eredeti felszín alatti víz (rétegvíz) és a felszíni víz (folyóvíz) keveréke. A parti szűrésű vízbázisoknál fontos ismerni, hogy a termelt víz milyen arányban származik a folyóból, illetve a talajvízből. A rendszer a talajvízszennyeződésekre érzékeny, így a kutak esetében törekedni kell arra, hogy a talajvízből származó részarány minél kisebb legyen (Deák et al., 1992). Bizonyos esetekben szükség lehet a parti szűrés által kinyert víz utólagos fertőtlenítésére, ami már mesterséges beavatkozást jelent.

A parti szűrés folyamatában, vagyis a tisztítási kapacitás mértékében meghatározó jelentőségű a meder alatti kavicssterasz folyóvízzel érintkező néhány centiméter mély egysége, ugyanis itt megy végbe a folyóvíz biotechnikai szűrése (Ray & Prommer, 2006). Ezt az egységet kolmatált rétegnek nevezzük. Létrejötté azzal magyarázható, hogy a folyóvíz szuszpendált anyagot szállít. Ez a finom anyag a víz földtani közegbe való szivárgása során a pórusterfogatba áramlik, de csak kis mértékben tud abba behatolni (Schubert, 2006). Ezt a folyamatot nagyban elősegíti, illetve elsősorban az okozza, hogy a gradiens a meder oldalára közel merőleges, vagyis a kutak termelés következtében kialakult szívó hatása érvényesül. A kolmatált réteg azon tulajdonsága, hogy biotechnikai szűrés megy rajta keresztül, előnyös. Meg kell azonban jegyezni, hogy a réteg igen nagy ellenállású, így a víz szivárgási sebességét nagy mértékben csökkenti. Ez rossz hatással lehet a kutak vízutánpótlódására. Bizonyos esetekben ezért szükség lehet a meder felső rétegének rendszeres időközönként való tisztítására, vagyis a kolmatált réteg fellazítására (Schubert, 2006). Érdeemes tehát a parti szűrésű kutak kapacitását annak megfelelően megtervezni, hogy a kolmatált réteg kialakulásának lehetőségét megteremtjük, de a szuszpendált anyag túlzott kirakódását (a kolmatált réteg eltömődését) elkerüljük.

3. A Szentendrei-sziget mint vízbázis

Bürgermeister Antal kútmester a következő kijelentést tette 1865-ben: „a Dunának ... kövecsrétegein tisztult jó vize mindenkor a legnagyobb mennyiségben szolgálatunkra van”.

3.1. Budapest vízellátásának kezdete a XIX. századtól

Az 1800-as években robbanásszerűen nőtt Budapest lakossága. Budát a jó vízü hegyi források látták el vízzel, de ezek hozama nem elégítette ki a növekvő igényeket (Nagy, 1993). A pesti oldalon ásott kutakból biztosították a vizet, amelynek vízminősége csatornázottság híján és a külső kerületekben az állattartás (és a képződő trágyadombok) következtében visszatérő járványok fő okozója volt. Ezt felismerve az emberek inkább a még tiszta Duna-vízből lajtos kocsival árult vizet vásárolták ivásra (Károlyi & Tolnai, 2008). 1866-ban William Lindley angol mérnököt kérték fel egy ideiglenes vízmű építésére, ami a mai Parlament helyére épült meg. Bár a vízmű csak Pestet szolgálta ki, innen számítható a Fővárosi Vízművek fennállása (Károlyi & Tolnai, 2008).

Azt, hogy a talajban történő természetes szűrés lehet a jövő vízművének alapja, elsőként Wein János bányamérnök fogalmazta meg. Ezt az elképzelést sokan támadták, mivel a természetes szűrés, vagyis a parti szűrés folyamatát nem ismerték el (Károlyi & Tolnai, 2008). Egyre sürgetőbbben jelentkezett egy végleges vízmű megépítésének szükségessége. Súlyosította a helyzetet, hogy az ideiglenes vízművet át kellett helyezni, mert ezt a területet jelölték ki az új Parlament építésére. Segítségképpen, a közben megépült Margit hídon keresztül, a budai forrásokból is adtak át ivóvizet. Ez volt az első „vizes” kapcsolat a két város(rész) között (Károlyi & Tolnai, 2008).

Hamarosan kiderült, hogy sokkal nagyobb ütemben fejlődik a város, mint a vízszolgáltatás. Az újabb vízlelő helyeket a város határában kellett keresni (Nagy, 1993). Káposztásmegyér és a mai Dunakeszi között elterülő területeket jelölték ki a vízkitermelésre. Ekkor, vagyis 1896-tól kezdődően épültek meg a Balpart I és Balpart II. kútsorok (2. ábra). Bár sokan továbbra is ragaszkodtak a mesterséges szűréshez – elsősorban a költségek miatt – a Közmunka Tanács (a főváros akkori döntéshozó

testülete) elfogadta, hogy „csupán” a természetes szűrési folyamatot kiaknázva építsék a további kutakat (Károlyi & Tolnai, 2008).



2. ábra Balpart II. kútsor ma

1893-ban Kajlinger Mihály kezdte meg a fejlesztésre vonatkozó, Wein János által kidolgozott terveket megvalósítani, és a fővárostól északi irányban elhelyezkedő Szentendrei-szigetet bevonni a termelésbe (Nagy, 1993).

3.2. A Szentendrei-sziget kiépítése

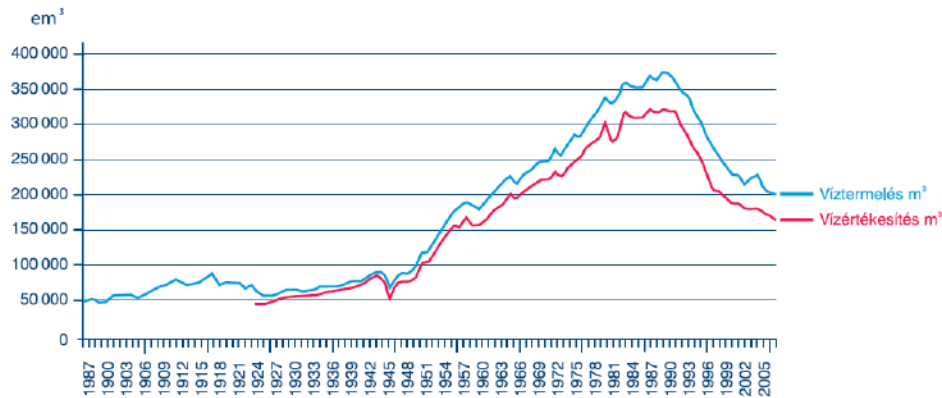
A Szentendrei-sziget első kútsorozatjai a Szigeti I. és a Szigeti II. telepek voltak, amelyeket 1904-ben helyeztek üzembe. Ilyen vagy ehhez hasonló úgynevezett szifonrendszerű víztermelés máshol is folyt a világon, de ekkora egybefüggő rendszer egyedülálló volt. A szifonvezeték nem más, mint egy gyűjtővezeték, amelyről minden kútba szívócsövet vezettek be. A bújató a Duna medre alatt össze lett kötve a pesti oldalon lévő bújatóval (Nagy, 1993).

Az újabb Szentendrei-szigetet érintő program 1935-1936-ban a Horány I. vízművel folytatódott (Nagy, 1993). Ez után épültek meg a Monostor II., III. és IV. számú gépházak a hozzájuk tartozó kutakkal. 1936-ban további két alagutat helyeztek üzembe a váci Duna-ág alatt, amelyek már nem telt szelvényel üzemelő bújatók voltak, vagyis nem szállítanak teljes keresztmetszetükben vizet.

A háború után újra rohamosan növekedni kezdett a város vízfogyasztása, így néhány év alatt többszáz új termelő kút kezdte el a Szentendrei-sziget területén a víztermelést. A szigeten épült kútsorok közül legnagyobb a kapacitása a Kisoroszi

kútsornak, amely 1973-1975 között épült és 12 darab úgynevezett csáposkútból áll (lásd később). A kúts csoport vízáadó kapacitása 110 000 m³/nap.

A rendszerváltást követően a vízfogyasztás a vízdíjak hirtelen növekedése miatt erőteljesen lecsökkent, aminek következtében a megépített berendezések egyik pillanatról a másikra túlméretezetté váltak (3. ábra) (Károlyi & Tolnai, 2008).



3. ábra A víztermelés és vízértékesítés alakulása 1887-től (Károlyi & Tolnai, 2008)

3.3. Megfigyelőkutak

A Szentendrei-sziget területén többszáz megfigyelőkút található (4. ábra). Ezek a megfigyelőkutak segítik a vízbázis pontosabb ismeretét és ellenőrzését. A megfigyelőkutak a sziget vízáadójának fekvő agyagréteg fölé egy-két méterrel vannak szűrőzve.



4. ábra Egy megfigyelőkút a Szentendrei-szigeten

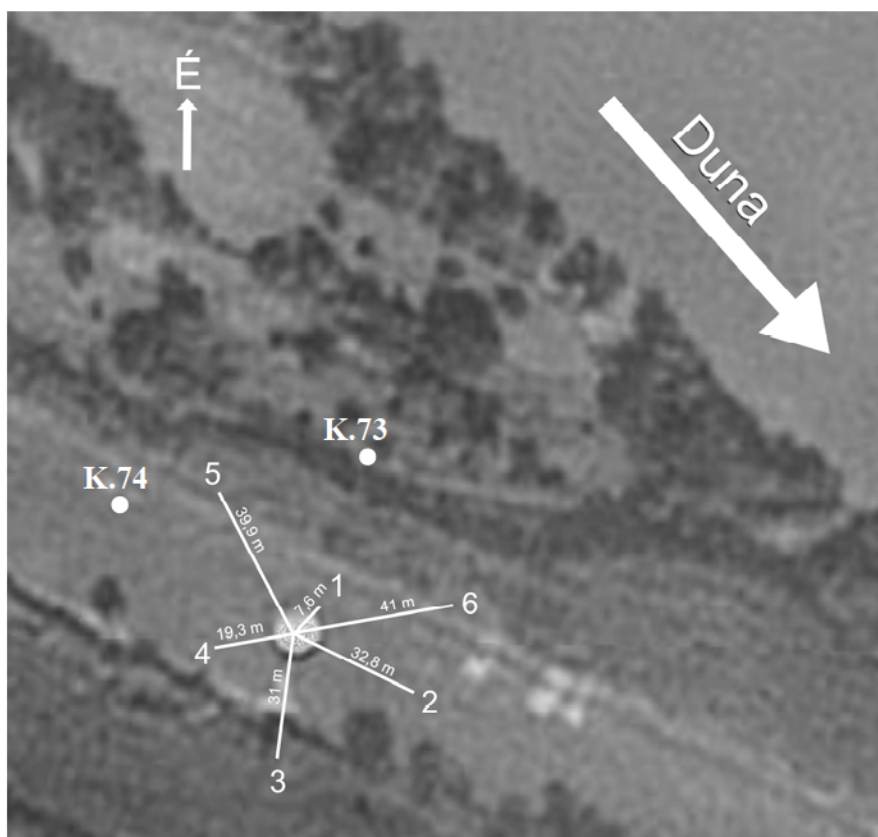
3.4. A csáposkút

A vízkitermelésben a sziget területén négy fajta kút vesz részt: csőkút, normál aknakút, csápozott aknakút és csáposkút. Ezek közül a csáposkutak felépítését mutatom be, hiszen kutatásom során is egy csáposkút vizsgálatával foglalkozom. A csáposkutak a Szentendrei-szigeten két átmérővel léteznek: lehetnek nagyátmérőjű csáposkutak, vagy törpecsáposkutak. A Pócsmegyer II-es kútsor 3 darab csáposkútja 5 méter átmérőjű beton-gyűjtőaknából áll (nagyátmérőjű csáposkutak) (Nagy, 1993). Építését keszon technológiával, hosszú ideig, nehéz körülmények között végezték 1959 és 1960 között. Később másik csáposkút-építési technológiát vezettek be, amely egyszerűbb és gyorsabb. Ez esetben a kút 2,2 méter átmérőjű acélhengerből készült (törpecsáposkutaknak). Építése palást-süllyesztéssel történt, vagyis a központi hengert egyszerűen lesüllyesztették a kavicsba. A henger oldalán csápok kisajtolására alkalmas nyílásokat hagytak. Ezeken keresztül juttatták a perforált acélcsőveket vízszintes irányba a vízadó rétegbe. A csápok résein beszivárgó víz a kútaknába kerül, ahonnan bűvárszivattyúk emelik az alacsony nyomású gyűjtővezetékbe vagy gravitációs csatornába. Mélysége 10-20 méter, vízadó képessége 1750-14 000 m³/nap (Károlyi & Tolnai, 2008) a földtani háttértől, a kút átmérőjétől, a csápok számától és hosszától függően. A Szentendrei-szigeten ezt a kúttípust is csoportosan alkalmazzák. A kutak a parttal párhuzamosan vannak telepítve, de autonóm módon üzemelnek (Nagy, 1993).

Az általam vizsgált Kisoroszi 2. törpecsáposkút hat csáppal rendelkezik (5. ábra; 6. ábra). A csápokból a víz a központi aknába áramlik, ahol két szivattyú található. A központi aknából a szivattyúk segítségével termelik a vizet, ami a csápok felől folyamatosan utánpótlódik (hiszen a csápok a talajvízszint alatt helyezkednek el). Az, hogy egy adott kút hány csáppal rendelkezik, és ezeket hány szivattyú termeli, kutanként változhat.



