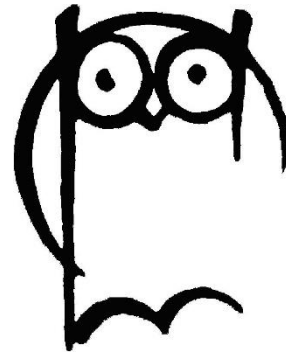


Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



**A használt gyógyvíz elhelyezésének felszíni
befogadókra gyakorolt szezonális vízminőségi
változásainak elemzése egy balneológiai komplexum
példáján**

**Szerző: Miski Zoltán Milán Környezetmérnöki
BSc szakos hallgató**

Témavezető:

Dr. Bodnár Ildikó, főiskolai tanár

Tanszékvezető:

Dr. Kocsis Dénes László, egyetemi docens

Debrecen

2024.

Magyar összefoglaló

Dolgozatomban a lakóhelyem, Berekfürdő területén belüli gyógyvízkezelést, felhasználást elemzem, melynek keretében a Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő által rendelkezésemre bocsájtott vízminőségi jellemzőket hasonlítom össze a saját vizsgálati eredményeimmel. Vizsgálatom célja bemutatni és széleskörű eredményekkel alátámasztani, hogy a használt termálvíz felszíni befogadókba történő elhelyezése, milyen hatást gyakorol a környezetre. A mérési adatokat - a változások összehasonlítása érdekében - évszakos bontásban egy év távlatából vetem össze. Megállapításaim szerint a vizsgált vízfolyás minőségét egyértelműen befolyásolja a használtvíz bevezetés, mely alapján kiemelten fontos a használt gyógyvíz elhelyezésének nyomonkövetése és szükség esetén a megfelelő műszaki beavatkozás.

English abstract

Utilization and treatment of medicinal water originated my place of residence, Berekfürdő was analyzed in my study, comparing the water quality characteristics provided by the Berekfürdő Thermal Spa with my own measurements results. The aim of my research is to demonstrate and substantiate with extensive results the used thermal water impact on surface receivers. The results are analysed both on a yearly and seasonal basis to compare the water quality changes. My findings showed that the quality of the related watercourses is affected by used thermal water discharge, which suggests the importance of regular monitoring and adventitious technical intervention.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1. Szakirodalmi és jogszabályi háttér	5
1.1 A termálvíz, mint geotermikus energia	5
1.2 A termálvizek létrejötte és felszínre jutása	6
1.3 A térség földrajzi és vízföldtani bemutatása	8
1.3.1 Földrajzi adatok	8
1.3.2 Vízföldtani adatok	9
1.4 A hévíz kitermelés jogi szabályozása	11
1.4.1 Vízminősítési tulajdonságok áttekintése	12
1.5 A használt termálvíz elhelyezésének környezetvédelmi kérdései	13
1.5.1 A termálvíz felszíni befogadóba való elhelyezése	13
1.5.2 Visszasajtolás a vízáadó rétegbe	14
1.5.3 A termálvíz elhelyezésének jogszabályi háttere	15
2. Anyag és módszer	17
2.1 A vizsgált felszíni vízfolyások bemutatása	17
2.2 Vízmintavétel, mérési módszerek bemutatása	19
2.2.1 Szabályos vízmintavétel, mintatárolás, előkészítés	19
2.2.2 Mintavételi pontok	19
2.3 Mérési módszerek, mérőeszközök ismertetése	21
3. Eredmények és értékelésük	30
3.1 A Strandfürdő termálkút adatainak értékelése	30
3.2 Terepi mérési eredmények	31
3.3 Laboratóriumi vizsgálati eredmények	34
3.3.1 Általános vízminőségi jellemzők értékelése	34
3.3.2 Ionkromatográfiás elemzések értékelése	36
3.3.3 Elemanalitikai vizsgálatok	41
3.4 Következtetések, javaslatok	43
4. Összefoglalás	45
Köszönetnyilvánítás	46
Irodalomjegyzék	47
Mellékletek	49

BEVEZETÉS

Földünkön az élet egyik alapvető feltétele a víz. Ezen természeti kincs létszükségletünk, azonban világszerte számtalan területen problémát okoz a vízkészletek korlátozottsága. Magyarország abban a szerencsés helyzetben van, hogy értékes geológiai adottságokkal rendelkezik, melyek között a termálvízkészlet világviszonylatban is kimagaslónak számít [1]. Napjainkban a fosszilis tüzelőanyagok kiváltására, olyan regeneratív energiaforrások alkalmasak, mint például a napenergia, vízenergia, szélenergia, a tengerek mozgási energiája, a biomasszában tárolt energia, a bolygók vonzásából adódó gravitációs ár-apály energia és többek között a Föld hőjéből nyerhető geotermikus energia. Ez utóbbi megújuló energiaforrást kellő odafigyeléssel és széleskörű műszaki megoldásokkal felhasználhatunk mind ivóvízfogyasztási, mind balneológiai, energetikai, valamint mezőgazdasági célokra egyaránt. Hazánkban a gyógyászati, balneológiai törekvések a XIX. században kezdődtek a kapcsolódó kutak fúrásával, illetve fürdők létesítésével. A turizmus fellendítésén felül, azonban számos megválaszolatlan kérdés merül fel, miszerint az elhasznált termálvizek élővízbe történő elhelyezése szennyezheti a környezeti ökoszisztémát, a végeláthatatlan kitermelés csökkentheti a felszín alatti vízkészletünket, továbbá a magas hőmérsékletből származó energiát is elpazarolhatjuk [1].

Kutatásom célja a termálvízhasznosítás jelentőségének általános bemutatása, az érvényben lévő jogszabályok, illetve a határértékek áttekintésével pedig a használt gyógyvíz környezetre gyakorolt hatásának vizsgálata. Ismertetem lakóhelyem, Berekfürdő területén a termálvíz felhasználását, illetve széleskörű vizsgálati adatokkal célozom elemezni azt, hogy a felszíni befogadóba helyezett használt gyógyvíz, milyen hatással van a befogadó vízfolyás vízminőségére. A vizsgálati terület a Berekfürdőn található ún. ülepítő-tó, valamint az I-es és II-es számú tározó. A befogadó vízfolyás a Német-éri főcsatorna, onnan a csatorna vize a Hortobágy-Berettyó főcsatornába jut. A kiértékelésben a Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő által szolgáltatott vízminőségi adatokat a saját helyszíni és laboratóriumi mérési eredményeimmal, ill. a kapcsolódó vízminőségi határértékekkel vetem össze, ezáltal a vizsgált minták alapján tanulmányozom a potenciális környezetkárosító hatásokat és ezek megoldási lehetőségeire is javaslatokat teszek.

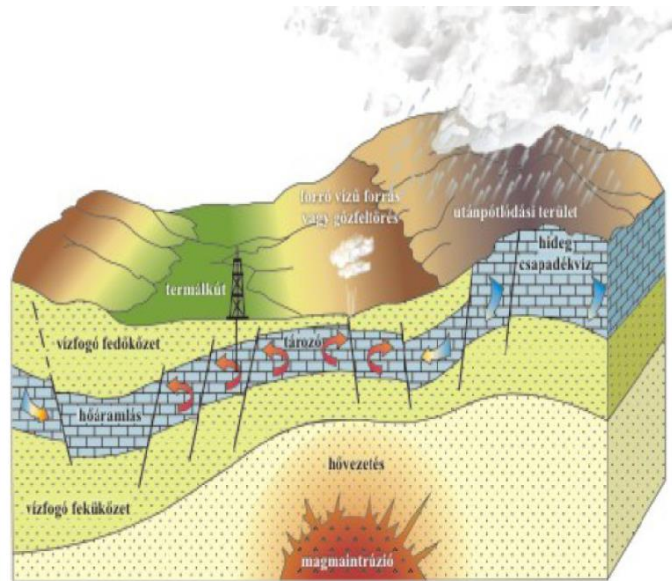
1. SZAKIRODALMI ÉS JOGSZABÁLYI HÁTTÉR

1.1 A termálvíz, mint geotermikus energia

A geotermikus energia a Föld belsejéből származó hőt jelenti. Pontosabb megfogalmazásban azon hőmennyiség többletet értjük ez alatt, amit a földtani képződmények a felszíni átlaghőmérséklethez képest a magasabb hőmérsékletük következtében tárolnak. A felszín felé áramló hő mennyiségét a geotermikus gradiens és a különböző kőzetek hővezetőképessége befolyásolja. A geotermikus gradiens kifejezi, hogy a mélység függvényében miként változik a hőmérséklet. A Földön az átlagos geotermikus gradiens érték 100 méterenként 3 °C. Érdekes kitérni még egy fontos paraméterre, a hőfluxusra, ami kifejezi, hogy adott idő alatt mennyi hő áramlik át egy egységnyi felületen. Ez a Földön átlagosan 0,06 W/m². Egyik helyről a másik helyre háromféleképpen juthat át a hő. Az első lehetőség a kondukció (hővezetés), a második a hőkonvekció (hőáramlás) és végül a harmadik a radiáció (hősugárzás) [2].

A Föld belsejéből a felszín felé érkező hőmennyiség átlagosan évi 10²⁰ J. A középpontban a hőmérséklet körülbelül 7000 °C, amely köszönhető annak, hogy 4600 millió évvel ezelőtt a Föld anyagának kondenzálódása idején a belső részek hamar felmelegedtek, ennek következtében a sűrűsödő anyagok kinetikus energiája hőenergiává alakult. A másik alternatíva, hogy hosszú bomlási idejű radioaktív izotópok találhatóak a Föld beljében, például a ²³²tórium, a ²³⁸uránium és a ⁴⁰kálium. Az izotópok bomlásának eredményeképp hő szabadul fel, mely becslések szerint évente 5 x 10²⁰ J, viszont ezen bomlások mértéke fokozatosan csökken a felezési időnek köszönhetően. A keletkezett hő a felszín alatti kőzeteket, illetve a kőzetekben tárolt pórusvizeket hővezetés révén felmelegíti és az így kapott vizeket *hévizeknek* vagy *termálvíznek* nevezzük. A Föld felszín egy adott pontján minél több a pórusokban tárolt víz mennyisége és minél vékonyabb a földkéreg, annál gazdagabb a terület geotermikus energiában [3].

„Geológiai értelemben hévíznek minősül minden olyan víz, amelynek hőmérséklete meghaladja az adott területre jellemző évi középhőmérsékletet. Balneológiai értelemben viszont csak a 20 °C-nál magasabb hőmérsékletű vizeket nevezik hévíznek” [4].



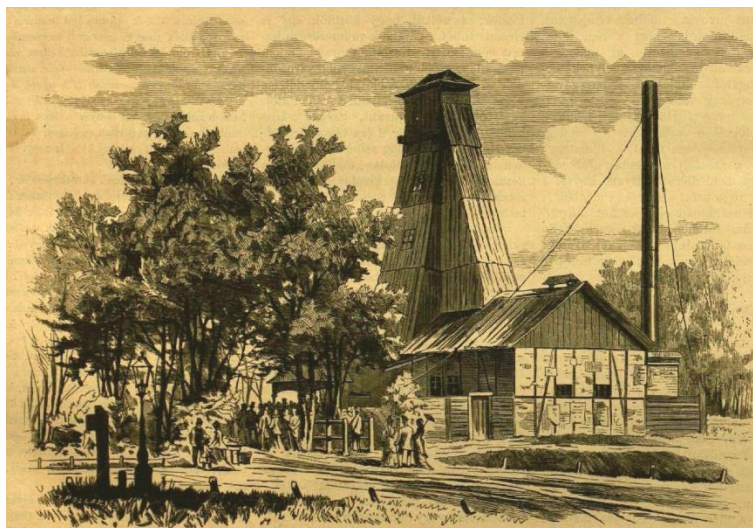
1. ábra
Folyadék alapú geotermikus rendszer elve [3] [5]

1.2 A termálvizek létrejötte és felszínre jutása

Magyarországon az első feljegyzett hévízhasznosítás a római korra tehető. Krisztus idejében Aquincum, a Pannóniai provincia fővárosa lett (mai III. kerület), ahol 14 padlófűtési fürdő létesült a polgárok, illetve katonák igényeinek kiszolgálására. A középkorban malmok üzemeltetésére alkalmazták a hévízforrások vizét, az egyenletes hozamuknak köszönhetően [2]. 1178-ban Nyugat-Európában a fürdőzés háttérbe került, ezzel ellentétben a Máltai lovagok a mai Császár-fürdő helyén már fürdőt építettek. A török időkben, amikor a városok helyzete lepusztult volt, már kilenc fürdő működött Budán felújított állapotban. Ezen fürdők a törökök kiűzését követően elhanyagolódtak [2].

A fürdőzés történetében a következő fellendülés a kiegyezés korára esik. A XIX. század elején az Alföldön rájöttek arra, hogy a kis mélységű ásott kutak vize rossz, egészségtelen és próbálták a mélyebben lévő kőzetek vizét megkapni, azonban ez technológiailag nem volt a legegyszerűbb. 1830-ban az Orczy-féle ház udvarán fúrtak le először 208,56 méter mélyséig, azonban a fúró beletört. A hatvanas években Debrecenben, Nyíregyházán, Szatmáron, Hódmezővásárhelyen is próbálkoztak, azonban sikertelenül. Az áttörést Zsigmondy Vilmos bányamérnök sikerei jelentették, aki az artézi kutak fúrásában játszott fontos szerepet. 1866-ban a harkányi, 70-ben a lipiki, 75-ben a ránkherlányi meleg forrásokat szolgáltatva. Legkiemelkedőbb alkotása a budapesti városligeti artézi kút 970,40 méter mély fúrása volt, amiből 73,9 °C hőmérsékletű víz került a felszínre 1 197 700 liter napi vízhozammal (2. ábra). Ebben az időszakban kimagaslónak számító fúrást követően megkezdődtek az Alföldön is a

kísérletek. 1878-79-ben a püspökladányi pályaudvaron az első nagyszabású 209,51 méter mélységű kút került kialakításra, Hódmezővásárhelyen pedig létrejött az első nyilvános használatra szánt 197,48 méter mély artézi kút [6].



2. ábra
A városligeti artézi kútház [7]

Magyarország jelentős része szerkezetileg a Pannon medencéhez köthető, ahol nagy gyakorisággal találhatunk különböző ásványianyag összetételű termálvizeket. Ez annak köszönhető, hogy a Kárpát medence alatti földkéreg a köpenyben lezajló mélyáramlatok hatására elvékonyodott, aminek eredményeképp a forró köpeny közelebb helyezkedik el a felszínhez, így a mélységi vizek hamarabb felmelegednek. A magas hőmérséklet, nyomás és a felhajtóerők hatására pedig a felszínre törhetnek [6].

A felszínre jutás megtörténhet artézi kutak alkalmazásával. Ez esetben a vízréteg felett lévő át nem eresztő kőzetet fentről lefelé haladva átfúrjuk, ennek hatására a víz a fúrólukban magasabban fog megállni, mint amilyen magasan van a víztartó kőzet alsó határrétege. Esetenként a víz a felszínre emelkedik. Az artézi kút elnevezés a francia Artois kerület nevéből származik, ugyanis a térségben található Lillers városában a karthausi kolostorban ástak Európában először ilyen kutat 1126-ban. Az olyan artézi kutat, melynek vize magától a felszínre jut pozitív artézi kútnak nevezzük, ellenkező esetben, ahol a víz nem száll fel a felszínig a nyomás elégtelenség következtében negatív artézi kútról beszélünk [6].

Más esete a termálvíz felszínre jutásának a felszálló (aszzendens) vetőforrások képében jöhet létre. A források vize a gázok és a nyomás hatására a vetődési felület mentén, olykor hasadékokon keresztül a felszálló áramlatoknak köszönhetően a felszínre kerülnek [6].

