

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



A Hortobágy-Berettyó öntözővízként történő hasznosításának vizsgálata

Szerző: **Jónás Dóra IV. évfolyamos
környezetmérnöki szakos BSc hallgató**

Témavezető: Izbékiné Szabolcsik Andrea, tanársegéd
Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes László

Debrecen
2024.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés	6
2.1. A Föld vízkészletének megoszlása.....	6
2.2. Belvíz fogalma és kialakulása	7
2.3. A vizek szennyeződésének folyamata.....	8
2.4. Vizeket veszélyeztető tényezők	9
2.5. Víztisztítás.....	11
2.6. Öntözővíz szerinti minősítés	14
3. Anyag és módszer	17
3.1. A Hortobágy-Berettyó tervezési alegység bemutatása.....	17
3.2. Víztestek jellemzése	20
3.3. Emberi tevékenységből eredő terhelések	20
3.4. Mezőgazdasági vízhasznosítás	21
3.5. A Hortobágy-Berettyó monitoringja és minősítése	23
3.5.1. Mintavételi helyek.....	23
3.5.2. Mintavételi időpontok	24
3.5.3. Mintavétel módja.....	25
3.6. Alkalmazott módszerek	26
3.6.3. Helyszíni mérések	26
3.6.4. Laboratóriumi mérések	27
4. Eredmények és értékelések	32
4.5. Helyszíni mérések eredményei.....	32
4.6. Laboratóriumi vizsgálatok.....	35
4.6.3. Lúgosság mérése	35

4.6.4.	Biológiai oxigénigény	36
4.6.5.	Összes szerves széntartalom vizsgálat	37
4.6.6.	Kémiai oxigénigény	38
4.6.7.	Zavarosság mérés	39
4.6.8.	Ionkromatográfiás vizsgálat	40
5.	Következtetések és javالات	47
6.	Összefoglalás.....	50
7.	Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezetés

A földi élet története vízben kezdődött [1]. A víz létfeltétel mind az emberek, állatok és növények számára, melynek hiánya súlyos problémákat okozhat az életfunkciójuk működésében. Éppen ezért nagyon fontos mind a felszíni és felszín alatti vizek minőségének a védelme, megfelelő állapotuk megóvása, valamint a vízkárok helyreállítása. Felszíni vizeink károsodása számos okra vezethető vissza, de a legszélesebb körben jelenlévő probléma az eutrofizációs, tehát az elnövényesedési problémák. 2004-ben Magyarország csatlakozott az Európai Unióhoz, így hazánknak is alkalmazkodnia kell a Víz Keretirányelv (továbbiakban VKI) célkitűzéseire [2]. A VKI 2000. december 22-én lépett hatályba. Magyarországnak (elhelyezkedéséből adódóan) alapvető érdeke, hogy a Duna nemzetközi vízgyűjtő területén a VKI célkitűzéseire mielőbb megvalósuljanak. A VKI célja a felszíni és felszín alatti víztestek „jó állapotának” elérése 2015-ig. A keretirányelv szerint a „jó állapot” nem csak a víz tisztaságát jelenti, hanem a vízzel kapcsolatos élőhelyek minél zavartalanabb állapotát és az elegendő vízmennyiséget is. A vízgyűjtő-gazdálkodási terv (továbbiakban VGT) elsősorban azon szabályozásoknak és projekteknek az összefoglalása, amelyek garantálják a környezetvédelmi célkitűzések (azaz a jó ökológiai, kémiai és mennyiségi állapot) elérését [3].

A víz tehát az egyik legfontosabb természeti erőforrásunk. Meg kell őriznünk és kezelnünk kell úgy, hogy kielégítsük a növekvő vízigényt, elsősorban az ivóvízigényt, de a mezőgazdaság, a vízenergia-termelés és az ökológiai egyensúly szempontjából is. Ennek a feladatnak a fő korlátozó tényezője elsősorban a vizek folyamatos elszennyeződése és a felhasználási igényekhez kötődő vízminőség nem megfelelése. Manapság a felszíni vizek legfőbb szennyezője a sokszor tisztítatlan, vagy nem megfelelően tisztított szennyvíz bevezetése, amely különböző növényi tápanyagokat, sókat, gyógyszermaradványokat és egyéb szennyezőket tartalmazhat. A TDK dolgozatom fő központjában egy általam választott, a lakóhelyem közelében található főcsatorna öntözővíz szerinti minősítése áll, amely csatorna vizét jelenleg is használják öntözésre.

A vizsgálataim során kémiai minősítő vizsgálatokat végeztem laboratóriumban, a helyszíni mérések mellett. Helyszíni méréseim alkalmával a MultiLine P4 terepi mérőbőröndöt használtam, amellyel a pH, oldott oxigén, hőmérséklet, illetve a fajlagos vezetőképesség értékeit határoztam meg.

Laboratóriumi méréseim során végeztem zavarosság mérést, kémiai és biológiai oxigénigény, valamint lúgosság és összes szerves széntartalom meghatározást.

Ionkromatográfiás méréssel a mintáimban található anionokat és kationok mennyiségét határoztam meg.

Mivel célom az öntözővízkénti minősítés, ezért Filep szerint módszerrel is minősítettem a vizeimet, ehhez a három alapjellemező: a víz sókoncentrációja vagy elektromos vezetőképessége, a nátriumegyenértékszázalék (Na%), és a nátriumabszorpciós arány (SAR) értékének figyelembevétele szükséges. A Na^+ -felhalmozódás veszélyének (a víz szikesítő hatásának) becslésére a különböző vízminősítési rendszereknél a SAR és a sókoncentráció, vagy a Na% és a sókoncentráció szolgál [4]. Ennek tükrében az ionkromatográfiás eredményeim segítségével ezen értékeket is kiszámítottam. Ennek köszönhetően megállapíthatom, hogy a vizsgált Hortobágy-Berettyó Bucsá és Ecsegefalva közötti folyószakasza milyen öntözővíz kategóriába tartozik.

2. Szakirodalmi áttekintés

A kutatási témám a Hortobágy-Berettyó öntözővíz szerinti minősítése, így ezen fejezetben szeretném bemutatni Földi vízkészletek megoszlását, azt, hogy milyen vízformákat különböztetünk meg, illetve, hogy ezek a formák hogyan oszlanak meg egymáshoz képest. Továbbá ismertetném, hogy hogyan alakul ki a belvíz jelensége és annak milyen hatása van a belvíz elvezető csatorna minőségére. Továbbá bemutatom a vízszennyezés folyamatát, illetve, hogy milyen fő szennyezők járulnak hozzá a vizek minőségének romlásához. További alfejezetben pedig ismertetem Magyarországon és az Európai Unióban hatályos vízminősítési rendszert és a hazánkban érvényben lévő jogszabályokat, valamint a Filep György féle öntözővíz minősítési rendszert is.

2.1. A Föld vízkészletének megoszlása

Bolygórendszerünk valamennyi tagja közül egyedül a Földön fordul elő a víz mindhárom halmazállapotban. A Földön meglévő vízmennyiség, a Föld szilárd kérgében kémiaiilag, és az élő szervezetekben biológiailag kötött formában lévő vizek nélkül pedig, 1,35-1,40 milliárd km^3 -re tehető. E vízmennyiség mintegy 98%-át az óceánok és tengerek, továbbá a sarki jégtakaróban és gleccserekben lefagyott víz teszi ki. A szárazföldek vizeire kevesebb, mint 2% jut, és elenyésző a légkörben légnedvesség formájában meglévő vízmennyiség [5].

A szárazföld vizeit felszíni és felszín alatti vizekre osztják. A felszíni vizek a földfelszín különböző eredetű, alakú és méretű mélyedéseiben (a mederben) összegyűlő, és azokban a gravitáció hatására mozgó folyó- vagy nem mozgó állóvizek lehetnek. A talajvíz a földkéreg különböző méretű pórusaiban, réseiben és repedéseiben található víz. A földkérget alkotó kőzetek tulajdonságai szerint a felszín alatti vizek két csoportra oszthatók: az egyik a karsztosodásra hajlamos karbonátos kőzetekben (mészkő, dolomit) található karsztvíz, a másik csoport pedig az üledékes, porózus kőzetekben található, és a pórusokat teljesen kitöltő talaj- és rétegvíz. A talajvíz a felszín felől közelítve első vízzáró réteg fölötti víztartó rétegben található, a csapadékkal szoros kapcsolatban lévő víz, az első vízzáró réteg alatt víztartó rétegekben található víz a rétegvíz. A rétegvizek sokszor a légköri nyomást meghaladó alatt állnak, az ilyen rétegbe mélyített furatokban a víz a víztartó rétegnél magasabban, esetenként a felszín fölé emelkedve jelenik meg (artézi víz). A vízfolyások közelében lévő talajvíz, amelynek kutakkal történő kivétele során a kivett víz legalább 50%-a folyóvízből pótlódik, a parti szűrészű víz. Amikor a víz természetes körülmények között bukkan a felszínre, azt

forrásnak nevezzük, amely lehet állandó vagy időszakos. A felszín alatti vizek közé sorolható a talajvíz feletti, a termőtalajt magába foglaló rétegben meglévő talajnedvesség is. A talajnedvességet tartalmazó réteg pórusaiban levegő is van. A vizek természetes előfordulási formájuk szerinti osztályozása azért is lényeges, mivel a számos eltérő tulajdonságuk (megújulásuk, minőségük, hozzáférhetőségük, energiatartalmuk, sérülékenyséjük, védettségük) miatt eltérő mértékben és módon jönnek számításba különböző célú használatuk során. A felszíni víz pl. minden emberi létesítmény nélkül közvetlenül is hozzáférhető, míg a felszín alatti vizek csupán kutak létesítésével, és többnyire vízkiemelő berendezésekkel, azaz energiárfordítással válnak hasznosíthatóvá. A gravitáció hatására mozgó folyóvíz energiát is szolgáltat. A felszíni vizek kevésbé védettek a szennyezések ellen, s hasonlóképpen sérülékenyek a fedetlen karsztok vizei is. Ezzel szemben a vízzáró réteggel felülről fedett rétegvizek többnyire védettek a felszíni eredetű szennyezésekkel szemben [5].

2.2. Belvíz fogalma és kialakulása

Magyarország a Kárpát-medence árvizekkel, belvizekkel és aszályal szemben rendkívül veszélyeztetett területén fekszik. Az elmúlt évtizedekben hazánkban a szélsőséges időjárási események jelentős károkat okoztak árvizek, belvizek és helyi vízkárok területén. Az ország közel 45 000 km² -es sík területének jelentős része belvízveszélyes. Az ilyen nagyságrendű, ismétlődő belvizek nemzetközi viszonylatban is egyedülálló problémát jelentenek.

A belvíz fogalmát többféleképpen határozták meg, de lényegét a következő meghatározás ragadja meg a legjobban: a belvíz a vízgyűjtő terület felszínén vagy a felszínközeli képződmények/talaj hézagaiban lévő felesleges víz, amely akadályozza a növényzet növekedését vagy károsítja az emberi építményeket.

A belvizek keletkezésének két alapesete van: az összegyülekezési és feltörő, felszivárgó belvizek.

Az első típusnál a felszíni víz lefolyását és szivárgását éghajlati, szemcseméretbeli vagy domborzati okok átmenetileg akadályozzák. A feltörő, felszivárgó (réteg- vagy talajvíz eredetű) belvizek a Darcy-törvény ¹által meghatározottan a felszín alól, a felszín alatti vizek nyomásviszonyai alapján jutnak a talajra, és közvetlenül nem a felszíni csapadékból.

¹ A talajvíz gravitációs mozgásának, szivárgásának általa megállapított törvénye (Darcy törvény) a talajvizek mozgására irányuló kutatások alaptétele lett [38].

A belvízi események három különböző időszakban fordulnak elő: téli-tavaszi (december-április), nyári (május-augusztus) és őszi (szeptember-november) időszakban. A belvíz minden időszakban számos problémát okoz, de a mezőgazdaságban a fajlagos (területegységre vetített) belvízkárok különösen nagyok nyáron, amikor a víz szinte a teljes termést elviszi. A belvízzel szembeni sebezhetőséget egy olyan mérőszámmal jellemzik, amely figyelembe veszi az éghajlati tényezőket, a domborzatot és a földhasználatot.

A belvízgazdálkodási rendszer egy belvízgyűjtő területen tervezett belvízgazdálkodási művek összessége, amelynek célja a gazdaságos belvízelvezetés biztosítása a teljes vízgyűjtő területén. A vízelvezetés magában foglalhatja a hasznos tápanyagok eltávolítását oldott és kötött formában. Ez viszont jelentős környezeti terhelést jelenthet a befogadó felszíni víztestekre. A vízhasznosítás és a vízviasszatartás mellett a vízminőség változása is fontos, például az öntözés vagy a vizes élőhelyek létrehozása érdekében. Az eltérő jellemzőkkel rendelkező területeken - például eltérő talajok, belvíztípusok és földhasználat - eltérő belvízgazdálkodási módszereket kell alkalmazni, és eltérő vízminőségi küszöbértékeknek kell megfelelni. Ez indokolja a vízminőség fejlesztésére irányuló kutatást. A vízminőség időbeli alakulásának és az azt befolyásoló tényezőknek az ismerete segít a terület számára legmegfelelőbb belvízgazdálkodási stratégia kiválasztásában. A vízgazdálkodás célja, hogy a városi és ipari területeken a vizek károsodás nélkül elfolyjanak, a mezőgazdasági és erdészeti területeken a lehető legjobb kapcsolatot teremtsék meg a természetes vizek és a felszíni és felszínközeli talajrétegek között, és nem utolsósorban, hogy műszaki megoldásokkal megelőzzék a vízkárokat [6], [7], [8].

2.3. A vizek szennyeződésének folyamata

A felszíni és felszín alatti vízkészletek mindenkor szennyeződtek, a múltban főként természetes úton. Ma a szennyezés fogalmát tágabb értelemben kell értelmezni. Ma a szennyezés azt jelenti, hogy mind az ember, mind a környezete olyan mértékben megváltozik, hogy az élet számára kedvezőtlené vagy alkalmatlanná válik. A vízrendszerekkel összefüggésben a szennyezésnek három típusát különböztetjük meg:

- Szennyeződés olyan mérgező anyagok által valósulhat meg, amelyek az embert és környezetét a táplálékláncba való bekerülés útján károsíthatják.
- Szennyezés a fotoszintézis és a respiráció egyensúlyát zavarja meg. Ezt az állapotot okozhatják mind szerves anyagok, mind pedig növényi tápanyagok, amelyek eutrofizációt okoznak.

- A természetes vizek degradációja, amely az ökológiai rendszerek integritásának megbontása révén következik be [9].

A vízhasználatok során az ember beavatkozik a vízkörforgásának természetes rendjébe. A vizek szennyeződése csak körültekintő vízminőség-gazdálkodással kerülhető el [10]. A szennyezés minden esetben az emisszióval indul, amely egy adott szennyező forrásból történő kibocsátást jelent. A folyamat második lépése a transzmisszió, amely az emisszió által kikerült szennyezőanyag közegben való elterjedését, hígulását, átalakulását jelenti. A harmadik lépés pedig az immisszió, tehát az adott ponton mért szennyezettség értékét jelenti. Az emisszió, tehát a szennyezőanyag kikerülése a közegbe, különböző forrásokból valósulhat meg. Vízszennyezés esetén megkülönböztetünk pontszerű, valamint diffúz forrásokat.

- Pontforrásról beszélünk olyan esetekben amikor a szennyezőanyag csővezetéseken vagy nyílt csatornákon keresztül jut a felszíni vagy felszín alatti vizekbe, ilyenekre jó példa a szennyvíztisztító telepek ipari szennyvize, olajvezetékek szennyvize, hígtrágyatárolók szivárgása.
- Diffúz forrásokról, pedig akkor beszélünk amikor egy nagyobb térbeli kiterjedésen keresztül jut a felszíni, illetve felszín alatti vizekbe a szennyezőanyag, diffúz szennyezésekre olyan példákat sorolnék fel, mi a szántóföldekről a vízbe szivárgó növényi tápanyagok, növényvédő szerek, kommunális hulladéklerakókból származó elfolyó anyagok [11].

Egy pontforrás nagyon könnyen azonosítható a kibocsátások jellege alapján, és szennyező hatása jól mérhető. Következésképpen a szükséges intézkedések és műszaki beavatkozások egyértelműen meghatározhatók. A diffúz források esetében a szennyezés nehezen azonosítható, mivel a folyamatok összetettek, és lehetnek mind természetes, mind pedig antropogén eredetűek [12].

2.4. Vizeket veszélyeztető tényezők

A felszíni vizek a Föld egyik legsebezhetőbb erőforrásává váltak a különböző szennyezési forrásokból eredő minőségromlás miatt. A szennyező anyagok tér-időbeli eloszlásának megértése és a szennyezőanyagok azonosítása, a szennyezőanyagok szennyezőforrásainak meghatározása a folyórendszerekben a vízkészletek védelmének és fenntartható hasznosításának előfeltétele [13].

Vízszenyezésnek minősül minden olyan - általában mesterséges - külső hatás, amely a felszíni és felszín alatti vizek minőségét oly módon változtatja meg, hogy a víz természetes folyamatokra és emberi felhasználásra való alkalmassága csökken vagy megszűnik [14]. Tehát azon fizikai, kémiai, biológiai, bakteriológiai és radiológiai változás a víz tulajdonságában, amelynek következtében emberi felhasználásra és a természetes vízi élet számára való alkalmassá tétele költséges vagy szélsőséges esetben nem gazdaságos [12].