5. ábra Kisoroszi 2. törpecsáposkút a Szentendrei-szigeten



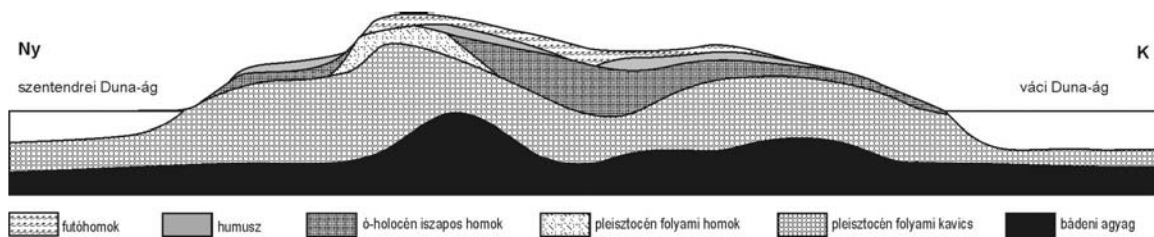
6. ábra Kisoroszi 2. csáposkút csápkiosztása. A csápok hossza: 1. csáp = 7,6 m; 2. csáp = 32,8 m; 3. csáp = 31 m; 4. csáp = 19,3 m; 5. csáp = 39,9 m; 6. csáp = 41 m. A képen K.73 és K.74 jelzéssel két, közeli megfigyelőkút is fel van tüntetve.

4. A Szentendrei-sziget geológiája

4.1 Földtani felépítés

A Szentendrei-sziget fekéje két részre osztható. A sziget északi részén a pleisztocén és holocén üledékek alatt, körülbelül a Duna váci kanyarulatáig oligocén korú Tardi Agyag található. Erre Szentendre és Visegrád térségében, valamint a Börzsöny területén miocén andezit települ. A Duna a pliocénben Visegrád és Szob között eróziós völgyet hozott létre, amely itt az egi korú (feltehetőleg) Törökbálinti Homokkőig hatolt (Vinkovits, 1936; Császár, 1997). A bevágódásra hatással lehetett a terület emelkedése is, amelynek taglalásakor Vinkovits (1936) Papp Károly 1932-es munkájára hivatkozik. Ruszkiczay-Rüdiger et al. (2005) a teraszképződés magyarázataként csak a Dunántúli-középhegység kiemelkedését látják bizonyítottnak. A sziget pre-pleisztocén fekéje a váci kanyarulat alatt megváltozik. Vinkovits (1936) feltételezése szerint a terület „a felső mediterráneus tenger lagunás partja lehetett”. Ennek megfelelően bádeni korú kékesszínű agyagot és márgát találunk itt, ami feltehetően Kiscelli Agyag (Császár, 1997).

Góczán 1955-ös munkájában. több száz fúrásadat alapján megállapítja, hogy a sziget területén átlagosan 7 m vastag Duna-kavics található, amely közvetlen a terciér tengeri üledékekre települ (7. ábra). A szigeten három területet különít el. Az első területen a kavics fölött 10-15 m vastag folyami homok található amelynek felszíne futóhomokfelszínre alakult. A második területen a kavics fölött csak 1,5-2 m vastag folyami homok települt. Ebben az esetben a homok fölött 1,5 m vastag erősen meszes iszap, majd 0,5 m humusz található. A harmadik területen a kavicsra csupán nagy mésztartalmú öntésiszap rakódott le. Ezeknek a területeknek egy része szántóföldi művelés alatt áll, így az öntésiszap fölött 0,2-0,5 m vastag termőföld is képződött.



7. ábra Ny-K irányú, torzított sematikus keresztmetsvény a Szentendrei-szigeten (Góczán, 1955 után módosítva)

4.2. Kvarter fejlődéstörténet

Vinkovits (1936) a Szentendrei-sziget kialakulására két feltételezést említ. Egyik lehetőség szerint az alsó szakasz jellegű folyó a területen nagy mértékben feltöltötte medrét, azaz sekély vízmélység jellemezte. Ezt követően áradás idején a folyó fattyúágat eresztett, vagyis az eredeti térszínnek egy darabját levágta. Ezt a fattyúágat a mai szentendrei Duna-ággal azonosítja. Arra nem tér ki, hogy mikor történhetett ez a „levágás”. A másik lehetőség alapján a Szentendrei-sziget mai területén a Duna a koraleisztocén során alsó szakasz jellegű volt, vagyis hordaléka lerakódott. Az első glaciális idején a folyó felső szakasz jellegűvé vált, ami következtében a korábban lerakott hordalék nagy része elszállítódott, a folyó eróziós szintje mélyebbre került. Erre bizonyítékul a „fellegvári teraszokat” említi, amelyek a visegrádi Fellegvár oldalában figyelhető meg. Az interglaciálisokban a Duna újra alsó szakasz jellegű lett, amikor is hordalékait újra lerakta. Ezt követően ismét teraszszinteket épített, majd ismét glaciális következett (Cholnoky, 1926). Az ó-holocén során a Duna ismét alsó szakasz jellegűvé lett, szövedékessé vált, így hat kisebb szigetet képezett a Szentendrei-sziget mai területén. Erre az időszakra teszi a szerző a szentendrei Duna-ág kialakulását, és közleményében az imént említett hat kisebb sziget közötti Duna-ágakat is fattyúágaknak nevezi. Ezek az ágak feltöltődtek és kiszáradtak, míg a szentendrei Duna-ág megmaradt. A Duna továbbiakban is alsó szakasz jellegű maradt, aminek következtében zátonyok keletkeztek, amelyek „fokozatosan közeledtek a Szentendrei-szigethez”, majd hozzáforrak (Vinkovits, 1936).

Góczán (1955) munkájában a Szentendrei-szigeten három fejlődésszakaszt különített el. Az elsőt új-pleisztocén (Würm) fejlődésszakasznak nevezi. A Würm

fejlődésszakasz egyes fázisai tovább bonthatók. A Würm I során rakódott le a sziget kavicsrétege, ami aztán részben erodálódott a Würm I-II interstadiális során. Ezt az eróziót a jég olvadása következtében megnőtt vízmennyiség mellett a Duna-völgy alföldi szakaszának helyi süllyedése is erősítette. Újabb kavicsal való feltöltés a Würm II során következett be, amikor is elsősorban a sziget legalsó folyami rétegsora fejlődött. A Würm II-III interstadiálisban újra erózió következett be, ám ennek mértéke nem volt olyan nagy, mint a Würm első interstadiálisában. Ennek lehetséges magyarázata, hogy a Würm II jége átöröklődött a Würm III-ba. A Würm III során rétegzett folyami homok rakódott le, amelynek legfelső részébe aprókavics csíkok települtek. Az aprókavics csíkok a Duna megnövekedett munkaképességére utalnak, vagyis a pleisztocén fejlődésszakasz végét jelzik (Góczán, 1955). A következő fejlődésszakasz az ó-holocén idejére tehető, amikor is a Duna munkaképessége a gleccserjég és a hó olvadása következtében megnőtt, a törmelékképződés pedig lecsökkent a fagyaprózódás visszaszorulása miatt. A Duna ekkor valószínűleg fonatos folyóvá vált, majd kialakult a szentendrei Duna-ág. A szerző ezt azzal magyarázza, hogy a Börzsöny felől érkező patakok és vízfolyások a Duna sodorvonalát nyugati irányba eltérítették, így az érkező vízmennyiség a posztglaciális során a főágon (váci Duna-ág) kívül itt tudta nagy mértékben érvényesíteni eróziós hatását. Ez az esemény valószínűleg a fenyő-nyír korszakban (8200-7000 évig B.P.) történt. A meglévő többi fattyúág lefűződött egy erős ág kivételével, amely Szigetmonostornál ÉNY-DK-i irány helyezkedett el, és keresztül szelte a szigetet. A boreális mogyorókorszakban (7000-5500 évig B.P.) szárazzá vált a klíma, így feltöltődés indult meg. Ezzel egyidőben a vízszint fölött elhelyezkedő területeken a szél munkája fejtette ki hatását. A kavics közül barázdákat alkotva kifújta a homokot, amit aztán buckákba halmozott. A tölgykorszakban (5500-2500 évig B.P.) a sziget területén még mélyültek fattyúágak, amelyek vizet vezettek. Az új-holocén, záró fejlődésszakasz során újra nedvesebb klíma következett. Ennek hatására a Duna bevágódott völgyébe, kivésve ezzel legfiatalabb teraszát. Az eróziós szint ezzel süllyedt, így a tölgykorszakból átöröklődött fattyúágak már csak árvizek ideje alatt kerültek víz alá, amikor is iszap rakódott le bennük. Még ma is akadnak olyan fattyúágak, amelyek időnként vizet szállítanak. A magasabb térszíneken lepelhomok képződött. Jelenleg a

váci Duna-ág enyhén, a szentendrei Duna-ág fokozottabb mértékben gyűjti az üledéket (Góczán, 1955).

Ruszkiczay-Rüdiger és munkatársai (2005b) a Dunakanyarban ^3He -izotóp segítségével a környék felszínén lévő kőzeteinek kitettségi korát vizsgálták. Ebből következtettek a terület kiemelkedésének mértékére és korára, így a teraszképződések idejére is. Vizsgálataik azt mutatják, hogy a glaciálisok és az interglaciálisok ideje alatt nincs teraszképződés, a terület felszíne nem változik. Interglaciálisból glaciálisba, vagy glaciálisból interglaciálisba történő átmenet esetén ellenben nagyfokú bevágódás következik be, ami egy alacsonyabb teraszszintet eredményez. A Dunakanyar esetében a teraszszintek képződése valószínűleg az utolsó két glaciális ciklusban, vagyis a Riss és a Würm során ment végbe. Vizsgálataik azt mutatják, hogy nincs közvetlen kapcsolat a Dunakanyar teraszképződése és az éghajlat között. A Duna eróziós szintjét a Dunántúli-középhegység kiemelkedése határozta meg. Ha nem érte számottevő erózió a teraszokat, akkor a Duna bevágódásának sebessége legfeljebb 2,7 mm/év volt az elmúlt körülbelül 170 000 év során. Abban az esetben, ha figyelembe vesszük az erózió valószínű hatását is, a maximális bevágódási ráta 1,6 mm/év az utolsó körülbelül 270 000 év során. Ez az adat négyszerese a „hagyományos” teraszrendszer alapján számított értéknek, vagyis az elmúlt 360 000 évet figyelembe véve 0,41 mm/év-re becsült bevágódási rátának (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2005a).

5. Egyes hidrogeológiai tényezők fontossága a parti szűrésű rendszerekben

Parti szűrésű vízbázisok esetén a vízminőség biztosítása és a vízbázis védelme szempontjából elengedhetetlen a lehető legpontosabban ismerni a sziget belsejében uralkodó hidrogeológiai folyamatokat. A megismerés során alapvető fontosságú az *elérési idő*, vagyis azt, hogy mennyi idő alatt ér el a Duna-víz egy adott termelő kútba. Emellett fontos még, hogy a *különböző forrásterületekről* származó víz milyen részarányban vesz részt adott területen (Maloszewski et al., 1990).

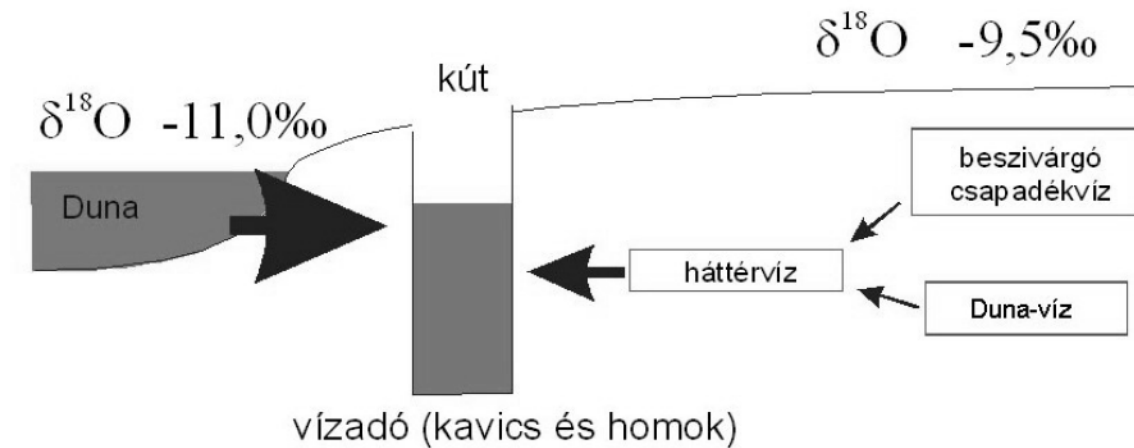
A Szentendrei-sziget hidrogeológiai folyamatainak alakulásában számos tényező játszik szerepet, mint például a hőmérséklet, a koncentráció, a közeg tulajdonságai (pl. permeabilitás), a Duna vízállása, a kút/kutak termelésének mértéke, az antropogén hatások (pl. öntözés), a csapadék, stb. A még korántsem teljes felsorolásból láthatjuk, hogy az összes tényező hatásának figyelembevétele összetett feladat.