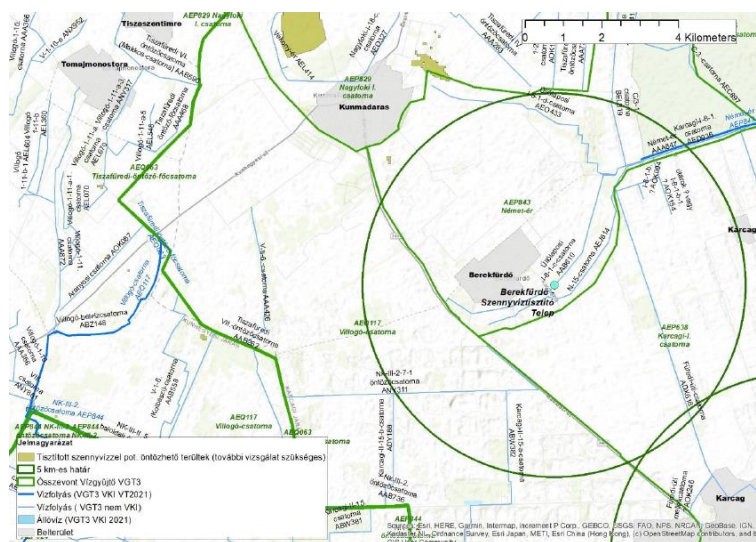
A harmadik felszínre jutási lehetőség a szakaszos működésű szökőforrások. Az időszakosan feltörő szökőkutak a vulkáni tevékenységből származó gázoknak vagy gőzöknek köszönhetik

meglétüket. Megkülönböztetünk forró és hideg szökőforrásokat. A forró szökőforrások ismertebb nevén gejzírek az izlandiak elnevezéséből származik. Manapság három olyan vulkáni terület van, ahol több gejzír is működik, nevezetesen Izlandon, Amerikában a Yellowstone Nemzeti Parkban és Új-Zéland északi szigetén. Magyarországon a harmadidőben voltak megfigyelhetők gejzírek a Börzsönyben, Tokaj és Tihany környékén, valamint Gyöngyöspata térségében [6].

1.3 A térség földrajzi és vízföldtani bemutatása

1.3.1 Földrajzi adatok

Berekfürdő az Alföld nagytájegységen belül, a Hortobágy és Nagykunság középtáj határán, a Tiszafüred-Kunhegyesi sík kistájon terül el. A szomszédos települések Karcag, illetve Kunmadaras. Tengerszint feletti magassága 86-91 méter, Dél-Nyugat irányban enyhén lejt. Letarolt futóhomok hátak, kunhalmok, elhagyatott folyómedrek, morotvák, folyóhátak emelkednek ki a felszínből. A belterület dél felől régi folyómeder [8].



3. ábra
Berekfürdő földrajzi elhelyezkedése [9]

Az előforduló talajfőlésegeket tekintve változatos, megtalálhatóak réti szolonyecek, alföldi mészlepedékes és réti csernozjomok, sztyeppesedő réti szolonyecek. Továbbá a talajtípust tekintve a településtől 5 kilométeren belül északra alapvetően agyagos vályog, délre vályog. A település szélén található szennyvíztisztító telep az Országos Ökológiai Hálózat magterületén (3354MT) helyezkedik el. Keleti irányban 5 kilométeren belül kiterjedt pufferterületek húzódnak. Berekfürdő 10 kilométeres körzetében kelet felől kiterjedt Natura

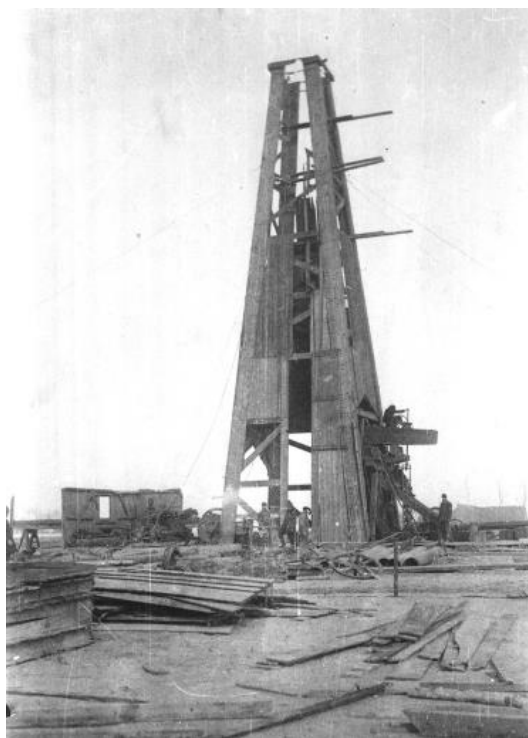
2000-es, Ramsari és természetvédelmi területek húzódnak. A község 2013 óta kijelölt nitrátérzékeny területen fekszik, ami kiterjed 5 kilométeren belül minden irányban. A lakosságszám 50 százalékkal nőtt az elmúlt 10 évben és továbbra is meredeken növekvő tendenciát mutat [8] [9].

1.3.2 Vízföldtani adatok

A vizsgált terület vízföldtani adottságai különböző ösvízrajzi folyamatok révén alakultak ki. Jelentős az üledék-kőzettani különbségek körzetenként. Származó a Paleogén-medence délföldi és jászági fiókmedencéi viszonylagos közelségének szerepe. A fejlődéstörténet során a Pannon bel-tó fokozatos feltöltődése során a mélyvíztől a sekélyvízen át a part menti környezetig, majd a termál porózus víztest felső részén, valamint a porózus víztestekben folyóvízi környezetben folyt az üledékképződés [10].

A felső-pannon elejétől az ősz Sajó-Hernád folyópáros durvahomokos, kavicsos hordalékkúpja terítette be Tiszafüred–Karcag közötti részt olyan energiával, hogy a durvahomok sávok még Kunhegyes, Kisújszállás és Túrkeve amúgy zömme agyagos rétegsoraiban is kimutathatók. Ez bizonyítja, hogy kis távolságon belül is jelentősek a kőzettani eltérések: Tiszaörs–Berekfürdő között 770-840 méternél nem fekszik mélyebben a pannon fekvőszint, azonban a körülbelül 400 méter vastag üledéktömeg jelentős része öt-tíz méter vastag kavicsos rétegekből áll, melyek kiváló vízáadó képességgel rendelkeznek. A mélyre ható törésszereknek köszönhetően a termálvizek gázossága, oldott anyag tartalma magas, gyógyhatását számos fürdő kihasználja [10].

Dr. Pávai Vajna Ferenc főgeológus 1925-ben Hajdúszoboszlón történő sikeres fúrásait követően (eredetileg szénhidrogén keresési célból) felbuzdultak a karcagi városatyák. 1926-ban Csontos Imre országgyűlési képviselő és Hajnal István polgármester felkeresték a geológust, aki arra kérte a megkeresőit, hogy forduljanak a miniszterhez, hogy hivatalból elindulhassanak a földtani vizsgálatok. Pávai Vajna megkapta a kiküldetést rövid időn belül Karcagra. A Tatárülési állomás melletti Üllőlapos határrészen egy nagy homokbányára talált, amely biztatóbb eredményeket mutatott a hajdúszoboszlói Bánomkertben feltárt összletekhez képest. A geológus olyan jónak találta az adatokat, hogy kitűzte a fúrási pontot. 1927 nyarán megkezdődtek a munkálatok. A kezdeti nehézségeket követően, 1928. január 24-én hatalmas erupcióval feltört a gázzal elegyedett forró víz (K-70), amely leszakította a fúrótorny tetejét is (4. ábra) [11].



4. ábra
Leszakadt fúrótorony a kitörés után [11]

A sikert követően megkezdődtek a komplex módon történő felhasználások. Például fürdő létesült (napjainkban a Berekfürdői Gyógy-és Strandfürdő), 1938-ban a kísérőgázként jelenlévő metánra üveggyár épült [11].

Jelenleg öt termálvizes kút üzemel, melyből négy a strandfürdőt látja el (1. táblázat), egy pedig egy magánkertészetet. 1930-ban az első fúrástól 200 méterre nyugati irányban feltárássra került a második hévízes kút (K-68). Közel 50 évvel később 1978-ban létesült a vízmű telepen a harmadik kút, ami a K-173 jelet kapta. 2002-ben a kertészeti telep hévízellátására készült a K-190 jelű 851 méter talpmélységű kút, amire a kutatásom később nem terjed ki. A fürdő IV. számú termálkútját 2005-ben fúrták (B-192) [12].

Az I-es számú és II-es hévízkutak gyógyvízzé nyilvánítása 654/Gyf 1974-ben, míg a IV-es számú hévízkúté 56-4/Gyf 2009-ben történt [13].

A kutak területi elhelyezkedését az 1. melléklet demonstrálja.

1. táblázat
A Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő termálvíz kútjainak jellemző adatai [13] [14] [15] [16]

Helység és megnevezés pontos cím	Kataszteri száma	Fúrás é	Talpmélység [m]	Szűrőzés [m]	Kifolyóvíz hőmérséklete [°C]	Talpmérsékl et [°C]	Létesítéskori vízhozam [l/p]
Berekfürdő Üveggyár I. számú hévízkút	K-70	1928	1186,5	533,0-626,0 768,0-804,0 959,0-978,0 1014,0-1037,0 1055,0-1071,0 1160,0-1182,0	55,0	60,3	900
Berekfürdő 508 hrsz. II. számú hévízkút	K-68	1937	801,7	598,3-650,3 755,3-801,7	54,6	59,0	340
Berekfürdő Vízműtelep III. számú hévízkút	K-173	1978	575,0	518,0-528,0 543,0-548,0 552,0-561,0	42,5	46,2	1860
Berekfürdő Strandfürdő IV. számú hévízkút	B-192	2005	797,0	628,4-638,6 650,6-672,1 701,9-707,8 749,4-755,4 779,2-785,1	49,5	51,0	800 Szivattyúval 1100

1.4 A hévíz kitermelés jogi szabályozása

Elmondható, hogy a hévizek felhasználása széleskörben elterjedt, ezáltal a hévízgazdálkodást érintő törvények, jogszabályok, rendeletek is sokrétűek. A következőkben az ehhez kapcsolódó szabályozásokat szeretném ismertetni [3].

Az 1995. LVII. a vízgazdálkodásról szóló törvény alapján: „15. § a felszíni vizeket – az e törvényben foglaltak figyelembevételével – csak olyan mértékben szabad igénybe venni, hogy a vízkivétel és az utánpótlás egyensúlya minőségi károkozás nélkül megmaradjon...” Az utóbbi, valamint az 1993. évi XLVIII. Bányászatról és az 1995. LVII. a vízgazdálkodásról szóló törvény szabályozza a termálvíz kitermelését. Definiálja az engedélyeztetés menetét, valamint a különféle járulékok és bírságok mértékét [3].

A termálvíz kitermelése során felmerül a kockázata a felszín alatti víz szennyeződésének. Ezen okból megszületett a 10/2000. (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet, amely a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről szól [3].

A termálvizekre környezetvédelmi és vízügyi jogszabályok is vonatkoznak. A felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról szóló 33/2000. (II. 17.) Kormányrendelet tiltja a kockázatos anyagok közvetlen bevezetését a felszín alatti vízbe, ugyanakkor kivétellel illeti a geotermikus célokra használt hévizek visszajuttatását ugyanazon

vagy azonos célra használt rétegbe, ha bizonyított, hogy nem okoz szennyezettség növekedést a visszasajtoló víz. A rendelet ezzel biztosítja a hévíz-visszatáplálás lehetőségét [3].

A 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet a környezeti hatásvizsgálatról hatásvizsgálat köteles tevékenységek listájában külön tételként sorolja fel az alábbiakat [3]:

- a 2000 m³-nél nagyobb napi termál rétegvíz, valamint
- 1000 m³-nél nagyobb napi termál-karsztvíz kivételt, illetve
- a felszín alatti vízbe való visszasajtolást
- a geotermikus erőmű létesítését [3].

1.4.1 Vízhatalmítási tulajdonságok áttekintése

Ahhoz, hogy a vizek minőségét széleskörűen összegezni tudjuk, meg kell vizsgálnunk fizikai, biológiai, kémiai, radiológiai és mikrobiológiai tulajdonságaikat [3].

Ezek a tulajdonságok átfogóan jellemzik az elemzett vizeket, melyek megállapításához a kapcsolódó mérés-technikai megoldások lehetnek terepi vagy laboratóriumi vizsgálatok, illetve azok irányulhatnak specifikus és nem specifikus vízminőségi jellemzők meghatározására.

Fizikai minősítés során vizsgálandó tulajdonságok:

- szín, szag, íz
- áttetszőség
- lebegőanyag szemcse méret szerinti eloszlása
- összes lebegőanyag-tartalom
- hőmérséklet-hőháztartás [3].

Biológiai minősítés során vizsgálandó tulajdonságok:

- toxicitás: természetes eredetű mérgezőanyag tartalom
- trofítás: vízben fellelhető szervezetek elsődleges szerves anyag termelésének mértéke
- halobitás: szerves kémiai tulajdonságok összessége
- szaprobitás: heterotróf mikroorganizmusok szerves anyag lebontásának mértéke [3].

Kémiai minősítés során vizsgálandó tulajdonságok:

- pH
- vezetőképesség
- lúgosság
- oldott és koloidos szerves anyag tartalom
- oldott sótartalom
- keménység [3].

Mikrobiológiai minősítés során vizsgálandó tulajdonságok:

- vírusok, paraziták, baktériumok tenyésztésének elemzése [3].

1.5 A használt termálvíz elhelyezésének környezetvédelmi kérdései**1.5.1 A termálvíz felszíni befogadóba való elhelyezése**

A rohamosan fejlődő turisztikai központok, a pihenni, gyógyulni vágyó igényeket kielégítő fürdőkomplexumok időről-időre nagyobb befogadóképességet kell ellássanak. Ez azt eredményezi, hogy újabb medencéket kell kialakítani, ami nagyobb vízigényt igényel. Ezzel ekvivalens az a tény, hogy az elhelyezni kívánt használt vízmennyiség is megnő. Az elhasznált termálvizek elhelyezésére a legrégebb idő óta használt megoldás a felszíni vízfolyásokba való elvezetés a lehető legrövidebb úton. Legtöbb esetben ezen használt hévizek a magas sótalanítási, tisztítási költségek miatt kezeletlenül kerülnek az élővízbe. Ilyen esetben elhelyezés előtt mérlegelni kell az élővíz fizikai, kémiai, biológiai összetételét, esetenként a vízkezelés, hűtés módját [1] [17].

Szükséges módszerek például:

- metánmentesítés
- vas- és mangántalanítás
- pH beállítás
- hőfoktól függően hűtés
- lágyítás stb. [1]

A termálvizek magas hőtartalmának következtében a felszíni vizekben a természetes rend felborulhat, beleértve ebbe a társulás szerkezetet, az építő-lebontó folyamatokat, oxigénháztartást. Továbbá felgyorsulhat a szerves anyag képződés, ami által a vízinövények elburjánzanak, a feliszaposodás felgyorsulhat. Az élő vízfolyás biológiai egyensúlyának megtartása érdekében szükséges, hogy az aerob biokémiai folyamatok végbe menjenek, ehhez

nélkülözhetetlen a vizekben a megfelelő mennyiségű oldott oxigén tartalom. Ezt az élővízbe elhelyezés előtt oxigén dúsítással, vagy az érintett vízben levegőztetők működtetésével lehet megoldani [1] [3].

Befolyásoló tényező lehet a magnézium, kalcium, nátrium ionok, klorid, szulfát és hidrogén-karbonát formái által alkotott magas sótartalom, ami szikesedést okozhat. A magas ammónium-ion tartalom halpusztuláshoz, a fenolszármazékok a halak ízének megváltozásához vezethet [3]. További problémát okozhat a használt vizeket tisztító és forgató berendezések nem megfelelő állapota. Például a homokszűrés alkalmazásánál két berendezést kell egyszerre alkalmazni, melynél az egyik berendezés tisztítja a vizet, a másik visszamosással regenerálja a szűrőt. A szűrőberendezés homoktöltetein megtapadhatnak különböző szennyező anyagok (zsír, napolaj), amiket a visszamosással nem, vagy csak nagyon kis mértékben lehet eltávolítani. Ezen szennyezők meleg vízzel találkozva jó környezetet teremtenek a fertőző organizmusok számára [3].