A víz szervesetlen és szerves anyagokkal való szennyeződése komoly problémát jelenthet. A megnövekedett szennyvízkibocsátás, a nagyüzemi állattartás és a szántóföldekről kimosódó műtrágyák növelik a víztestek tápanyag- (főként foszfor-) terhelését. Ez a tápanyag-túlkínálat a vízi növények, különösen a mikroszkopikus algák túlszaporodásához vezet, ami számos emberi vízhasználatot károsít. Ez az eutrofizáció néven ismert folyamat nem egyszerűen csak az algák mennyiségének növekedését jelenti, hanem egy összetett eseményláncot, amely megváltoztatja az egész vízi ökoszisztémát. Különösen tavainkban nyáron gyakran fordulnak elő cianobaktériumok (kékalgák), amelyek között vannak olyan fajok, amelyek képesek mérgeket termelni, de olyan szerves vegyületek is (pl.: geosmin, 2-metilizoborneol), amelyek miatt a halaknak iszap íze van. Az eutrofizáció globális probléma, és hazánkban is országos jelentőségű problémákat okoz. Az Egészségügyi Világszervezet (röviden: WHO) ajánlása szerint a cianobaktérium-dominanciájú és 75 µg/l feletti a-klorofill-koncentrációjú vizek nem alkalmasak fürdésre [1].

Vizeinket egyre inkább szennyezik az ember által előállított vegyi anyagok, az úgynevezett mikroszennyező anyagok is, amelyek káros élettani folyamatokat indíthatnak el, és sok esetben a táplálékhálózaton keresztül felhalmozódnak. Ezek a mikroszennyező anyagok lehetnek gyógyszerek, testápolási termékek, kozmetikumok, ízfokozók, poliaromás és illékony szénhidrogének, amelyeknek élettani hatásai lehetnek, például a hormonműködésre, az endokrin rendszerre, az immunrendszerre és idegrendszerre károsító hatásúak lehetnek [1].

A gyógyszermaradványok köre is igen széles: antibiotikumok, fájdalomcsillapítók, hormonkészítmények, gyulladáscsökkentők. A gyógyszerhatóanyagok akár 90%-a átalakulás nélkül is elhagyhatja a szervezetet, és a kommunális szennyvízbe kerülhet. Ezen anyagok többsége nem kerül eltávolításra a szennyvíztisztítás során, és így bekerülhet az élővizeinkbe, ahol az ökoszisztémára és a különböző szervezetekre gyakorolt hatásuk gyakran ismeretlen, és kimutatásukhoz ökológiai és ökotoxikológiai vizsgálatokra van szükség. A helyzetet

súlyosbítja ezen anyagok lehetséges szinergikus² hatása és a mikrobiális lebontásuk során keletkező, ismeretlen aktivitású kismolekulájú vegyületek köre [1].

Bolygónkon évente közel 300 millió tonna műanyag hulladék keletkezik, amely mind a tengeri, mind az édesvízi ökoszisztémákban megtalálható. Lassú lebomlásuk (akár több száz év) és az egyre növekvő mennyiségű műanyagtermelés miatt egyre nagyobb mennyiségben halmozódnak fel a befogadó vizekben és azok üledékeiben. A műanyag mikrorészecskék (<5 mm) különösen nagy aggodalomra adnak okot, mivel kis méretük lehetővé teszi, hogy könnyen bejussanak a vízi élővilág emésztőrendszerébe. Ezek a részecskék környezetre veszélyes anyagokat, például poliklórozott bifenileket (PCB-eket) vagy policiklikus aromás szénhidrogéneket (PAH-akat) adszorbeálnak, de lebomlásuk során környezetre káros vegyi anyagokat is kibocsátanak. A vízi gerinctelenek és a fiatal halak fogyasztása révén a vízi táplálékhálózatba is bekerülnek, és végül az emberhez is eljutnak [1].

A szennyező anyagok különböző típusúak és tulajdonságúak lehetnek. Ezek a szennyező anyagok a környezetbe kerülve felhalmozódnak. Káruk a mennyiségük növekedésével növekszik [15].

2.5. Víztisztítás

A vízminőség a víz tulajdonságainak összessége. Ezért egyértelmű, hogy nincs egyetlen módszer, amellyel meghatározható. Nincsenek olyan skálák vagy mutatók, amelyek általánosságban kifejezhetnék a vízminőséget. A gyakorlatban mindig valamilyen megfelelő minőség megállapításáról van szó. A folyóvíz, az állóvíz (felszíni víz), az ipari víz (pl. hűtővíz vagy öntözővíz) és természetesen az ivóvíz minősítése ezért külön tárgyalható. Az osztályozás minden esetben a választott cél szempontjából releváns tulajdonságokon alapul. A vízminőséggel szemben támasztott igények tehát széles skálán mozognak. Annak meghatározása, hogy a víz szennyezett-e, tehát a felhasználási céltól függ [16].

A vízminőség általában a vizek fizikai, kémiai, biológiai és bakteriológiai tulajdonságainak összessége [5]. A víz minőségének meghatározása szakszerű mintavételből, valamint helyszíni fizikai, kémiai, biológiai és bakteriológiai vizsgálatok elvégzéséből áll [9]. A vízminőség-értékelés a vízminőség meghatározására irányuló tevékenység, amelynek két fő feladata van: a vízminőség jelenlegi állapotának összehasonlítása a vízminőségi követelményekkel, valamint a vízminőségi helyzet következetes értékelése [17]. A víz fizikai

² Az a jelenség, amelyben két vagy több anyag egyedi hatása összekeveréskor részvételi arányuknak megfelelően összegződik. Az összhatás lehet a számtani összegnél nagyobb, tehát erősíti egymás hatását [39].

tulajdonsága a vízhőmérséklettel, átlátszósággal (zavarossággal), a szagával jellemezhető. A kémiai tulajdonságok a vízben található oldott szervesanyagokkal, az összes oldott anyagtartalommal (halobitás), biológiai tulajdonsága elsősorban a szervesanyag-termeléssel (trofitás), és a szerves anyag lebontó képességével (szaprobítás) írható le. A vizek szennyezés tekintetében való terhelhetőségéhez a vízmennyiség, a vízhozamok tájékozottsága is elengedhetetlenül szükséges. A vizek minőségi meghatározása és minőség szerinti osztályba sorolása az MSZ 12749/1194 szabvány szerint történt. Ez a szabvány a vízminőségi jellemzők öt csoportját különítette el:

1. oxigénháztartás,
2. nitrogén- és foszforháztartás,
3. szerves mikroszennyezők (és toxicitás),
4. mikrobiológiai,
5. és egyéb jellemzők [5].

A vízminőség szempontjából fontos a nitrogén és foszfor mennyisége, mivel ezek az autotrof táplálkozású szervezetek tápanyagai. A nitrogén- és foszfortartalom növekedése együtt jár a vízi élővilág részét alkotó fitoplanktonok elszaporodásával, és ez növeli a vizek trofitását. A fitoplanktonok a vízi élővilág fontos táplálékláncát indítják el, elhalásuk és lebomlásuk oxigént von el a vízből, ezért a nitrogén- és foszforháztartás összefügg az oxigénháztartással. A nitrogén- és a foszforháztartás a víz a különböző nitrogénformák (ammónium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrát (NO_3)) a foszfor főleg az ortofoszfát (PO_4) mennyiségével jellemezhető. Az oxigénháztartást az oldott oxigéntartalom (mg/l), oxigéntelítettség (%), biológiai (BOI_5 mg/l) és kémiai (KOI) oxigénigény jellemzi. Az egyéb jellemzők között a víz lúgosságát mérő pH, az összes oldott anyagtartalommal szoros kapcsolatban levő vezetőképesség (mikroS/cm) is szerepel [5]. A biológiai, kémiai és fizikai vízminőségi paraméterek rendszeres ellenőrzése a paraméterek közötti hatások és kölcsönhatások nyomon követése a vízfelhasználások egyre szélesebb köre szempontjából elengedhetetlen [18].

Minden vízminőségi jellemző esetében 5 minőségi osztály volt megállapítva, amelyek a következők: [5] kiváló víz, jó víz, tűrhető víz, szennyezett víz, valamint az erősen szennyezett víz.

A minősítésem során figyelembe vettem a 10/2010. (VIII.18.) VM rendeletet, „a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól” [19] szóló jogszabály határértékeit is, mivel ezen rendeletben szerepelnek a hatályos határértékek, amellyel eldönthető a folyó minőségi állapota.

2000. december 22.-én lépett hatályba az Európai Unió tagországaiban a “Víz Keretirányelv” (2000/60/EK irányelve), amely az EU új vízpolitikája. 2004-ben Magyarország csatlakozott az Európai Unióhoz (EU), így hazánknak is alkalmazkodnia kell a Víz Keretirányelv (továbbiakban VKI) célkitűzéseire [2]. Magyarország első Vízyűjtő-gazdálkodási Tervét (VGT) 2010-ben fogadták el, a Magyar Közlöny 84. számában 1127/2010.(V. 21.) Kormányhatározattal hirdették ki, majd ismételtén 2012. évi 21. számban 1042/2012. (II. 23.) Kormányhatározattal. Az EU 2000/60/EK VKI előírása szerint a VGT-et 6 évente felül kell vizsgálni. A második VGT 2015. december 22-én készült. A Kormány 1155/2016. Korm. határozattal elfogadta Magyarország felülvizsgált, 2015. évi VGT-t [20]. A VKI célja, hogy a felszíni és a felszín alatti víztestek “jó állapotba” kerüljenek meghatározott időn belül. A keretirányelv szerint a “jó állapot” nemcsak a víz tisztaságát jelenti, hanem a vízhez kötődő élőhelyek minél zavartalanabb állapotát, illetve a megfelelő vízmennyiséget is.

A VKI általános célkitűzései:

- a vizekkel kapcsolatos élőhelyek állapotának védelme és javítása,
- a fenntartható vízhasználat előmozdítása a kiaknázzható vízkészletek hosszú távú védelme révén,
- a vízminőség javítása a szennyező anyagok kibocsátásának csökkentése révén,
- a felszín alatti vizek szennyezésének fokozatos csökkentése és a további szennyezés megelőzése,
- az árvizek és aszályok vizek állapotára gyakorolt negatív hatásainak csökkentése.

A VKI alapelve az, hogy a víz nemcsak kereskedelmi áru, hanem örökség is, amelyet védeni és megőrizni kell. A vízkészletek felhasználásának hosszú távon fenntartható megoldásokon kell alapulnia. A jó állapot eléréséhez szükséges javító beruházásokat össze kell hangolni a fenntartható fejlődés igényeivel, de szigorúan a VKI követelményeivel [3].

A vízfolyások, állóvizek és felszín alatti vizek jó ökológiai, vízminőségi és mennyiségi állapotának elérése összetett és hosszú folyamat. Az e célok eléréséhez szükséges intézkedéseket a vízyűjtő-gazdálkodási terv foglalja össze, amely egy gondos és kiterjedt tervezési folyamat eredménye. A VGT tartalmazza a víztestekről rendelkezésre álló összes szükséges információt, az állapotfelmérések eredményeit, a tervezési terület problémáit és azok okait, a kitűzhető környezetvédelmi célokat, valamint az ezek eléréséhez szükséges műszaki és szabályozási intézkedéseket, pénzügyi támogatást és ösztönzőket [3].

A VGT-k társadalmasítására fél év állt rendelkezésre. A társadalom hatékonyabb bevonása céljából fórumokat rendeztek az egész ország területén. A fórumokon szakemberek előadások formájában ismertették az eddig elért eredményeket, a tervek állapotát, és a jövőbeni

feladatokat. Az előre meghirdetett fórumokat a jelenlévők számára a szervezők lehetőséget biztosítottak véleményeik kinyilvánítására, illetve kérdéseik felvetésére, melyekre a jelenlévő szakértők adtak választ. A fórumokon elhangzott, illetve az írásban elhangzott véleményeket a tervezők figyelembe vették a VGT véglegesítése során [20].

2.6. Öntözővíz szerinti minősítés

Az öntözött területek növekedésével és az öntözéssel gazdálkodás fejlődésével az öntözővíz megfelelő mennyiségű és minőségű biztosítása egyre fontosabbá, de egyben egyre kérdésesebbé is válik.

A különböző vízforrások feltárásakor és a víz öntözésre való alkalmasságának megítélésénél két alapvető tényezőt kell figyelembe venni. Az első a rendelkezésre álló vízmennyiség, valamint a felhasznált víz utánpótlásának lehetősége és mértéke. A másik tényező a víz minősége, a benne oldott vagy a víz által szállított anyagok jellege és mennyisége [21].

Az öntözővíz talajra gyakorolt kémiai hatása elsősorban annak sótartalmától, a benne lévő sók minőségétől (gyakorlatilag az ionösszetételtől), valamint a talaj tulajdonságaitól és az éghajlati tényezőktől függ. Ezt a talajkémiai hatást befolyásolja még a területre kiadagolt öntözővíz mennyisége, az öntözés módja és gyakorisága is. Alapvető követelmény, hogy az öntözés hosszabb idő múlva se idézzon elő káros mértékű só- vagy nátrium felhalmozódást a talajban. Az öntözéshez használt víz minőségét, minősítését a következő kémiai szempontok alapján határozzuk meg:

- Az öntözővíz összes oldott sótartalma, azaz sótartalom,
- Effektív kalcium + magnézium $\text{Ca} + \text{Mg}$ koncentráció,
- Az öntözővíz relatív nátrium tartalma ($\text{Na}\%$),
- Nátrium adszorpciós arány (Sodium Adsorption Ratio: SAR),
- Szódaegyenérték vagy maradék nátrium-karbonát-egyenérték (Sze),
- A magnézium-ionoknak a $\text{Ca} + \text{Mg}$ -hoz viszonyított relatív mennyisége ($\text{Mg}\%$) [22].

A sótartalomra vonatkoztatott valamennyi ismert határérték azt a célt szolgálja, hogy a talajban az öntözővíz ne okozzon káros só felhalmozódást. Tudományos kísérletek és számítások alapján az öntözővíz Ca - és Mg -ionjainak egy része CaCO_3 és MgCO_3 formájában kicsapódik a talajban, ezért a víz hatékony Ca - és Mg -tartalma sokszor jóval kisebb a mért összes mennyiségnél. Az öntözővíz összetétele akkor kedvező, ha kevés nátrium iont tartalmaz. A szikesítő hatás szempontjából azonban elsősorban nem a nátrium ionok abszolút mennyisége,

hanem a többi kationhoz viszonyított részaránya (a víz Na%-a) a döntő. A víz szikesítő hatásának kifejezésére a Na% mellett a nátriumadszorpciós arányt használják (SAR), SAR-index megmutatja azt a törvényszerűséget, hogy a víz koncentrációjának emelkedésével fokozódik a szikesítő hatása. A szódaegyenérték (Sze) az öntözővízben lehetséges ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) koncentrációt mutatja akkor, ha a Ca- és Mg-ionok karbonát alakban kicsapódva eltűnnek az oldatból. Nagy magnéziumtartalmú öntözővízből jelentős mennyiségű Mg-ion adszorbeálódhat a talajkolloidokon, ezért kívánatos, hogy a Mg-ionok mennyisége jóval kisebb legyen, mint a Ca-ionoké. A vízben a magnéziumkoncentrációt tehát nem az összkation tartalomhoz, hanem csak a két vegyértékű fémek összmenyiségéhez viszonyítva értékeljük [4].

Az öntözővíz kémiai (talajkémiai) tulajdonságai között régebbi szakirodalmak nem említik a vízkémiai paraméterek közül az egyik legfontosabbat: a pH-t. Egy ilyen szakirodalmat említenék, ez pedig az Agrártudományi közlemények 35. kötetében megjelent Szabolcs István mezőgazdasági tudományok doktora, „A talaj tulajdonságai és az öntözés” című írása, amely 1976-ban jelent meg a Talajtani Társaság vándorgyűlésén elhangzott korreferátum (Szolnok, 1975. szeptember 19.) alapján [23].

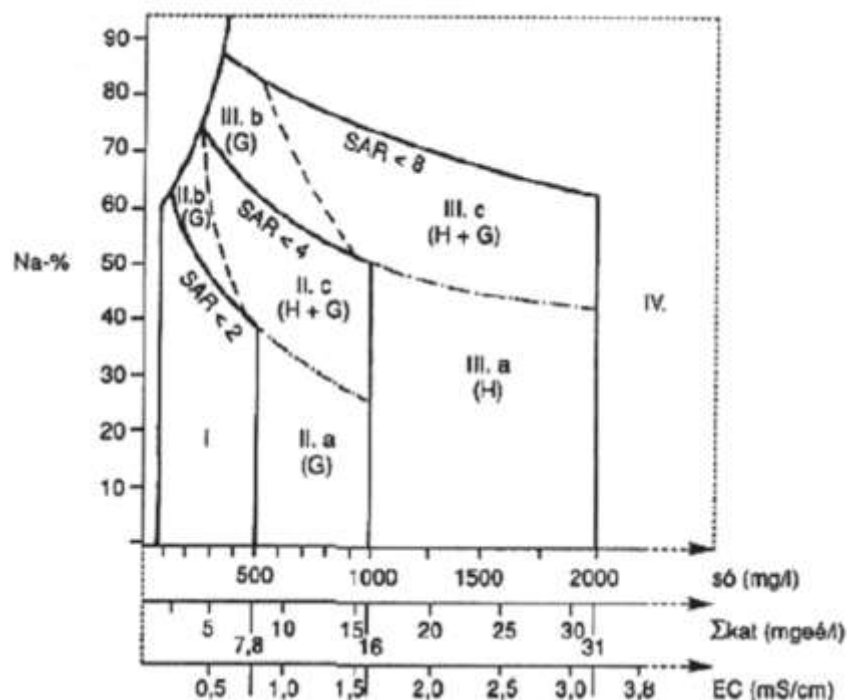
A sótartalmat a térfogategységben oldott só mennyiségével (mg/l) vagy az oldat fajlagos elektromos vezetőképességével (Electrical Conductivity: EC) szokás kifejezni. A sótartalomra vonatkoztatott valamennyi ismert határérték azt a célt szolgálja, hogy a talajban az öntözővíz ne okozzon káros só felhalmozódást [22].