6. Parti szűrésű vízbázisok oxigénizotópos vizsgálata

Elfogadott és széleskörben alkalmazott módszer a stabilizotópok nyomjelzőként való alkalmazása, különös tekintettel a $\delta^{18}\text{O}$ -értékek meghatározása (Clark & Fritz, 1997). Az oxigénizotópokkal történő elérési időnek (lásd 5. fejezet) a meghatározása (a hidraulikai modellekkel ellentétben) nem “dolgozik” határfeltételekkel, hanem pontosan képes megadni a körülményekhez (a folyó vízállása, kútszivattyúzás intenzitása, hőmérséklet, stb.) tartozó elérési időt, és nem a körülmények alakulásából következtet erre (Maloszewski et al., 1990). Meghatározó jelentőségű az is, hogy a kutakban található víz nem csak a folyóvízből származik, hanem más forrásból is kaphat utánpótlást. A Szentendrei-sziget esetén a Duna vize és a csapadékvíz alkotja a kutakból kitermelt vízmennyiséget (Fórizs & Deák, 1998). Az oxigénizotópos adatoknak a hidrodinamikai modellbe való beépítésével pontosítható a termelt vízadó vízháztartásának és áramlási paramétereinek ismerete, ami javítja a vízellátás biztonságát, valamint hatékonyabb felkészülést tesz lehetővé egy esetleges felszíni szennyeződés esetére.

A fentiekből láthatjuk, hogy a parti szűrésű rendszerek oxigénizotópos vizsgálata során a tanulmányozott kutak $\delta^{18}\text{O}$ értékein kívül szükséges a vízbázis utánpótlását biztosító folyóvíz oxigénizotópos vizsgálata is. A folyó (esetünkben a Duna) vizének $\delta^{18}\text{O}$ értékei kis mértékben folyamatosan változnak. A folyóvíz a felszín alatt történő szivárgása során a vízmolekulájában jelen lévő $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ arányt megőrzi. Mivel a folyóvíz folyamatosan érkezik a vízbázisba, így a kutakba, a $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ arány változása valamekkora időeltolódással a kutakban is megjelenik. Kereszt korrelálva a folyóvízben számolt $\delta^{18}\text{O}$ értékeket a vizsgált kút $\delta^{18}\text{O}$ értékeivel megbecsülhető, hogy a mért változások mennyi idő múlva jelennek meg az adott kút vizében, vagyis milyen hosszú a szivárgás a kút és a folyó között. A kutakban számolt $\delta^{18}\text{O}$ értékek változásának amplitudója az esetek többségében valamivel kisebb lesz, mint a folyóvíz $\delta^{18}\text{O}$ értéke változásának amplitudója. Ez azért következik be, mert a földtani közegben lévő víz nem csak a folyóvízből pótlódik. A felszín alatt keveredhet más forrásból származó vízzel is, például talajvízzel, csapadékvízzel, idős feláramló vízzel (Fórizs et al., 2008). A Szentendrei-sziget esetén a kutak utánpótlódását – ahogyan már említettem – jelenleg két forrásból

származtatjuk. A $\delta^{18}\text{O}$ értékek változása során kirajzolódó görbe amplitudójának mértéke (a Duna-vizet és a csapadékvizet összehasonlítva) segíthet megadni, hogy adott kút utánpótlásában milyen arányban (%-ban) vesz részt a Duna vize és milyen arányban van jelen a csapadékvíz (8. ábra). Mindez azért lehetséges, mert a Duna vizének nagy része olyan vízgyűjtő területről származik, ahol a csapadék $\delta^{18}\text{O}$ értéke negatívabb a kis hőmérséklet és a magassági hatás miatt, mint a magyarországi csapadékvizek súlyozott éves átlaga (Deák et al., 1992).



8. ábra Adott kút vizének utánpótlódási lehetőségeit szemléltető vázlat az egyes források viszonylagos $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek feltüntetésével (Fórizs, 2008)

A Szentendrei-sziget területén Fórizs és Deák (1998) végzett $\delta^{18}\text{O}$ értékek meghatározására vonatkozó vizsgálatokat. A szerzők a szivárgási idő vizsgálatához közvetlen a Duna vizéből nem végeztek méréseket. A Duna partjához nagyon közel található két kút adatait kezelték Duna-víznek megfelelő $\delta^{18}\text{O}$ értékkel rendelkezőnek. A sziget területén vett vízminták $\delta^{18}\text{O}$ értékei esetükben -9,6 és -11 ‰ közé estek. Mért oxigénizotóp-arányaik jóval negatívabbak az átlagos évi csapadék $\delta^{18}\text{O}$ értékeinél. Az eredmények azt mutatják, hogy a sekély talajvíz utánpótlódását elsősorban a Duna vize fedezi.

7. A mintavétel sajátosságai

7.1. A mintavételi terület kiválasztása

A Szentendrei-sziget adottságai és kutakkal való lefedettsége lehetővé teszi, hogy részletes és pontos mérések készülhessenek a szivárgási sebességre és a különböző forrásokból származó víz részarányának becslésére. A vizsgálat első lépéseként érdemes a termelőkutak és a megfigyelőkutak kiépítettségének megfelelően olyan, a Duna partjára közel merőleges szelvényeket kijelölni – akárcsak Fórizs & Deák (1998) munkájában –, ahol a kutak sűrűsége megengedi, hogy térben megfelelő felbontással vizsgálhassuk a víz oxigénizotópos összetételét. A nyomvonal kiválasztásakor a következő szempontok játszottak szerepet:

- a szelvény nyomvonalát kijelölő megfigyelőkutak mindegyike személygépkocsival megközelíthető legyen;
- a mintázandó megfigyelőkutak hozzáférhetőek legyenek (a megfigyelőkutak egy része mára magán földtulajdonon található);
- a kiválasztott nyomvonal legalább egyik partközeli pontján legyen folyamatosan termelő kút;
- a nyomvonalhoz tartozó termelőkút napi mintázása megoldható legyen (ne legyen körülményes a kútba való lejutás);
- a mintázott terület víztermelés szempontjából jelentős (érték) legyen, hogy a Fővárosi Vízművek Víztermelési Osztálya a várható eredményeket mindennapos munkája során fel tudja használni;
- a nyomvonal végpontjaihoz közel legyen olyan Duna-parti szakasz, amelyre könnyen le lehet jutni a Duna-víz minták gyűjtése céljából.

A kívánt szempontokat figyelembe véve a *9. ábrán* látható szelvényt választottam ki a vizsgálathoz. Ennek a szelvénynek egyik part felőli végpontja a Kisoroszi kútsort érinti, így a Kisoroszi 2. törpecsáposkút lett bevonva a vizsgálatokba, ahonnan napi vízmintavétel történik. A Kisoroszi kútsor jelentősége azért nagy, mert a szigeten termelt összes vízmennyiségnek 14-23%-át adja (Kisgyörgy et al., 2002).

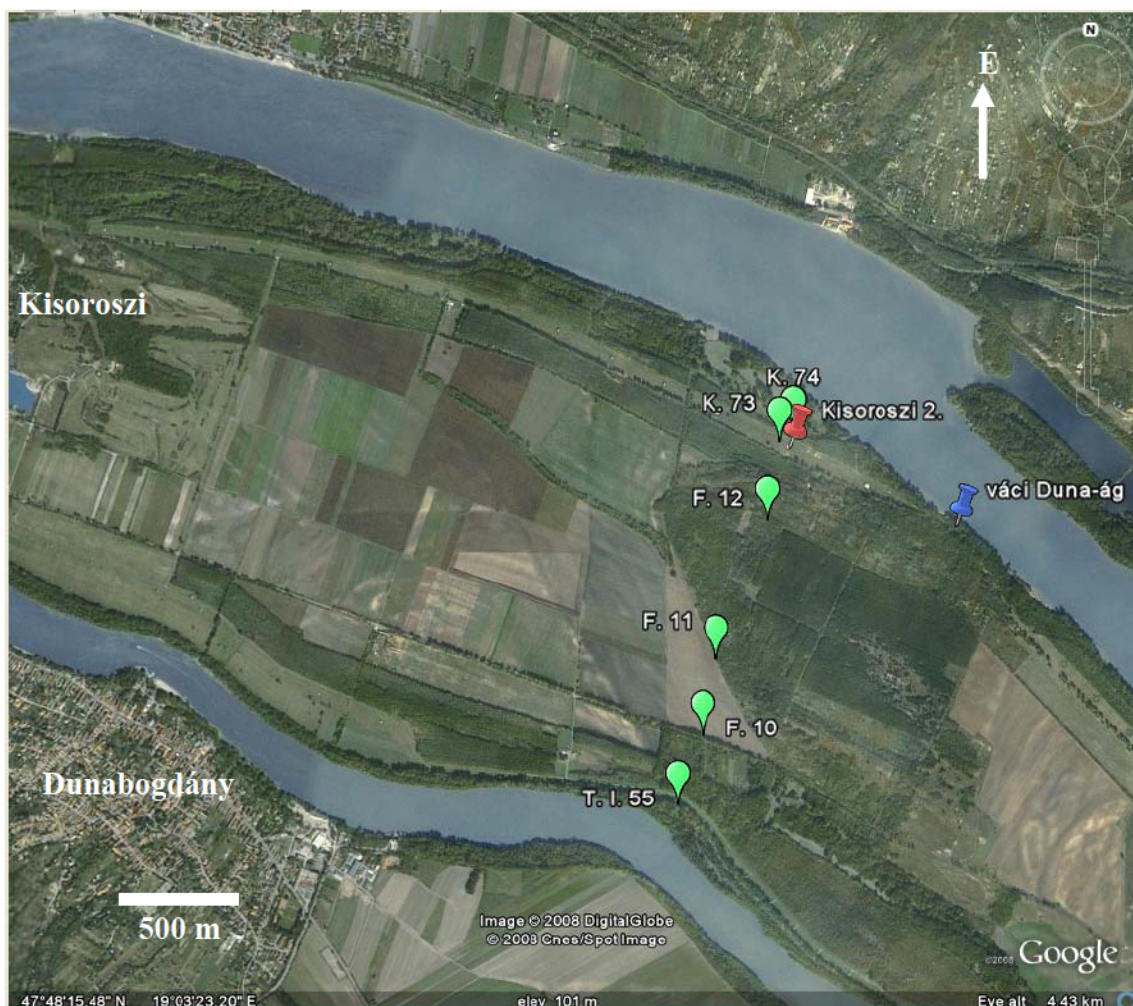
A vizsgálathoz elengedhetetlen napi vízmintavétel a Dunából is. A kiválasztott Kisoroszi 2. csáposkúttól nem messze nehézség nélkül megközelíthető a váci Duna-ág (9. ábra), ami a műszerek és a vízminták szállítását könnyíti meg.

A sziget belsejében uralkodó hidrogeológiai paraméterek alakulásának leírására, megfigyelőkutak mintázása is szükséges. A kiválasztott vizsgálati szelvény a következő megfigyelőkutakat tartalmazza (1. táblázat):

kút neve	X koordináta	Y koordináta
K.74	651568,11	273743,03
K.73	651501,00	273718,00
F.12	651453,65	273394,34
F.11	651193,79	273023,83
F.10	651109,73	272508,36
T.I.55	650992,84	272207,26

1. táblázat Az kijelölt nyomvonal megfigyelőkútjai és EOY koordinátái

A megfigyelőkutak mintázása két alkalommal történt. Egyik alkalommal a K.74, K.73 és F.12-es megfigyelőkutakat mintáztuk, másik alkalommal pedig a szelvény minden megfigyelőkútjából vettünk vízmintákat (9. ábra).

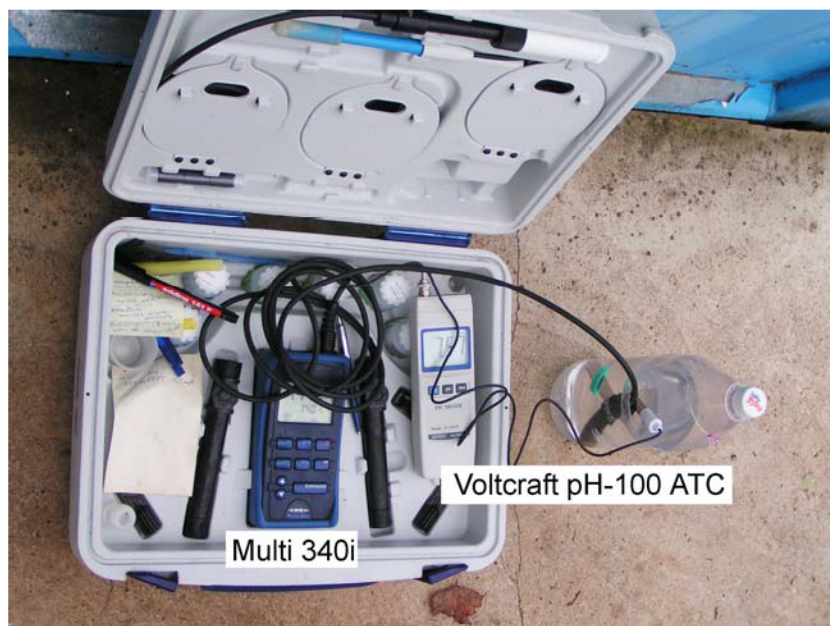


9. ábra Mintavételi szelvény a Szentendrei-szigeten

Piros jelzés: Kisoroszi 2. törpecsáposkút
 Kék jelzés: mintavétel helye a váci Duna-ágban
 Zöld jelzés: a mintázott megfigyelőkutak

7.2. A mintavételezés

Vízminavétel az oxigénizotópos mérésekhez a Kisoroszi 2. törpecsáposkútból és a váci-Duna-ágból napi rendszerességgel történt. Emellett megfigyelőkutakat is mintáztunk. Az oxigénizotópos vizsgálatokhoz vízmintát 1,5 literes műanyag palackba vettük. A vízmintavétel során minden esetben megmértem a mintázott víz hőmérsékletét, vezetőképességét és pH-ját. A vízhőmérséklet és a vezetőképesség mérésére a WTW GmbH által gyártott Multi 340i típusú műszert használtam, a pH mérésére pedig Voltcraft pH-100 ATC típusú berendezést (10. ábra).