1.5.2 Visszasajtolás a vízádó rétegbe

A másik használtvíz elhelyezési megoldás a vízádó rétegbe való visszajuttatás. Ez a módszer költségesebb beruházásokkal jár, azonban bizonyos szempontból különböző előnyökhöz vezethet. Például a vízkészlettel való takarékoság, a magas sótartalmú termásvizek a felszíni befogadókra káros hatással vannak, a hévíztárolók nagy része rossz utánpótlódású, így a rétegnyomás lecsökken [1].

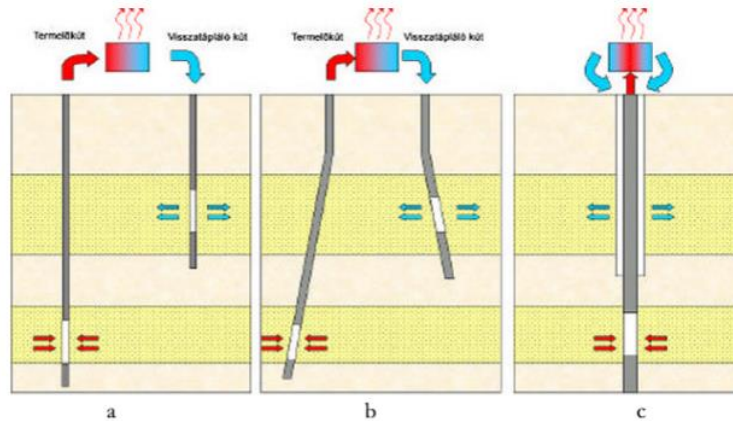
A visszasajtolásra kerülő termásvíz:

- közel azonos minőségű legyen a fogadó rétegben található víz minőségével,
- lebegőanyag tartalma nem haladhatja meg az 1 milligramm/litert,
- bakteriológiai és biológiai szennyeződések nem tartalmazhat,
- ill. legtöbb esetben gáztalanításon esik át, amely szintén befolyásolja az összetételét [1].

Balneológiai felhasználás esetén, csak akkor kerülhet sor visszatáplálásra, ha minden közegészségügyi, környezetvédelmi előírásnak megfelel. Magyarországon manapság több rendszer is üzemel. Üzemszerűen működő geotermikus közműrendszer található 1998. óta pl. Hódmezővásárhelyen, ami a megfelelő kivitelezésnek köszönhetően pozitív eredménnyel szolgál [1].

Visszasajtoló kutak közül 4 típust különböztetünk meg:

- Egy helyről indított
- Két helyről indított, egy távolabb lévő termelő kúttal
- Egy termelő és egy nyelő kúttal
- Koncentrikus kutak [1]



5. ábra
Visszasajtoló hévíz kutak fajtái [1]

Az (5. ábra) szemlélteti, hogy az „a” és „b” esetben ugyanabba a rétegbe is történhet visszajuttatás, míg a „c” esetben a kitermelést és a visszajuttatást is ugyanazon kút látja el [1].

1.5.3 A termálvíz elhelyezésének jogszabályi háttere

Az 1995. évi LIII. a környezet védelmének általános szabályairól és az 1995. évi LII. a vízgazdálkodásról szóló törvény a termálvíz hasznosítást gyógyászati célú -, termálfürdőkbe való -, energetikai célú felhasználási csoportokba sorolja. A törvény ezeknél eltérő határértékeket határoz meg [3]:

„Az első csoportnál a szennyezőanyag kibocsátást nem kötik szigorú feltételekhez. Itt figyelembe veszik a gazdasági és egészségügyi előnyöket és a szabályokat ennek rendelik alá. A második csoportra vonatkozó szabályozás már szigorúbb, mert a gyógyászati célnál kisebb prioritást élvez (bár nem elhanyagolható). A harmadik csoportba sorolt energetikai célú felhasználás során a termálvíznek csak a hőjét hasznosítják, így a használat során szennyező anyag nem juthat a vízbe, kémiai, biológiai összetétele nem változik, így a most hatályos jogi szabályozás előírja a víz visszasajtolását, vízáadó rétegébe” [3].

„A 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól szól. Ez a rendelet azon létesítményekre vonatkozik, amelyek, működésükből kifolyólag közcatornába szennyvizet bocsátanak (így a termálvizet hasznosító intézményekre is kötelező

érvényű). E rendelet meghatározza, az engedélyeztetés folyamatát. Előírja, hogy az önellenőrzési terv keretein belül időszakosan vizsgálni kell a létesítmény által kibocsátott szennyvíz összetételét. A mérési eredményeket a kibocsátási határértékekkel kell összevetni (a határértéket a Vízügyi Hatóság szabta meg). Valamint rögzíti a rendelet be nem tartása esetén kiróható bírságokat és egyéb jogkövetkezményeket. A termálvíz hasznosítása során kibocsátott szennyvízre vonatkozó határértékeket a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet szabályozza (A vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól)” [3].

Víz Keretirányelv és Vízyűjtő-Gazdálkodási Terv:

Az Európai Bizottság felismerve a túlzott vízkivételt és szennyezéseket létrehozta a 2000/60/EK Víz Keretirányelvet (továbbiakban VKI). 2000. december 22-i hatályba léptetésével megalakult az Európai Unió új vízpolitikája. A VKI előírásai jogi keretet biztosít az Európai Unió tagállamainak a szárazföldi felszíni és felszín alatti vizek, az átmeneti vizek, valamint parti tengervizek védelméhez. A kitűzött cél a vízfolyások, állóvizek jó ökológiai és kémiai állapotának elérése, továbbá a felszín alatti vizek jó kémiai és mennyiségi állapotának, potenciáljának elérése összetett és hosszú folyamat. Ezen célok eléréséhez szükséges intézkedéseket a Vízyűjtő-Gazdálkodási Terv (VGT) foglalja össze, amely a VKI által meghatározott stratégiai tervezési metódus eredményeként született meg 2010 tavaszán (VGT1). A VGT tartalmazza az összes információt, amely a víztestekről és a védett területekről szükséges, a vizek terheléseit és a hatásokat, az állapotértékelések eredményét, a víztestekre vonatkozó környezeti célokat vagy mentesség alkalmazását, ennek indoklását [18].

A VKI előírásai szerint a vízyűjtő-gazdálkodási terveket 6 évente felül kell vizsgálni. 2015. év végére készült el a VGT1 első korszerűsített, felülvizsgált változata, a VGT2, majd 2021 végére a VGT3, amely vizeink terheléseit, állapotértékelését, a jó állapot eléréséhez szükséges előrehaladást foglalja össze, a környezeti célkitűzéseket és ezek alapján a 2021- 2027 közötti időszakra vonatkozó intézkedési programot határozza meg. A felszíni vizek szennyezettségi határértégeiről és azok alkalmazásainak szabályairól a 10/2010. (VIII.18) VM rendelet határoz meg előírásokat [18].

A Német-ér befogadja közvetett módon két szennyvíztisztító telep kommunális szennyvizét is. Berekfürdő tisztított szennyvize az Üllőlaposi I-8-1-c csatorna 4,4 cskm szelvényénél kerül bevezetésre 176 000 m³/évi mennyiségben. Kunmadaras tisztított szennyvize évente 82 000 m³, mely az Üllőlaposi I-8-1-d csatorna 6,05 cskm szelvényénél kerül befogadásra [20]. Nagymértékű a vízfolyás termálvíz terhelése, mivel a csatornába négy helyen történik fürdővíz jellegű szennyvízbevezetés. A Csapadékvíz elvezető csatorna 1,4 cskm szelvényénél a berekfürdői gyógyszer szálló által évi 8000 m³ használt termálvíz kerül befogadásra, azonban ez a mennyiség 2024-ben felújítási munkálatok miatt nem történt meg. Az Üllőlaposi I-8-1-c csatorna 6,6 cskm szelvényén a Termál Hotel Pávai évi 55 000 m³, míg a Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő az egyik bevezetési pontján éves szinten 124 000 m³, a másik bevezetési pontján évente 431 000 m³ használt gyógyvizet helyez el [20].

Hazánkban a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv a felszíni és felszín alatti víztesteket különböző típusokba sorolja. A Német-eret a VGT2, illetve VGT3 alapján a 6S típusba sorolják (2. táblázat) [21].

2010. május 5-én a Magyar Kormány által elfogadott első Vízyűjtő-gazdálkodási Tervben adathiány következtében a biológiai, kémiai, ökológiai állapot nem került besorolásra a Német-ér tekintetében. Azonban a második, illetve harmadik tervben már besorolásra kerültek ezen paraméterek (3. táblázat) [21].

2. táblázat
Német-ér besorolása a VGT alapján [21]

Típus kódja	Típus leírása	Morfológiai altípus	Teljes vízyűjtő-méret [km ²]	Vízfolyás hossza [km]	Szélesség leggyakrabban vízhozamnál [m]	Mélység leggyakrabban vízhozamnál [m]	Esés leggyakrabban vízhozamnál	Mederanyag	Természetes növényzet fedettség a vízyűjtőn
6S	síkvidéki – kis esésű – meszes – közepes-finom mederanyagú – kicsi vízyűjtő	S – kicsi vízyűjtő	30 - 400	-	1,5 - 10	0,2 - 1,5	0,02 - 0,3	finom szemcsés, homokos, iszapos	erdős sztyepp

3. táblázat
Német-ér állapota a VGT2, VGT3 alapján [21]

VOR	Víztest neve	Biológiai elemek szerinti állapot	Fizikai-kémiai elemek szerinti állapot	Specifikus szennyezők szerinti állapot	Hidro-morfológiai elemek szerinti állapot	Ökológiai minősítés	Ökológiai célkitűzés	Ökológiai célkitűzés teljesítésének éve	Ökológiai mentesség indoka	Kémiai állapot	Kémiai célkitűzés
AEP843	Német-ér	gyenge	gyenge	jó	jó	gyenge	A jó potenciál eléréndő	2027+	G2	jó	A jó állapot fenntartandó

2.2 Vízmintavétel, mérési módszerek bemutatása

2.2.1 Szabályos vízmintavétel, mintatárolás, előkészítés

A vizek mintavételénél fontos odafigyelni a szabályosságra, az előírásoknak betartására. A mintát minden esetben folyamatosan áramló vízfolyásból kell venni. A vett mintát jól zárható üveg edénybe vagy műanyag flakonba merítéssel vagy speciális mintavevő edénnyel helyezzük el. A mintatartó edényt a vizsgálandó vízzel át kell öblíteni. Ezt követően a mintatartót jól látható helyen, tartósan megmaradó jelöléssel kell ellátni. Ha ezek a lépések megtörténtek, ajánlott jegyzőkönyvet készíteni, melyen jelöljük meg a mintavételi pont-pontok helyét, idejét (év, hónap, nap), aktuális időjárási viszonyokat, illetve a terepi szemle tapasztalatait, eredményeit. Az elemzés céljától függően megkülönböztetünk pontmintavételt, valamint átlagmintavételt, ami lehet időbeli és térbeli egyaránt [22].

A vízminták helyes tárolásánál esetenként nélkülözhetetlen lépés a tartósítás, amely elsődlegesen a biológiai folyamatok gátlása érdekében. A felszíni vizek tartalmaznak különböző mikroorganizmusokat, amelyek mintavételt követően fizikai-kémiai, illetve biokémiai folyamatokban játszanak szerepet. A megfelelő tartósítás céljából a mintákat le kell hűteni +4 °C-ra, tartósítószer adagolásával biztosítani kell a mérendő alkotók függvényében az esetleges savas, lúgos kémhatást [22]. Vizsgálatim során én is eszerint jártam el. A vízminta előkészítése történhet: hígítással, szűréssel, derítéssel, feltárással vagy pl. extrakcióval [22]. Én elsősorban hígítási, szűrési és feltárási mintaelőkészítési megoldásokat alkalmaztam.

Érdemes kitérni a helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok fontosságára. A helyszíni mérések a vízminták vizsgálatánál szintén meghatározó jelentőségűek, hiszen egyes paraméterek rövid idő alatt változhatnak (pl. hőmérséklet, nyomás, páratartalom, pH, oldott oxigén tartalom), azaz ezeket célszerű friss mintákból a helyszínen meghatározni [22]. A laboratóriumi elemzések során olyan változatos mérési megoldásokat alkalmazhatunk, amelyek a terepi vizsgálatokhoz képest sokkal részletesebb, precízebb tájékoztatást adnak. Léteznek szelektív és érzékeny megoldások, melyekkel akár a kisebb koncentráció értékek is meghatározhatóak [22].

2.2.2 Mintavételi pontok

Mint már említésre került, a medencék egy része egész évben, másik részük csak szezonálisan üzemelnek. A saját méréseimet ennek tudatában próbáltam lehatárolni, hogy minél szélesebb körben kapjunk információt a különböző víztestek minőségéről, változásairól. Vizsgálataimat

3 havonta, összesen 4 alkalommal helyszíni, illetve laboratóriumi méréssorozattal valósítottam meg, odafigyelve az esetleges évszakos/szezonális változásokra (ősz, téli, tavaszi, nyári). 6 mintavételi pontot jelöltünk ki, melyeknél egy spiccbotra erősített kancsóval történt a mintavételezés. A mintákat jól zárható, 2 literes, előre felcímkézett műanyagflakonba helyeztem (7. ábra), amiket a laboratóriumi vizsgálatokig napfénytől védett helyen +4 °C-on tároltam.



7. ábra
Vízmintavétel és mintatárolás (saját fotó)

Mintavételi pontok:

A Berekfürdői Gyógy-és Strandfürdő használt fürdővize elsődlegesen a Csónakázó-tóba kerül bebocsátásra. Az első mintavételi pont (M1) a víztest elején az egyik bebocsátási ponttól pár méterre, míg a második mintavételi pontot (M2) a víztest végén jelöltem ki (8. ábra). A harmadik (M3) és negyedik (M4) mintavételi pontot az I-es számú tározón jelöltük ki, hiszen a Csónakázó-tavat követően ide folyik gravitációsan a strand hulladékvize, valamint ebbe a víztestbe kerül a Termál Hotel Pávai használt termálvize is (8. ábra). A Csónakázó-tóba, valamint az I-es számú tározóba 1-1 levegőztető berendezés lett elhelyezve, aminek szükséglete [Lásd: A termálvíz felszíni befogadóba való elhelyezése] pontban történt megmagyarázásra. Vizsgálatom során a harmadik víztest a II-es számú tározó, ahol szintén 2 mintavételi pont került kijelölésre. Az ötödik mintavételi pont (M5) az I-es számú tározóból zárt betoncsatornában gravitációsan érkező víz bebocsátási pontjától pár méterre, míg a hatodik mintavételi pont (M6) a tározóval párhuzamosan folyó Üllőlaposi I-8-1-c csatornába kerülése előtti ponton lett kijelölve (8. ábra).