Az öntözés sokrétű, összetett hatást gyakorol

- a talaj vízforgalmára,
- a talaj fizikai tulajdonságaira,
- a kémiai tulajdonságaira (tápanyagforgalom, sóforgalom és sóösszetétel), de módosíthatja
- a talajképződés irányát, intenzitását is.

Az említett változások egy része kedvező, más részük kedvezőtlen a talaj termékenysége szempontjából. Éppen ezért, mind a területek kijelölésekor, mind az öntözés gyakorlatában körültekintően kell eljárni, hogy a káros hatások egyáltalán ne, illetve csak a lehető legkisebb mértékben jelentkezessenek [4].

Az öntözővíz szerinti vizsgálatához első lépésként szükséges az úgynevezett SAR-tényező kiszámítása, mely az öntözővizek minősítésekor a várható szikesítő hatást nátrium adszorpciós arány értékkel és a nátrium-százalék értékkel fejezik ki. A meglévő értékeket a Filep György szerinti öntözővíz minősítési ábra alapján kell értékelni, melyet az 1. ábrán mutatok be.



1.ábra Filep szerinti öntözővíz minősítő diagram [4], [24].

Az 1. ábrán szereplő diagramm az alábbiak szerint jellemezhető:

Az I. csoportban a minden esetben felhasználható öntözővíz található, amennyiben a $SAR \leq 2$, valamint a sókoncentráció ≤ 500 mg/l. Ezen csoporton belül megkülönböztetünk kiváló, valamint jó minőségű öntözővizeket. Magyarország folyói és víztárolói nagy része a kiváló minőségű öntözővizek közé tartozik. A II. csoportba a nem minden talajtípus öntözésére alkalmas javítás nélküli öntözővizek tartoznak, amelyek javítás után minden esetben használhatók. Ennek a csoportnak három alcsoportja van:

- II. a. Javítás nélkül öntözésre használható a víz, olyan talajoknál melynek szerkezet jó vízálló képességű vályog-, vagy homoktalajok, ha a SAR-tényező < 2 , valamint a víz sókoncentrációja 500-1000mg/l között van. Szakszerű hígítás után azonban bármilyen talaj öntözésére megfelel.
- II. b. Csak szikes legelők öntözésére alkalmas javítás nélkül, ha a víz sókoncentrációja < 500 mg/l, de a SAR- érték 2-4 között áll. Nem szikes talajok öntözésekor szükséges a víz gipszezése, kémiai javítása.
- II. c. Nem szikes talajok öntözése esetén, a víz csak kémiai javítás, valamint, hígítása után alkalmazható, abban az esetben, ha a SAR 2-4 között van, a sókoncentráció pedig 350-1000 mg/l.

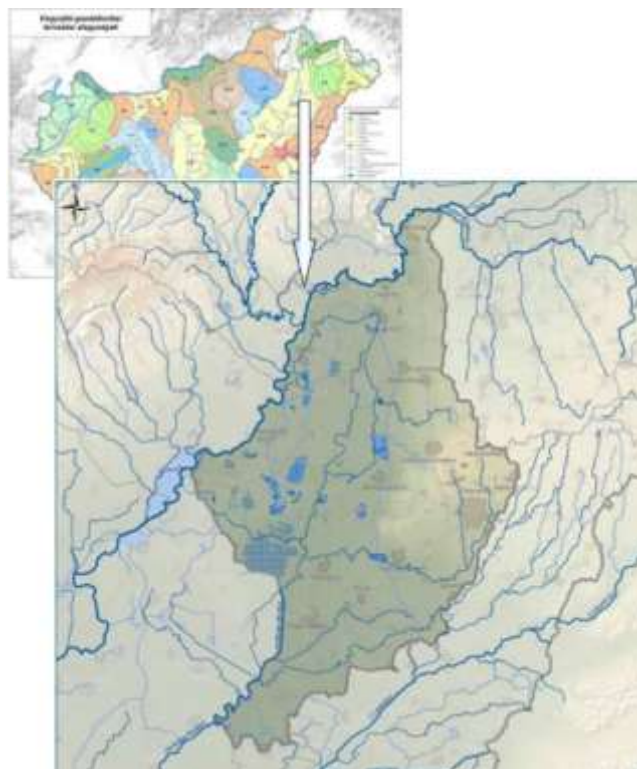
A III. csoportba eső víz javítás után sem használható fel minden talajtípusra. A IV. csoportban az öntözésre egyik talajtípusra sem alkalmas vizek találhatóak a magas sókoncentrációjuk miatt [4].

3. Anyag és módszer

A dolgozatomban ezen fejezetében először az általam választott víztestet, a Hortobágy-Berettyó tervezési alegységet mutatom be, valamint, az általános bemutatás mellett ismertetem azt is, hogy milyen szennyező források találhatóak a területen, illetve a főcsatorna vizét mezőgazdasági szempontból, hogyan alkalmazzák. Ezen fejezetben ismertetem a VKI vizekkel kapcsolatos előírásait és elvárásait. További alfejezeteimben bemutatom a mintavételeim időpontját, pontos helyszínét és a mintavételek módját. Monitoring vizsgálataim során elvégzett laboratóriumi vizsgálataimat is részletesen ismertetem egy későbbi alfejezetben, amelyeket fotókkal is szemléltetek.

3.1. A Hortobágy-Berettyó tervezési alegység bemutatása

Magyarország teljes területe a Duna nemzetközi vízgyűjtő kerületébe esik. Az ország négy részvízgyűjtő területből áll, melyek a következők: Duna részvízgyűjtő, Tisza részvízgyűjtő, Balaton részvízgyűjtő, Dráva részvízgyűjtő terület. A VGT az ország területét 42 darab alegységre osztja fel, melyekből a Hortobágy-Berettyó alegység a Tisza részvízgyűjtő területén helyezkedik el [20], [25]. A vizsgált vízfolyás a Hortobágy-Berettyó területe 4864,80 km² és fő vízfolyásai a Hortobágy, a Hortobágy-Berettyó és a Keleti- és Nyugatfőcsatorna. A Hortobágy-Berettyó alegység területén nagyszámban találhatók öntözőcsatornák, belvízcsatornák és kettősműködésű csatornák. Vízmennyiségi, illetve vízminőségi adottságok tekintetében egyaránt, a területen a belvízi, illetve vízgazdálkodási célú vízkormányzások folynak [3]. A Hortobágy-Berettyó vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegységet a 2. ábrán szemléltetem.



2.ábra. A 2.17-es Hortobágy-Berettyó vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység [3]

A Hortobágy-Berettyó főcsatorna építési munkái 1881-1883. években kezdődtek meg. A Hortobágy-Berettyó vízgyűjtő természetes lefolyása csak mintegy 4 m³/s. A főcsatorna torkolati vízjátéka meghaladja a 8 métert, de még Ecseghalvánál is 5 méter körüli. A Hortobágy-Berettyón levonuló árhullámok magasságát és tartósságát nagyban befolyásolja a Tisza és a befogadó Hármaskörösön levonuló árhullámok magassága és tartóssága. Amikor a Hármaskörösön magasabb árhullám vonul le, mint a Hortobágy-Berettyón akkor a Hortobágy-Berettyó 0+000 tkm-ben lévő árvízkaput és zsilipet lezárják. Az árvízkapu és a torkolati zsilip lezárása után a Hortobágy-Berettyó belvíztározási funkciót lát el [26].

A Hármaskörösön Békésszentandrásnál fenntartott magas vízszint következtében a főcsatorna vize duzzasztott, a téli hónapokat kivéve. Ennek a duzzasztásnak a hatása a Hortobágy-Berettyó alsó szakaszán érvényesül, kedvező feltételeket teremtve az öntözés számára, habár hozzájárul az eutrofizációs folyamatok felgyorsulásához. A térség vízrajzában és vízjárásában számottevő változást okozott a Tisza menti Öntözőrendszer kiépítése (Keleti- és Nyugati-főcsatornák és mellékágai). Az alegység vízfolyás víztestei síkvidéken folyó vizek, alsószakasz jellegűek. Tehát a vízsebességük viszonylag alacsony, területükön jelentős sebesség csökkenés figyelhető meg. Medrüket laza szerkezetű felszíni képződménybe vágják.

Ökológiai szempontból a legmegfelelőbb mederalak a kanyargó, enyhén meanderező³, a völgyformák közül a vályú, illetve a meanderező völgyforma az, ami elfogadható. A mederágy szerkezetére jellemző, hogy jelentős hordaléktorlaszok, farönkök, hidromorfológiát befolyásoló durva fa, törmelékek nem találhatóak, továbbá a parti természetes, valamint mesterséges vegetáció a tipikus [3].

Növényföldrajzi értelmezésben az alegység teljes területe az Alföld flóraidékéhez tartozik. Az Alföld flóraidéke egész kiterjedésében az erdőssztyepp zónában tartozik. Geográfiai szempontból öntésterület, agyag, lösz, és homok váltogatja egymást. Ma már ez a terület igazi kultúrtáj, hiszen kisebb foltokon még találkozhatunk a természetes vegetáció maradványaival. Bennszülött növény fajai, szikeseken a magyar sóballa, és a sóvirág, homokpusztákon a magyar csenkesz, kései szegfű [3].



3.ábra. Sóvirág (forrás: <https://lelepo.hu/sovirag-hortobagy/>)

Éghajlata a területnek erőteljesen kontinentális. A csapadéknak az éves mennyisége helyenként alig-alig haladja meg azt a mennyiséget, ami éppen megfelel az adott hőmérsékleti viszonyoknak a fás növénytársulások természetéhez [3]. A Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság Karcagi Szakaszmérnökség munkatársától, Mészáros Szabolcs vízhasznosítási ügyintézőtől megkaptam a 2023-as évre vonatkozó átlagcsapadékos táblázatot. A második és harmadik mintavételi pontom között található egy szivattyútelep, a Villogói szivattyútelep, ahol a vizsgált vízfolyás szakaszomon belül történik csapadék mérés. A kapott eredmények alapján a 2023-as évben a szivattyútelepen mért összes csapadék mennyisége 358,1 mm volt, a mért éves átlagcsapadék mennyisége pedig $29,8 \pm 27,75$ mm [27].

³ A meanderező folyó a kanyar homorú oldalát folyamatosan pusztítja, a belső oldalon hordalékot rak le [40].

A tervezési alegység területén lévő víztestek állapotát jelentősen befolyásolják a vízhasználók szociális és gazdasági körülményei és ezek a tényezők kihatnak a megvalósítható intézkedések körére is. Viszont a társadalmi és gazdasági állapotok egyértelműen függenek a vizek mennyiségétől és minőségétől. A vízi környezet a fenntartható fejlődés egyik alapeleme. A vízgyűjtő-gazdálkodás tervezésének alkalmával a figyelem központjában a társadalom és a gazdaság jelenlegi állapota kerül, illetve a tervidőszakban várható változások [3]. A vizsgált alegység területén található a VGT szerint 70 darab település. Az alegység országos rendű főútjai a 4. sz. és a 42. sz. főutak. A másodrendű főutak a 33. sz., 35 sz. főutak, melyek mind Debrecenből ágaznak el. A 4-számú főút Püspökladány irányából Debrecenen keresztül Hajdúhadházon át egészen Nyíregyházáig helyezkedik el. A 42-számú főút a Hortobágy-Berettyó alegységet köti össze a Berettyó alegységgel Püspökladány irányából, Berettyóújfalun keresztül, egészen a magyar-román határig, az ártándi határátkelőig helyezkedik el. A 33-as másodrendű főút Debrecen, Hortobágy, Tiszafüred felé helyezkedik el. A 35-ös másodrendű főút Debrecen, Hajdúböszörmény, Görbeházán át Polgárnál csatlakozik az M3-as autópályához. A térségben az M35-ös és az M3-as autópálya található [3].

3.2. Víztestek jellemzése

A VKI a vizekkel kapcsolatos előírásait és elvárásait az ún. víztesteken keresztül érvényesíti, így a vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés legkisebb alapelemei is a víztestek. Az EU a jellemző víztestek kijelölésével kívánja a vizek állapotát megítélni, illetve az állapotmegtartó és -javító intézkedéseket meghozni. A víztesteknek a meghatározása éppen ezért, alapos és megfontolt munkát igényelt.

Az alegység területén 15 vízfolyás és 7 állóvíz víztest található. A terület 8 felszín alatti víztestet érint” [3].

„A VKI szerint a „vízfolyás” olyan szárazföldi vizet jelent, amely nagyjából földfelszínen folyik, de amely útjának egy részén a felszín alatt is áramolhat” [3].

3.3. Emberi tevékenységből eredő terhelések

A Hortobágy-Berettyó vízgyűjtő-gazdálkodási alegység területén 32 települési szennyvíztisztító telep található, amelyek a felszíni vizek szennyezésének pontszerű forrásaiként tekinthetők. A tisztítóművek többsége mechanikai és biológiai tisztítási fokozattal rendelkezik, de sok helyen nitrogén- és foszforeltávolítással is foglalkoznak. A területen három szennyvíztisztító telep található korszerűtlen állapotban, kétszintes ülepítőmedencével,

amelyek a felszín alatti vizek szennyezésének forrásai lehetnek. A tervezési területen a nagyobb városok és több kisebb falu is rendelkezik csapadékvíz-elvezető rendszerrel, de a csapadékvíz-kezelés még nem tökéletesen kialakított [3].

A tervezési alegység területén keletkező ipari szennyvíz jelentős része a közcsatornába kerül. További potenciális szennyezőforrások közé tartoznak a benzinkutak és az autósosók szennyezett csapadékvizei, de a keletkező szennyezett víz mennyisége nem jelentős [3].

Az intenzív, nagyüzemi állattartó telepek jelentős pontszerű szennyező forrásai lehetnek a felszín alatti vizeknek és néha a felszíni vizeknek, ha a trágyakezelés és -tárolás nem felel meg a Helyes Mezőgazdasági Gyakorlatnak. A tervezési alegység területén szarvasmarhát, sertést, juhot és baromfit tartanak. Számos olyan eset volt, amikor a tárolóhelyekről kimosott hígtrágya kárt okozott a felszíni vizekben (az ammóniatartalom miatti oxigénhiányos állapot halvirágzást, rosszabb esetben halpusztulást eredményezhet) [3].

A nem pontszerű forrásból származó, diffúz szennyezés általában nagy területekről származik alacsony koncentrációban, a kibocsátások területi eloszlása szétszórott és nem pontosan ismert. A kibocsátás valamilyen intenzív földhasználat (mezőgazdaság, urbanizáció, erdőgazdálkodás) eredménye [3].

A csatornázatlan belterületekről vagy a csatornára nem kötött ingatlanokból származó szennyvízelvezetés talajvízszennyezést okoz. A csurgalékvíz a nitrogénen (ammónia, nitrát, nitrit) kívül különböző, a háztartásokban használt vegyi anyagokat és a lakosok által fogyasztott gyógyszerek maradványait is tartalmazza. A diffúz szennyezés szempontjából a mezőgazdasági területek a legelterjedtebb tápanyagforrások, mivel az ország túlnyomó része szántóföld. A talajok hosszú távú tápanyagháztartásának ismerete fontos a terhelés meghatározásához. A felszíni vizek esetében a jó állapot elérését leginkább a túlzott foszforterhelés veszélyezteti. A mezőgazdasági terhelés szerepe a foszfornek a felső talajrétegekben való felhalmozódásán keresztül jelentkezik, ami a múltban tapasztalt nagy tápanyagfeleslegnek köszönhető. A tárolt többlet a felszíni vizekbe hidrológiai folyamatok révén bekerül, főként a lefolyás és az erózió révén [3].

3.4. Mezőgazdasági vízhasznosítás

A Nagykunsági vízellátó rendszer vízellátása a Tisza-tóból történik gravitációsan, legfőképpen a Nagykunsági-főcsatorna beeresztő műtárgyán keresztül. Azonban a vízszétosztásba bekapcsolódtak a Hortobágy-Berettyó jobb parti öblözeteinek belvízfőcsatornái bizonyos szakaszaikon, melyek kettős működésű csatornaként a belvízelvezetésen túli funkciót

is kaptak [28]. A Hortobágy-Berettyó főcsatorna öntözővízként való hasznosítása az általam vizsgált terület közelében legfőképpen a Gástyási szivattyútelepen történik, melyen keresztül a közeli területeken található rizstelepek elárasztása történik.



4.ábra. Gástyás közeli rizstelepek (forrás: Bene Mariann csoportirányító, KÖTIVIZIG Karcagi Szakaszmérnökség)

A rizstelepeket úgy kell kialakítani, hogy az árasztás egyszerű legyen és a lecsapolás gyorsan és kiváló minőségben végrehajtható legyen. Ha a rizstelep 1000 ha nagyságú akkor a vízellátó műveit úgy kell méretezni, hogy az egész telep 10 napon belül elárasztható legyen. Az egyes táblák árasztására 2-3 nap áll rendelkezésre. Ez azt jelenti, hogy táblák vonatkozásában 8-9 l/s/ha, míg telep vonatkozásában 2,5-3,0 l/s/ha fajlagos folyamatos vízszugárral kell számolni csúcsideji vízfelhasználásként. Az egyszeri átfutó árasztás vízigénye 2000-2500 m³/ha. A mértékadó első tartós árasztás vízigénye (kb. 10 cm-es vízborításnak megfelelő vízmennyiség) 2500-3500 m³/ha. A lecsapolás csúcsidejét a tenyészidő első harmadában jelentkező le- csapolások jelentik. Ekkor a 10 cm-es vízborításnak megfelelő öntözővizet, valamint az esetlegesen időközben lehulló csapadékot a tábla területéről 2 nap (az egész rizstelepről 6-10 nap) alatt le kell tudni vezetni [29].