10. ábra A minden vízmintavételi alkalommal történő hőmérséklet és vezetőképesség (Multi 340i), valamint pH (Voltcraft pH-100 ATC) mérésére használatos műszerek

7.2.1. Kisoroszi 2. csáposkút vízmintavétele

A Kisoroszi 2. kút két szivattyúval rendelkezik. Az egyik szivattyú időszakosan működik a kútban (működését a kívánt vízmennyiség határozza meg), így a vízmintavételre azt a szivattyút használtuk, amelyik folyamatosan termel (*11. ábra*).



11. ábra Vízmintavétel a Kisoroszi 2. kút egyik szivattyújához tartozó vízmintavevő csapból

Az oxigénizotópos mérésekhez a kútban található csapot először többször egymás után ki kell nyitni és el kell zárni. Ez azért fontos, mert így a csap belső falán található szennyeződések lemosódnak. Ezután legalább 1 percig a vizet folytatni kell. Ez garantálja, hogy a víz a pangás következtében kialakuló szennyeződésektől mentes legyen, és ne pangó vizet mintázzunk. A képen látható cső a kút központi csövéből érkező vizet a benne található szivattyú segítségével folyamatosan szállítja egy fővezetékbe, amelyre minden más termelőkút is fel van fűzve.

7.2.2. Vízmintavétel a váci Duna-ágból

Folyóvízből történő vízmintavétel esetén ajánlatos a mintát a sodorvonalhoz közel venni. Ezzel elkerülhető a pangó víz mintázása, ami folyóvíz esetében a parthoz közeli, kevésbé átmozgatott víztömeget jelenti. Ezt a mintavétel gumiruhában történt, mintegy 1,2 méteres vízmélységnél (12. ábra). A váci Duna-ágnak a mintázott szakaszán a sodorvonal a hajózás biztosítása miatt mesterségesen a Szentendrei-sziget felé van elterelve. Éppen ezért a kívánt 1,2 méteres vízmélység a Duna-parttól számítva (a vízállástól függően) körülbelül 10 méter dunai séta során elérhető. A mintázott helyen a part koordinátái N 47,80427 és E 19,07757, ami EOVS rendszerben $y=652256,70$ és $x=273392,07$.



12. ábra Vízmintavétel a váci Duna-ágból

7.2.4 Megfigyelőkutak mintázása

A megfigyelőkút reprezentatív mintavételezéséhez először ki kell szivattyúzni a kútban lévő víz térfogatának háromszorosával megegyező vízmennyiséget, amit a vízszint meghatározását követően számolhatunk ki. A megfigyelőkutak szivattyúzásához SAER NS-95 típusú szivattyút használtunk. A szivattyút aggregátor segítségével lehetett működtetni (13. ábra). Azért, hogy a szivattyúzás során kitermelt víz ne jusson vissza a megfigyelőkútba a kút külső palástya mentén még a vizsgálat ideje alatt, a vizet a megfigyelőkúttól megfelelő távolságban kell kiengedni (14. ábra). Ez a távolság az összes megfigyelőkút mintázása esetén meghaladta a 10 métert.



13. ábra Az F.12-es megfigyelőkút mintázása, előtérben a szivattyút működtető aggregátorral

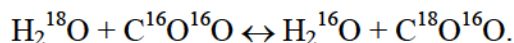


14. ábra A K.73-as megfigyelőkút mintázása

8. Oxigénizotópos összetétel meghatározása vízmintákban

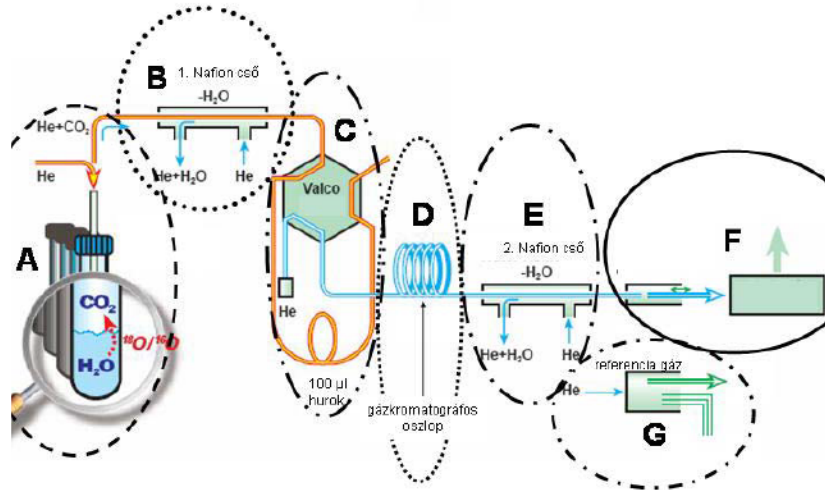
Az oxigénizotópos összetétel meghatározását a Magyar Tudományos Akadémia Geokémiai Kutatóintézetének Stabilizotóp Laboratóriumában végeztem. Az mérések Finnigan delta plus XP vivőgáz tömegspektrométerrel történtek.

A vízmintákból 1 ml-t menetes nyakú kémcsőbe pipettáztam, amit gumimembrános kupakkal lezártam. A kémcsőekben a víz fölötti térfogatot 0,3 V/V% CO₂-ot tartalmazó He gázkeverékkel öblítettem 6 percen keresztül. Ezután a minta fölötti térrész és a vízminta között hőmérséklet stabilizált körülmények között oxigénizotóp csere történik a CO₂ és a H₂O között (Szántó et al., 2001):



Ez az oxigénizotópokra vonatkozó egyensúly méréseim során 32°C-on, rázatás nélkül történt, és 18 órát vett igénybe. Az egyensúly beállta után a műszer a minta fölötti térrészből az ott található He + CO₂ gázt He vivőgáz beengedésével a tömegspektrométer kapillárisaiba vezeti (15. ábra A). A gáz először az úgynevezett Nafion csövön áramlik keresztül (15. ábra B). Ez egy speciális dupla falú cső. Belső fala egy olyan membrán, amely a H₂O molekulákat, vagyis a minta fölötti térrészből származó vízgőzt átengedi, majd a belső fal és a cső külső fala között elvezeti. A cső belső részében marad a vivőgáz (He) és a CO₂, amelyek az úgynevezett Valco egységbe áramlanak (15. ábra C). Ez az egység arra hivatott, hogy a mérendő gáz egy részét az úgynevezett gázkromatográfus oszlopba juttassa (15. ábra D), ahol a mintában lévő kis mennyiségű, és a mérést zavaró levegő (O₂, N₂) leválik a mérendő CO₂-ról. A gáz még egyszer átáramlik egy Nafion csövön (15. ábra E), majd a tömegspektrométerbe kerül (15. ábra F). A tömegspektrométerbe juttatott gáz három fő egységen jut keresztül: az ionforrás, a kamra (repülési-cső), valamint a kollektor rendszer. A szeparált gázminta analízise során annak molekuláit ionizálja, ionsugárrá alakítja, elektromos térben felgyorsítja, mágneses térben eltéríti, majd detektálja. Az ionizáció, az ionsugárképzés és a gyorsítás a forrásban történik, a mágneses eltérítés a kamrában zajlik, míg a különböző tömegű (44, 45, 46) CO₂ ionnyalábok detektálása a kollektor rendszerben történik. Az analízis során a CO₂ gázt hozzámérjük nagy tisztaságú CO₂-hoz mint referencia gázhoz (15. ábra G). A mérésekhez BTW XVI laborstandardot használunk, amely ismert összetételű és

ugyanazon a mintaelőkészítési folyamaton megy keresztül, mint az ismeretlen összetételű vízminta [az azonos mintakezelés elvének (Identical Treatment – IT) eleget téve (Werner & Brand, 2001)].



15. ábra A vivőgáz tömegspektrométer felépítése (A = minta bevezetése a tömegspektrométer kapilláris-rendszerébe; B = első Nafion cső; C = Valco egység; D = gázkromatográfus oszlop; E = 2. Nafion cső; F = út a tömegspektrométerbe, vagyis az ionforrásba, a kamrába és a kollektor rendszerbe; G = referenciagáz) (White, 2007 után módosítva)

A vízminta elemzésekor a mintában jelenlévő $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$ és $^{12}\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ molekulák arányát, vagyis az ^{18}O és az ^{16}O arányát kapjuk meg a 46/44 ionnyaláb intenzitás-arányokból. Ezt az arányt nemzetközi sztenderdhez viszonyítjuk (16. ábra), ami a vízminták oxigénizotópos mérése esetén a V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water). Az adatok könnyebb kezelhetősége érdekében a kapott értéket még 1000-rel megszorozzuk és megkapjuk az úgynevezett $\delta^{18}\text{O}$ (delta O 18) értéket. Az érték mértékegysége az 1000-re való szorzás következtében ‰. A mérés bizonytalansága (mintaelőkészítés+mérés) $\pm 0,2$ [‰] V-SMOW 2 szigma konfidenciaszinten.

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{minta}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{sztenderd}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{sztenderd}}} * 1000\text{‰}$$

16. ábra $\delta^{18}\text{O}$ -érték számításának módja

9. Az eredmények bemutatása és tárgyalása

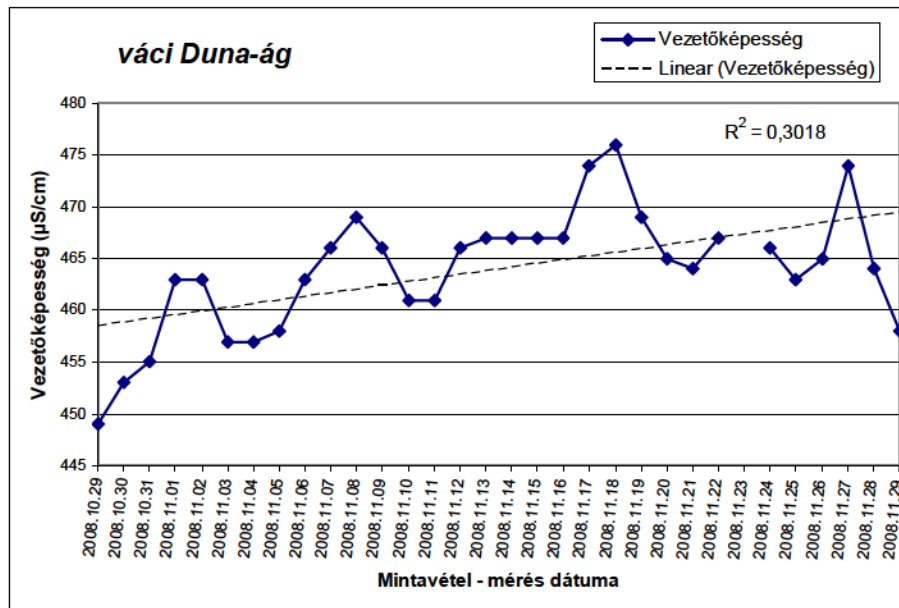
9.1. A mintavétellel egyidőben meghatározott paraméterek (vezetőképesség, hőmérséklet, pH)

A napi vízmintavétel alkalmával, amelyek 2008. október 29-től 2008. november 24-ig folytak, a Duna és a Kisoroszi 2. csáposkút esetén is történt vezetőképesség, pH és hőmérséklet meghatározása. A Duna vizének mért adatait a 2. táblázat tartalmazza.

váci Duna-ág			
Mintavétel - mérés dátuma	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	pH
2008.10.29	449	10,7	7,96
2008.10.30	453	11,3	8,06
2008.10.31	455	11,3	8,17
2008.11.01	463	11,7	8,14
2008.11.02	463	11,6	8,18
2008.11.03	457	11,9	8,08
2008.11.04	457	11,3	8,19
2008.11.05	458	11,9	8,18
2008.11.06	463	11,7	8,18
2008.11.07	466	11,5	8,20
2008.11.08	469	11,5	8,21
2008.11.09	466	11,7	8,28
2008.11.10	461	11,3	8,21
2008.11.11	461	10,1	8,23
2008.11.12	466	10,5	8,20
2008.11.13	467	10,2	8,21
2008.11.14	467	10,1	8,18
2008.11.15	467	9,7	8,21
2008.11.16	467	9,3	8,20
2008.11.17	474	8,8	8,28
2008.11.18	476	6,6	8,27
2008.11.19	469	7,7	8,27
2008.11.20	465	7,4	8,28
2008.11.21	464	7,8	8,32
2008.11.22	467	6,3	8,31
2008.11.23	-	5,6	8,36
2008.11.24	466	5,4	8,37
2008.11.25	463	5,3	8,35
2008.11.26	465	4,6	8,36
2008.11.27	474	4,8	8,31
2008.11.28	464	4,7	8,29
2008.11.29	458	4,3	8,31

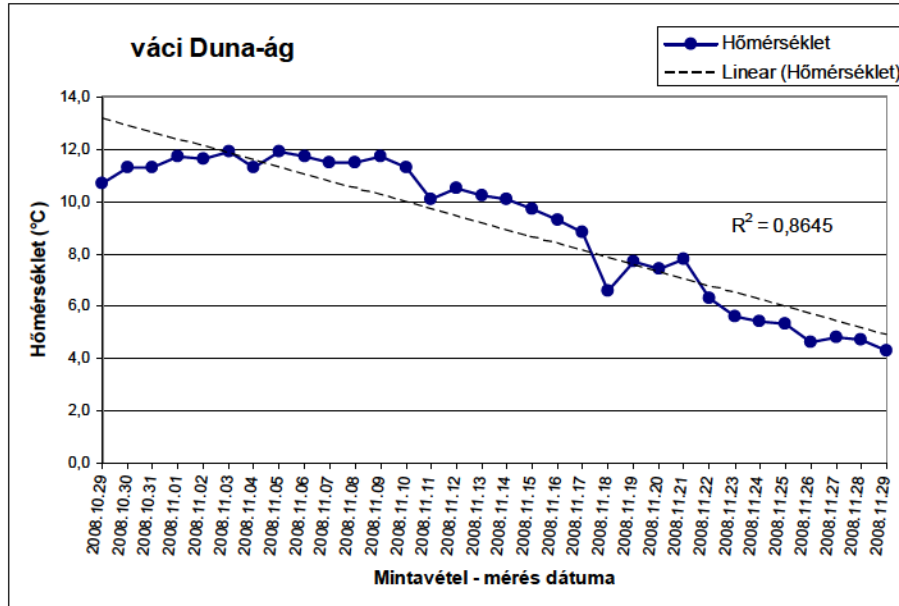
2. táblázat A váci Duna-ág napi vízmintavétele során mért vezetőképesség, hőmérséklet és pH