8. ábra
Mintavételi pontjaim (saját szerkesztés)

2.3 Mérési módszerek, mérőeszközök ismertetése

A mintavételi pontok kijelölését és a vízanalitikai vizsgálati módszerek elsajátítását követően megkezdődhettek a mérések, melyek egy részét helyszínen MultiLine P4 elektroanalitikai mérőbőrönd segítségével hajtottam végre. A terepi vizsgálati eredmények feljegyzése és a vizsgálandó vízminták megfelelő tárolását követően a mintákat 24 órán belül a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék Víztisztaságvédelmi laboratóriumában elemeztem tovább. A méréseket minden esetben az alábbi szempontok alapján vizsgáltam:

Terepi mérési paraméterek:

- pH
- Fajlagos elektromos vezetőképesség
- Összes oldott anyag mennyiség (TDS=Total Dissolved Solids)
- Sótartalom (Sal)
- Oldott oxigén koncentráció, telítettség
- Hőmérséklet

Laboratóriumi vizsgálati paraméterek:

- Zavarosság
- Biológiai-oxigénigény (BOI₅)
- Kémiai-oxigénigény (KOI)
- Összes szerves széntartalom (TOC)
- Összes szervesetlen széntartalom (TIC)
- Lúgosság
- Lúgosságból karbonát, hidrogén-karbonát tartalom számítás
- Iontartalom-ionkromatográfiás vizsgálatok (IC)

- Elemösszetétel-Elementalanalitikai vizsgálatok (ICP-OES)

A pH mérése:

A pH érték tájékoztatást ad a vizsgált oldat kémhatásáról. Kiszámítani úgy tudjuk, hogy az oldatban levő hidrogénion-koncentráció negatív előjelű tízes alapú logaritmusát vesszük. A kapott eredmény dimenzió nélküli paraméter, ami a 14 egységből álló pH skála segítségével értelmezhető. A pH=7 érték semleges kémhatást jelez, alatta pH<7 savas, felette pH>7 lúgos kémhatásról beszélünk. Attól függően, hogy milyen pontosságú eredményre van szükségünk különféle eszközök közül választhatunk. Az egyik mérés a kolorimetriás módszer, ahol a pH papír színváltozással jelzi a kémhatást. A legpontosabb méréseket az elektrokémiai mérések biztosítják elektródák alkalmazásával [23]. „A pH-elektroda olyan elektrokémiai érzékelő, amely egy mérő- és egy referencia elektródából áll. A mérendő oldat pH-értékének függvényében változik egy membránon a feszültség. A ma használatos elektródák úgy alakultak ki, hogy a 7-es pH-értéknél a membránon levő feszültség 0 mV. Minél jobban eltér a mérendő oldat pH értéke a 7-es pH-tól, annál nagyobb a feszültségjel. A pH-mérő műszer ezt a jelet használja fel a pH-érték kiszámítására” [23].

Fajlagos elektromos vezetőképesség mérése:

A fajlagos elektromos vezetőképesség a vizsgált minta oldott iontartalmának mennyiségéről ad felvilágosítást. Mértékegysége: $\mu\text{S}/\text{cm}$. Az oldatban minél több az oldott sótartalom, valamint savak, lúgok mennyisége, vezetőképessége annál nagyobb lesz. A folyamat elektrokémiai ellenállásméréseken alapszik [23].

Összes oldott sótartalom mérése:

Az összes oldott sótartalmat is meg tudjuk határozni, a mért vezetőképességből tapasztalati képletek segítségével. A mérés szintén elektrokémiai ellenállásméréseken alapszik, ahol a mérőcella két egyforma elektródból áll és ezekre adott váltakozó feszültség előidézi, hogy az oldatban lévő ionok az elektródok irányába kezdjenek mozogni. Mértékegysége: gramm/liter [g/l] [23].

Oldott oxigén koncentráció mérése:

Általában oldott oxigént minden folyadék tartalmaz. A folyadék annyi oxigént vesz fel, ameddig a benne lévő oxigén parciális nyomása egyensúlyba nem kerül a vele érintkező gázfázissal [23].

Az oxigén koncentráció függ:

- hőmérséklettől
- légnyomástól
- mikrobiológiai lebontási folyamatok oxigén felhasználásától
- algák oxigéntermelésétől [23]

Az oldott oxigén koncentráció fontos jelentőségű a vízben élő halak, valamint mikroorganizmusok életfeltételeire, a szennyvíztisztításban a lebontó folyamatokra, a csővezetékek korróziós folyamataira. Régebben a koncentráció meghatározást Winkler-féle titrálással végezték, azonban már a szabványos elektrokémiai mérések is elfogadottak [23].

„Egy oxigén-érzékelő a legegyszerűbb esetben egy munkaelektrodát és egy ellenelektrodát tartalmaz. Mindkét elektróda elektrolízis-rendszerben helyezkedik el, amelyet gázáteresztő membrán választ el a mintától. A munkaelektroda az oxigén-molekulákat hidroxid-ionokká redukálja. Ennél az elektrokémiai reakciónál áram folyik az érzékelőben az ellenelektrodától a munkaelektrodához. Minél több oxigén van a mintában, annál nagyobb az áramjel. Az oxigénmérő műszer oldhatósági függvény figyelembevételével számítja ki ebből a jelből a minta oxigén-koncentrációját.” [23]

A saját vízminősítéseimhez a MultiLine P4 mérőbőröndben található (SenTix 41-3) kombinált pH üvegelektrodát, vezetőképesség-mérő elektródát (TetraCon 325-3) és oldott oxigén mérő elektródát (CellOx 325-3) használtam (9. ábra).



9. ábra
MultiLine P4 típusú mérőbőrönd használata terepen (saját fotó)

Zavarosság mérés:

A zavarosság mérési módja a nefelometria, ami azon alapszik, hogy a folyadékban oldhatatlan részecskék mozgásának következtében a rajta áthaladó fény szóródik vagy elnyelődik és ezt az

intenzitást mérjük. Használt mértékegység: NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [23]. „A fényszóródásra Rayleigh-törvénye érvényes, mely szerint, ha egy kolloid oldatot I_0 intenzitású, λ hullámhosszúságú fénnel világítunk meg és az oldat $d=\lambda/10$ -nél nem nagyobb átmérőjű, α polarizálhatóságú részecskéket tartalmaz, akkor az elektromágneses sugárzás a részecskében oszcilláló dipólust indukál. Ezután a részecske másodlagos fényforrásként a beeső fénnel azonos hullámhosszúságú szórt sugárzást bocsát ki” [23]. A szórt fény I_{sz} intenzitása a beeső fénysugárhoz viszonyított θ szögben és a részecskétől r távolságba mérve [23]:

$$I_{sz} = I_0 [(8\pi^4 \alpha^2) / (r^2 \lambda^4)] (1 + \cos^2 \theta)$$

Méréseimet Turb 555-IR típusú nagyteljesítményű zavarosságmérő készüléken végeztem (10. ábra).



10. ábra
Turb 555-IR típusú zavarosságmérő (saját fotó)

Biológiai-oxigénigény mérés:

A biológiai oxigénigény (BOI) a szennyvíztisztító fokozatok tisztítóképességének megadására, illetve a vizek minősítésére szolgáló lényeges paraméter. Az az oldott oxigénmennyiség, amely a vízben lévő szerves anyagok aerob baktériumok általi lebontásához szükséges, adott hőmérséklet és idő alatt [23].

A kapott értéknek köszönhetően következtethetünk a minta szerves anyag tartalmára, a BOI_5 , amely megadja, hogy 5 nap alatt mennyi egy liter vizsgálandó minta biológiai oxigénigénye $mg\ O_2$ -ben kifejezve [mg/l] [23].

Vizsgálataimban az OxiTop IS 12 típusú manometrikus berendezést használtam a BOI_5 -érték meghatározására (11. ábra).



11. ábra

OxiTop IS 12 típusú manometrikus berendezés (saját fotó)

Kémiai-oxigénigény mérés:

A szerves szennyezőanyag mennyisége a vizekben meghatározható a kémiai oxigénigény alapján is. A kémiai oxigénigény megadja azt az oxigénmennyiséget, amely a vízben lévő szervesanyag kémiai oxidálásához kell. Mértékegysége milligramm/liter [mg/l]. A kémiai oxigénigényt meghatározhatjuk klasszikus analitikai módszerekkel, például kálium-permanganáttal vagy kálium-dikromáttal, illetve műszeresen fotometriás vizsgálattal, amit termikus kezelés (roncsolás) előz meg. Az utóbbi eljárás, gyorsabb, egyszerűbb és biztonságosabb, mint a klasszikus módszer. A roncsolásnál előre elkészített reagens készletek használatosak különböző tartományban, melyek esetén a lejátszódó reakció, valamint a reagens szintén megegyezik a klasszikus elemzésnél használttal [23]. Vizsgálatom során a NANOCOLOR módszert alkalmaztam, ami megegyezik a (DIN) Német Ipari Szabvánnyal, hiszen ugyan azon reagensek és roncsolási hőmérsékletek használatosak. A módszerben a kénsav már előre be van mérve hengerküvetébe, amihez 2 milliliter vizsgálandó vízmintát kell adagolni, amit én automata pipettával hajtottam végre. A vízmintát rázással elegyítjük a kénsavval, később a 160 °C-on történő 30 perces roncsolást követően (12. ábra) hagyjuk hűlni, majd megtöröljük és a fotometriás berendezésbe helyezzük. Az eszköz a kalibrációs adatok alapján a kijelzőn megjeleníti a kapott kémiai oxigénigény értéket milligramm/literben [mg/l] kifejezve [23].



12. ábra
NANOCOLOR Vario 2 roncsoló (saját fotó)

Összes szerves és szervesetlen széntartalom mérés:

A vizsgált minta szerves anyag tartalmát az összes szerves széntartalommal is tudjuk jellemezni. A módszer nagy előnye, hogy gyorsabb információt szolgáltat, mint például az 5 napig tartó BOI meghatározás. A mintákat vizsgálat előtt $0,45\ \mu\text{m}$ pórusméretű membránszűrőn szűrtem, hogy a vizsgálat során az oldott szerves szennyezőkre kapjunk felvilágosítást [23]. Az összes széntartalom az összes szerves (TOC) és szervesetlen széntartalom (TIC) összege, a minta katalitikus oxidációja során képződött szén-dioxid mennyisége alapján. Az összes szervesetlen széntartalom a minta savazása során keletkezett széndioxid mennyisége alapján kerül mérésre [23].

A 13. ábra szemlélteti a Shimadzu TOC-V_{CPN} típusú készüléket, mellyel a vizsgálataimat végeztem.



13. ábra
Shimadzu TOC-V_{CPN} típusú berendezés (saját fotó)

Lúgosság meghatározás:

A vizek lúgosságát a lúgosan hidrolizáló sók és bázisok eredményezik. A lúgosságot erős sav mérőoldattal, titrálással tudjuk meghatározni. Megkülönböztetünk összes lúgosságot és szabad lúgosságot. A szabad lúgosság (p') kifejezi, hogy 1 dm^3 vízmintához, hány mmol hidrogén-klorid szükséges ahhoz, hogy elérjük a $\text{pH}=8,3$ -as értéket. Az összes lúgosság (m') pedig kifejezi, hogy 1 dm^3 vízmintához, hány mmol hidrogén-kloridot kell adnunk, hogy elérjük a $\text{pH}=4,5$ -ös értéket [22]. A lúgosságot sav-bázis titrálással állapítottam meg, úgy, hogy első lépésként a $\sim 0,1\text{ mol/dm}^3$ sósav-oldat pontos koncentrációját határoztam meg. Ezt követően 100 cm^3 vízmintát titráló lombikba helyeztem, hozzáadtam 3-4 csepp fenolftalein indikátort és az ismert koncentrációjú sósav-mérőoldattal színtelenre titráltam. Amennyiben a minta a fenolftalein indikátor hozzáadása után színtelen marad, úgy a víznek nincs szabad lúgossága. Azonban ez én mérésemnél tudtunk szabad lúgosságot kimutatni. Szintén ehhez a mintához hozzáadtam 3 csepp metil-narancs indikátort és a sárga színű mintát vöröshagyma színig titráltam, majd a hidrogén-klorid fogyást feljegyeztem. Minden vízmintából 2 párhuzamos mérést végeztem, az eredményeket átlagoltam [22].

A vonatkozó szabvány [24] által megadott módszer alapján számítással meghatároztam a minták hidroxilion-, karbonátion- és hidrogén-karbonát-ion tartalmát.



14. ábra
Lúgosság meghatározása titrálással (saját fotó)

Az anionok és kationok meghatározása ionkromatográfián:

A mintakeverék egymáshoz hasonló viselkedésű komponensei azonosításához és mennyiségének meghatározásához az elválasztási módszerek közül, a kromatográfiás elválasztást alkalmaztuk. Az elválasztandó alkotók két egymással érintkező fázis között

oszlanak meg, mely közül az egyik áll (állófázis), a másik halad előre az állófázison (mozgófázis). A mozgófázis fluid fázisnak és eluensnek is nevezhető. Az állófázis lehet folyékony vagy szilárd anyag. Folyadék állófázis esetén a folyadék, vékony film formájában helyezkedik el a porózus szilárd szemcsés hordozón. A folyadékkromatográfiás elválasztás közül a nagynyomású folyadékkromatográfia (HPLC-High Pressure Liquid Chromatography) a leggyakrabban használt változat, melynek lényege, hogy az acélcsőbe töltött apró szemcsés állófázison, nagy nyomással átáramoltatják a mozgófázist, így a komponensek elválasztása gyorsabb és hatékonyabb. A nagynyomású folyadékkromatográfia speciális fajtája az ionkromatográfia, mely töltéssel rendelkező részecskék, ionok elválasztására, illetve meghatározására alkalmas analitikai módszer. Az ionkromatográfiás mérés során nagy nyomáson halad át a mozgófázis, a kis szemcseméretű állófázison, ahol végbemegy az elválasztás [25]. Az elemzés során DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfiás rendszert (15. ábra) alkalmaztunk, amely ionelnyomással képes erős és gyenge savak anionjainak, valamint egy és kétértékű kationok meghatározására. Az anionágon nátrium-karbonát, nátriumhidrogénkarbonát tartalmú eluenssel, míg a kationágon kénsav eluenssel dolgoztunk. A vizsgálat során kationok közül a lítium, nátrium, ammónium, kálium, magnézium, kalcium, míg az anionok közül a fluorid, klorid, bromid, nitrit, nitrát, foszfát, szulfát ionok mennyiségét monitoroztuk [25].



15. ábra
DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfiás rendszert (saját fotó)

Elemanalitikai vizsgálatok:

A vízvizsgálat során az egyes elemek mennyiségének meghatározása fontos paraméter. Az elemtartalom meghatározásához a széleskörben elterjedt műszeres analitikai megoldást, az

induktív csatolású plazma-optikai emissziós spektrometriát (ICP-OES) alkalmaztunk a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratórium segítségével. Az elemzés során a következő mikro- és makroelemeket mértük: alumínium (Al), bór (B), bárium (Ba), bizmut (Bi), kadmium (Cd), kobalt (Co), króm (Cr), réz (Cu), vas (Fe), lítium (Li), mangán (Mn), nikkel (Ni), foszfor (P), ólom (Pb), kén (S), stroncium (Sr), cink (Zn), kalcium (Ca), kálium (K), magnézium (Mg), nátrium (Na). mg/l koncentráció egységben.

„A műszer mintát juttat a porlasztóba, ahonnan a vivő gáz segítségével a minta az argon plazmába jut. A plazma a mintát alkotó elemeire (atomjaira) bontja és előállítja a minta elemeire jellemző optikai sugárzást. A spektrométer poli- vagy monokromátor segítségével felbontja az optikai sugárzást, ami a plazmában található, majd elkülöníti az egyes elemek spektrumvonalait. A műszer detektálás során az adott hullámhosszon jelentkező intenzitással arányos elektromos jelet állít elő, amit a számítógép digitális jelként dolgoz fel [26].

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1 A Strandfürdő termálkút adatainak értékelése

A Berekfürdői strandkomplexum 4 termálvizes kutjának adatait szemlélteti a 4. táblázat, ami arról ad tájékoztatást, hogy a különböző mélységből, különböző rétegből származó felszín alatti vizek összetételüket tekintve változatosak.