3.5. A Hortobágy-Berettyó monitoringja és minősítése

3.5.1. Mintavételi helyek

A mintavételi pontok megválasztásánál fontos szempontom volt, hogy legyen lehetőségem évszaktól, valamint időjárási viszonyoktól függetlenül is mintát venni, tehát fix mintavételi pontok legyenek. Az előzetesen elkészített munkatervem alapján három darab mintavételi helyet jelöltem ki a Hortobágy-Berettyó főcsatornán.

A mintáimat mintegy 8 km-es szakaszon vételeztem és végeztem el a helyszíni méréseimet. Az első mintavételi pontomat a Bucsa község előtt található közúti hídon jelöltem ki. A második mintavételi pontomat a sebeséri gátorház közelében található Karcagi 3-as elnevezésű csatorna Hortobágy-Berettyóba történő beömlőjénél jelöltem ki. A harmadik mintavételi pontom az Ecsefalva község előtt található közúti hídon található. Mind a három pontom autóval is jól megközelíthető, valamint a kijelölésnél fontos szempontom volt, hogy időjárási viszonyoktól függetlenül bármikor lehetséges legyen a mintavételi folyamat, tehát mindenkor megközelíthető legyen. A mintavételi helyeket fotókkal prezentálva a 5. ábrán mutatom be. A mintavételi helyeket térképen ábrázolva, a GPS koordinátaikkal együtt az 6. ábrán mutatom be.

a) Bucsa-közhíd



b) Sebesér



c) Ecsefalva-közhíd

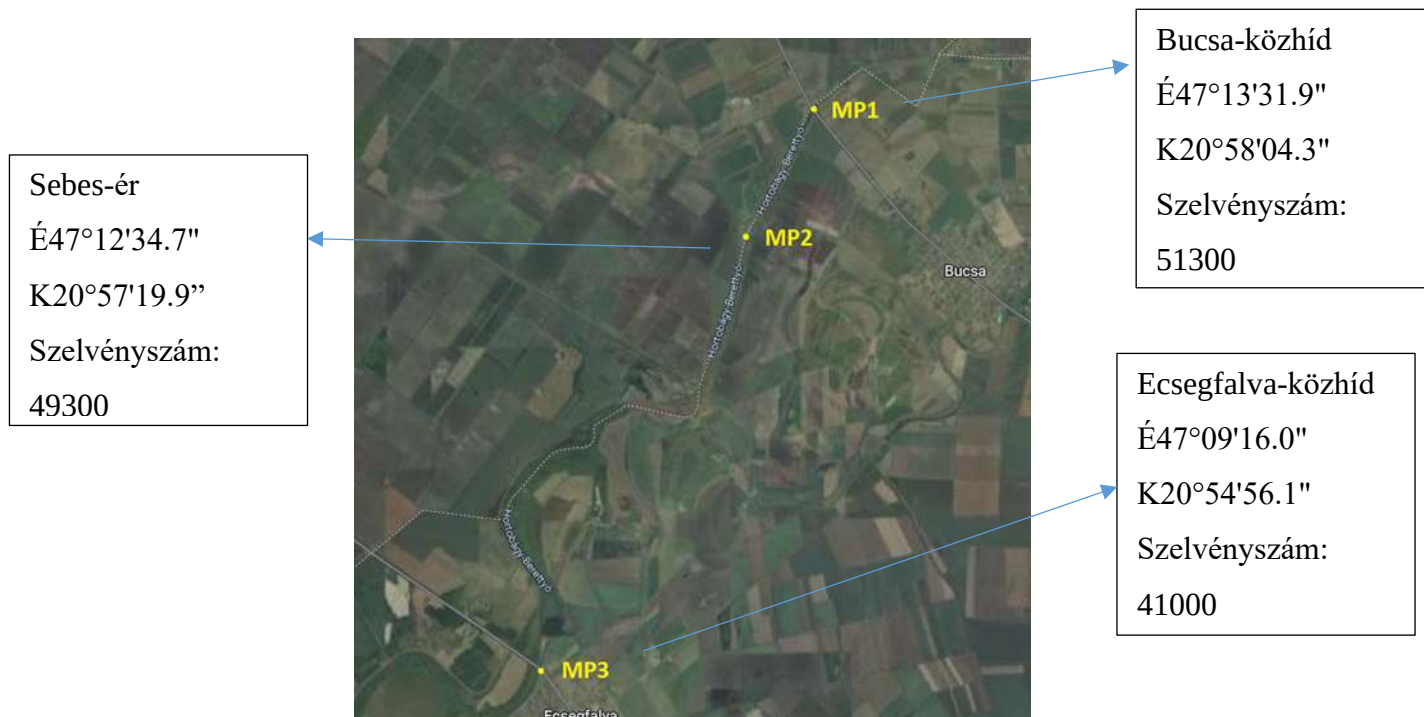


**1. Mintavételi pont
(1.MP)**

**2. Mintavételi pont
(2.MP)**

**3. Mintavételi pont
(3.MP)**

5.ábra Mintavételi pontok (saját fotók)



6.ábra Mintavételi pontok térképes ábrázolása (saját szerkesztés), amely tartalmazza a mintavételi pont nevét, GPS koordinátáit, és a szelvénytípusát

3.5.2. Mintavételi időpontok

A vizsgálataim célja a vizsgált főcsatornaszakasz egész évi időszakra vonatkozó minősítése volt. Előzetesen négy mintavételi időpontot jelöltem ki 2023 őszétől 2024 nyaráig véletlenszerűen. A laboratóriumi mérésekre a mintavételi napot követő napon került sor, addig a mintáimat hűtve, 4 °C-on tároltam. A mintavételeket általában késődéutáni időszakban végeztem, kezdve a Bucsa községnél található közhíddal és befejezve az Ecsegfalva községnél található közhíddal. A mintavételi időpontokat az 1. táblázatban szemléltettem.

1.táblázat Mintavételi időpontok

Mintavételi sorszáma	Mintavétel időpontja	Laboratóriumi mérés időpontja	Időszak
1.	2023.10.18.	2023.10.19.	ősz
2.	2024.01.24.	2024.01.25.	tél
3.	2024.03.25.	2024.03.26.	tavaszi
4.	2024.06.16.	2024.06.17.	nyári

A főcsatornán végzett mintavételezéseimet, valamint helyszíni vizsgálataimat az éves minősítemhez 2023. október 18-án kezdtem el és 2024. június 16-án fejeztem be. A két időpont között még végeztem két mintavételezést, egy tavaszt, 2024. március 25-én és egy télt, 2024. január 24.-én. Ezekkel a véletlenszerű időpontokkal, és az azt követő vizsgálatokkal, egy egész évi időszakot átfogó adathalmaz és információ állt rendelkezésemre a minősítéshez. Ahogy már fentebb említettem és 3. táblázatból is jól látszik, a laboratóriumban való vizsgálatokat minden minta esetében a mintavételt követő másnap végeztem el, így a minták a vizsgálat napjának reggelén kerültek beszállításra a laboratóriumba.

3.5.3. Mintavétel módja

A mintáimat minden esetben mintavevőkannával vettem, melynek fülére kötél volt erősítve. Magát a vételezést úgy végeztem el a két közhíd esetében, hogy szemre kijelöltem a hidak közepét, leengedve a hidak a közepéről a kannát megvártam amíg megtelik és elmerül, majd ezután felhúztam. A Sebesérről származó minta vételezésekor a területen található Sebeséri szivattyútelep műtárgyára felmenve ugyanezt a módszert alkalmaztam, a víz felett lévő műtárgy közepéről leengedtem a kannát majd amikor az megtelt felhúztam. Így biztosítottam, hogy a mintám homogén legyen, és az adott helyen az egész víztest állapotát reprezentálja. Természetesen a mintavétel előtt a kannát átmostam a mintázandó vízzel, valamint a helyszíni mérésekhez szükséges vizet is külön kannával vettem, ami szintén át lett mosva. Ezt követően a megvett mintákat jól zárható, tiszta mintatartó edényzetbe töltöttem. Az edényzetet a mintával való megtöltés előtt átmostam a mintával. Minden mintatartót megjelöltem a minták sorszámaival.

A mintavételről minden esetben mintavételi jegyzőkönyvet készítettem, melyben jelöltem a mintavétel idejét, a mintavételi pontokat a GPS koordinátáikkal együtt, az időjárási viszonyokat, valamint a helyszíni vizsgálataim eredményeit a minták sorszámaival számozva. A mintákat tartalmazó mintartó edényzeteket a mintavétel, valamint a helyszíni méréseket követően egy hűtőtáskába, majd hazaérve a hűtőben helyeztem el. A laboratóriumba való szállítás előtt visszatettem őket a hűtőtáskába és a laboratóriumba érkezésig, benne tároltam őket. Így biztosítva a 4 °C-on való tárolást a tartósítás céljából, valamint, hogy bizonyos változékony komponensek megőrizték az eredeti állapotukat, a valós értékeket tükrözzék.

3.6. Alkalmazott módszerek

3.6.3. Helyszíni mérések

A szabványos mintavételt követően helyszíni vizsgálatokat végeztem olyan paraméterek meghatározására, amelyek a laboratóriumba való szállítás alatt, és tartósítás mellett is változhatnak. Ilyen paraméterek a fajlagos elektromos vezetőképesség (EC), az összes sótartalom (Sal), a pH, a hőmérséklet és az oldott oxigéntartalom, melyet mg/l-ben és telítettségi százalékban adtam meg. A pH egy adott minta savasságáról, illetve lúgosságáról ad felvilágítást, valamint arról, hogy milyen agresszív egy minta. Az összes sótartalom, a minta összes oldott sótartalmának a mennyiségéről ad felvilágosítást és ez szorosan összefügg a fajlagos elektromos vezetőképességgel, ugyanis minél több só tartalmaz a minta annál nagyobb a vezetőképessége is. A hőmérséklet meghatározása nagyon fontos a helyszínen hiszen a hőmérséklet értéke kihatással van az oldott oxigéntartalomra. Minél alacsonyabb a hőmérséklet annál, nagyobb az oldott oxigéntartalom, hiszen a gázok alacsonyabb hőmérsékleten jobban tudnak oldódni. A legfontosabb paraméter, ami a helyszínen meghatározandó az az oldott oxigén mennyisége, hiszen ez rövid idejű tárolás alatt is képes jelentősen megváltozni. Az alkalmazott elektróda segítségével ezt az értéket kétfajta egységben is lehetséges megadni, ezek a fentebb említett telítettségi százalék és mg/l. A helyszíni mérések elvégzésére a MultiLine P4 terepi mérőbőröndöt (7. ábra) használtam, melyben található mérőelektródákat a mérések előtt minden alkalommal kalibráltam a bőröndben található kalibrálóoldatok segítségével. A helyszíni elemzésről készült fotót a 7. ábrán mutatom be.



7.ábra Helyszíni vezetőképesség mérés (saját fotó)

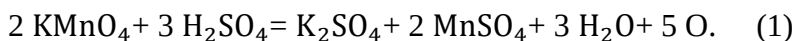
3.6.4. Laboratóriumi mérések

A laboratóriumi méréseimet a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Környezetmérnöki Tanszéken található laboratóriumában végeztem el, ahol is mértem a vízminták biológiai oxigénigényét, kémiai oxigénigényét, lúgosságát, zavarosságát és összes szerves széntartalmát, valamint ionkromatográfiás készülékkel meghatározásra kerül anionok közül fluorid-, klorid-, nirti-, bromid-, nirtát-, foszfát-, szulfát-, még kationok közül a nátrium-, kálium-, ammónium-, magnézium-, és kalcium-ion koncentrációja.

A biológiai oxigénigény információt nyújt arról, hogy az aerob baktériumoknak mennyi oldott oxigénre van szükségük ahhoz, hogy egy bizonyos időtartam és hőmérséklet alatt lebontsák a vízben lévő szerves anyagokat. A biokémiai oxigénigény értéke jelzi a mintában lévő szerves anyag szintjét. A ma leggyakrabban használt BOI-érték a BOI_5 (mg/l), amely az ötnapos vizsgálat során felhasznált, a minta literenkénti oxigénigényét adja meg, mg O_2 -ben kifejezve. Elméletileg a teljes biológiai lebomlás végtelen hosszú ideig tart; a gyakorlatban a lebomlás 20 nap alatt tekinthető teljesnek.” [30]. A vizsgálataim során 5 napos biológiai oxigénigényt vizsgáltam, amelynek során OxiTop IS 12 típusú berendezést (8/a ábra) használtam. A mérést úgy hajtottam végre, hogy egy túlfolyós lombik segítségével 432 ml térfogatú mintát töltöttem az ún. barna mérőedénybe. Előtte a mintáimat homogenizáltam és a túlfolyós mérőlombikot átöblítettem velük. Minden minta esetében három párhuzamos mérést végeztem. A mintával feltöltött barna mérőedényekbe 9 csepp NTH-600-as cseppet csepegtettem, valamint, mindegyikben elhelyeztem egy mágneses keverőt is. Ezt követően az üvegek szájára ráhelyeztem a gumikosarat és mindegyik kosárba 4 darab NaOH pasztillát tettem. Az NTH csepp szerepe, hogy megakadályozzák az üvegekben a nitrifikációt. hogy a biológia bontási folyamatkor keletkező CO_2 gázt megkössük, az az elkarbonátosítsuk, így nem zavar a mérésnél. Amint ezekkel a lépésekkel előkészítettem a méréseket feltekertem az üvegekre az OxiTop mérőfejet és a fejen lévő „S”, illetve „M” gomb egyszerre történő megnyomásával indítottam el a mérést. A barna mérőedényeket az OxiTop fejjel ellátva a temperáló szekrénybe helyeztem, ahol állandó keverés mellett 5 vagy több napig $20^\circ C$ -on tároltam. Az 5 nap elteltével leolvastam az eredményeket.

A vízben lévő szerves szennyezőanyagok mennyisége a kémiai oxigénigény (KOI, mg/l) segítségével adható meg. Ez adja meg a vízben lévő szerves anyagok kémiai oxidációjához szükséges oxigén mennyiségét. A KOI-t minden szerves anyag szén-dioxiddá és vízzé történő oxidációjával határozzák meg, függetlenül attól, hogy a szerves anyag biológiailag lebontható-e vagy sem. Ezért a KOI-érték mindig magasabb, mint a biokémiai oxigénigény értéke. A

módszer előnye az, hogy a meghatározáshoz rövid időtartamra van szükség [30]. A vizsgálatomat Kálium-permanganátos (KMnO₄) oxigénfogyasztás meghatározás segítségével végeztem el (8/c. ábra), amely során a szerves anyaggal reagáló oxidálószer mennyiségét mértem meg és abból a vele egyenértékű oxigén mennyiségét számoltam ki. A méréshez tartozó reakcióegyenlet (1):



A mérés elvégzéséhez először minden alkalommal faktoroztam az alkalmazott kálium-permanganát oldatot, azaz meghatároztam a pontos koncentrációját. A faktorozást úgy végeztem el, hogy 0,005 mol/dm³ koncentrációjú oxálsavat készítettem. Ebből az oxálsavból 20-20 cm³-t mértem, adtam hozzá 30-30 cm³ vizet, és megsavanyítottam 10 cm³ 20 m/m%-os kénsavoldattal. Az így előkészített oxálsav részleteket felmelegítettem gázrezsón körülbelül 80 °C-ra és titráltam a kálium-permanganát mérőoldattal. A titrálás fogyásaiból számoltam ki a mérőoldat pontos koncentrációját. A faktorozás után kezdem el a vizsgálatomat, mely során minden mintából 50-50 cm³-t mértem be titráló lombikokba, megsavanyítottam 15 cm³ a fentebb említett kénsavoldattal, és horzsakő hozzáadásával a gázrezsón forrásig melegítettem. Mikor megindult a forrás, bűretta segítségével a mintáimhoz 20 cm³ kálium-permanganátot mértem, és visszahelyeztem a rezsóra, tölcserrel lefedve még plusz 10 percig forraltam. A 10 perc leteltével, a már elkészített oxálsavból mértem a mintákhoz 20 cm³-t és az elszíntelenedett oldatot a kálium-permanganáttal titráltam. A titrálás fogyásait feljegyeztem és fentebb leírt reakcióegyenlet segítségével számoltam ki a kémiai oxigénigény értékeket, amelyeket mg/l mértékegységben adtam meg. Ioncserélt vízzel vakpróbát is végeztem, amely eredményét szintén felhasználtam a számításoknál. Mind a faktorozás, mind pedig a kémiai oxigénigény meghatározásánál minden mintámnál párhuzamos méréseket végeztem.

A mintáim zavarosságát TURB 555 (-IR) zavarosságmérő műszerrel (8/f. ábra) határoztam meg, amely nefelometriás elven működik. A nefelometria a fluorometriás módszer alapján szórt fény intenzitásának mérésén alapul, analóg és kolloid részecskék fluorometriás meghatározását lehet vele elvégezni [30]. A mért eredményeket NTU egységekben adtam meg.

Vizek lúgosságát a lúgosan hidrolizáló sók és bázisok okozzák [31]. A lúgosságot erős sav mérőoldattal, titrálással (8/d. ábra), jelen esetben ~ 0,01 mol/dm³ koncentrációjú sósavval való titrálással határoztam meg. A mérések előtt a sósav oldat pontos koncentrációját kálium-hidrogén-karbonáttal határoztam meg, azaz faktoroztam. A lúgosság eredményeket mmol/dm³ értékben adtam meg. Két fajta lúgosságot, az összes és a szabad lúgosságot tudjuk megkülönböztetni. A szabad lúgosság (p') kifejezi, hogy 1 dm³ vízmintához hány mmol HCl szükséges ahhoz, hogy elérjük a pH 8,3-as értéket. Az összes lúgosság pedig kifejezi, hogy 1

dm³ vízmintához hány mmol HCl-t kell adni, hogy elérjük a pH 4,5-ös értéket. [14] A titrálás során a mintáimból minden mérés esetében 100 cm³ mennyiséget mértem be. Első lépésként 2-3 csepp fenolftalein indikátort adtam hozzájuk, figyelve a változást és meghatározva a p-lúgosságot. Ezt követően 2-3 csepp metil-narancsot adtam a mintákhoz és az előzőlegesen meghatározott koncentrációjú sósav oldattal titáltam. Minden minta esetében párhuzamos méréseket végeztem és a titrálások fogyásainak segítségével számoltam ki a lúgosság értékeket.