A Duna-víz vezetőképességének értékei a mérési periódus alatt 449 $\mu\text{S}/\text{cm}$ és 476 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között változtak (17. ábra). A 2008.11.23-i érték kiugró volt (410 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ezért a számítások során nem vettem figyelembe. Az adatokból azt láthatjuk, hogy a mintázás ideje alatt a Duna vizének vezetőképessége növekvő tendenciát mutat. A mért értékek átlaga 464 $\mu\text{S}/\text{cm}$, szórása 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



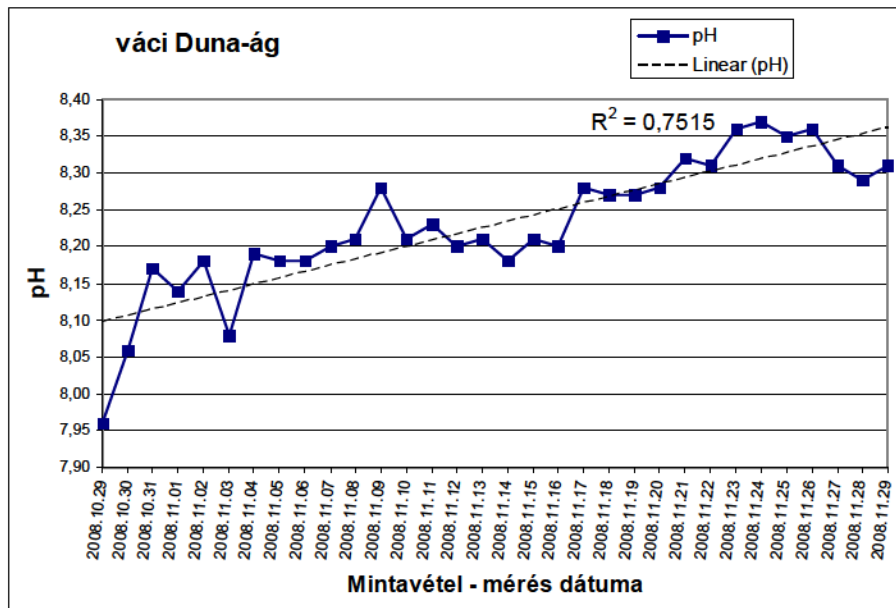
17. ábra A váci Duna-ág 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért vezetőképesség adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonalja, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,3018.

A váci Duna-ág mintázása során a víz hőmérsékletét is mértem. A vízhőmérséklet maximum értéke 11,9 $^{\circ}\text{C}$ volt, minimum értéke 4,3 $^{\circ}\text{C}$, amit a mérési periódus végén ért el (18. ábra). A hőmérséklet átlaga 9,0 $^{\circ}\text{C}$, szórása 2,7 $^{\circ}\text{C}$.



18. ábra A váci Duna-ág 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért hőmérséklet adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,8645.

A váci Duna-ág vizéből minden nap a pH-t is meghatároztuk. Ennek minimum értéke 7,96, maximuma pedig 8,37 (19. ábra). Az értékek átlaga 8,23, szórása 0,09.



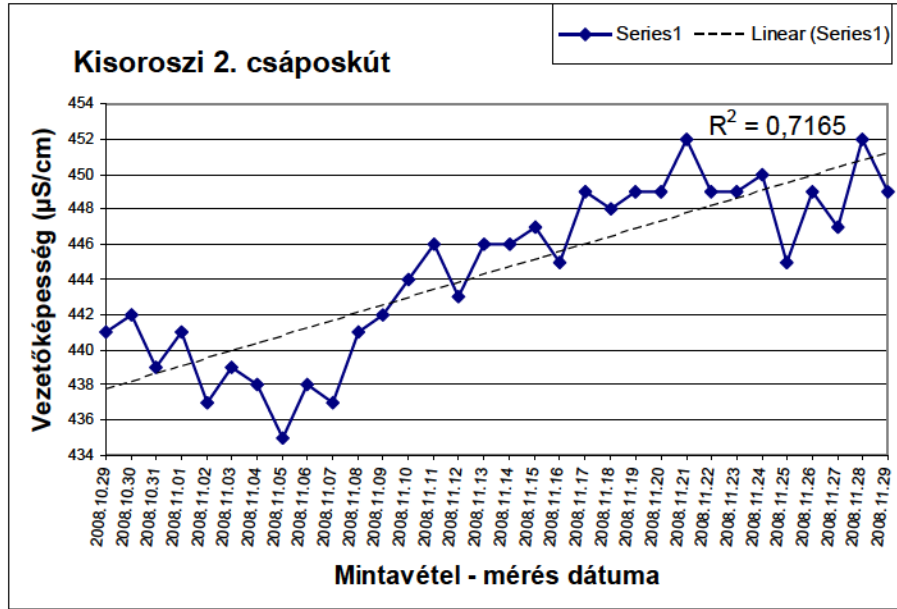
19. ábra A váci Duna-ág 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért pH adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,7515.

A Kisoroszi 2. csáposkút napi mintavétele során szintén megmértük a vezetőképességet, a hőmérsékletet és a pH-t (3. táblázat).

Kisoroszi 2. csáposkút			
<i>Mintavétel - mérés időpontja</i>	<i>Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)</i>	<i>Hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)</i>	<i>pH</i>
2008.10.29	441	12,5	7,6
2008.10.30	442	12,6	7,63
2008.10.31	439	12,7	7,64
2008.11.01	441	12,8	7,67
2008.11.02	437	12,9	7,69
2008.11.03	439	12,9	7,62
2008.11.04	438	12,9	7,73
2008.11.05	435	13	7,74
2008.11.06	438	12,9	7,73
2008.11.07	437	13	7,75
2008.11.08	441	13	7,77
2008.11.09	442	13,1	7,79
2008.11.10	444	13,1	7,79
2008.11.11	446	12,9	7,81
2008.11.12	443	13,1	7,77
2008.11.13	446	13,1	7,8
2008.11.14	446	13,2	7,78
2008.11.15	447	13,1	7,78
2008.11.16	445	13,1	7,77
2008.11.17	449	13,2	7,81
2008.11.18	448	13,1	7,79
2008.11.19	449	13	7,8
2008.11.20	449	13,2	7,81
2008.11.21	452	13,2	7,8
2008.11.22	449	13,1	7,79
2008.11.23	449	13,3	7,8
2008.11.24	450	13,4	7,82
2008.11.25	445	13,6	7,78
2008.11.26	449	13,5	7,79
2008.11.27	447	13,5	7,79
2008.11.28	452	13,3	7,83
2008.11.29	449	13,6	7,8

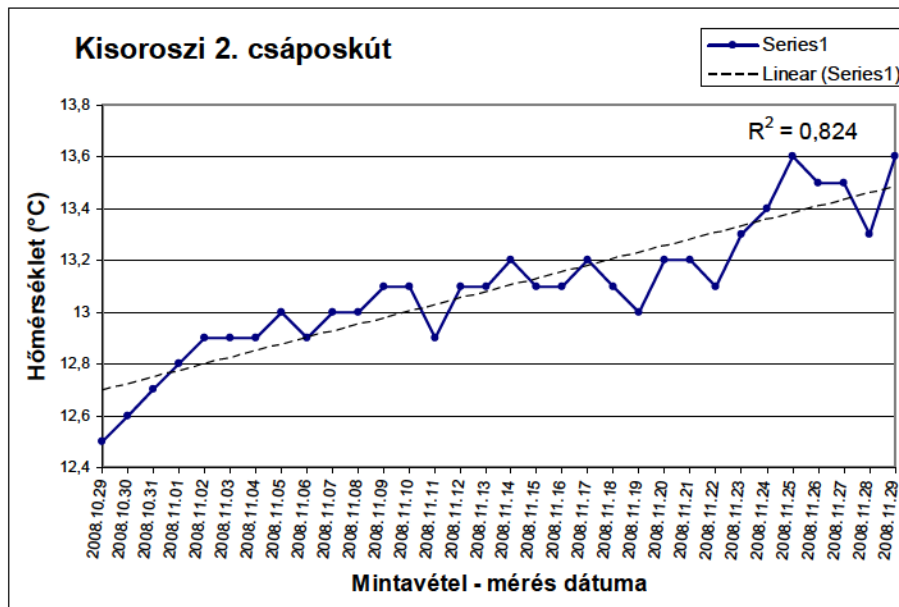
3. táblázat A Kisoroszi 2. csáposkút napi vízmintavétele során mért vezetőképesség, hőmérséklet és pH adatok

A Kisoroszi 2. csáposkút vezetőképesség adatai az első 8 mintázott napon csökkentek, majd növekvő tendenciát mutattak (20. ábra). Az értékek a minimumot 2008.11.05-én érték el, amikor 435 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt a vezetőképesség. A maximum 452 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. Az adatok átlaga 445 $\mu\text{S}/\text{cm}$, szórása 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



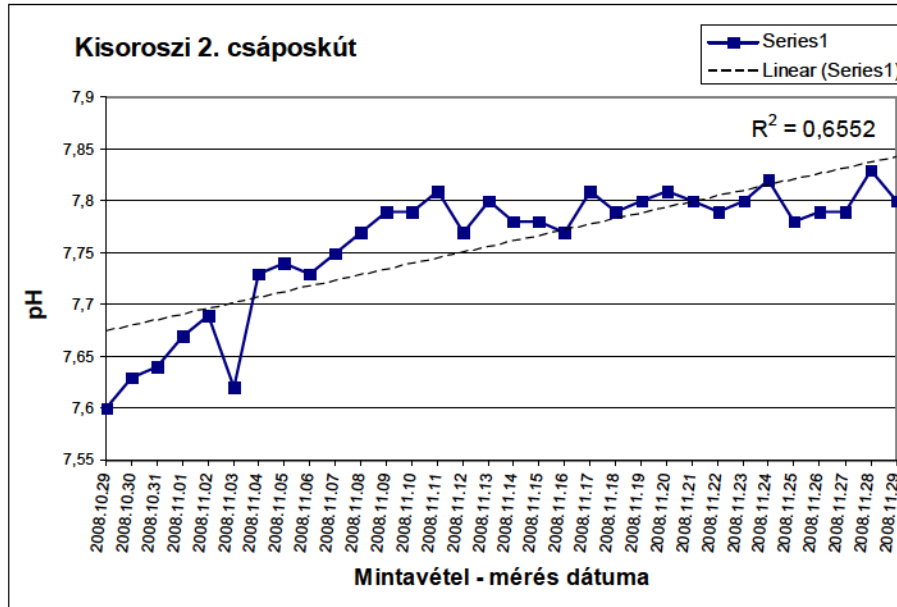
20. ábra A Kisoroszi 2. csáposkút 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért **vezetőképesség** adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,7165.

A Kisoroszi 2. csáposkút mintázása során mértük a víz hőmérsékletét is. A vízhőmérséklet maximum értéke 13,6 °C volt, minimum értéke 12,5 °C (21. ábra). A hőmérséklet átlaga 13,1 °C, szórása 0,3 °C.



21. ábra A Kisoroszi 2. csáposkút 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért **hőmérséklet** adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonala, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,824.

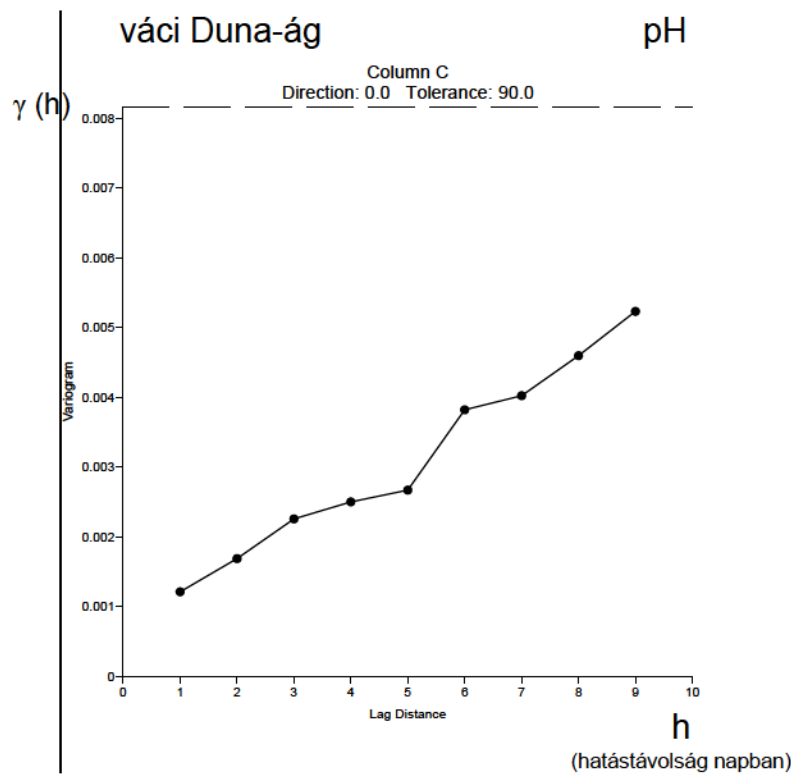
A Kisoroszi 2. csáposkút vizéből minden nap a pH-t is meghatároztuk. Ennek minimum értéke 7,60, maximuma pedig 7,38 volt (22. ábra). Az értékek átlaga 7,76, szórása 0,06.