4. táblázat
Berekfürdői Gyógy-és Strandfürdő hévízkutjainak adatai [13] [14] [15] [16]

Vízkémiai paraméterek	K-70	K-68	K-173	B-192
pH	8,16	8,18	8,37	7,91
T [°C]	54,00	53,50	41,80	49,50
Fajl. el. vezetőképesség[μS/cm]	3350,00	2840,00	1787,00	2410,00
Oldott oxigén [mg/l]	<0,30	<0,30		<0,30
Összes oldottanyag [mg/l]	2750,00	2419,00		2413,00
Lúgosság (m) [mmol/l]	22,30	20,30	18,80	25,80
Kémiai oxigénigény [mg/l]	14,40	14,00	6,60	10,40
Össz. keménység [CaO mg/l]	42,00	36,00	22,00	28,00
Hidroxilion [mg/l]	<2,00	<2,00		<2,00
Karbonát-ion [mg/l]	<3,00	<3,00		<3,00
Hidrogén-karbonát-ion[mg/l]	1360,00	1238,00		1574,00
Kalcium [mg/l]	20,60	16,20	7,90	10,30
Magnézium[mg/l]	5,70	5,70	4,80	5,80
Bór [mg/l]	7,11	3,30		6,55
Bárium [mg/l]	0,78	0,47		
Nikkel [mg/l]	0,01	0,01		
Klorid [mg/l]	640,00	512,00	122,00	183,00
Vas [mg/l]	<0,02	<0,02	0,38	<0,02
Szulfát [mg/l]	69,00	36,00	<5,00	15,00
Mangán [mg/l]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ammónium[mg/l]	13,40	11,95	3,40	8,15
Nitrát [mg/l]	<1,00	<1,00	<1,0	<1,00
Nitrit [mg/l]	<0,02	<0,02	<0,01	<0,02
Nátrium [mg/l]	894,00	698,00	722,00	641,00
Kálium [mg/l]	8,10	7,30	4,10	6,10
Fluorid [mg/l]	0,82	0,90		0,50
Orto-foszfát [mg/l]	0,18	0,18		0,38
Ólom [mg/l]	<0,01	<0,01		
Króm [mg/l]	0,01	<0,01		
Réz [mg/l]	<0,02	<0,02		<0,02

A kutakból származó minták vizsgálatát követően elmondható, hogy a felszínre érkező víz minden esetben meghaladja a 40 °C-os hőmérsékletet. Az összes oldott anyag tartalom átlagosan 2400-2800 mg/l közötti. A kutak javarészt nátriumban gazdag vizet szolgáltatnak (641,00-894,00 mg/l között), továbbá jelentős a víz klorid- (122,00-640,00 mg/l), kalcium- (7,90-20,60 mg/l), kálium- (4,10-8,10 mg/l) és szulfát- (<5-69 mg/l), illetve az ammónium-ion (3,40-13,40 mg/l) tartalma is.

A vezetőképesség egyenesen arányos az oldat ionkoncentrációjával és egyúttal függ a hőmérséklettől is. A termálkutak vizének vezetőképesség értékei változatosak, hiszen az 1787 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -től a 3350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -es tartomány is mérhető.

A gyógyvízzé minősítést három kút megkapta, ami a magas oldott ásványi anyag tartalomnak köszönhető. Jellegét tekintve a magas nátrium, hidrogén-karbonát (1238,00-1574,00 mg/l) tartalom miatt a víz nátrium-hidrogén-karbonátos gyógyvíznek tekinthető.

A 3,40-13,40 mg/literes ammónium tartalom a víz további felhasználását nehezíti. Mikroelem közül a bór koncentráció kimagasló (6,55-7,11 mg/l) értékű. Szabad széndioxidot, ANA detergensre vonatkozó komponenseket, valamint cianidokat, veszélyes illékony aromás szénhidrogéneket, benzolt, és rokon vegyületeit, illékony halogénezett alifás és aromás szénhidrogéneket nem mutattak ki. A trícium vizsgálat negatív eredménye igazolja, hogy a vízforrás megfelelően védett állapotban volt a vizsgálat idejében. A vízzel érintkező szerkezeti anyagokból beoldódó króm, nikkel, ólom érdemi mennyiségben nem mutatható ki a vizekben [14] [16].

3.2 Terepi mérési eredmények

A kutatómunkát az Anyag és módszer fejezetben taglalt hat mintavételi helyen kezdtem meg 2023. november második felében, 2024. február és május közepén, valamint augusztus végén. Célom az volt, hogy saját adatok kiértékelésével térképezzem fel a termálvíz elvezetésének hatását a vizsgált vízfolyásra. A négy időpont alapján a mért vízminőségi paraméterek egy éves viszonylatban minden évszokról információval szolgálnak, amely nagyban segítséget nyújt az esetleges szezonális változások detektálására, szükség esetén beavatkozásra.

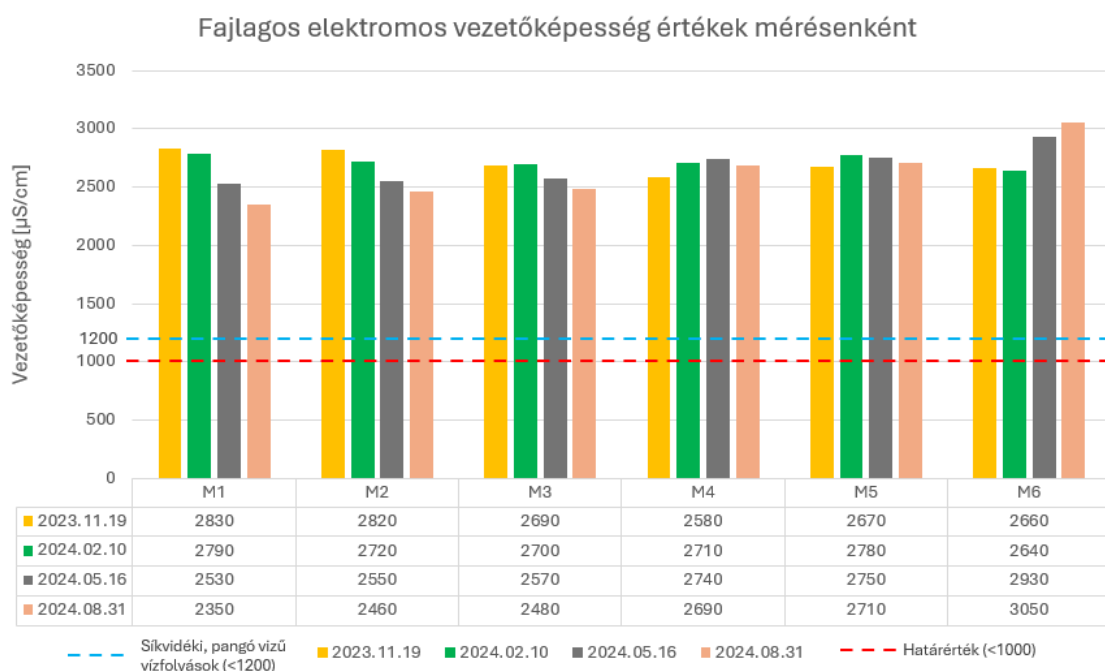
Az 5. táblázat az általános vízminőségi jellemzőkről ad tájékoztatást külön-külön a mintavételi pontonként ősztél-tavaszyári időszakokra lebontva.

5. táblázat
Általános vízminőségi jellemzők terepi vizsgálat során

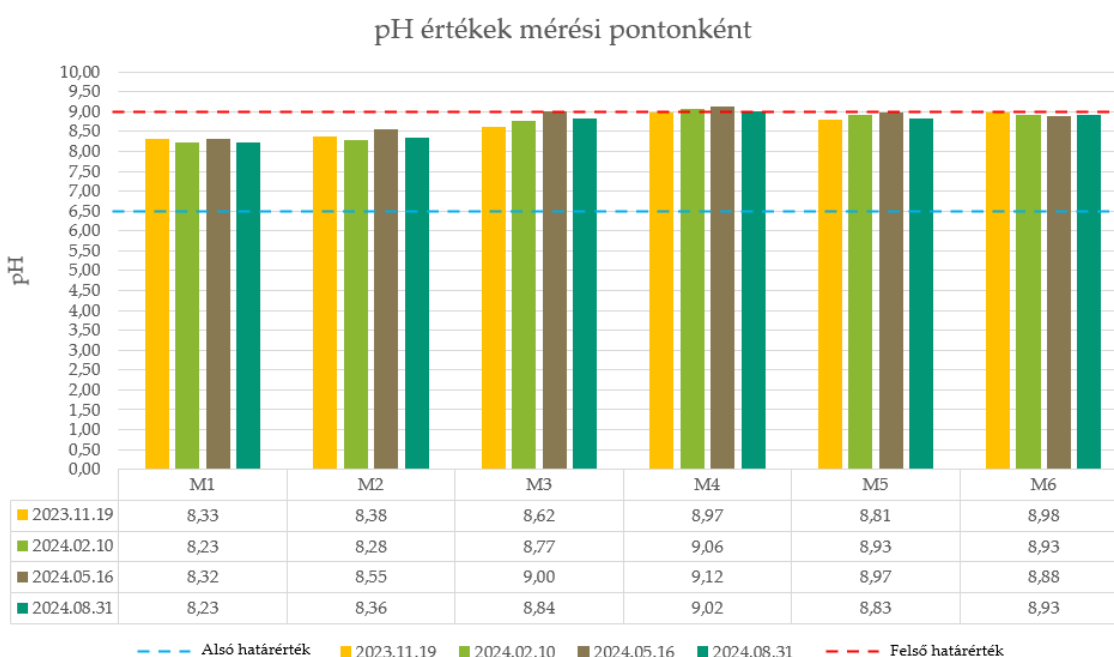
Mérés időpontjai: 1.: 2023.11.19 2.: 2024.02.10. 3.: 2024.05.16. 4.: 2024.08.31.	Minták						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Hőmérséklet (T) [°C]	1.	18,60	14,60	10,60	8,00	9,60	7,00
	2.	22,90	20,90	14,50	11,80	12,20	10,80
	3.	29,30	28,30	25,40	22,60	21,50	20,40
	4.	33,60	33,20	30,40	27,50	27,30	26,60
Sótartalom (Sal)	1.	1,50	1,40	1,30	1,30	1,30	1,30
	2.	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,30
	3.	1,30	1,30	1,30	1,40	1,40	1,50
	4.	1,20	1,30	1,30	1,40	1,40	1,60
Összes oldott anyag mennyiség (TDS) [g/l]	1.	2,82	2,82	2,69	2,58	2,67	2,66
	2.	2,78	2,72	2,70	2,71	2,79	2,64
	3.	2,52	2,55	2,57	2,74	2,76	2,93
	4.	2,34	2,46	2,48	2,70	2,71	3,05

A hőmérsékleti értékek vizsgálatánál megfigyelhető, hogy a késő őszi időszakban, amikor a külső levegő hőmérséklet 3,5 °C volt az első bevezetési pontnál több mint 18 °C-ot lehetett mérni. A víz útja során a vizsgált tározókon keresztül ez az érték minden esetben az utolsó mintavételi pontig csökkenő tendenciát mutat, kivéve az őszi, illetve téli mintavételezés során az M4 mintavételi helytől az M5 mintavételi pontig, ahol hőmérsékletnövekedés figyelhető meg, melynek oka, hogy a víz több mint 500 méteren keresztül egy zárt betoncsatornában áramlik a föld alatt, ahol képes felmelegedni. Az augusztusi mintavételezés idejében a víz több mint 30 °C-os hőmérsékletet mutatott (külső levegő hőmérséklet 36 °C). Ebben az esetben az első mintavételi pont (M1) és a hatodik mintavételi pont (M6) között 7 °C hőmérséklet csökkenés történt (33,60-26,60 °C), ami arra ad következtetést, hogy nem tud kellően visszahűlni a víztömeg, ezáltal komoly hőterhelést okozva a vízi ökoszisztémára.

A magas összes oldott sótartalom egyenes arányosságot mutat a fajlagos elektromos vezetőképességgel, amit a 16. ábra szemléltet. A vizsgált vízfolyásra vonatkozó határértékek a 10/2010. (VIII.18.) VM rendelet 2. mellékletének E oszlopában (Síkvidéki, kisvízfolyások) találhatóak. A vezetőképesség értékekben a magas sótartalom révén az előbbieken taglalt rendeletben meghatározott határértékekhez viszonyítva ($<1000 \mu\text{S/cm}$) kétszeres, olykor háromszoros határérték túllépés tapasztalható. Viszonyítás érdekében a kék szaggatott vonal a rendeletben meghatározott legmagasabb határértékre a Síkvidéki, pangó vizű vízfolyásokra ($<1200 \mu\text{S/cm}$) vonatkozik, amit a kapott eredmények szintén legalább kétszeresen túllépnek.



16. ábra
Fajlagos elektromos vezetőképesség értékek

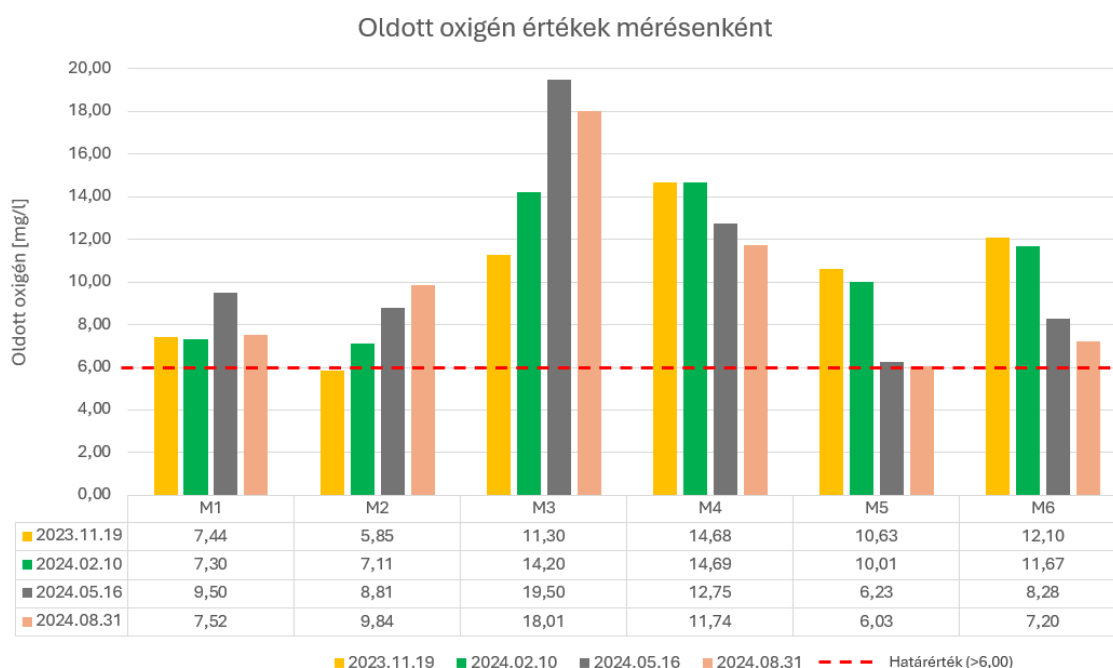


17. ábra
pH értékek a terepi vizsgálat során

A mért pH értékek (17. ábra) a tavaszi, illetve nyári mérések során közelítették a felső határértéket, a többi esetben a megfelelő (6,50-9,00) tartományban mozogtak.

Az oldott oxigén értékek (18. ábra) közül egyedül a második mintavételi ponton (M2) a sárgával jelölt őszi mintavételezésnél kapott érték volt minimálisan határérték alatt (5,85 mg/l), általában a koncentráció értékek megfelelőek. A harmadik mintavételi ponton (M3)

feltehetőleg azért láthatunk kiugrásokat, mert ez a mintavételi pont van helyileg legközelebb a vízfelszíni levegőztető berendezéshez.