A Shimadzu TOC-VCPN műszer (8/e ábra) alkalmas az oldatminták szerves és szervetlen összetevőit jellemző összegparaméter meghatározására. A paraméterek (TOC/NPOC, TIC) manapság egyre elterjedtebbek a termásvíz-analízisben és pontosabbak, mint a kémiai oxigénigény (KOI) és a biológiai oxigénigény (BOI). A méréseimhez NPOC üzemmódot használtam, melynek folyamán első lépésként kalibráltam a készüléket. A mérések megkezdése előtt ellenőriztem a rendszer vegyszer és ultra tiszta víz tartályait és megkezdtem a kalibrációt. Tisztítólépésként ultratiszta vízre lefuttattam néhány mérést [32]. Felszíni vízmintáimat előkészítés céljából 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrőn szűrtem át, aztán a szűréssel előkészített mintákat a mintatartó edényzetbe töltöttem.

Az ionkromatográfias készülékkel akár egyszerre is mérhetünk egymás mellett vizekben előforduló anionokat és kationokat. Ennek segítségével egy mintából a standardok szerinti ionok (külön ágon anionok, külön ágon kationok) gyorsan, a módszerfejlesztések révén 17 perc alatt meghatározhatók. Az általam használt ún. DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfias rendszer (8/b. ábra) alkalmas erős és gyenge savak anionjainak meghatározására ionelnyomással, valamint egy- és kétértékű kationok meghatározására. Az eluens és mintaáramlási útvonal is egyaránt teljesen fémmentes. A vezérlő CHROMELEON Chromatography Management szoftver rendkívül sokoldalú, a készülék rendelkezik a megfelelő PC-illesztéssel. A hardver komponenseket a vezérlő és adatgyűjtő/feldolgozó szoftver monitorozza.

A +4 °C-on műanyag tároló edényben tárolt mintákat a vizsgálatok előtt 0,45 µm pórusméretű membránszűrőn szűrtem, majd a mérések alkalmával esetleges 10-50-szeres hígítással készítettem (nagy sótartalmú oldatok esetén a kiugróan magas vezetőképesség a detektor által nem érzékelhető) be a mintatartó edényekbe, majd helyeztem az automata mintaadagolóba. Az ionkromatográfias vizsgálatokhoz, a mintaelőkészítéshez ún. ultratiszta vizet (ASTM I. típus) használtam, melyet csapvízből lett előállítva Millipore Milli-Q I. 3, majd ún. Elix® Essential víztisztító készülék segítségével.

A mérési paramétereket DIONEX applikációk és ide vonatkozó magyar szabványok alapján lett összeállítva. Ezen az alkalmazott szabványok pedig az MSZ EN ISO 10304-1:2009

és a MSZ EN ISO 14911:2000 vízminőségi szabványok voltak [33], [34]. Minden mérés alkalmával kontrollként ultratiszta vizet, illetve standard oldatokat is vizsgáltam, többszöri standard visszaszúrással [35].

Az ionkromatográfias adatok felhasználásával meghatároztam a SAR tényezőt, ahol legelőször is fontos volt a meghatározott koncentráció értékek átszámítása mgé/l értékebe (milligramm egyenérték per liter), amihez szükség volt az adott ion moláris tömegére és töltésszámára. A SAR kiszámítására ezen értékekből pedig a következő képletet használtam (2):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (2).$$

A Filep-féle diagram jellemzéséhez Na%-ot is számoltam az egyes mintavételi pontjaimra, amihez először szintén meghatároztam az egyes ionok mgé/l koncentrációját. A Na% kiszámításához a következő képletet használtam (3):

$$Na\% = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} * 100 = \frac{Na}{\Sigma kat} * 100 \quad (3).$$

A képlet segítségével nem csak a nátrium-ion százalékos arányát számoltam ki, hanem az egyenletben szereplő további három fő kation százalékos megoszlását is, mely adatokkal további összefüggésekre tudtam következtetni.

A laboratóriumi méréseimről készített fotókat a fentebb felsorolt vizsgálati módszerekről, a berendezésekkel és munkafolyamatokkal együtt a 8. ábrán szemléltetem.



a) OxiTop mérőfejekkel ellátott BOI mérőüvegek



b) DIONEX ICS-3000 dual ic készülék



c) KOI mérés folyamata



d) Lúgosság mérés: már megtrált oldatok



e) TOC méréshez előkészített minták



f) Zavarosság mérés folyamata

8.ábra Laboratóriumi mérések bemutatása (saját fotók)

4. Eredmények és értékelések

A kutatásom során nyomon követtem a Hortobágy-Berettyó főcsatorna minősítési paramétereinek évszakos változását. A vizsgálataim során végeztem helyszíni és laboratóriumi méréseket is, így ebből következtetve a dolgozatomban ezen főfejezetében szeretném bemutatni a vizsgált paramétereket és a vizsgálataim eredményeit, amelyeket táblázatos és diagramos formátumban is ábrázolok.

4.5. Helyszíni mérések eredményei

A helyszíni méréseim során végeztem pH mérést MultiLine P4 mérőbőrönd segítségével, valamint a benne található pH-mérő elektródával. A pH-mérő elektróda segítségével végeztem el a hőmérséklet értékek meghatározását is párhuzamosan. A pH és a hőmérséklet helyszíni mérési eredményeket a 2. és 3. táblázatban szemléltetem.

2.táblázat A mért pH értékek (saját adatok, saját szerkesztés)

	pH értékek			
	2023.10.18.	2024.01.24.	2024.03.25.	2024.06.16.
1.MP	7,67	7,97	8,00	7,89
2.MP	7,51	7,94	8,16	7,93
3.MP	7,61	7,9	8,17	8,4

3.táblázat A mért hőmérséklet értékek (saját adatok, saját szerkesztés)

	Hőmérséklet [°C]			
	2023.10.18.	2024.01.24.	2024.03.25.	2024.06.16.
1.MP	12,2	4,5	13,1	24,7
2.MP	11,8	2,8	12	23,7
3.MP	13,2	4,4	11,2	23,6

A fenti eredményeket a mintavételezési pontok (amelyeket „MP” rövidítéssel jelöltem), valamint a mintavételezési és egyben mérési időpontok alapján foglaltam táblázatos formába. A táblázatokból látható az, hogy az őszi, illetve a tavaszi mintavételkor hasonló hőmérséklet értékeket mértem, viszont míg az őszi mintavételezésnél a pH 8 alatt maradt addig a tavaszinál mind a három pont esetében meghaladta a 8-as pH értéket. A téli mintavételezéskor mértem a

legalacsonyabb hőmérséklet értékeket, viszont a pH értékek erősen közelítettek a nyolcas értékhez. Nyári időszakban volt a víz hőmérséklete a legmagasabb és egy mintavételezési pont esetében érte el a 8,4-es pH értéket, ahogy a fenti táblázatokból látható.

A helyszínen továbbá végeztem még fajlagos elektromos vezetőképesség, valamint összes sótartalom meghatározást is. A fajlagos vezetőképességi érték a vizsgálandó minta ion-koncentrációjára jellemző gyűjtőfogalom. „Minél több sót, savat vagy lúgot tartalmaz a vizsgálandó vízminta, annál nagyobb a vezetőképessége” [30]. A mért eredményeimet a 4. és 5. táblázatban mutatom be.

4.táblázat. A mért vezetőképesség értékek (saját adatok, saját szerkesztés)

	Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]			
	2023.10.18.	2024.01.24.	2024.03.25.	2024.06.16.
1.MP	790	1054	1147	833
2.MP	806	2440	1153	907
3.MP	764	1084	1367	842

5.táblázat. A mért összes sótartalom értékek (saját adatok, saját szerkesztés)

	Összes sótartalom [g/l]			
	2023.10.18.	2024.01.24.	2024.03.25.	2024.06.16.
1.MP	0,3	1,09	1,15	0,3
2.MP	0,3	2,43	1,15	0,4
3.MP	0,3	1,08	1,37	0,4

A 4. és 5. táblázatból jól látható, hogy az alacsonyabb fajlagos elektromos vezetőképességi értékekhez alacsonyabb összes sótartalom tartozik. A magasabb sótartalom értékekhez pedig magasabb vezetőképességi értékek tartoznak. Kiemelkedően magas vezetőképesség értékeimet a téli és a tavaszi mintavételezési időszakban mértem. Ezek közül is a legmagasabbat 2024. január 24.-én a második mintavételezési pontról származó mintánál észleltem, pontosan 2440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -t, amelyhez kiemelkedően magas 2,43 g/l-es összes sótartalom tartozott. Ebben az időpontban a másik két mintavételi helyen is 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -t meghaladó vezetőképesség értéket és 1 g/l-t meghaladó összes sótartalom értéket mértem. Magas összes só, illetve vezetőképesség értékeket mértem még a tavaszi mintavételkor, viszont itt a télivel ellentétben a vízállás nagyon alacsony volt. A legalacsonyabb vezetőképesség értéket 2023.

október 18.-án mértem, pontosan 764 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -t, melyhez a legalacsonyabb sótartalom, 0,3 g/l tartozott.

Továbbá a helyszíni méréseken oldott oxigén tartalmakat is mértem, melyeket mg/l valamint telítettségi százalékértékekben adtam meg. „Minden folyadék annyi oxigént vesz fel, ameddig a folyadékban lévő oxigén parciális nyomása egyensúlyba kerül a vele érintkező levegő, illetve gázfázissal. A tényleges oxigén-koncentráció tehát számos tényezőtől függ, pl. a hőmérséklettől, a légnyomástól, a mikrobiológiai lebontási folyamatok oxigén-felhasználásától, illetve az algák oxigéntermelésétől stb. Az oxigén koncentrációnak például döntő jelentősége van a vízben élő halak és mikroorganizmusok életfeltételeire” [30]. A 6. és 7. táblázatban szemléltetem a mért oldott oxigén értékeimet.

6.táblázat. A mért oldott oxigén értékek mg/l-ben kifejezve (saját adatok, saját szerkesztés)

	Oldott oxigén [mg/l]			
	2023.10.18.	2024.01.24.	2024.03.25.	2024.06.16.
1.MP	7,56	10,24	8,086	4,98
2.MP	5,42	7,44	7,32	5,42
3.MP	6,81	9,05	7,21	5

7.táblázat. A mért oldott oxigén értékek telítettségi %-ban kifejezve (saját adatok, saját szerkesztés)

	Oldott oxigén [%]			
	2023.10.18.	2024.01.24.	2024.03.25.	2024.06.16.
1.MP	66,2	81,5	88,63	61,7
2.MP	48,6	58,5	82,63	68,5
3.MP	64,7	76,9	80,63	62,2

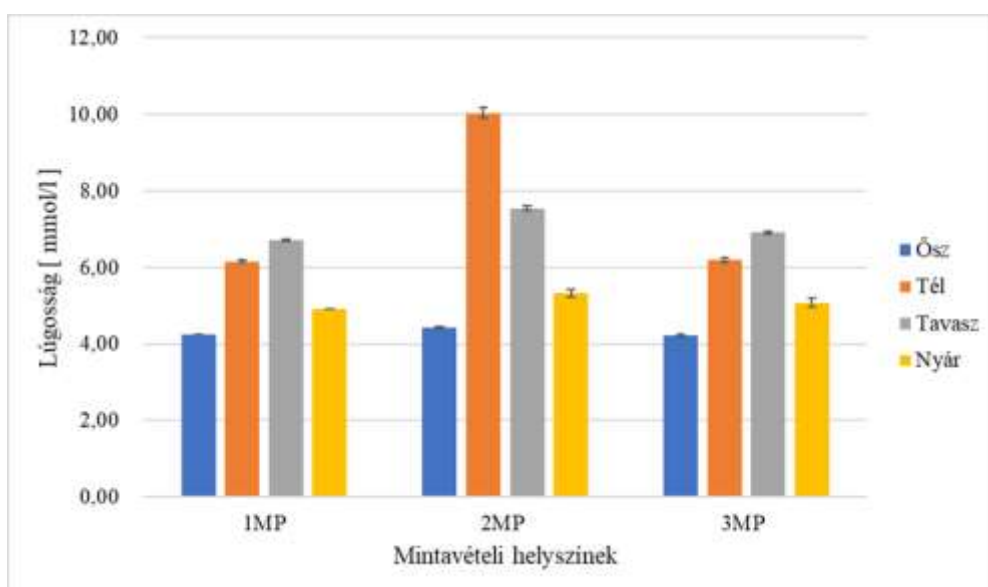
A téli, illetve a tavaszi mintavételezéskor az oldott oxigén esetében nagyon hasonló értékeket mértem, azonban visszatekintve az 5. táblázatban megfigyelhető, hogy a téli időszakban alacsonyabb volt a hőmérséklet, mint tavasszal mégis tavasszal mértem a magasabb értékeket. A nyári és őszi mintavételkor a hőmérséklet, illetve a vízállás értékek eltéréseivel hasonló oldott oxigén értékeket mértem. A legalacsonyabb értéket 2023. október 18.-án a második mintavételi helyről származó minta esetében, míg a legmagasabbat 2024. március 25.-én az első mintavételi helyről származó minta esetében mértem.

4.6. Laboratóriumi vizsgálatok

4.6.3. Lúgosság mérése

A magas lúgosság csökkentheti a nehézfémek toxicitását azáltal, hogy a jelen lévő bikarbonátokkal és karbonátokkal eltávolítja a fémeket az adott oldatokból. Természetes környezetben az alacsony lúgosság miatt a patakok, folyók és tavak érzékenyek lehetnek a savas szennyeződésekre, amelyek olyan mértékben csökkenthetik a víz pH-értékét, hogy az káros lehet a kételtűekre, a halakra és az állati planktonra [5].

A lúgosság meghatározása során kapott eredményeimet a 9. ábrán foglalom össze. Az ábrán a mért értékeket mmol/dm^3 értékben adtam meg.



9.ábra Mért lúgosság értékek (saját adatok, saját szerkesztés)

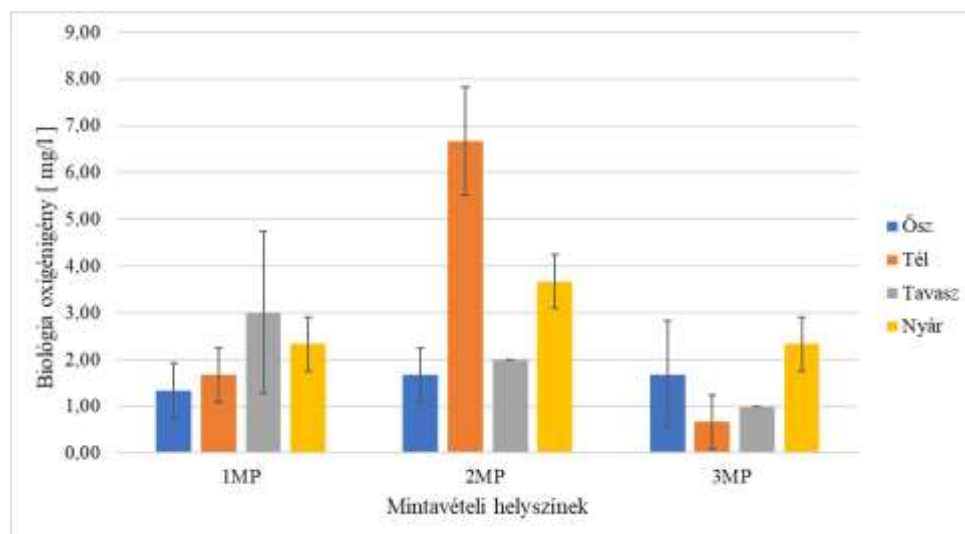
A 9. ábrán az eredmények mintavételi hely („MP”), valamint mérési időszak függvényében vannak lebontva. Az ábrán látható, hogy a mérési időszakokat tekintve az egyes időpontokban igen hasonló eredményeket kaptam, egy kiugró érték kivételével, amit télen mértem a kettes mintavételi helyről származó minta esetében.

A mért lúgosság értékekből lehet következtetni egyes ionok mennyiségére, mely értékelésben a MSZ 448-11:1986 magyar szabvány volt segítségemre [36]. Az eredményeim alapján elmondható, hogy hidroxid-ion, valamint karbonát-ion nem található a vízmintákban, hiszen a szabad lúgosság értékek 0 mmol/dm^3 lettek. Ezek alapján a hidrogén-karbonát-ion mennyisége megegyezik a mért összes lúgosság értékekkel. Ezen ionok közül a legtöbbet a téli mérés alkalmával mértem pontosan, $10,039 \text{ mmol/dm}^3$ -t, míg a legkevesebbet az őszi mérés alkalmával a harmadik mintavételi pontról származó minta esetében, $4,224 \text{ mmol/dm}^3$ -t. A hidrogén-karbonát-ionok mennyiségét mg/l egységben is kiszámoltam. A legmagasabb

hidrogén-karbonát-ion értéke mg/l egységben kifejezve 612 és a legalacsonyabb, pedig 259 mg/l. A mintavételi pontokra átlagterhelés értékeket is számoltam és a számításaim alapján lúgosság szempontjából a legterheltebb a második mintavételi pont, ahol az átlag lúgosság értéke $6,835 \pm 0,09$ mmol/dm³, amely 417 mg/l értéknek felel meg. A legkevésbé terhelt helyszín az első mintavételi pont volt, ahol az átlag lúgosság értékének $5,508 \pm 0,02$ mmol/dm³ értéket számoltam, amely 336 mg/l-nek felel meg. A harmadik mintavételi ponton számolt átlag lúgosság értékem alig haladta meg az első mintavételi ponton számoltat, $5,602 \pm 0,06$ mmol/dm³, amely mg/l értékbe átszámolva 342.