22. ábra A Kisoroszi 2. csáposkút 2008.10.29. és 2008.11.24-e közt mért pH adatai diagramon ábrázolva. A szaggatott vonal a változás trendvonalja, amelynek szórásnégyzete ($R^2=$) 0,6552.

Azért, hogy a fentiekben bemutatott adatok (2. és 3. táblázat) időben bekövetkező változékonyságát megállapítsam, a térstatisztika alapfüggvényét, empirikus variogram függvényt készítettem külön a Duna vizének és külön a Kisoroszi 2. csáposkút vizének vezetőképesség, hőmérséklet és pH értékeire. Ezzel lehet a mintavételezési gyakoriságot becsülni és megállapítani, hogy a naponkénti mintavételezés elegendő-e a vizsgált paraméterek változékonyságának leírására. Az empirikus félvariogram függvények közül a 23. ábra mutat egyet példaként, amiről a függvények viselkedése – azaz folytonossága - leolvasható. Folytonosság megszűnéséről (azaz arról az esetről, ha az adatok nincsenek egymásra hatással) akkor beszélhetünk, ha a félvariogramnak nincs felszálló ága, hanem az félvariogram pontjai egy, a vízszintes tengellyel párhuzamos egyenes környezetében helyezkednek el (Füst, 1997). A kapott félvariogram függvények egyértelműen jelzik, hogy a napi mintavételi gyakoriság megfelelő ahhoz, hogy a vizsgált paraméterek változékonyságát nyomon tudjuk követni, azonban a mintavétel időtartama túl rövid

ahhoz, hogy a rendszer emlékezőképességét, vagyis a minimálisan szükséges mintavételi gyakoriságot becsülni lehessen.



23. ábra A váci Duna-ág pH adatsorából készült empirikus félvariogram függvény

9.2. Oxigénizotópos összetétel a váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. csáposkút vízmintáiban

Mivel a korábbi vízkémiai paraméterek különböző matematikai feldolgozása nem hozott megfelelő eredményeket az elérési időre vonatkozóan, egy olyan módszer alkalmazása került előtérbe, ami a szakirodalmi olvasmányok alapján sokkal érzékenyebb a folyóvíz – parti szűrésű vízbázis közti kapcsolat kutatásában. Ez a módszer a Duna-víz és a vízbázis közötti oxigénizotópos összetételben mutatkozó folyamatos változások vizsgálata (lásd még: 6. fejezet). A 6.2. alfejezetben említettem, hogy a Szentendrei-sziget területén történtek korábban oxigénizotópos összetételre vonatkozó mérések, ám ezek csak egy-egy időpillanatot vizsgáltak (Fórizs et al., 1998). Ezzel ellentétben a Csepel-szigeten két éves mérési esemény már zajlott (Fórizs et al., 1999). Ez a kutatás sikeresen állapította meg egy adott termelőkút és a Duna közt lejátszódó elérési időt. A

váci Duna-ágból és a Kisoroszi 2. csáposkútból vett vízminták oxigénizotópos-összetételének vizsgálatával hasonlóan megfelelő eredmények remélhetők. A Csepel-szigeten folytatott mérések adatai (amelyek hasonló elven működő parti szűrésű rendszert vizsgáltak) azt sejtették, hogy a szentendrei-szigeti vízmintákból elegendő lehet minden harmadik váci Duna-ágból és Kisoroszi 2. csáposkútból származó vízminta elemzése, és csak indokolt esetben lehet szükség a köztes minták vizsgálatára. Ennek megfelelően a következő időpontokból származó Duna-víz és csáposkútvíz mintákat elemeztük: 2008.10.29., 2008.11.01., 2008.11.04., 2008.11.07., 2008.11.10., 2008.11.13., 2008.11.16., 2008.11.19., 2008.11.22., 2008.11.24. (az utolsó két vízminta vétele között két nap volt). A mért oxigénizotóp-arányból számolt $\delta^{18}\text{O}$ értékek a váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. csáposkút vízmintáiban $-10,85$ ‰ és $-10,23$ ‰ között változnak (4. táblázat). A váci Duna-ágban a $\delta^{18}\text{O}$ értékek minimuma $-10,65$ ‰, maximuma $-10,23$ ‰. Ezek átlaga $-10,52$ ‰, a szórás pedig $0,13$ ‰. A Kisoroszi 2. csáposkútban a $\delta^{18}\text{O}$ értékek átlagosan $1-3$ ‰-kal negatívabbak. Minimumuk $-10,85$ ‰, maximumuk $-10,58$ ‰, átlaguk $-10,72$ ‰, szórásuk pedig $0,10$ ‰, ami kicsit kisebb a váci Duna-ág $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek szórásánál ($0,12$ ‰).

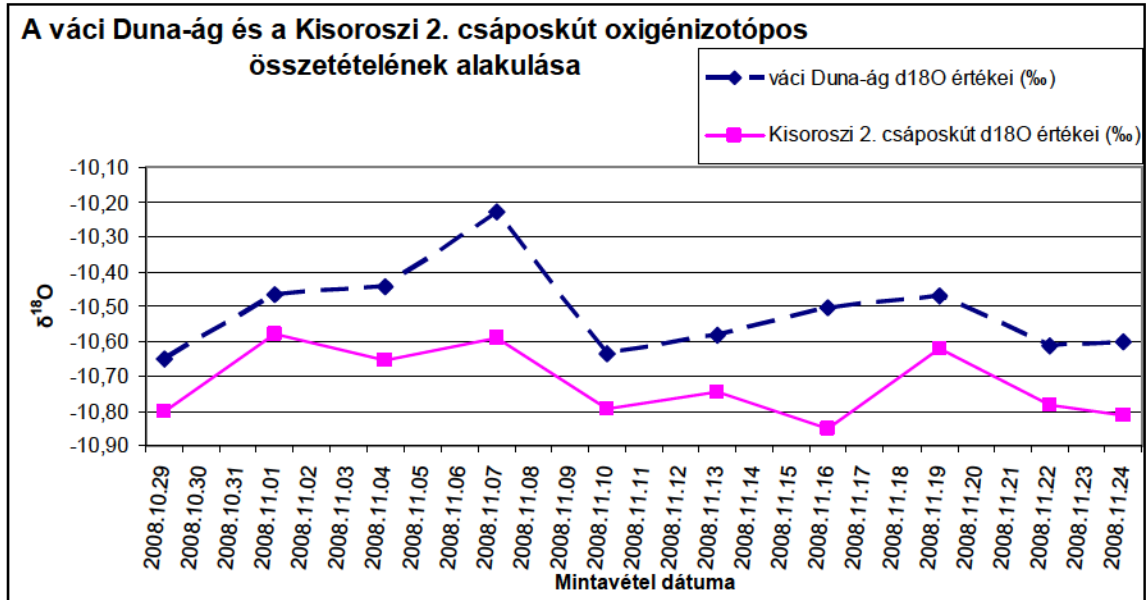
Mintavétel dátuma	váci Duna-ág $\delta^{18}\text{O}$ értékei (‰)	Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ értékei (‰)
2008.10.29	-10,65	-10,80
2008.11.01	-10,47	-10,58
2008.11.04	-10,44	-10,65
2008.11.07	-10,23	-10,59
2008.11.10	-10,64	-10,79
2008.11.13	-10,58	-10,75
2008.11.16	-10,50	-10,85
2008.11.19	-10,47	-10,62
2008.11.22	-10,61	-10,78
2008.11.24	-10,60	-10,81

4. táblázat A váci Duna-ágból és a Kisoroszi 2. csáposkútból különböző időpontokban (lásd: mintavétel dátuma) vett vízminták $\delta^{18}\text{O}$ értékei

Ismert az a tény, hogy a $\delta^{18}\text{O}$ értékek változását elsősorban a vízkörforgás során lejátszódó frakcionáció okozza, ami lehet egyensúlyi vagy kinetikus. A kinetikus frakcionáció következtében négy hidrológiai izotópeffektussal szükséges számolni. Az első a **szélességi hatás**, amely azt eredményezi, hogy az egyenlítőől a sarkok felé

haladva a csapadék izotóposan egyre könnyebb (a delta érték negatívabb) lesz. A második hatás a **magassági hatás**, ami következtében - bár adott szélességen maradunk - tengerszint felett egyre magasabban mérve a csapadék izotóposan egyre könnyebb lesz. A harmadik hatás a **kontinentális hatás**, amely értelmében a kontinensek peremétől azok belseje felé haladva a $\delta^{18}\text{O}$ érték (szintén) negatív irányba változik. Szerepet játszhat továbbá a $\delta^{18}\text{O}$ értékek alakulásában a **hőmérséklet** is, ami évszakonkénti változást eredményez. A csapadék $\delta^{18}\text{O}$ értékei nyáron pozitívabbak, télen negatívabbak (Fette et al., 2005).

A váci Duna-ág oxigénizotópos-összetételét az határozza meg, hogy a vízgyűjtő területének melyik részéről származik elsősorban a Duna-vizet adó csapadék. Tavasszal és a nyár első felében, amikor az Alpok magassági hatás, kontinentális hatás és hőmérsékleti hatás következtében is befolyásolt olvadékvize negatívabb $\delta^{18}\text{O}$ értékű, mint a Magyarország területén hulló, csupán kontinentális hatásnak kitett csapadékvíz, könnyű a Duna vizének oxigénizotópos összetételében mutatkozó változását megfigyelni (Fórizs et al., 1999) A Duna medre felől a víz a földtani közegen keresztül a parti szűrés folyamán a termelőkutakba, illetve a megfigyelőkutakba áramlik és a változás az elérési idő függvényében, vagyis annak alapján, hogy a szivárgás mennyi ideig tart, a kutakban is kimutatható lesz. A $\delta^{18}\text{O}$ értékek nem csak ilyen nagy mértékű természeti eseményekre reagálnak, mint a tavaszi hóolvadás, hanem ennél kisebb környezeti hatásokra is változást mutatnak. Ezt bizonyítják a mérési eredmények is (24. ábra, 4. táblázat), vagyis a váci Duna-ág $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek alakulása, amit a diagramon szaggatott vonal jelöl. A diagram folytonos vonallal a Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ értékei láthatók. A diagram vízszintes tengelyén a mintavétel dátuma van feltüntetve, a függőleges tengelyen pedig a $\delta^{18}\text{O}$ értékek.



24. ábra A váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ -értékeinek változása 2008. 10. 29-e és 2008. 11. 24-e között 10-10 minta oxigénizotópos összetétele alapján.

A váci Duna-ág oxigénizotópos értékeinek változásából arra következtethetünk, hogy a Duna-víz összetételében a mérési periódus első 10 napja során (2008. 10. 29-től 2008. 11. 07-ig) a $\delta^{18}\text{O}$ értékek fokozatosan egyre pozitívabbakká váltak. Ez magyarázható azzal, hogy a Duna víztömegéhez kisebb szélességi fokról és/vagy kisebb magasságból érkező víztömeg adódott. 2008. 11. 07. után a $\delta^{18}\text{O}$ értékek változása megfordul és azok egyre negatívabbakká válnak. Ez bekövetkezhet akkor, ha magasabb szélességi fokról és/vagy nagyobb magasságból érkezik a vízutánpótlás a rendszerbe. Elképzelhető magyarázat az is, hogy hidegebb időszakban hullott a Duna víztömegét képező csapadékvíz, mint a 2008. 10. 01., 2008. 11. 04., illetve a 2008. 11. 07. időpontokban mintázott Duna-víz. 2008. 11. 10-től 2008. 11. 19-ig (bár a mérés első 10 napjának eredményeinél kevésbé meredeken, de) pozitívabbakká válnak a $\delta^{18}\text{O}$ értékek. A mérés utolsó 2 mintáján a tendencia újra megfordul, a 2008. 11. 19-i Duna-víz $\delta^{18}\text{O}$ értékénél negatívabb értékeket kapunk.

A Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ értékeit vizsgálva ugyanazok a trendek figyelhetők meg, mint a váci Duna-ág $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek vizsgálata során. A 2008. 10. 29-i és 2008. 11. 01-i oxigénizotópos összetételek a Duna oxigénizotópos összetételével párhuzamosan haladnak, majd 2008. 11. 04-én nagyon kis mértékben negatívabbá válnak a 2008. 11.01-

i $\delta^{18}\text{O}$ értéknél, azután közel a 2008. 11. 04-i oxigénizotópos összetételt tapasztaljuk. 2008. 11. 10-én a Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ értékei újra negatívabbak lettek, majd 2008. 11. 13-án kissé pozitív irányba mozdultak el. A változás párhuzamos a váci Duna-ág esetén tapasztalt változással. Bár a 2008. 11. 16-i $\delta^{18}\text{O}$ érték a Kisoroszi 2. csáposkútban negatívabb lett, a 2008. 11. 19-i oxigénizotópos összetétel összességében olyan mértékű emelkedését érte el a 2008. 11. 10. és 2008. 11. 19. között tapasztalt változásnak, amely ugyancsak párhuzamosítható a váci Duna-ág $\delta^{18}\text{O}$ értékeinek alakulásával. A Kisoroszi 2. csáposkút 2008. 11. 22-én és 2008. 11. 24-én vett vízmintáinak oxigénizotópos összetétele újra negatívabb $\delta^{18}\text{O}$ értéket eredményez. A váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ értékei jól korrelálnak egymással, a két adatsor közti korrelációs tényező 0,75, annak ellenére, hogy sok esetben a változás mértéke nem haladja meg a mérési bizonytalanságot, de mivel a bemutatott oxigénizotópos adatok egyetlen méréssorból származnak, így csak a műszer statisztikus ingadozásából eredhet bizonytalanság, ami segíti az adatok jobb összevethetőségét.