18. ábra
Oldott oxigén koncentrációértékek mintavételi pontonként

3.3 Laboratóriumi vizsgálati eredmények

3.3.1 Általános vízminőségi jellemzők értékelése

A laboratóriumban elemzésre kerülő általános vízminőségi paraméterekre kapott értékeket illusztrálja a 6. táblázat. A zavarosság értékek a februári, valamint augusztusi időszakban általában magasabb értéket mutattak, mint a többi mintavételezés során, azonban a hatodik mintavételi ponton (M6) májusban kiugróan magas értéket mértünk (172,81 NTU). Az eltéréseket a nagyobb mennyiségben jelenlévő lebegő szerves és szervesetlen anyagok, továbbá planktonok és mikroorganizmusok nagyobb hányada okozhatta. A zavarosság mértéke közvetlenül nem határozza meg a vízben levő lebegőanyagok valós mennyiségét, azonban tájékoztató információt szolgáltat ezen anyagok jelenlétéről. Az oldott szerves-anyag tartalom 10,46–24,06 mg/l között változott. A vizsgálatokban a BOI értékek zömében alacsonyabbnak bizonyultak, mint a TOC és KOI értékek, ami esetlegesen azt mutatja, hogy a szerves szennyezőanyagok egy része biológiailag nem bontható.

6. táblázat
Zavarosság és a szerves szénformák vizsgálata

Mérés időpontjai: 1.: 2023.11.19 2.: 2024.02.10. 3.: 2024.05.16. 4.: 2024.08.31.		Minták					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Zavarosság [NTU]	1.	0,84	1,08	6,78	9,93	10,69	89,85
	2.	1,01	0,97	15,46	20,20	20,22	46,60
	3.	6,07	12,60	19,74	14,19	9,81	172,81
	4.	1,93	2,16	20,45	20,47	20,21	111,14
Biológiai oxigénigény (BOI ₅) [mg/l]	1.	2,00	2,00	10,00	20,00	20,00	10,00
	2.	22,00	9,00	11,00	11,00	17,00	19,00
	3.	5,00	7,00	11,00	8,00	5,00	6,00
	4.	7,00	1,00	15,00	9,00	10,00	6,00
Összes szerves széntartalom (TOC) [mg/l]	1.	11,72	11,31	11,15	11,06	11,04	13,19
	2.	12,05	11,30	10,46	11,07	12,57	18,34
	3.	14,45	12,06	13,11	15,07	14,60	23,36
	4.	14,25	11,77	12,98	15,91	16,03	24,06
Kémiai oxigénigény KOI [mg/l]	1.	35,00	35,00	47,00	47,00	48,00	45,00
	2.	35,00	31,00	74,00	86,00	87,00	63,00
	3.	58,00	61,00	99,00	73,00	72,00	88,00
	4.	41,00	42,00	67,00	78,00	53,00	66,00

A 7. táblázat a titrimetriás módszerrel mért szabad és összes lúgosság értékeket prezentálja a vizsgált pontokon, melyek jól korrelálnak az összes szerves széntartalom (TIC) értékekkel. A vonatkozó szabvány [24] alapján számítással meghatározásra került a táblázatban feltüntetett anionok mennyisége, melyek esetében a hidrogén-karbonát koncentrációja volt kirívóan nagy, jelezve a használt termálvíz hidrogén-karbonátos jellegét. A szerves szénformák közül a karbonát-ionok mennyisége az M3-M4 pontokon mutatott magasabb koncentrációt, míg hidroxil-ion nem volt kimutatható mennyiségben jelen a mintákban.

7. táblázat
Lúgosság értékek és szervesetlen szénformák bemutatása

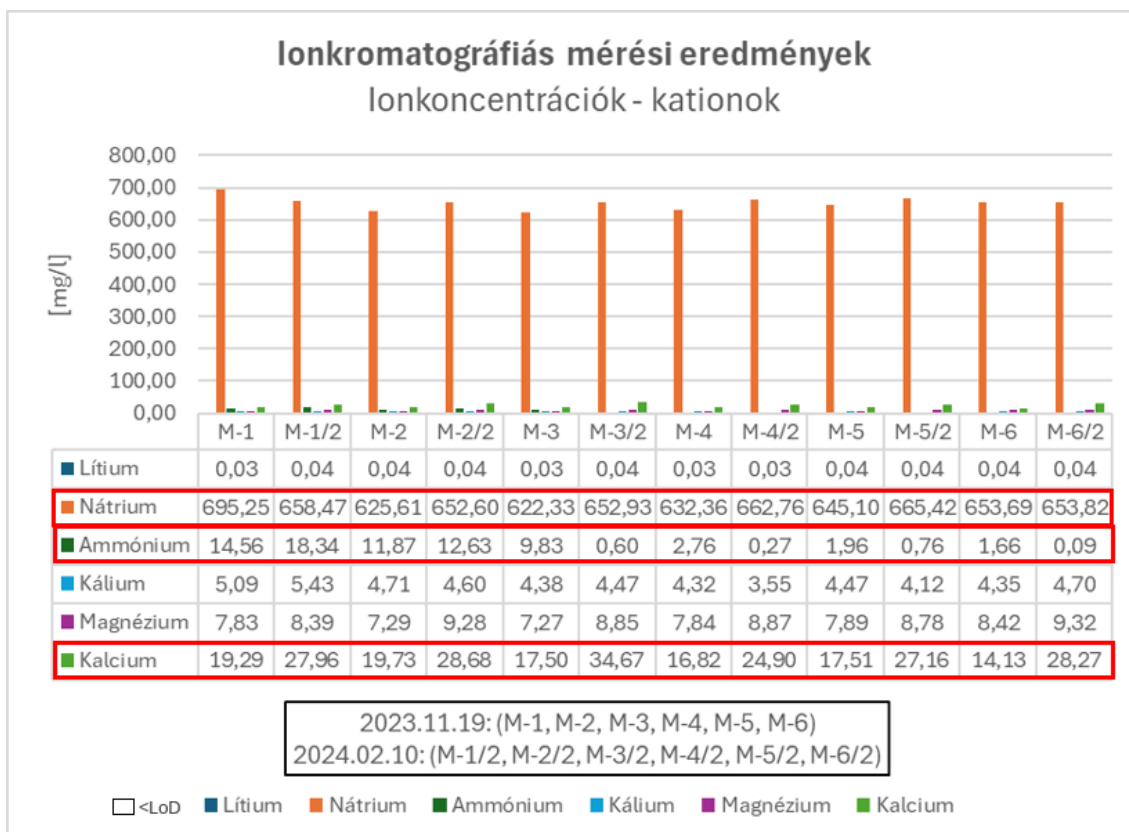
Mérés időpontjai: 1.: 2023.11.19 2.: 2024.02.10. 3.: 2024.05.16. 4.: 2024.08.31.	Minták						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Szabad lúgosság (p') [mmol/l]	1.	0,46	0,46	0,79	0,94	0,81	1,65
	2.	0,70	0,70	1,44	1,37	1,02	1,19
	3.	0,69	0,88	2,67	2,60	1,84	1,72
	4.	0,39	0,90	1,94	2,33	1,01	2,05
Összes lúgosság (m') [mmol/l]	1.	20,68	20,66	20,07	20,15	20,20	20,15
	2.	20,50	20,55	20,57	21,47	21,32	20,52
	3.	19,41	19,50	19,77	21,49	21,42	22,91
	4.	18,39	19,18	19,18	21,18	20,95	24,13
Összes szervesetlen széntartalom (TIC) [mg/l]	1.	277,50	278,20	268,80	260,80	250,60	258,40
	2.	263,90	262,30	251,40	258,20	262,50	243,00
	3.	251,40	247,60	241,60	259,70	221,10	281,90
	4.	212,30	219,10	215,30	227,60	240,30	266,10
Hidroxil-ion [mmol/l]	1.	∅	∅	∅	∅	∅	∅
	2.	∅	∅	∅	∅	∅	∅
	3.	∅	∅	∅	∅	∅	∅
	4.	∅	∅	∅	∅	∅	∅
Karbonát-ion [mmol/l]	1.	0,91	0,91	1,57	1,88	1,62	3,30
	2.	1,39	1,39	2,84	2,74	2,04	2,39
	3.	1,37	1,77	5,35	5,20	3,68	3,43
	4.	0,78	1,80	3,87	4,66	2,03	4,10
Hidrogén- karbonátion [mmol/l]	1.	19,77	19,74	18,50	18,27	18,57	16,85
	2.	19,11	19,16	17,74	18,73	19,28	18,14
	3.	18,03	17,74	14,43	16,29	17,74	19,48
	4.	17,61	17,38	15,31	16,53	18,92	20,03

3.3.2 Ionkromatográfias elemzések értékelése

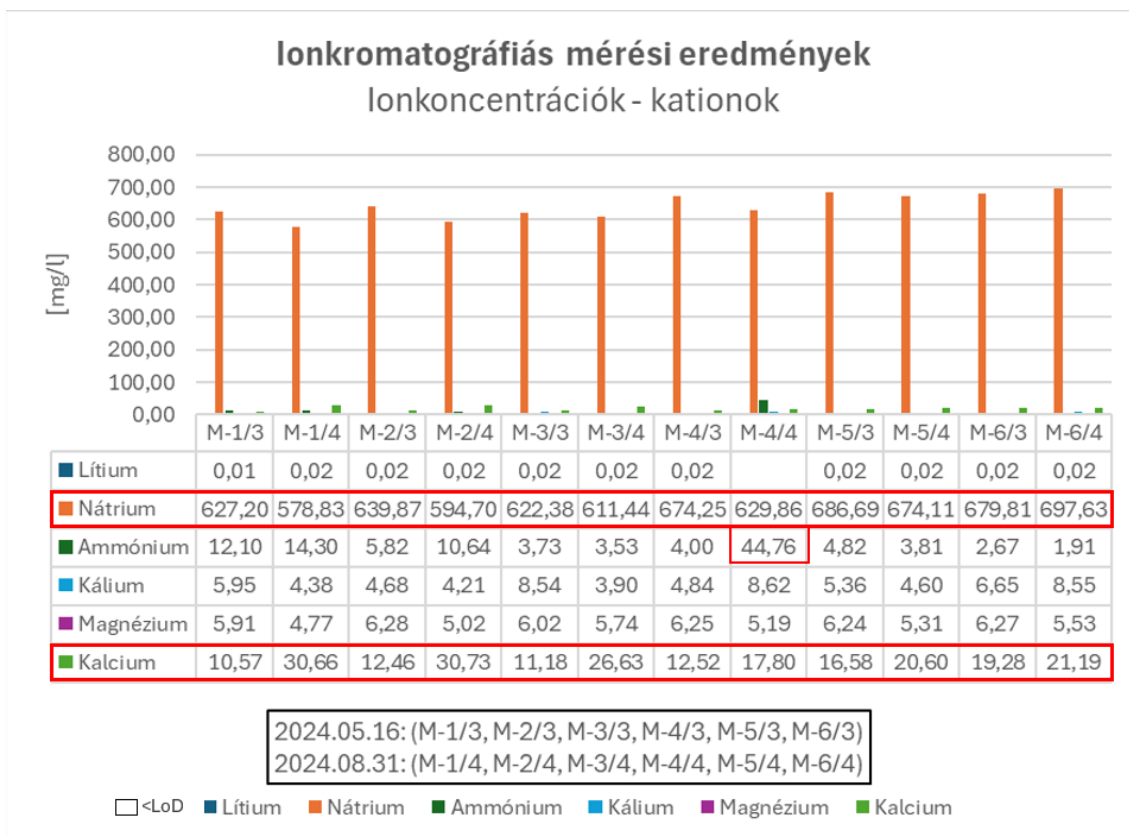
A laboratóriumi vizsgálatok alkalmával ionkromatográfias méréseket is végeztünk, ahol 6 kationt (lítium, nátrium, ammónium, kálium, magnézium, kalcium) és 7 aniont (fluorid, klorid, bromid, nitrit, nitrát, foszfát, szulfát) koncentrációját sikerült nyomon követni.

A 19. ábra és 20. ábra a kationok mennyiségét demonstrálja, melyek alapján domináns ionként a nátrium, kalcium és ammónium ionok nevezhetők meg. A nátrium ionok egységesen meghaladják minden alkalommal az 570,00 mg/litert. Az ammónium-ion értékek az első és második mintavételi pontoknál (M1, M2) magasabbak, valamint az augusztusi mérés negyedik

mintavételi pontjánál jelentkezik kiugrás (44,76 mg/l). Ezek mellett a magnézium- és a kálium-ion koncentráció is meghatározó. Ha a kapott értékeket összehasonlítjuk a strandfürdő által szolgáltatott termálkútvíz adatokkal (4. táblázat), akkor megfigyelhető, hogy az említett ionok magas jelenléte összefüggésben lehet a termálvíz bevezetésekkel. Lítium nagyon kis mennyiségben, de kimutatható volt a vizekben.