4.6.4. Biológiai oxigénigény

A minősítési vizsgálataim céljából nagyon fontos volt a főcsatorna biológiai oxigénigényének a meghatározása is. Tehát ilyen típusú mérést is végeztem a laboratóriumi minősítem során. A biológiai oxigénigény meghatározásánál az öt napos igényt vettem figyelembe. A vizsgálat alkalmával párhuzamos méréseket végeztem. Az így kapott eredményeket az 10. ábrán szemléltetem.



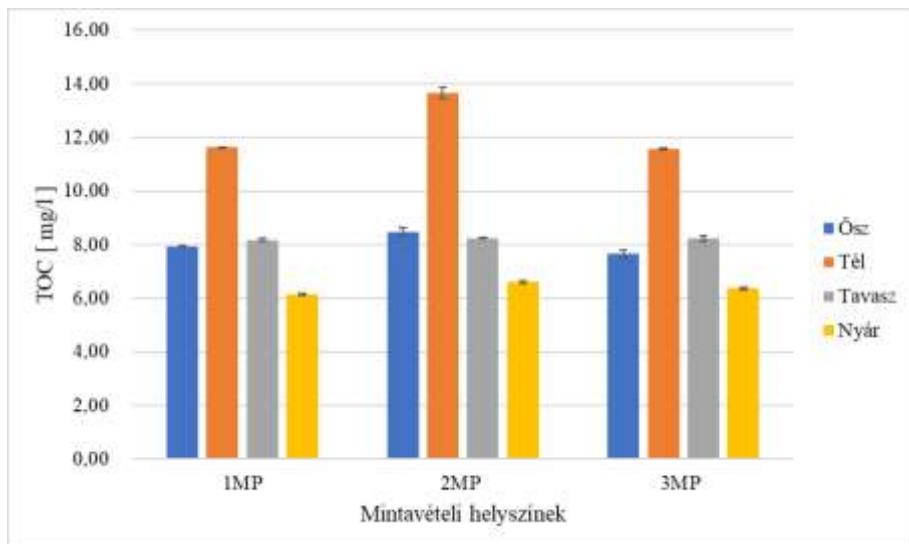
10. ábra A mért biológiai oxigénigény bemutatása (saját adatok, saját szerkesztés)

A mért értékek átlagát, valamint szórását a mintavételi helyek („MP”), valamint a mérési időszakok függvényében a diagrammon ábrázolom. Látható, hogy a legkisebb biológiai oxigénigényt a harmadik mintavételi ponton a második mérés során mértem, illetve a legnagyobbat a második mintavételi helyen és szintén a második laboratóriumi mérés során tapasztaltam. Az első és a harmadik mintavételi ponton a biológiai oxigénigény értékek hasonlóan alacsonyak voltak, míg a második mintavételi helyen az első és a harmadik mérés

alkalmával alacsony volt az oxigénigény, viszont a második és negyedik alkalmával az eredmények kiugranak a többi közül. Az egyes mintavételi helyszínekre átlagterhelést számoltam. E szerint a biológiai oxigénigény szempontjából a második mintavételi pont a legterheltebb, $3,50 \pm 0,58$ mg/l BOI5 értékkel. A harmadik mintavételi ponton a legkevésbé terhelt a víz $1,42 \pm 0,58$ mg/l értékkel. Az első mintavételi ponton az éves átlag terhelés $2,08 \pm 0,87$ mg/l egység volt.

4.6.5. Összes szerves széntartalom vizsgálat

A laboratóriumban való mérések során TOC, azaz összes szerves széntartalom meghatározást is végeztem. Az összes szerves széntartalom a mintában jelenlévő összes szerves anyagnak a mennyiségét jellemzi, ezért is nagyon fontos ennek a paraméternek a meghatározása. Egy mintából a készülék három párhuzamos mérést végzett el, és ezeknek a méréseknek az eredményét egy átlag-szórás diagramon szemléltettem a 11. ábrán.



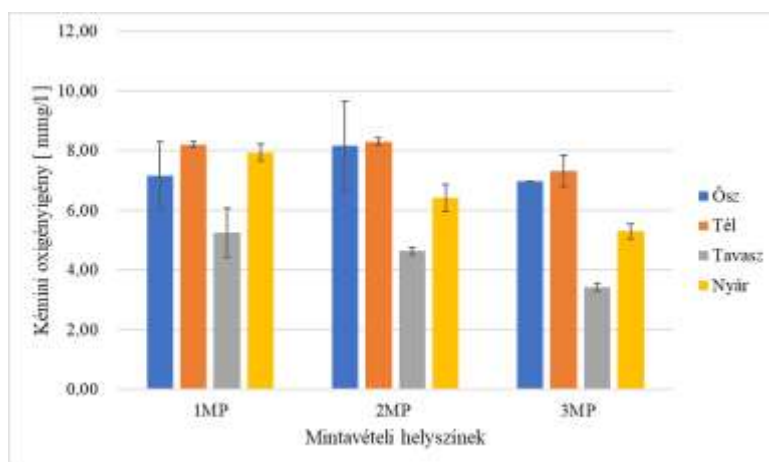
11. ábra A mért TOC eredmények (saját adatok, saját szerkesztés)

A 11. ábrán látható, hogy a mintavételi időszakokban végzett mérések alkalmával mindhárom pontban hasonló eredményeket kaptam az adott évszakban. A legmagasabb TOC értékeket télen, míg a legalacsonyabb értékeket a nyári mérési időszakban kaptam. A legmagasabb TOC értéket a téli időszakban a második mintavételi pontról származó mintámnál kaptam és visszatekintve a BOI diagramra a legmagasabb biológiai oxigénigény értéket is ennél a mintánál mértem. A tavaszi időszakban a három pontra vetítve szinte megegyező eredményeket kaptam. A TOC esetében is számoltam az egyes mintavételi pontokra átlagterhelést. A számításaim alapján a TOC szempontjából legterheltebb a második mintavételi pont, hiszen itt $9,246 \pm 0,10$ mg/l értéket mértem. Legkevésbé terhelt pontnak a

harmadik mintavételi pont bizonyult, itt $8,456 \pm 0,08$ mg/l átlagterhelés értéket számoltam. Az első mintavételi pontnál az átlagterhelés értéke $8,474 \pm 0,03$ mg/l volt, amely durván csak 0,020 mg/l értékkel több mint a harmadik mintavételi pontnál számolt átlag.

4.6.6. Kémiai oxigénigény

A minősítési vizsgálataim során kémiai oxigén igény meghatározást is végeztem a vízmintáimon. Ezt a vizsgálatot kálium-permanganátos titrálással hajtottam végre. A titrálások alkalmával párhuzamos méréseket végeztem és az eredményeimből készítettem egy átlagszórás diagrammot. Ezt a diagrammot a 12. ábrán mutatom be, a mért értékek átlagát a mintavételi helyek („MP”), illetve a mérési időszakok függvényében ábrázoltam.



12. ábra A mért kémiai oxigénigény értékek (saját adatok, saját szerkesztés)

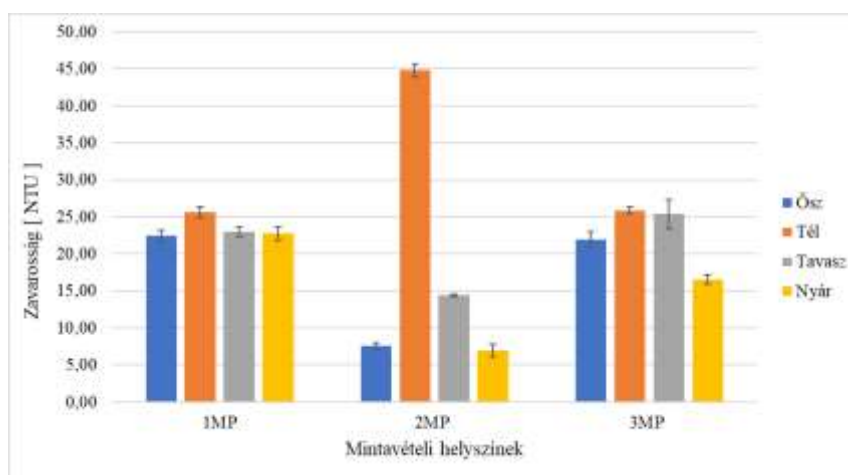
Az ábrán látható, hogy az első mintavételezési időszakban nagyon hasonló eredményeket kaptam mind a három mintavételi ponton, és ugyanez figyelhető meg a második mérési időszak esetében is. A tavaszi és az őszi mérési időszakokban folyamatosan csökkenő értékeket kaptam. A legmagasabb terheléseket mintavételi helyenként télen mértem, míg a legalacsonyabb terheléseket tavasszal. A legmagasabbat pontosan az első és a második mintavételi ponton, míg a legalacsonyabbat a harmadik mintavételi ponton.

Fontos megjegyezni azt, hogy a kémiai oxigénigény értékeknek mindig magasabbnak kell lenniük, mint a biológiai oxigénigénynek, valamint, az összes szerves széntartalomnak. Visszatekintve a 10. és 11. ábrákra a biológiai oxigénigény értékeket a kémiai oxigénigény értékek minden esetben meghaladják, míg a TOC eredményeket nem minden esetben, sőt mondhatni egyszer sem. Ez a jelenség lehet például azért, mert nem elég erős oxidálószer a KMnO_4 és ezért a szerves anyagroncsolása sem 100%-os, továbbá más szervesetlen anyag (pl. vas) elreagál a permanganáttal és ez is ronthatja az oxidáció folyamatát.

A mintavételi pontokra átlagterhelést is számoltam. A számításaim alapján a kémiai oxigénigény szempontjából legterheltebb hely az első mintavételi pont volt, hiszen itt $7,142 \pm 0,58$ mg/l átlagértéket számoltam. A legkevésbé terhelt pedig a harmadik mintavételi pont volt, ahol $5,759 \pm 0,23$ mg/l átlagterhelés értéket számoltam. A második mintavételi ponton a számításaim alapján a kémiai oxigénigény átlagterhelés értéke $6,884 \pm 0,55$ mg/l volt

4.6.7. Zavarosság mérés

Ennél a mérésnél csak a Turb-555 zavarosság mérő készülékre, egy főzőpohárra, a mintámra, egy küvettára, papírtörlőre, valamint mikro szál as kendőre volt szükségem. A vizsgálat nem igényelt minta előkészítést. A zavarosság mértékét NTU egységben adtam meg. A kapott eredményeimet a 13. ábrán mutatom be.



13. ábra A zavarosság mérésem során kapott eredmények (saját adatok, saját szerkesztés)

Az eredmények átlagát és szórását a mintavételi helyek, valamint vizsgálati időpontok függvényében tüntettem fel a diagramon. A zavarosság értékek szabálytalanul ingadoznak, mind a helyszínek, mind pedig a mérési időpontok függvényében. A leghasonlóbb zavarosság értékeket az első mintavételi helyszínről származó minták esetében mértem. A harmadik mintavételi helyről származó minták mérési eredményei is igen hasonlóak voltak a nyári mérés kivételével. Az időszakokon belül mintavételi helyenként igen eltérő értékeket kaptam. A második mintavételi helyen a téli időszakban mértem egy kiugróan magas zavarosság értéket. A legalacsonyabb zavarosság értéket szintén a második mintavételi helyről származó mintánál mértem, pontosabban a nyári mérési időszakban.

Az eredményeim alapján átlagterhelést is számoltam a mintavételi pontokra levetítve. A számításaim alapján a kiugróan magas érték ellenére a legkevésbé terhelt mintavételi pont a második mintavételi hely volt, ahol $18,43 \pm 0,57$ NTU átlagterhelést számoltam. Zavarosság szempontjából a legterheltebbek az első mintavételi helyről származó mintáim voltak, ahol az

átlagterhelés értéke $23,45 \pm 0,76$ NTU volt. A harmadik mintavételi pont átlagterhelése nagyon közelített az első pontéhoz, itt a számolt átlagterhelésem $22,43 \pm 1,03$ NTU egység volt. Ha így vizsgáljuk a kapott eredményeket, akkor igazából jelentős különbség nincs a zavarosságértékekben a különböző mintavételi pontokat nézve.

4.6.8. Ionkromatográfias vizsgálat

Az ionkromatográfias készülékkel a vízmintáimban lévő ionok, azaz az egyes anionok, valamint kationok mennyiségét határoztam meg. A mért eredményeket mg/l mértékegységben adtam meg. A 8. és 9. táblázatban mutatom be a meghatározott kationokat, valamint anionokat és mennyiségeiket. Mind a két táblázat esetében az anionok és kationok a mérési időpont, illetve a mintavételi helyszín szempontjából vannak csoportosítva.

8.táblázat. A meghatározott anionok és mennyiségeik (saját adatok, saját szerkesztés)

		Anionok [mg/l]						
		F^-	Cl^-	Br^-	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
2023.10.19.	1.MP	0,0843	114	0,20	-	2,45	0,31	38
	2.MP	0,0824	114	-	-	2,67	0,54	38
	3.MP	0,0695	106	0,18	-	2,40	0,22	45
2024.01.25.	1.MP	0,1709	106	-	-	4,56	0,65	85
	2.MP	0,1266	325	0,77	0,87	10,93	4,29	183
	3.MP	0,2848	130	-	-	4,94	0,79	87
2024.03.26.	1.MP	0,1025	173	0,37	-	5,56	0,94	90
	2.MP	0,077	110	0,19	-	5,73	0,64	63
	3.MP	0,112	133	0,22	-	5,92	0,77	79
2024.06.17.	1.MP	0,1244	94	-	-	5,12	1,20	30
	2.MP	0,1177	108	-	-	4,86	1,58	34
	3.MP	0,1189	90	-	-	5,05	1,21	30

A 8. táblázatban az általam mért anionok láthatók feltüntetve. A táblázatból látható, hogy a nitrit-ion csak egyszer, a téli mérés alkalmával a második mintavételi helyszínről származó minta esetén volt kimutatható mennyiségben jelen. A többi minta tekintetében olyan kevés mennyiség volt megtalálható a mintákban ez az ion, hogy a készülék nem volt képes kimutatni. Az anionok közül még a bromid-ion volt olyan, amely mennyisége többször a kimutatási határ alatt volt, ezért nincs róla pontos eredményem. Excel segítségével átlagoltam az anion

csoportok mennyiségét és ezek az átlagok alapján felállítottam egy-egy ionsort a mintavételi pontok függvényében. Az első és a harmadik mintavételi pontot figyelembe véve az ionsor megegyezik és így néz ki: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{Br}^- > \text{F}^-$. A második mintavételi pont esetében az ionsor máshogy néz ki, hiszen itt megjelenik már a nitrit-ion is egy alkalommal. Ebben az esetben a sor pedig a következőképpen néz ki: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{NO}_2^- > \text{Br}^- > \text{F}^-$. Mindkét esetben a sorok elején a klorid-ion szerepel, mivel átlagosan a vizsgált ponton a vizsgált időpontban a legnagyobb mennyiséget tartalmazta a víz. A sor legvégén a fluorid-ion, hiszen, a vízminta fluorid-ion tartalma volt a legkisebb a vizsgált ionok között, ha az első és a harmadik helyszín esetében nem vesszük figyelembe a nitrit-ion kimutatási határ alatt lévő mennyiségét. A második helyszín esetében, ahol a nitrit-ion egy alkalommal a kimutatási határ felett van meghaladja a bromid-, és a fluorid-ion mennyiségét.

9.táblázat. A meghatározott kationok és mennyiségeik. (saját adatok, saját szerkesztés)

		Kationok [mg/l]					
		Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	NH_4^+	SAR
2023.10.19.	1.MP	92	6,20	12	59	-	2,9
	2.MP	95	6,32	13	60	-	2,9
	3.MP	88	5,66	12	58	-	2,7
2024.01.25.	1.MP	139	9,47	24	55	0,46	3,9
	2.MP	426	23,80	24	52	10,13	12,2
	3.MP	140	9,53	23	55	1,17	4,0
2024.03.26.	1.MP	182	6,59	13	24	-	7,4
	2.MP	115	5,45	13	19	-	4,9
	3.MP	141	6,62	19	31	-	4,9
2024.06.17.	1.MP	102	7,82	16	54	1,21	3,1
	2.MP	117	6,85	16	52	0,42	3,6
	3.MP	99	6,43	15	53	0,95	3,1

A 9. táblázatban az általam vizsgált kationokat és mennyiségüket mutatom be. Az anionok közül a nátrium-, kálium-, kalcium-, és magnézium-ionok minden esetben a készülék kimutatási határa szerint mérhető mennyiségben voltak jelen, Ezen ionokkal ellentétben a lítium-, és ammónium-ion több alkalommal nem volt mérhető mennyiségben jelen. Tehát a minták ezekből az ionokból vagy nagyon keveset tartalmaztak, vagy egyáltalán nem is volt az adott mintákban ezen típusú ionokból. Hasonlóan az anionionokhoz, a kationoknál is

számoltam az egyes komponenseknek az átlagát, és ez alapján egy ionsort állítottam fel, amely a következőképpen néz ki: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$, amely ionsor mind a három mintavételi pontra érvényes. A legkevesebb mennyiséget a vizsgált időszakban a vizsgált víztest a lítium-ionból tartalmazta, amely több alkalommal is a kimutatási határ alatt volt, ezért nem jelöltem a táblázatban sem és az ionsorban sem említem, míg a legtöbbet a sor elején található nátrium-ionból. Az átlag számításból kiderült az is, hogy a kalcium-ion körülbelül háromszor annyi mennyiségben volt jelen, mint a magnézium-ion. A táblázat utolsó oszlopában pedig az „Anyag és módszer” című fejezetben ismertettet (2.) képlet alapján kiszámított SAR-tényező értékeit mutatom be.