Az eredmények alapján elmondható, hogy a Duna és a termelőkút közti szivárgás rendkívül gyors és összevethető a mintavételi gyakorisággal, ami jelen esetben a vízminták háromnaponkénti elemzése. A közel 3 napos elérési idő azt jelenti, hogy a vizsgált kút rendkívüli mértékben sérülékeny egy esetleges Duna-víz szennyeződés esetén. Ez az érték szükség esetén tovább pontosítható a köztes minták elemzésével.

Nagymértékben árnyalja a képet, ha összehasonlítjuk a Duna-vízének és a Kisoroszi 2. csáposkútnak átlagos $\delta^{18}\text{O}$ értékeit. A csáposkút $\delta^{18}\text{O}$ értéke 0,2 ‰-kel negatívabb, mint a Duna-vízé. Ha a csáposkút vize teljes mértékben kicserélődne 3 nap alatt, akkor nem lehetne ilyen különbség. Fórizs et al. (2005) kimutatta, hogy a Duna $\delta^{18}\text{O}$ időszora június körül a legnegatívabb, majd fokozatosan egyre pozitívabbá válik egészen a téli időszakig, amikor a felszín befagy. Valószínűleg a csáposkútban azért negatívabb a $\delta^{18}\text{O}$ érték, mert abban korábbi Duna-víz komponens is van. A Duna vize a teljes mederfenéken szivárog be a kavicsos-vízadó rétegbe, majd áramlik a termelőkutat felé. A meder közepén beszivárgott víz valamivel mélyebben és hosszabb ideig áramlik a kút felé, mint a kúthoz közeli meder szélén, így a kútban valójában egy keverék Duna-víz jelentkezik. Mivel a távolabbról áramló vízben a diszperzió miatt a $\delta^{18}\text{O}$ értékben mutatkozó kisebb ingadozások eltűnnek (kisimulnak), ezért a kút vizében mért $\delta^{18}\text{O}$

érték-ingadozás a közeli komponens ingadozásának (Duna-víz), valamint a keveredési arány változásának köszönhető. Pontosabb következtetéseket csak a nyomásviszonyok (Duna vízszint, talajvízszint) időbeli változásának figyelembevételével lehetne hozni.

9.3. A megfigyelőkutak vezetőképesség, hőmérséklet, pH és $\delta^{18}\text{O}$ értékei

Megfigyelőkút szivattyúzására két alkalommal került sor. Először csak a K.74, K.73 és F.12 megfigyelőkutakat szivattyúztuk, majd mintáztuk. A vízmintákból meghatározott oxigénizotópos összetételt a 5. táblázat mutatja.

Mintavétel időpontja: 2008.11.17.	
Mintázott megfigyelőkutak	$\delta^{18}\text{O}$
K.74	-10,66
K.73	-10,48
F.12	-10,67

5. táblázat A 2008. 11. 17-én mintázott megfigyelőkutak (K.74, K.73, F.12) $\delta^{18}\text{O}$ értékei

A megfigyelőkutak mintázása során 2008. 11. 24-én sor került vezetőképesség, hőmérséklet és pH adatok mérésére is, amelyeket a 6. táblázat mutat.

Mintavétel időpontja: 2008.11.24			
Mintázott megfigyelőkút	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	pH
K.74	427	10,6	7,83
K.73	440	15,5	7,72
F.12	557	11,2	7,64
F.11	554	11,4	7,64
F.10	726	12,1	7,39
T.I.55	459	12,9	7,80

6. táblázat A 2008. 11. 24-én mintázott megfigyelőkutak (K.74, K.75, F.12, F.11, F.10 és T.I.55 jelű) vezetőképesség, hőmérséklet és pH adatai

A változó hőmérséklet értékekre valószínűleg a használt szivattyú melegeése lehetett hatással, így a bemutatott adatok értékelésre nem alkalmasak. A vezetőképesség és a pH adatok a térbeli vizsgálatokra szintén fenntartásokkal használhatók fel, ugyanis a megfigyelőkutak egy része több 100 méter távolságban helyezkedik el egymástól

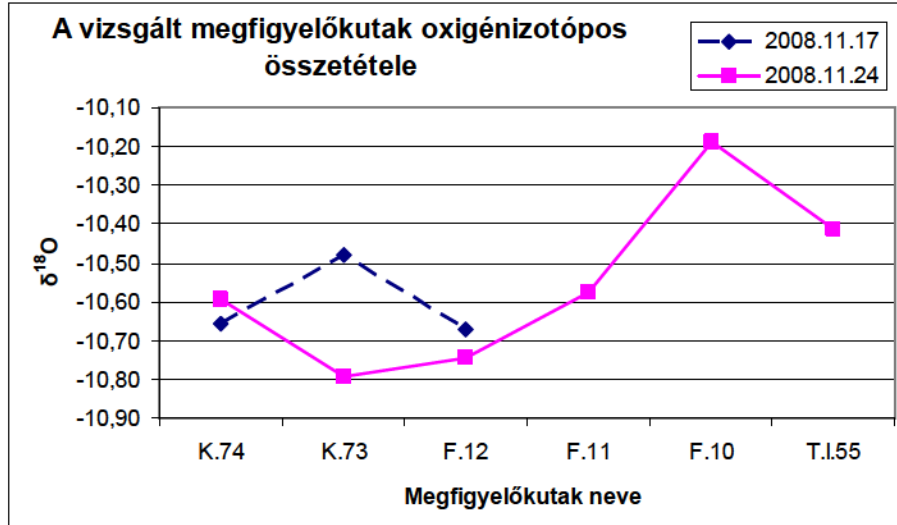
(körülbelül 1,7 km a két szélső – K.74 és T.I.55 – megfigyelőkutak közti távolság), ezért a fizikai paraméterek további vizsgálatával jelen dolgozatban nem foglalkozom.

A mintázás során a vizsgált szelvény minden kútjából vízmintát vettünk oxigénizotópos összetétel meghatározása céljából is (7. táblázat).

Mintavétel időpontja: 2008.11.24.	
<i>Mintázott megfigyelőkutak</i>	$\delta^{18}O$
K.74	-10,60
K.73	-10,79
F.12	-10,75
F.11	-10,58
F.10	-10,19
T.I.55	-10,42

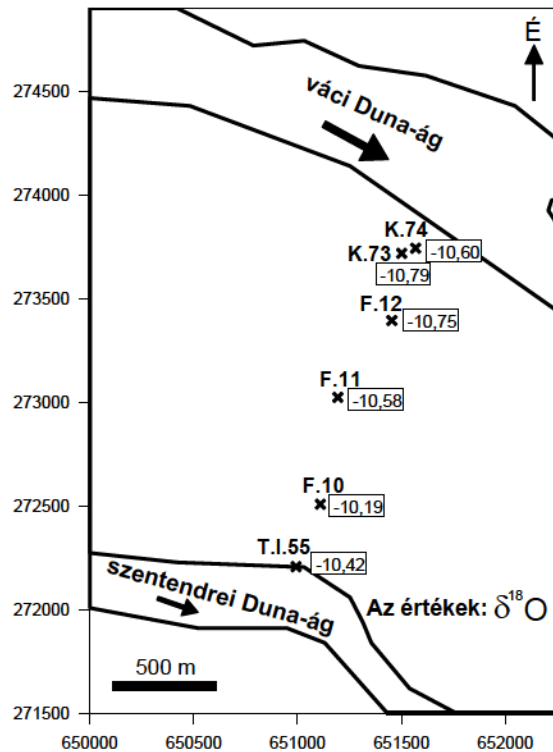
7. táblázat A 2008. 11. 24-én mintázott megfigyelőkutak (K.74, K.73, F.12, F.11, F.10, T.I.55) $\delta^{18}O$ értékei

A két alkalommal mért $\delta^{18}O$ értékek a K.74-es és az F.12-es megfigyelőkutak (9. ábra) esetén egymáshoz nagyon hasonlóak (25. ábra), a K.74-es megfigyelőkút esetén 0,6 %-ban, az F.12-es megfigyelőkút esetén 0,7 %-ban térnek el egymástól. Az F.12-es megfigyelőkút esetén ez a jelenség magyarázható azzal, hogy a hozzá közelebb eső váci Duna-ágtól is mintegy 0,5 km-re található (9. ábra), így az oxigénizotóp-arány változékonyságát a Duna napi változása nem befolyásolja nagy mértékben. Ezért a $\delta^{18}O$ értéke valószínűleg állandóbb, mint például a K.73-as megfigyelőkúté. Ez a kút valamivel több, mint 200 m-re található a váci Duna-ágtól, ami eleve feltételezi azt, hogy a Duna oxigénizotópos összetételének változása kevésbé diffúzan érkezik, így rövid mintavételi gyakorisággal is nagyobb változást lehet kimutatni. E mellett fontos megemlíteni, hogy ez a megfigyelőkút a Kisoroszi 2. csáposkút depressziós tölcserének hatótávolságán belül – a kút központi aknájától ~50 m-re, az 5. csáp elvégződésétől 5-8 m-re (6. ábra) – található. Ugyanez igaz a K.74-es megfigyelőkútra is, ezért inkább a véletlennek köszönhető, hogy a vízmintáinak oxigénizotópos összetétele ennyire hasonló.



25. ábra A mintázott megfigyelőkutak $\delta^{18}\text{O}$ értékei két időpontban vizsgálva (szaggatott vonal: 2008. 11. 17., folytonos vonal: 2008. 11. 24.)

Mivel a második mintevételezés mind a hat megfigyelőkútból történt, ezek $\delta^{18}\text{O}$ értékeit térképen is ábrázoltam, ami jól demonstrálja a korábbiakat (26. ábra).



26. ábra A 2008.11.24-én mintázott megfigyelőkutak $\delta^{18}\text{O}$ értékei

A $\delta^{18}\text{O}$ -értékek segítségével lehetőség nyílt a Duna-víz/csapadékvíz részarányának becslésére az egyes megfigyelőkutakban Deák et al. (1992) módszerét követve. Ehhez ismerni kell a területre hulló csapadék és a Duna átlagos oxigénizotópos összetételét, ami a fent idézett tanulmány tapasztalati képletéből kiszámolható:

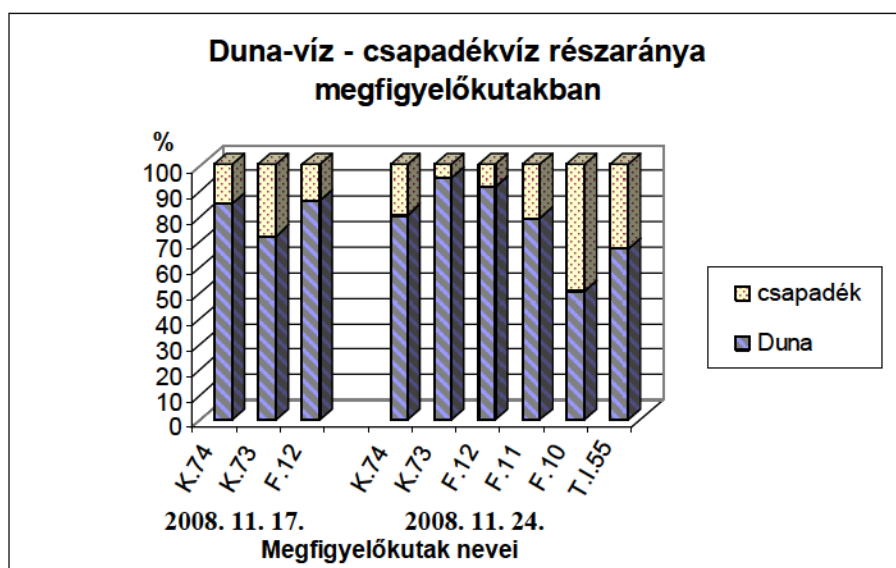
$$R_{Duna} = \frac{(\delta^{18}\text{O})_{kút} - (\delta^{18}\text{O})_{csapadék}}{(\delta^{18}\text{O})_{Duna} - (\delta^{18}\text{O})_{csapadék}} \times 100(\%).$$

Ismert, hogy a csapadék $\delta^{18}\text{O}$ értékei igen nagy évszakos változékonyságot mutathatnak: nyáron pozitívabbak és télen negatívabbak (Fette et al., 2005). Azért lehetséges mégis a csapadék esetén átlaggal számolni, mert a diffúz beszivárgás közben annak évszakos változásai kiegyenlítődnek. Ugyancsak kiegyenlítődnek a Duna vizének negatív és pozitív irányú eltérései is a földtani közegben jelentkező diszperzió miatt (Fórizs I. szóbeli közlése, 2008). Magyarország területén a csapadékvizek súlyozott éves $\delta^{18}\text{O}$ átlaga = $-9,5 \text{ ‰}$ (Deák et al., 1992). A Duna átlagos oxigénizotópos összetételét Fórizs és társai (2005) öt egymást követő évben meghatározták (1998: $\delta^{18}\text{O} = -10,67 \text{ ‰}$; 1999: $\delta^{18}\text{O} = -11,00 \text{ ‰}$; 2000: $\delta^{18}\text{O} = -10,93 \text{ ‰}$; 2001: $\delta^{18}\text{O} = -10,97 \text{ ‰}$; 2002: $\delta^{18}\text{O} = -10,75 \text{ ‰}$), aminek az átlaga ($\delta^{18}\text{O} = -10,86 \text{ ‰}$) használható a becsléshez.