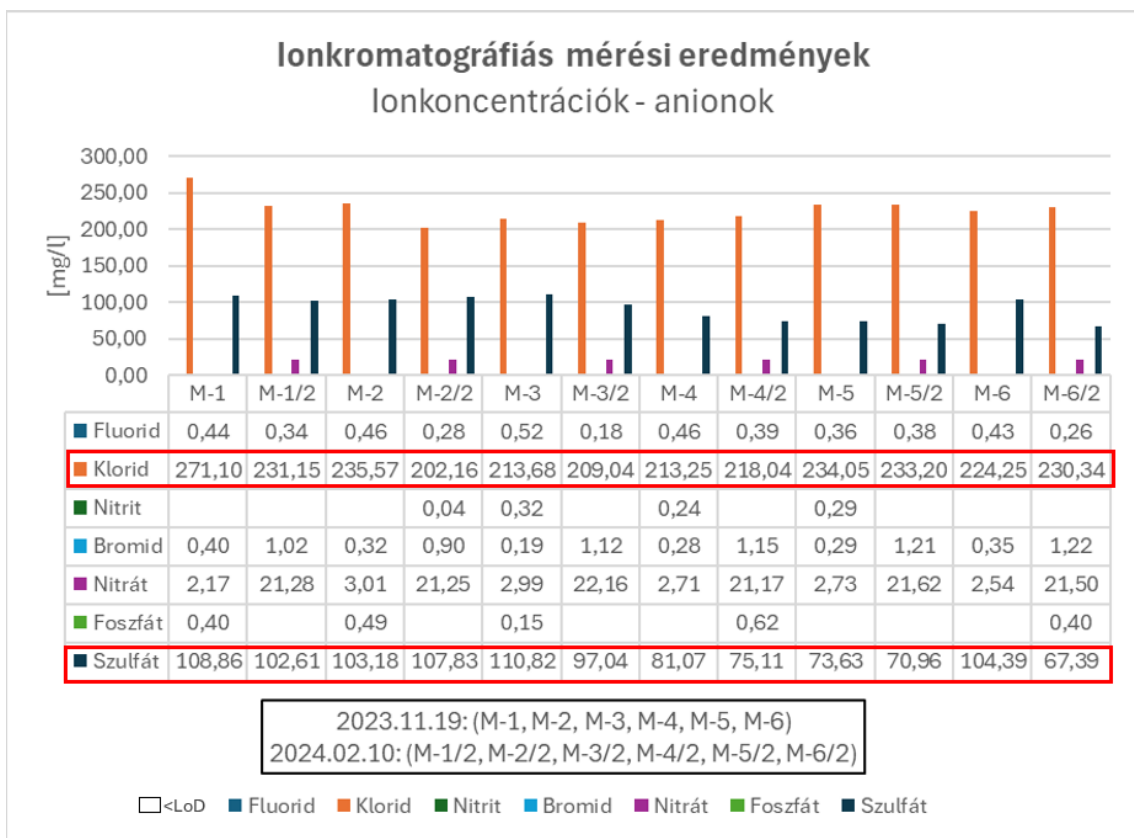


19. ábra
Őszi és téli elemzések kation koncentráció értékei

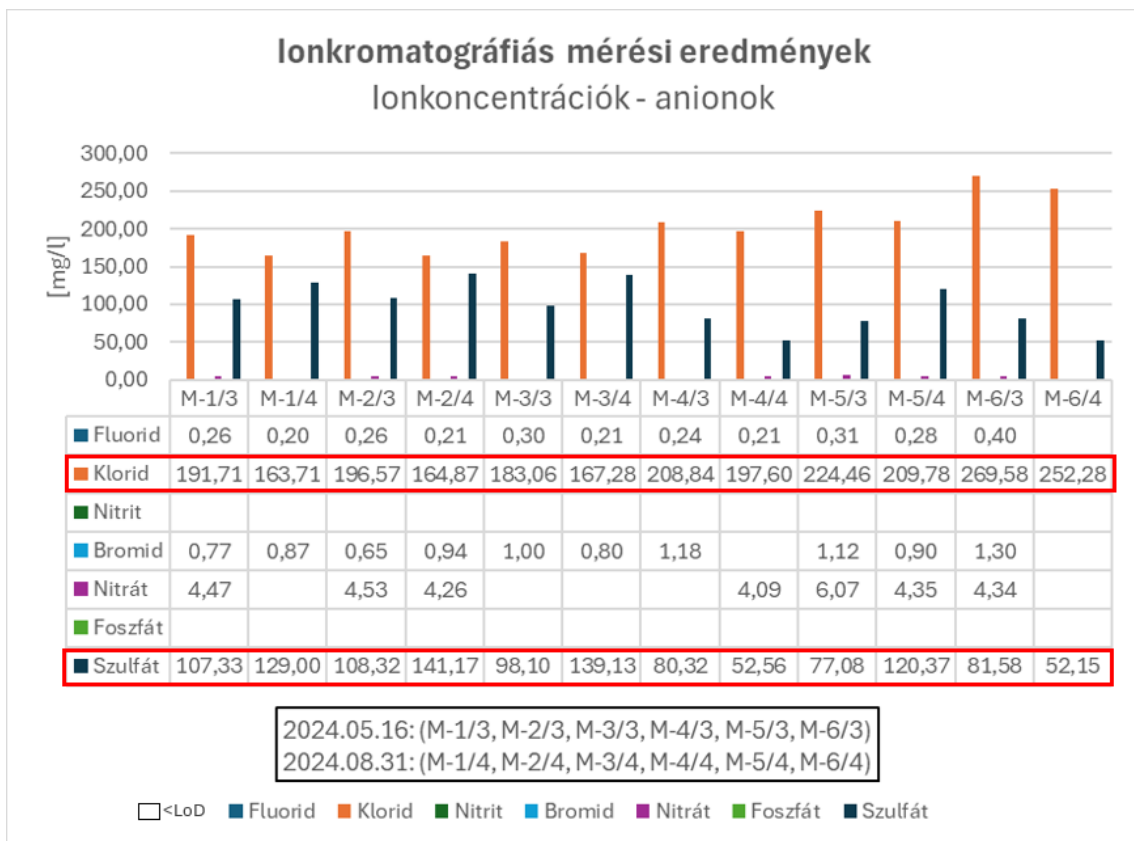


20. ábra
Tavaszi és nyári elemzések kation koncentráció értékei

A 21. ábra és 22. ábra ionkromatográfiasan mért anion koncentrációkat összegzi. A hét anion közül a klorid, illetve szulfát-ionok bizonyultak dominánsnak. A N- és P-formák, mint tápanyagformák közül a nitrát-ion koncentrációja mutat szignifikáns változásokat, elsősorban télen, amikor a nitrifikáció hatásfoka alacsonyabb. A nitrit-ion nem volt kimutatható a vizekben.



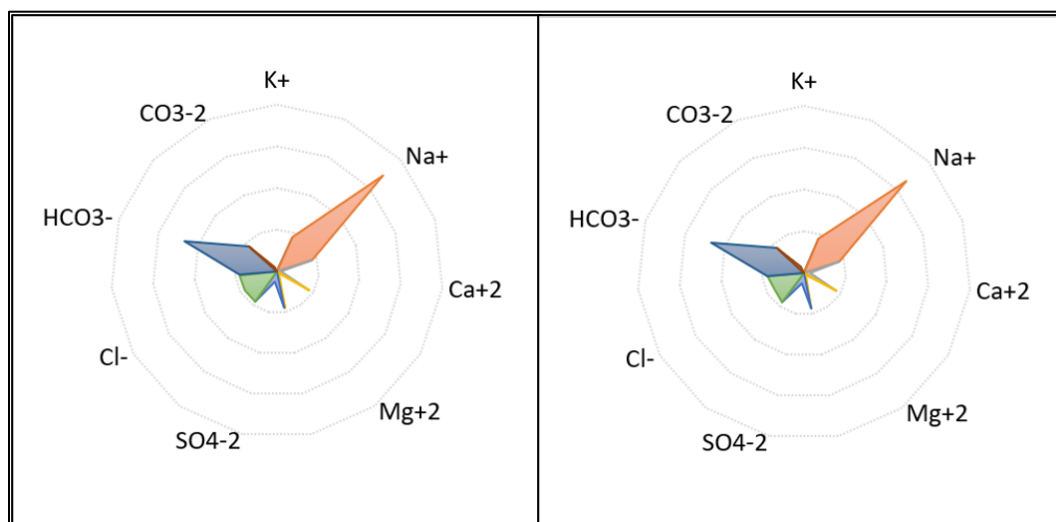
21. ábra
Őszi és téli vizsgálatok anion koncentráció értékei



22. ábra
Tavaszi és nyári vizsgálatok anion koncentráció értékei

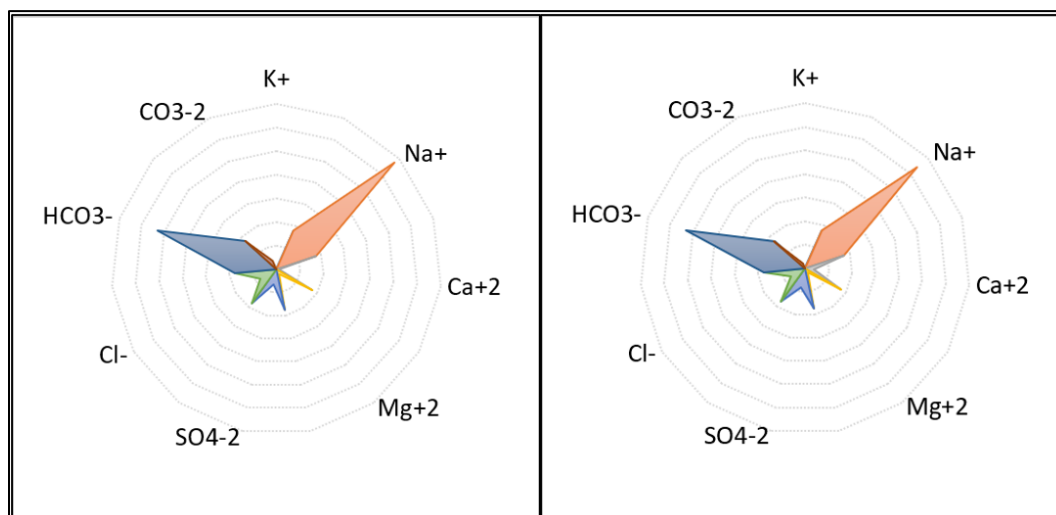
A természetes vizek kémiai jellegét legfőbbként a vízben oldott sók döntő hányadát képviselő nyolc ion, az ún. makroionok (négy kation: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; illetve négy anion: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) határozzák meg. A nátrium és kálium ionok az alkálifémek csoportjába tartoznak, jól oldódnak vízben. A mért adatok az ún. Maucha-féle csillagábra segítségével is kiértékelésre kerültek, hogy a vizek jellegéről vizuálisan is jól összehasonlítható tapasztalatink legyenek. A csillagdiagramokon nyolc makroion mennyisége egyenérték-százalékban van kifejezve. Az ábránál használt kör sugara arányos a víz összion-koncentrációjával. Azokat az ionokat, amelyek mennyisége meghaladja a 30 egyenérték-százalékot, víz típusát meghatározó uralkodó kationnak, illetve anionok nevezhető [27].

A 23. ábra és a 24. ábra mindegyike az első mintavételi pontokon mért eredményeket hasonlítja össze az esetenkénti szezonális változások szemléltetéséhez. A csillagábrák alapján egyértelműen látszik a vizsgált vizek nátrium-hidrogén-karbonátos jellege.



23. ábra

Bal oldalon az őszi, jobb oldalon a téli mérési eredmények Maucha-féle csillagábrázolása



24. ábra

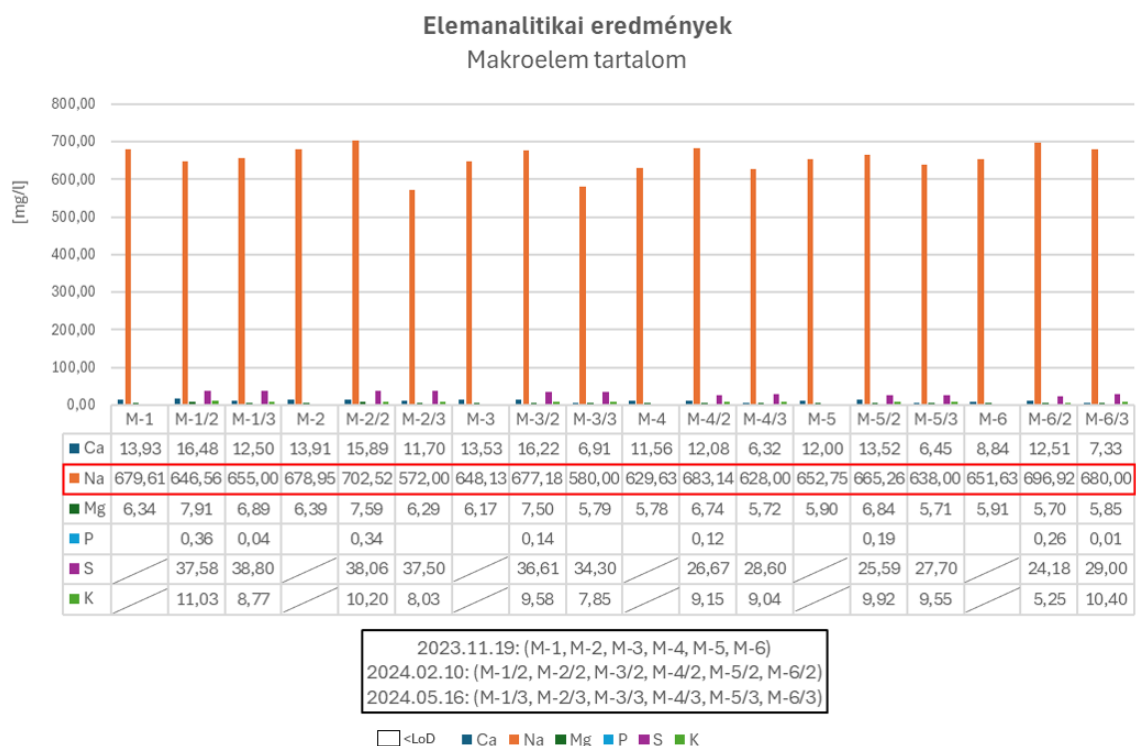
Bal oldalon a tavaszi, jobb oldalon a nyári mérési eredmények Maucha-féle csillagábrázolása

További következtetésekkel szolgálhat a Wilcox-típusú diagram, amely segítségével meg lehet határozni a víz öntözési célú felhasználhatóságát. Az értékek logaritmikusan vannak megadva. Az y tengelyen a nátrium veszélye (nátrium-adszorpciós arány-SAR), az x tengelyen a sótartalom veszélye, mint elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$) van feltüntetve. A SAR, valamint sótartalmi részt négy zónára lehet osztani (alacsony, közepes, magas, nagyon magas), ennek segítségével lehet besorolni a vizsgálandó vizet. Az AquaChem szoftver segítségével történt a kiértékelés mintavételi pontonként, mely szerint mind a két esetben a negyedik, ún. „nagyon magas” sótartalom- és nátrium-veszélyes zónába sorolható a használt termálvíz (2. melléklet), miszerint pl. nem javasolt a további öntözési célú felhasználás [28].

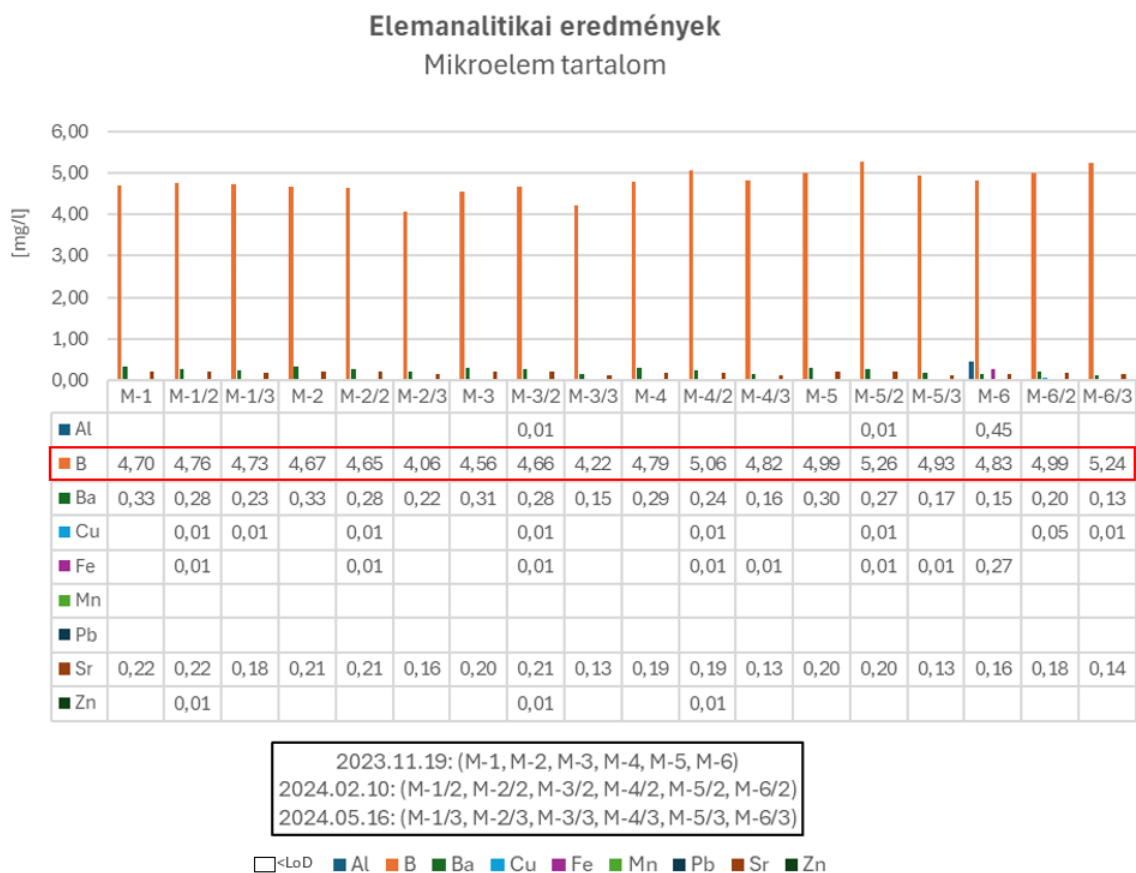
3.3.3 Elemanalitikai vizsgálatok

Elemösszetétel meghatározásra is lehetőség nyílt induktív csatolású plazma-optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) módszerrel a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratórium segítségével. A 2023. novemberi, 2024. februári és májusi eredmények kerültek kiértékelésre. Az augusztus végi mérés, a Tanszék költözése miatt később kerül le mérésre.

A 25. ábra a makroelemek koncentrációértékeit mutatja be. A diagramsávokon látható a víz nátrium tartalma sokkal jelentősebb 572,00-702,52 mg/l közötti mennyiségeket jelent, ill. a kalcium tartalom is meghatározó a februári időszakban. A kálium és kén értékek még aránylag jól kimutathatóak voltak a makroelemek között, ezen elemek mérése az novemberi vizsgálatnál mérési kapacitás hiányában sajnos elmaradt. A domináns elemek: nátrium, kalcium jó egyezést mutatnak az ionkromatográfiás mérési eredményekkel.