A kapott ionkromatográfias adatokból összes foszfor és összes nitrogén tartalmat számoltam az egyes vízmintáknak, ezeket az eredményeket a 10. táblázatban foglaltam össze. A táblázatban szereplő értékeket aránypárral számoltam ki, az összes nitrogén esetében a nitrogén, a nitrát-, nitrit-, és ammónium-ionok moláristömegének, illetve a nitrát-, nitrit-, ammónium-ionok meghatározott mennyiségének a segítségével. Az összes foszfor tartalom számításához, pedig a foszfor és foszfát-ion moláristömegét és a meghatározott foszfát-ion mennyiségét használtam.

10.táblázat. A mintákban található összes nitrogén és összes foszfor tartalom.

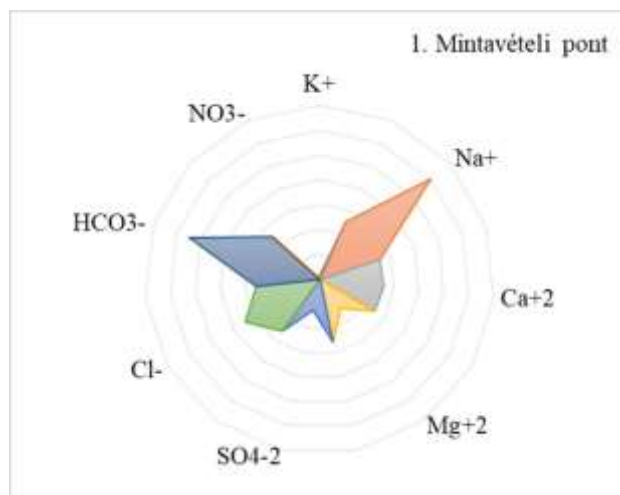
(saját adatok, saját szerkesztés)

		Összes nitrogén tartalom[mg/l]	Összes foszfor tartalom[mg/l]
2023.10.19.	<i>1.MP</i>	0,55	0,10
	<i>2.MP</i>	0,60	0,18
	<i>3.MP</i>	0,54	0,07
2024.01.25.	<i>1.MP</i>	1,39	0,21
	<i>2.MP</i>	10,62	1,40
	<i>3.MP</i>	2,03	0,26
2024.03.26.	<i>1.MP</i>	1,26	0,31
	<i>2.MP</i>	1,30	0,22
	<i>3.MP</i>	1,34	0,25
2024.06.17.	<i>1.MP</i>	2,10	0,39
	<i>2.MP</i>	1,42	0,52
	<i>3.MP</i>	1,88	0,39

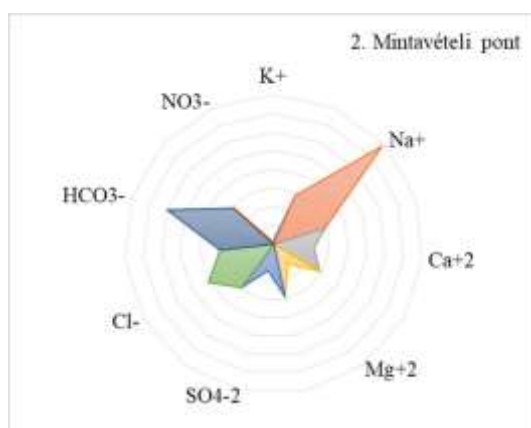
Ahogy a fenti táblázatoknál is, így a 10. táblázatnál is mintavételi pontokra, valamint mérési időpontokra lebontva mutatom be az eredményeimet. Mivel az ammónium-, illetve nitrit-ion mennyisége a kimutatási határ alatt volt több alkalommal is ezért az összes nitrogén tartalmat legtöbbször csak a nitrát-ion mennyiségéből tudtam számolni. Összes foszfor tartalmat a minták foszfát-ion tartalmából számoltam. Az összes nitrogén tartalomba egyetlen egy alkalommal tudtam beleszámolni a nitrit-ion mennyiségét, míg az ammónium-ionét hat alkalommal, a téli és a nyári időszakban volt a mintáimban kimutatható anyagmennyiség.

Összes nitrogén és összes foszfor tekintetében is határoztam meg az egyes mintavételi pontokra átlagterhelés értékeket. Az összes nitrogén, valamint az összes foszfor esetében is a második helyszín bizonyult a legterheltebbnek, hiszen itt $3,49 \pm 4,77$ mg/l volt az összes nitrogén terhelés. Hozzátenném ehhez az értékhez, hogy itt a nitrát-ion mellett mérhető mennyiségben volt jelen a nitrit-, és az ammónium-ion is. Az összes foszfor mennyisége ezen a második helyen $0,58 \pm 0,57$ mg/l volt. Az első és a harmadik mintavételi helyszínen nagyon hasonló átlagterhelés értékeket mértem, viszont a nitrogén szempontjából a harmadik, míg a foszforéból az első helyszín bizonyult terheltebbnek. Az első mintavételi helyszínen $1,33 \pm 0,64$ mg/l nitrogén átlagterhelést, míg a harmadik helyszínen $1,45 \pm 0,67$ mg/l értéket számoltam. Foszfor terhelés esetében az első helyszínen $0,25 \pm 0,13$ mg/l mennyiséget, a harmadik helyszín eredményeiből pedig $0,24 \pm 0,13$ mg/l átlagterhelést számoltam.

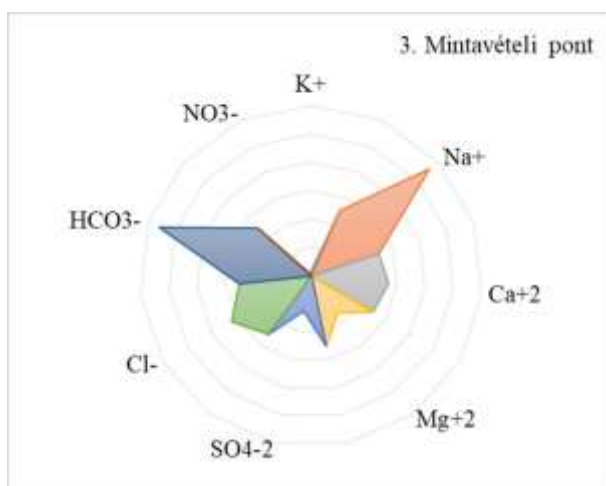
A mintavételi pontokon mért ionok iondominanciáját a Maucha-csillag diagram segítségével is ábrázoltam. Maucha Rezső, magyar kémikus és hidrobiológus, az 1920-as és 1930-as években fejlesztette ki ezt a szimbólumot, hogy összefoglalja a főbb ionokat. A vízben található főbb ionok összefoglalása olyan módon történik, amely lehetővé teszi például két vízminta gyors összehasonlítását. Egy egyszerű, de fáradságos trigonometriás összefüggést alkalmazott egy nyolcágú csillag szimbólum megtervezéséhez, ahol az anionos koncentráció a bal oldalon, a kationok pedig a jobb oldalon helyezkednek el [37]. Az első mintavételi pont iondominanciáját a 14. ábrán, a második mintavételi pontét a 15. ábrán és a harmadik mintavételi helyről származó minták iondominanciáját a 16. ábrán mutatom be.



14.ábra Az első mintavételi pont iondominanciája (saját adatok, saját szerkesztés)



15.ábra A második mintavételi pont iondominanciája (saját adatok, saját szerkesztés)



16.ábra A harmadik mintavételi pont iondominanciája (saját adatok, saját szerkesztés)

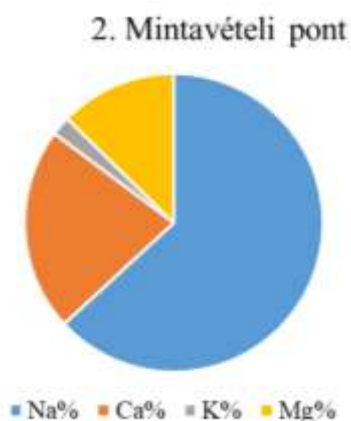
A három ábrát összehasonlítva látható, hogy közel azonosak. A három mintavételi pontokról származó minták esetében látható, hogy a legdominánsabb ion a nátrium-, illetve a

hidrogén-karbonát-ion volt. A csillag-diagramokon ábrázolt ionok közül legkevesebbet a mintáim a kálium-és nitrát-ionokból tartalmazták. Az ábrákat vizsgálva kiemelném még azt is, hogy a kalcium-ionból a második mintavételipontról származó mintáim valamivel kevesebbet tartalmaztak, mint a másik két helyszínről begyűjtött minták.

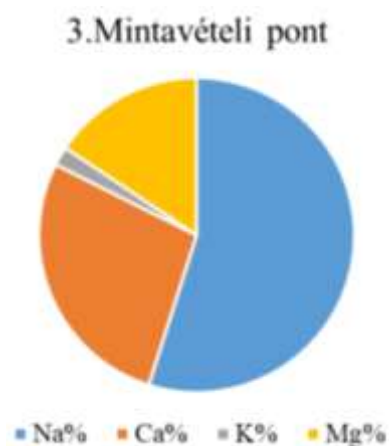
Az „Anyag és módszer” című fő fejezetben bemutatott (3.) képlet alapján kiszámoltam a fő kationok egymáshoz viszonyított százalékos megoszlását is a mintavételi pontokra levetítve. Ezeket az eredményeket egy-egy kördiagramon ábrázoltam, melyeket a 17., 18. és 19. ábrán mutatok be.



17.ábra A fő kationok egymáshoz viszonyított megoszlás (saját adatok, saját szerkesztés)



18.ábra A fő kationok egymáshoz viszonyított megoszlása (saját adatok, saját szerkesztés)



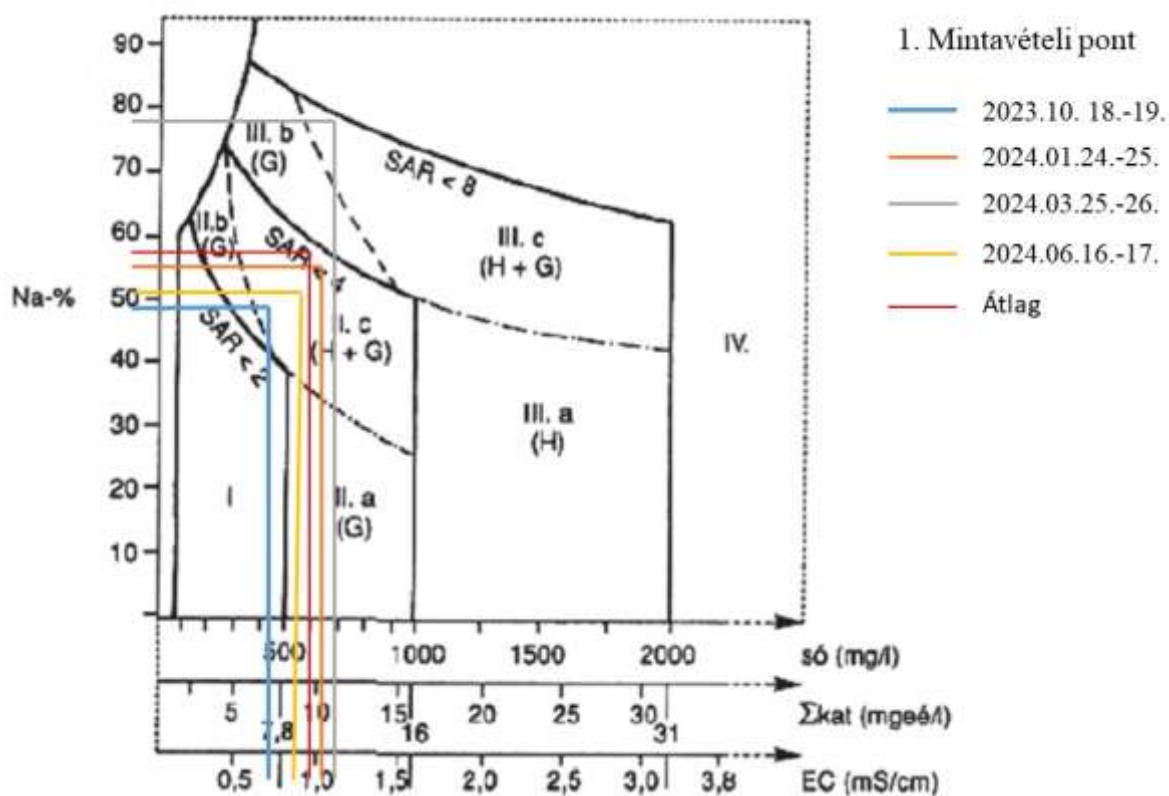
19.ábra A fő kationok egymáshoz viszonyított megoszlása (saját adatok, saját szerkesztés)

A három mintavételi pontról származó minták esetében látható, hogy a kationok nagyon hasonlóan oszlanak meg. Mind a három pont esetében legnagyobb százalékban a nátrium-ion fordul elő, míg legkisebb százalékban pedig a kálium-ion. A magnézium-ion és a kalcium-ion százalékos aránya a második ponton kevesebb mint az elsőn és a harmadikon, hiszen a második kördiagramon a nátrium-ion nagyobb területű körcikket foglal el.

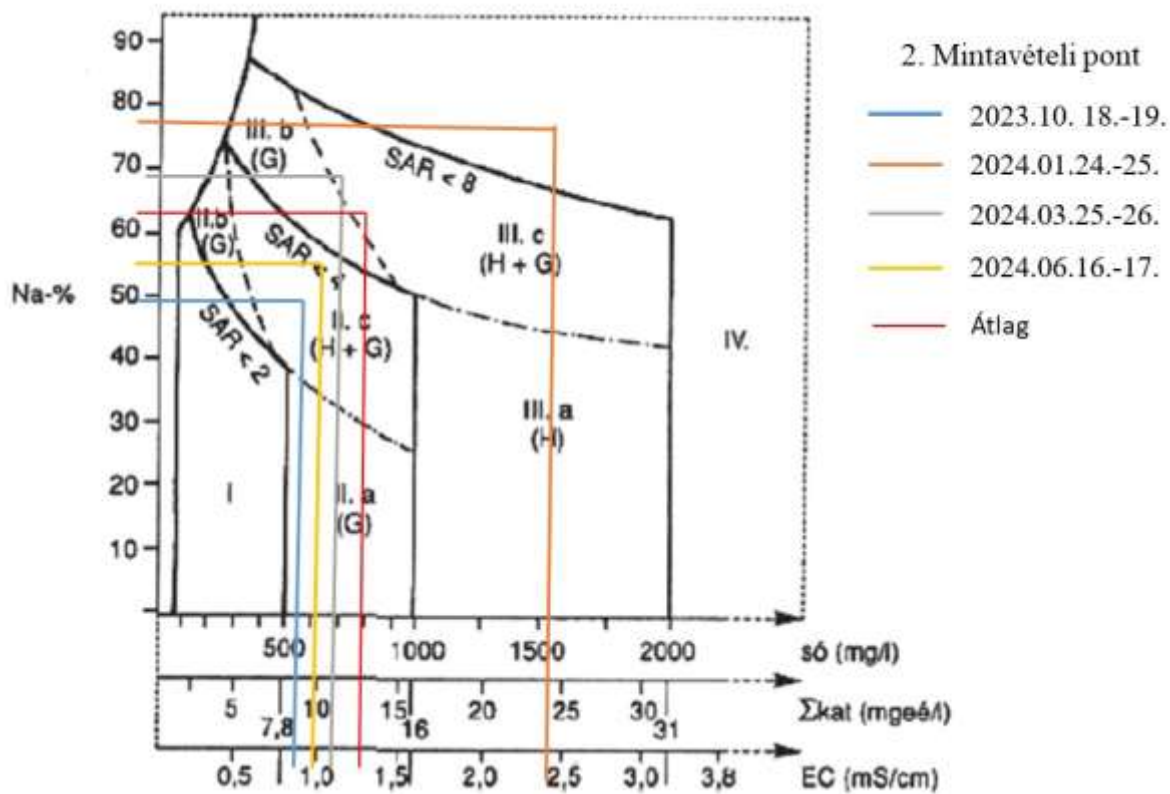
A Na^+ százalékos aránya a második mintavételi ponton volt a legnagyobb, $63,15 \pm 13,04\%$. Ezen értéket az első mintavételi ponton mért eredmény követi, ami $57,75 \pm 12,46\%$ volt, és a harmadik mintavételi ponton pedig $54,92 \pm 7,20\%$ Na^+ ion koncentrációt számoltam. A Ca^{2+} ionnak a százalékos megoszlása a harmadik mintavételi ponton volt a legmagasabb, pontosan $27,48 \pm 8,79\%$, míg a második pontról származó minták esetén pedig a legalacsonyabb volt az átlag, $22,07 \pm 11,94\%$. Az első mintavételi ponton $26,09 \pm 10,59\%$ értéket számoltam. A kálium-ionok a többi ionhoz képest igen kis mennyiségben fordultak elő. A százalékos értékeknek a legnagyobb átlag mennyiségét a második mintavételi helyről származó minták esetén számoltam, $2,09 \pm 0,32\%$ -ot, míg a legalacsonyabbat a harmadik mintavételi pont esetén $1,95 \pm 0,19\%$ -ot. Az első mintavételi pont esetén $2,02 \pm 0,30\%$ -ot számoltam. A magnézium-ionok tekintetében a harmadik mintavételi pont esetén számoltam a legmagasabb százalékos megoszlást, pontosan $15,65 \pm 1,94\%$ -ot, míg a legalacsonyabbat a második mintavételi pont esetén $12,68 \pm 3,06\%$ -ot. Az első mintavételi helyről származó minták esetében a magnézium-ion százalékos megoszlása $14,15 \pm 3,36\%$ volt. A szám értékekből is jól látszik, hogy a nátrium-ion volt a legdominánsabb ion és valóban nagyon hasonlóan oszlottak meg egymáshoz képest ahogy az az ábrákon is jól látszik. Továbbá megemlíteném azt, hogy a számadatokból látszik milyen magas értékűek voltak a számolt szórás mennyiségek.