Az eredmények (8. táblázat, 27. ábra) azt mutatják, hogy a megfigyelőkutakban a Duna-víz részaránya 50 és 95 % között változott. A két alkalommal is vizsgált megfigyelőkutak esetén a rövid időn belül mutatkozó változás (7 nap) is jelentős eltérést mutat, ám ez ugyancsak a depressziós tölcser hatásának tudható be (6. ábra), valamint annak, hogy a Dunához nagyon közeli kutak esetében nem áll fenn a diszperzió általi kiegyenlítődés, így ezekben az esetekben a Duna-víz részarányára vonatkozó adatokat csak szigorúan közelítő értéknek szabad venni. Csapadékvíz legnagyobb arányban az F.10-es megfigyelőkútban jelenik meg, aminek okát további vizsgálatok remélhetőleg meg tudják majd magyarázni.

Megfigyelőkutak neve	Duna-víz részaránya %-ban 2008. 11. 17-én	Duna-víz részaránya %-ban 2008. 11. 24-én
K.74	84,78	80,30
K.73	71,88	94,88
F.12	86,00	91,28
F.11	-	78,97
F.10	-	50,40
T.I.55	-	67,09

8. táblázat Duna-víz részaránya %-ban a megfigyelőkutakban a két mintavételi nap szerint oszlopba rendezve Deák et al. (1992) módszere alapján



27. ábra Duna-víz – csapadékvíz részarányának alakulása a megfigyelőkutakban 2008. 11. 17-én (K.74, K.73 és F.12) és 2008. 11. 24-én (K.74, K.73, F.12, F.11, F.10, T.I.55)

Értékes információval szolgál, hogy Fórizs és Deák (1998) korábbi méréseik során az általunk is mintázott F.10-es és F.11-es megfigyelőkutak vízmintáit két alkalommal (1995. május-június és 2005. augusztus-szeptember időszakban), az F.12-es kutat pedig egy alkalommal (2005. augusztus-szeptember időszakban) szintén elemezték. Megállapították, hogy az F.10-es és F.11-es megfigyelőkutak második alkalommal vett mintáinak $\delta^{18}\text{O}$ értékei 0,29 %-kel pozitívabbak voltak, mint először, vagyis a második mintázás ideje alatt több csapadékvizet tartalmaztak a kutak (Fórizs & Deák, 1998). Minden eddigi mérés alapján az F.10-es megfigyelőkút pozitívabb $\delta^{18}\text{O}$ -értékkel volt jellemezhető, mint az F.11-es kút (9. táblázat), vagyis a szentendrei Duna-ághoz

közelebb elhelyezkedő (~400 m) F.10-es megfigyelőkút $\delta^{18}\text{O}$ értékei utalnak kisebb Duna-víz részarányra, míg a szentendrei Duna-ágtól messzebb (~700 m) található F.11-es megfigyelőkútban nagyobb részarányban van jelen Duna-víz, ami nem tekinthető véletlennek, és fontos információként szolgál a már meglévő hidrodinamikai vízáramlási modell pontosításához, végeredményben pedig a biztonságosabb vízszolgáltatáshoz.

$\delta^{18}\text{O}$ értékek adott megfigyelőkutakban	F.12	F.11	F.10
1995. 05-06. hó (Fórizs et al., 1998)	-	-10,90	-10,76
1995. 08-09. hó (Fórizs et al., 1998)	-10,14	-10,63	-10,47
2008. 11. 17	-10,67	-	-
2008. 11. 24	-10,75	-10,58	-10,19

9. táblázat Az F.12, F.11 és F.10-es megfigyelőkutak $\delta^{18}\text{O}$ értékei Fórizs et al. (1998) és saját méréseim alapján

10. Összegzés

A parti szűrésű rendszereket vizsgálva lehetőségünk volt betekinteni egy olyan természetes szűréssel működő vízbeszerzési mód rejtelseibe, amely például Magyarország vízellátásának közel 40 %-át biztosítja.

A Szentendrei-sziget parti szűrésű rendszerének vizsgálata során 32 napon keresztül minden nap alapvető fizikai paraméterek (vezetőképesség, hőmérséklet, pH) meghatározását végeztem a váci Duna-ág és a Kisoroszi 2. víztermelő csáposkút vizéből, illetve minden harmadik napi vízmintának meghatároztam oxigénizotópos összetételét. A vizsgált fizikai paramétereknek alapvető statisztikák segítségével jellemeztem a vizsgált időszakban bekövetkező változásait. A leghasznosabb eredményt – az úgynevezett elérési idő megbecslését - az oxigénizotóp-arányok meghatározása tette lehetővé. Segítségükkel kimérhetővé vált, hogy a vizsgálat tárgyául választott Kisoroszi 2. csáposkút és a váci Duna-ág között csupán 3 nap körüli elérési idővel lehet számolni, ami a rendszer nagy fokú érzékenységét sejteti. Eddigi tevékenységem arra nem tért ki, hogy ez az elérési idő milyen veszélyeztetettséget jelent az vizsgált kútcsoportra, vagy akár nagyobb területekre vonatkozóan. Ennek a kérdésnek megválaszolására további kutatás szükséges.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, **Szabó Csabának** és **Fórizs Istvánnak**. Szabó Csabának köszönöm, hogy végig támogatott, biztatott, szervezett, és a terepen is nagy segítségemre volt. Fórizs Istvánnak köszönöm, hogy bevezetett a parti szűrésű rendszerek oxigénizotópos „rejtelseibe” és segített az izotópok mérésében.

Köszönöm **Apának**, aki a mintavételek nagy részét átvállalta, és minden alkalommal segítségemre volt.

Köszönöm a **Fővárosi Vízművek Zrt.** munkatársainak: *Szabó Dávid Csabának*, aki a mérési tervem elfogadtatásában segített, *Debreczeny Lászlónak*, aki az engedélyeket biztosította, *Papp Szabolcsnak*, aki ötletével és a vízkémiai adatok küldésével támogatta munkámat. Köszönöm néhai *Kontúr Ádámnak*, aki segítségével először foglalkoztam a Szentendrei-sziget parti szűrésű rendszerével, *Davidesz Jánosnak* és *Molnár Zoltánnak*, akik az eddigi hidrogeológiai eredményekbe engedtek bepillantást. Köszönöm a *Vízminőségi és Környezetvédelmi Osztálynak* a vízkémiai elemzéseket.

Köszönöm az *IPAUTINF Egyéni Cégnak* a szivattyú és az aggregátor biztosítását.

Hálás köszönet **Marcinak**, *Anyának* és a *testvéreimnek*, hogy várnak haza.

Köszönöm az LRG-nek, elsősorban a radon szoba lakóinak, hogy új erőt adtak, ha megfáradtam, és szó nélkül kerülgetik az egyre nagyobb területet igénylő vízmintás palackjaimat. Különösen köszönöm Nagy Hedvig Évának, Breitner Dánielnek, Boros Ákosnak és Fazekas Péternek a hasznos beszélgetéseket.

A méréseket a *Fővárosi Vízművek Zrt.* és a *ProRenovanda* „*Diákok a tudományért*” pályázat támogatta.

English summary

Irodalomjegyzék

1. **Caldwell, G. T.** 2006: Presentation of data for factors significant to yield from Several riverbank filtration systems in the U.S. and Europe. **In** *Riverbank Filtration Hydrology, Impacts an System Capacity and Water Quality*. Hubbs, S. A. (ed.), Springer, pp. 299-344.
2. (**Cholnoky J.**: A földfelszíni formák ismerete (Morfológia) – Egyetemi Nyomda, Budapest, 1926. p. 89. **In** Vinkovits S. 1936: Szentendre-sziget földrajza. Bp., 20.p.)
3. **Clark, I. D., Fritz, P.** 1997: Environmental isotopes in hydrology. Lewis Publishers, New York, 328. p.
4. **Császár G.** (szerk.) 1997: Magyarország litosztatigráfiai alapegységei. Táblázatok és rövid leírások. – Basic Lithostatigraphic Units of Hungary. Charts and short descriptions. Budapest, 114 p.
5. **Deák J., Hertelendi E., Süveges M., Barkóczi Zs.** 1992: Partiszűrésű kutak vizének eredete trícium koncentrációjuk és oxigén izotóparányaik felhasználásával. *Hidrológiai Közlöny*, 72. évf. 4. sz., pp. 204-210.
6. **Fette, M., Kipfer, R., Schubert, C. J., Hoehn, E., Wehrli, B.** 2005: Assessing river–groundwater exchange in the regulated Rhone River (Switzerland) using stable isotopes ang geochemical tracers. *Applied Geochemistry*, 20, pp. 701-712.
7. **Fórizs I.** 2008: Izotóp-hidrogeokémia. *Kézirat* (órai jegyzet)
8. **Fórizs, I., Deák, J.** 1998: Origin of bank filtered groundwater resources covering the drinking water demand od Budapest, Hungary. *Application of isotope techniques to investigate groundwater pollution*, IAEA TECDOC-1046, Vienna, pp. 133-165.

9. **Fórizs, I., Berecz, T., Deák, J.** 1999: Origin and quality of bank filtered groundwater near Budapest: an evaluation of isotope data. *Isotope Techniques in Water Resources Development and Management*, IAEA, Vienna, pp. 27-34.
10. **Fórizs I., Berecz T., Molnár Z., Süveges M.** 2005: Origin of shallow groundwater of Csepel Island (south of Budapest, Hungary, River Danube): isotopic and chemical approach. *Hydrological Processes*, 19., pp. 3299-3312.
11. **Füst A.** 1997: Geostatisztika. *Kézirat*, Eötvös Kiadó, Budapest, pp. 119-204.
12. **Homonnai F., Kaszab F.** 2007: Partiszűrésű vizek minőségét befolyásoló környezeti tényezők a Szentendrei-szigeten (Duna, Magyarország). *KKKK jelentés*, Budapest, 6. p.
13. **Kisgyörgy S., Kissné Jáger E., Kiss A., Serfőző A.** 2002: Kisoroszi, Sérülékeny földtani környezetű ivóvízbázis. *Biztonságbahelyezési Terv*, KSZI Kft. – Fővárosi Vízművek Rt. Projektiroda, 68. p.
14. **Ray, C., Melin, G., Linsky, B. R.** 2003: Glossary. **In** *Riverbank Filtration, Improving source-water quality*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 335-353.
15. **Károlyi A., Tolnai B.** 2008: Víz-rajz, 140 éve a főváros szolgálatában. Keskeny Nyomda, p. 115.
16. **Maloszewski, P., Moser, H., Stichler, W., Bertleff, B., Hedin, K.** 1990: Modelling of groundwater pollution by river bank filtration using oxygen-18 data. *Groundwater Monitoring and Management* (Proceeding of the Dresden Symposium, March 1987). IAHS Publ. no. 173., pp. 153-161.
17. **Nagy L.** 1967: A 100 éves Fővárosi Vízművek. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 96. p.
18. **(Papp K.** 1932: Die geologische Karte Ungarns. *Földtani Szemle*, I. 2. melléklet. **In** Vinkovits S. 1936: Szentendre-sziget földrajza. Bp., 20. p.)

19. **Ray, C. and Prommer, H.** 2006: Clogging-induced flow and chemical transport simulation in riverbank filtration system. **In** *Riverbank Filtration Hydrology, Impacts on System Capacity and Water Quality*. Hubbs, S. A. (ed.), Springer, pp. 155-177.
20. **Ray, C., Melin, G., Linsky, B. R.** 2003: Introduction. **In** *Riverbank Filtration, Improving source-water quality*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 1-15.
21. **Ruszkiczay-Rüdiger Zs., Fodor L., Bada G., Leél-Őssy Sz., Horváth E., Dunai T. J.** 2005a: Quantification of Quaternary vertical movements in the central Pannonian Basin: review of chronologic data along the Danube River, Hungary. *Tectonophysics*, 410, pp. 157–172.
22. **Ruszkiczay-Rüdiger Zs., Dunai T. J., Bada G., Fodor L., Horváth E.** 2005b: Middle to late Pleistocene uplift rate of the Hungarian Mountain Range at the Danube Bend, (Pannonian Basin) using in situ produced ^3He . *Tectonophysics*, 410., pp. 173–187.
23. **Schubert, A. H.** 2006: Changes in riverbed hydraulic conductivity and specific capacity at Louisville. **In** *Riverbank Filtration Hydrology, Impacts on System Capacity and Water Quality*. Hubbs, S. A. (ed.), Springer, pp. 199-220.
24. **Stuyfzand, J. P., Juhász-Holterman, H. A. M., De Lange, J. W.** 2006: Riverbank filtration in the Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions. **In** *Riverbank Filtration Hydrology, Impacts on System Capacity and Water Quality*. Hubbs S. A. (ed.), Springer, pp. 119-153.
25. **Szántó Zs., Palcsu L., Futó I., Molnár M., Svingor É.** 2001: A vízbázisvédelem jelentősége, megvalósításának lépései – vízbázis sérülékenység vizsgálati módszerek. *Földrajzi Konferencia*, Szeged, 2001.
26. **Vinkovits S.** 1936: Szentendre-sziget földrajza. Bp., 20. p.

27. **Werner, R. A.**, Brand, W. A. 2001: Referencing strategies and techniques in stable isotope ratio analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 15., pp. 501-519.
28. **White, W. M.** 2005: Chapter 9: Stable Isotope Geochemistry. *Geochemistry*, pp. 358-414.
29. Internetes forrás:
<http://www.edukovizig.hu> → az Észak-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság hivatalos honlapja