25. ábra
Makroelem összetétel ICP-OES módszerrel



26. ábra
Mikroelem összetétel ICP-OES módszerrel

A mért mikroelem koncentrációértékek összehasonlítva a korábbi 4. táblázat adataival jó egyezést mutatnak. A felszín alatti vizek bórtartalma rétegeredetű, ezen minták esetében ez a domináns mikroelem. A bór nélkülözhetetlen tápanyag a vízi élőlények és a szárazföldi növények számára is, de magas koncentrációban mérgező hatása is lehet.

A vízzel érintkező szerkezeti anyagokból beoldódó króm, nikkel, ólom érdemi mennyiségben nem mutatható ki a vizekben.

3.4 Következtetések, javaslatok

A vizsgált területen végzett mérési eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatók le: A Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő használt termálvíz felszíni befogadóba való elhelyezése negatív hatást gyakorolhat a Német-éri főcsatorna vízminőségére. A mért eredményeket a 10/2010. (VIII.18.) VM rendelet határértékeivel összevetve megállapítható, hogy a magas oldott anyag tartalom, illetve hőterhelés nem csak a vízi, hanem a szárazföldi ökoszisztéma állapotát is befolyásolja. A túl magas hőmérséklet hatására felborulhat a biológiai egyensúly, a feliszapolódás, szerves anyag képződés felgyorsulhat, az oldott oxigén koncentrációja a vízben lecsökkenhet [3].

Az öntözési célú hasznosítás is nehezített, ugyanis a víz magas sótartalma a talaj elszikesedéséhez vezethet. A legkárosabb fizikai és kémiai hatásokat a nátriumos és karbonátos sófelhalmozódás okozhatja. Az elszikesedés rossz levegő és vízellátottságú talajt eredményezhet, amelynél csak a szárazságtűrő növények életfeltételei biztosítottak [3].

A használt termálvízből, valamint szennyvízből a magas sótartalom eltávolítására alkalmazható megoldás lehet a membrán szeparációs kezelés, amelyek közül pl. a fordított ozmózis elvén működő megoldás a sótartalom csökkentésében is hatékony módszer. Az ozmózis egy spontán oldószer áramlási folyamat, amely egy félig-áteresztő membránon keresztül az alacsonyabb koncentrációjú oldatból a magasabb koncentrációjú oldat felé halad. A membrán átengedi az oldószert, de nem engedi át az oldott anyagot. Az ozmózis az ozmotikus nyomáskülönbségen alapszik, melyet az oldatok koncentrációkülönbsége hoz létre. Minél nagyobb az oldott anyagok koncentráció különbsége, annál nagyobb az ozmotikus nyomás. Az ún. fordított ozmózis során az oldószer (például tiszta víz) áramlik külső nyomás hatására egy féligáteresztő membránon keresztül a töményebb oldatból, a szennyezett hígabb oldat felé. Ez a tisztítási technológia minden egyéb módszernél hatékonyabb, hiszen a membrán tulajdonságaiból adódóan a szűrő eltávolítja a baktériumoknál ezerszer kisebb szennyeződések is [3].

Magyarországon kevés helyen alkalmazzák ezt a módszert. Az egyik ilyen rendszer Berekfürdő szomszédságában Karcagon a Nagykun Vízmű üzemeltetésében működik. A kezelendő hulladékvíz egy zárt medencébe kerül, amelybe membrán kazetták merülnek. A kazetta egy olyan szerkezet, ahol a fej egységhez sok száz vékony membráncső csatlakozik (27. ábra). A víz kívülről áramlik a vékony kapilláris csőbe, ahonnan a tisztított víz a fejen keresztül távozik [3].



27. ábra
Membrán technológia membrán modul eleme Karcagon

A jobb eredmények elérése érdekében fontos tényező lehet a települési szennyvíztisztító telep korszerűsítése. A berekfürdői szennyvíztisztító telepet 1985-ben létesítették. „A tisztítási technológia átfolyós, felületi levegőztetéssel ellátott oxidációs árkos technológia, amiről kijelenthető, hogy a telep nem korszerű (70-es évek). A technológia hatásfoka a jelenleg korszerűnek tekintett mélylevegőztetéssel ellátott üzemekhez képest jelentősen elmarad, azaz a mai kor igényeinek már nem tud megfelelni. A berekfürdői üzemi technológiához hasonló telepek jellemzően szisztematikusan leállításra és kiváltásra kerültek az utóbbi évtizedben, helyettük korszerűbb technológiákat üzemeltet be” [9].

Az elmúlt években az ÖLA, BOI₅ és KOI tekintetében történt határérték-túllépés, amely minden esetben bírságot vont maga után [9].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatómunkámban részletes terepi és laboratóriumi vizsgálatokkal követtem a vizsgált Gyógy- és Strandfürdő esetén a használt termálvíz felszíni befogadókra gyakorolt hatását. Célom volt bemutatni, és széleskörű vizsgálati adatokkal is alátámasztani, hogy a használt termálvíz felszíni befogadóba történő elhelyezése milyen hatással van a Német-éri főcsatorna vízminőségére.

A csatornába négy helyen történik fürdővíz jellegű szennyvíz bevezetés. A csapadékvíz elvezető csatornán keresztül egy gyógyszálló használt termálvize is befogadás kerül. Az Üllőlaposi I-8-1-c csatornába a Termál Hotel Pávai, valamint a Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő helyez el szintén nagy mennyiségű termálvizet. A fürdő hulladékvíz bevezetése jellemzően a nyári időszakban jelentősebb, amikor minden kültéri- és beltéri medence is üzemel.

Ennek ismeretében a saját terepi és laboratóriumi elemzéseimet úgy időzítettem, hogy széleskörű és átfogó információkat kapjunk a vizsgált vízfolyás időszakos, azaz szezonális változásairól. A mintavételi pontok kijelölését követően a vízminták vizsgálatát 3 havonta terepen (vízhőfok, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, sótartalom, összes oldott anyag, oldott oxigén), illetve a mintavételt követően, 24 órán belül a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék Vízminőségvédelmi laboratóriumában végeztük el. A laboratóriumi vizsgálatok alkalmával a zavarosság, biológiai-oxigénigény (BOI₅), kémiai-oxigénigény (KOI), összes szerves széntartalom (TOC), összes szervesetlen széntartalom (TIC), valamint a lúgosság értékének változását, illetve egy partner laboratórium által elemanalitikai vizsgálatok (ICP-OES) segítségével a minták makro- és mikroelem tartalmát is vizsgáltuk. Ionkromatográfiás vizsgálatokra is sor került, amely a vízminták anion és kation koncentrációértékeit összegeztük.

Megállapításaim szerint a használt termál- és fürdővíz bevezetések negatív hatást gyakorolnak a Német-éri főcsatorna vízminőségére, ezzel növelve a kockázatot a vízfolyás élővilágának és ökológiai állapotának veszélyeztetésére, valamint megnehezítve a további vízfelhasználást (pl. mezőgazdaság).

Mindezen hatások megelőzésére több javaslat is felmerült, melyek közül kiemelt a használt vizek biztonságos újrahasználatát támogató hatékony vízkezelési vagy víz előkezelési megoldások alkalmazása és a megfelelő vízminőségi határérték szabályozása.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni Dr. Bodnár Ildikó, főiskolai tanárnak, témavezetőmnek a kutatómunkában nyújtott szakmai segítségét és azt, hogy lehetővé tette, hogy a minták vizsgálatát a Környezetmérnöki Tanszék Vízhőszámszámvetési Laboratóriumában végezzem el.

Köszönöm Hosszu Andrásnak, a Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő ügyvezető igazgatójának, hogy adatokat szolgáltatott, illetve, hogy segítséget nyújtott a mintavételi pontjaim lehatárolásában.

Köszönöm Dr. Baranyai Edinának és Dr. Sajtos Zsófinak, hogy a vízminták elemanalitikai vizsgálatát tekintve a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratóriumában segítséget nyújtottak.

Köszönöm Izbékiné Szabolcsik Andrea egyetemi tanársegédnek a szakmai segítséget.

IRODALOMJEGYZÉK

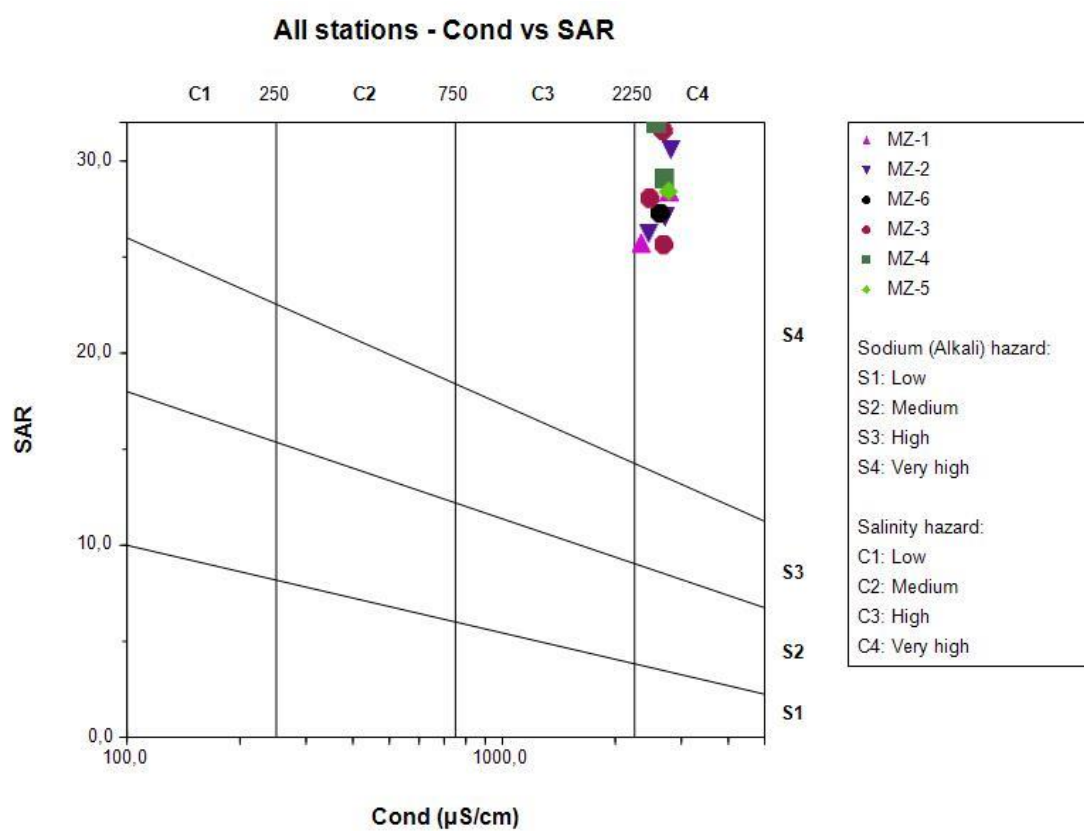
- [1] T. Hárs, „A termálvizek környezetterhelési és gazdasági hatásai,” Biológiai Tudományi Doktori Iskola, Budapest, 2006.
- [2] J. Dr. Szanyi, M. Kurunczi, B. Dr. Kóbor és T. Dr. Medgyes, Korszerű technológiák a termálvíz visszasajtolásában, Szeged: InnoGeo, 2013.
- [3] I. Dr. Bodnár és S. Fórián, A termálvíz kitermelése és környezetvédelmi vonatkozásai, Debreceni Egyetem: AMTC-Műszaki Kar, 2009.
- [4] J. Padisák, Általános limnológia, Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 2005.
- [5] M. H. Dickson és M. Fanelli, Geothermal Energy, London: Routledge, 2003.
- [6] A. Dr. Vendl, Geológia I., Budapest: Tankönyvkiadó, 1951.
- [7] M. Millisits, „PestBuda,” [Online]. Available: https://pestbuda.hu/cikk/20210516_aki_budapest_artezi_kutjait_furta_200_eve_szulett_zsigmondy_vilmos.
- [8] „Berekfürdő Hivatalos Weboldala,” [Online]. Available: <https://www.berekfurdo.hu/?module=news&fname=fekves>.
- [9] *Mentességi vizsgálat az időszakos vízfolyásokra, 2021.*
- [10] M. Háfra, E. Virághné Kőházi-Kiss, I. Békési, N. Mészárosné Bunász, Z. Szalóki, P. G. Katona, S. dr. Nagy, J. Szabó, G. Szedlák, E. Garamvölgyi-Dankó, A. Bodnárné Szabó és Z. Uri Szabó, „Vízészlet-gazdálkodási Térségi Terv,” Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, Szolnok, 2017.
- [11] L. J. Nagy, „A csillagok gyermekei vagyunk”, Debrecen: Mozgáskorlátozottak PIREMON Kisvállalata, 1991.
- [12] T. Szabó, „A Berekfürdői Termál-és Strandfürdő hidrogeológiája és vízbázisvédelmi feladatai,” Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar, Debrecen, 2011.
- [13] J. Gál, „Balneotechnika,” Kézirat, Berekfürdő, 2008.
- [14] J. Széll, „1. sz. gyógyvízes kút (K-70) és 2. sz. gyógyvízes kút (K-68) Ásványvízminősítő vizsgálati eredmények,” TECHNO-VÍZ Laboratóriumi és Mérnökszolgálati Kft., Szolnok, 2009.
- [15] G. Dr. Mauritz, „A Berekfürdő, Strand 3. sz. termálkút műszeres vizsgálata,” GEOSERVICE Kft., Miskolc, 2002.

- [16] J. Széll, „Berekfürdő Strandfürdő 4. sz. termálkút ásványvíz vizsgálati eredményei,” TECHNO-VÍZ Laboratóriumi és Mérnökszolgálati Kft., Szolnok, 2008.
- [17] Y. Kong, Z. Pang, H. Shao és O. Kolditz, „Optimization of well-doublet placement in geothermal reservoirs using numerical simulation and economic analysis,” Springer, Berlin, 2017.
- [18] P. Kovács, „Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási honlapja,” [Online]. Available: <https://vizeink.hu/>.
- [19] „Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 1-3. melléklet,” Budapest, 2021.
- [20] B. P. Kft., „Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság,” [Online]. Available: <https://www.kotivizig.hu/kozep-tisza-videki/vizgazdalkodas-vizszolgaltatas/vizkeszlet-gazdalkodas>.
- [21] V.-g. Terv, „1-2. melléklet Felszíni víztetst típusok referencia jellemzői,” 2021.
- [22] I. Dr. Bodnár, „Oktatási segédlet a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring I. c. tantárgyhoz,” DE-MK Környezetmérnöki Tanszék, 2024.
- [23] I. Dr. Bodnár, „Oktatási segédlet a Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem (Szennyvíztisztítás) c. tantárgyhoz,” DE-MK Környezetmérnöki Tanszék, 2024.
- [24] *MSZ 448-21:1986 szabvány.*
- [25] I. Dr. Bodnár, „Oktatási segédlet a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring II. c. tantárgyhoz,” DE-MK Környezetmérnöki Tanszék, 2024.
- [26] K. Pál, „Kezelt és kezeletlen szintetikus előállított fürdővizek elemzése és fehér mustármag csírákra gyakorolt hatásuk vizsgálata,” DE-MK Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, 2020.
- [27] S. Balázs és S. Fórián, „Tisztított szennyvíz bevezetés hatása a Kakat-ér vízminőségére,” Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezet-és Vegyészmérnöki Tanszék, Debrecen, 2011.
- [28] „AquaChem 10.0 Water Quality Analysis Software,” Waterloo Hydrogeologic, Canada, 2021.
- [29] F. Pálfalvi, „Vízföldtani napló,” VIKUV RT., Cegléd, 2003.

MELLÉKLETEK



1. melléklet
A Berekfürdői Gyógy-és Strandfürdő hévízkutjainak elhelyezkedése [29]



2. melléklet
Wilcox-féle besorolás a mért értékek alapján [28]