5. Következtetések és javalatok

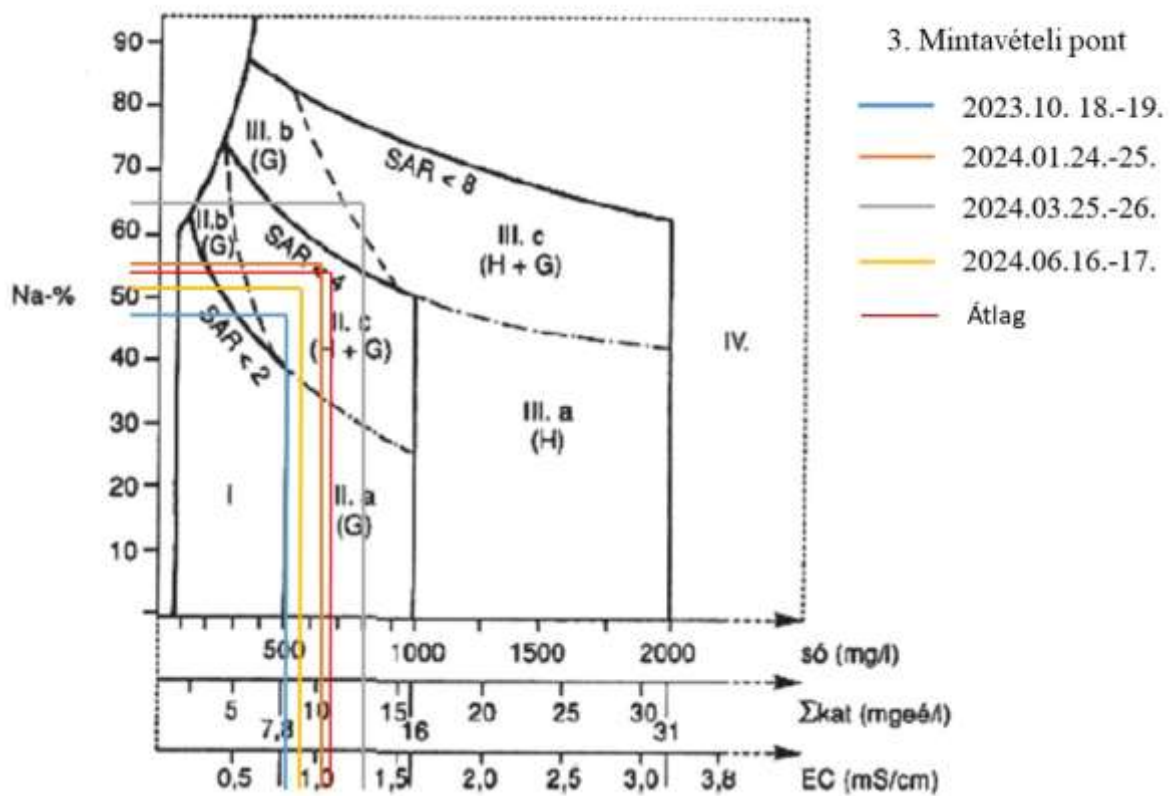
A kutatási tevékenységem során a Hortobágy-Berettyó főcsatorna egy szakaszának öntözővíz szerinti minősítését céloztam meg elvégezni. A méréseim során a helyszínen végeztem elektromos vezetőképességérték meghatározást, illetve a laboratóriumban ionkromatográfiás vizsgálatot is. Az ionkromatográfiás mérési eredményeimből különféle számításokat végeztem, melyek között közte volt a Na%-érték meghatározása is. Ezen eredményeimet az egyes mintavételi pontokra vetítve készítettem egy-egy Filep szerinti öntözővíz minősítő diagramot. Ezen diagramokat mintavételi pontonként a 20., 21. és 22. ábrákon szemléltetem.



20.ábra Az első mintavételipont Filep diagramja (saját adatok, saját szerkesztés)



21.ábra A második mintavételi pont Filep diagramja (saját adatok, saját szerkesztés)



22.ábra A harmadik mintavételi pont Filep diagramja (saját adatok, saját szerkesztés)

A fenti ábrákat elemezve látszik, hogy az első és a harmadik mintavételipont ábrája nagyon hasonló. A mintavételi időszakok esetében a tavaszi minősítés kivételével, mindegyik egyenes metszéspontja a II. c csoportba esik ezen a két ábrán. A tavaszi minősítés esetén a két egyenes metszéspontja a III. c csoportba esik.

A második mintavételipont ábrája elüt az első és harmadik helyszín ábrájától, hiszen a téli minősítési eredmény kiugrik a másik két eredménytől, mivel ezen az ábrán a többivel ellentétben nem a II. c csoportba tartozik, hanem a IV. csoportba. Ez azt jelenti, hogy azon a helyszínen vett vízminta, abban az időpontban olyan magas sókoncentrációval rendelkezett, hogy egyik fajta talajtípusra sem lenne használható.

A tavaszi mérés során minden helyszínről vett vízminta a III. c csoportba tartozik. Filep szerint ez a típusú víz kémiai javítás után sem használható minden fajta talajtípusra [4]. Ezen tavaszi minták esetében jellemző volt az, hogy a mért vezetőképesség értékük meghaladta az $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$, illetve a Na% értékek is meghaladták a 65 %-ot, tehát igen magasnak számított. Valószínűleg ebben az időben túl sok bemosódott sót tartalmazott a víztest, és főleg szikes talajok öntözésére alkalmatlan volt.

Azonban a legtöbb esetben a mintáim a II. c csoportba tartoztak, amely Filep szerint azt jelenti, hogy a vízminta nem minden talajtípus öntözésére alkalmas javítás nélküli öntözővizek közé tartozik, amely javítás után minden esetben használható. Továbbá szikes talajok öntözése esetén, a víz csak kémiai javítás, valamint hígítása után alkalmazható, abban az esetben, ha a SAR 2-4 között van, a sókoncentráció pedig $350\text{-}1000 \text{ mg/l}$ [4]. Visszatekintve a 9. táblázatra látható, hogy azoknak a mintáimnak, amelyek ebbe a csoportba tartoznak a SAR-tényezője minden esetben a fentebb említett tartományba esett.

6. Összefoglalás

A TDK dolgozatom elkészítése során egy általam választott víztest öntözőíz szerinti minősítését végeztem el Filep György minősítése alapján. A választásom a lakóhelyem közelében fekvő Hortobágy-Berettyóra esett, amely víztest főleg mezőgazdasági területekkel van körülvéve. A kutatásom során fizikai és kémiai vizsgálatokat egyaránt végeztem a vizsgált víztesten, valamint egy egész éves átfogó monitoring vizsgálatot tűztem ki célul.

A TDK dolgozatom irodalmi áttekintés részében összefoglaltam a Föld vízkészletének megoszlását, a belvíz kialakulását és hatását a felszíni vizek minőségére, a vízfolyások szennyezésének folyamatát, továbbá a veszélyeztető tényezőiket és a vízminősítés általános folyamatát, illetve a vizek mezőgazdasági hasznosítását és Filep György minősítő diagramja szerinti minősítést. További fejezeteimben bemutattam a tervezési alegységet, a vízfolyás jelenlegi mezőgazdasági hasznosítását, az emberi tevékenységből származó diffúz, illetve pontszerű szennyezőforrásokat, a mintavételi pontjaimat, a mintavételek módját és a mintavételi időpontokat. Kifejtettem milyen paramétereket határoztam meg a helyszíni vizsgálatok során és a laboratóriumi vizsgálataim menetét, amelyeket a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Környezetmérnöki Tanszék Vízminőségvédelmi laboratóriumában végeztem el, valamint, hogy ezen paraméterek meghatározása miért fontos egy vízminősítési elemzés során. Az „Eredmények és értékelésük” című fejezetben részletesen jellemeztem a kapott eredményeimet és szemléltettem azokat grafikusan diagram formájában, illetve táblázatokon keresztül. Ezt követően kiértékeltem a mért eredményeimet, tehát minden mintavételi pontra elkészítettem a Filep minősítő diagramot. Ezek alapján megállapítottam, hogy a víztest vize a nem minden talajtípus öntözésére alkalmas javítás nélküli öntözővizek közé tartozik, amely javítás után minden esetben használható. Továbbá szikes talajok öntözése esetén, a víz csak kémiai javítás, valamint hígítása után alkalmazható.

További célom pedig ezzel a kutatással együtt a laboratóriumban való jártassággal elsajátítása, a kémiai minősítés elvégzése során alkalmazott vizsgálatok megtanulása, eszközök és készülékek használatának begyakorlása, a mintavételi mód és helyesség megismerése, valamint a VKI áttanulmányozása, illetve az öntözővizek alkalmassági szempontjainak megismerése volt. A mérőbőrönd használatával, sikerült elsajátítanom az elektródák megfelelő használatát, valamint a készülék kalibrációjának lépéseit, megtanulnom a bőrönd használatát. A helyszíni vizsgálatokhoz tartozóan pedig megtapasztalhattam még a szakszerű mintavételi eljárást is (hogyan és honnan veszünk mintát). Laboratóriumi vizsgálataim során megtanulhattam a különböző laboratóriumi eszközök helyes használatát és a vízminősítés

legfontosabb mérési módszereinek helyes menetét, precíz elvégzését. Megtapasztalhattam milyen egy saját monitoring által kapott eredmények összehasonlítása különböző vízhasználati szempontok szerinti elvárásokkal.

Jövőbeni célomként a választott víztest teljes évre vonatkozó monitoring vizsgálatát szeretném kibővíteni egy jogszabályi és VKI szerinti minősítésre. Tehát egy teljes évre vonatkozó minősítési vizsgálatot tűztem ki célul, mint szakdolgozatom témája. További céljaim között szerepel még egy ökológiai minősítés elvégzése is a vizsgált víztesten.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Báldi A., Engloner A. és Vörös L., „A vízi ökoszisztémák jelentősége a társadalom számára,” Magyar Tudomány, (2017.) [Megtekintés dátuma:2024.03.05.] Doi: 10.1556/2065.178.2017.10.4
- [2] Szabolcsik A., (2011),„A Hernád-folyó Gibárti szakaszának vízminőség vizsgálata", Bsc Szakolgozat, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, [Letöltés dátuma: 2023.08.08.]
- [3] Országos Vízügyi Főigazgatóság, „Vízgyűjtő-Gazdálkodási Terv: A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása, 2-17 Hortobágy-Berettyó” (2010.), Kiadó: Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság és Tiszántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság [Letöltés dátuma: 2023.06.25.], Elérhető: http://www2.vizeink.hu/files3/2_17_Hortobagy_Berettyo.pdf
- [4] Filep Gy., „Az öntözővizek minősége és minősítése,,” 1999, pp. 49-66.
- [5] Dr. Földessy J. szerk., Környezetmérnöki Tudástár, Környezetföldtan, Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, (2011), p. 60–150. [Megtekintés dátuma: 2024.03.05.], Elérhetőség: <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/01-Kornyezetfoldtan.pdf>, ISBN: 978-615-5044-26-7
- [6] Muhoray Á., Bárdos Z., "A belvíz kialakulása és az ellene való védekezés lehetőségének vizsgálata", Hadmérnök VII. Évfolyam 1. szám, (2012.), [Hozzáférés dátuma: 2024.07.18.], Elérhető: http://hadmernok.hu/2012_1_bardos_muhoray.pdf
- [7] Rakonczai J., Mucsi L., Szatmári J., Kovács F. és Csató Sz., „A belvizes területek elhatárolásának módszertani lehetőségei”, Földrajzi Konferencia, Szeged, (2001.), [Megtekintés dátuma: 2024.07.18.], Elérhető: <https://geography.hu/mfk2001/cikkek/RakonczaiMucsiSzatmariKovacsCsato.pdf>
- [8] Pálffy B., Fekete I. és Barta K., „Agrokémia és Talajtan", fejezet: "Konceptióváltás a belvízgazdálkodásban: talajtani és vízminőségi kérdések" Rajkai K., Szerk., Akadémiai Kiadó, (2022.) p. 219–238. Doi: 10.1556/0088.2022.00114
- [9] Rác L. I., „Magyarország felszíni és felszín alatti vizeinek minősége, védelme,” Hadmérnök IX. Évfolyam 2. szám, (2014.), [Megtekintés dátuma: 2024.03.12.], Elérhető: http://hadmernok.hu/142_24_raczi.pdf

- [10] Lévai T., "Analitika I.", Kiadó: Környezetvédelmi Minisztérium (2001.), ISBN: 0659000999236
- [11] Truzsi A., (2015.) „Felszíni víz állapotértékelése és monitoringja a Hortobágy-Berettyó főcsatorna példáján keresztül” , Bsc Szakdolgozat, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, [Letöltés dátuma: 2023.10.25.]
- [12] Thyll Sz., "Vízszennyezés, vízminőségvédelem.", (1998.), DATE, Szerk., Debrecen
- [13] Md Muhymunul Islam, Olaf K. Lenz, Abul Kalam Azad, Mosummath Hosna Ara, Masudur Rahman, Nazia Hassan „Assessment of Spatio-Temporal Variations in Water Quality of Shailmari River, Khulna (Bangladesh) Using Multivariate Statistical Techniques,” Journal of Geoscience and Environment Protection, 2017, 5, 1-26, (2017.) [Megtekintés dátuma: 2024.03.12.], Doi: 10.4236/gep.2017.51001
- [14] Felföldy Lajos, „A biológiai vízminősítés.” Országos Vízügyi Hivatal, Budapest, 1974. ISBN: 2310006868275
- [15] Chaudhry FN., Mohammad Fawad Malik, „Factors Affecting Water Pollution: A Review” Ecosystem & Ecography, (2017.), [Megtekintés dátuma: 2024.03.12.], Doi: 10.4172/2157-7625.1000225
- [16] Dr. Percsich K., "Bevezetés az vízanalitikába", SZIE MKK Központi Laboratórium, (2005.), [Megtekintés dátuma: 2023.09.25.]
- [17] Pásztó P., "Vízminőségvédelem, vízminőség-szabályozás", Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, (1998.),
- [18] Grósz J., „Hazai állóvizek vízminőségi paramétereinek vizsgálata terepi és távérzékelési eszközökkel,” Phd disszertáció, Gödöllő, (2020.), [Megtekintés dátuma: 2024. 03. 12.]
- [19] 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól, 2010.
- [20] Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, Vízgazdálkodási Évkönyv 2015, Váci Melinda G., Szerk., KÖTIVIZIG, Szolnok (2016.), ISSN 2061-9960
- [21] Darab K., „Az öntözővizek minősítésének alapjai és hazai tapasztalatai,” Agrártudományi Közlemények, Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet, Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet, Budapest (1976.)
- [22] Stefanovits-Bányai É., Boross L., Bernáth J., Kerepesi I., Kiss M. és Lakatos S., „Identification of plant taxons by isoelectric focusing,” International Journal of

Horticultural Science, (1999.), DOI:10.31421/IJHS/5/1-2/26, [Megtekintés dátuma:2024.09.23.]

- [23] Szabolcs I. mezőgazdasági tudományok doktora , „A talaj tulajdonságai és az öntözés,” Agrártudományi közlemények 35. kötet, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest (1976.) ISSN 0002-1113, Elérhető: https://real.mtak.hu/184679/1/155_real_AGRARTUD_35.pdf
- [24] Internetes forrás: Agrárium, „Az öntözővíz minősége, vízkezelés” , Integrált agrárszakmai információs platform , 2015.08.11. [Online].Elérhető :<https://agrarium7.hu/cikkek/424-az-ontozoviz-minosege-vizkezeles>. [Megtekintés dátuma: 09. 08. 2024.].
- [25] Internetes forrás: Készítette: A Vidékfejlesztési Minisztérium Környezetügyekért Felelős Államtitkársága,Vízügyi Helyettes Államtitkársága, Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, A környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságok, szakembereinek bevonásával, „Vízügyi Honlap,” Országos Vízügyi Főigazgatóság, 15. 08. 2011.. [Online]. Elérhető: <https://www.vizugy.hu/print.php?webdokumentumid=78>. [Megtekintés dátuma: 24. 06. 2024.].
- [26] Csibrán Z., Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság Árvízvédelmi, Folyógazdálkodási Osztály vezetője, „Árvízvédekezési Terv, 10.10 Védelmi szakasz, Műszaki leírás,” Szolnok, (2017.), [Megtekintés dátuma: 2024.06.10.]
- [27] Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság Karcagi Szakaszmérnökség "Havi összes csapadék mennyiség", Karcag, (2023.), [Megtekintés dátuma: 2024.10.29]
- [28] Bene M., „A Karcagi Szakaszmérnökség bemutatása,” (2023.), [Megtekintés dátuma: 2024.06.03.]
- [29] Budavári K., Balogh B., Dr. Dobos A., Dóra T., "Mezőgazdasági Vízhasznosítás I. Öntözés", Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet és Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest (1978.), ISBN: 963-602-099-x
- [30] Dr. Bodnár I. főiskolai tanár, „Oktatási segédlet a Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem (Szennyvíztisztítás) c. tantárgy laboratóriumi gyakorlatához nappali tagozatos környezetmérnök szakos hallgatók számára” (2023.), [Letöltés dátuma: 2023.06.06.]
- [31] Dr. Bodnár I. főiskolai tanár, „Laboratóriumi oktatási segédlet a Környezetmérnöki méréstechnika, monitoring I. (MK3KMM1K04KX17) tantárgyhoz kapcsolódó

- laboratóriumi gyakorlat feladataihoz Nappali tagozatos környezetmérnök (BSc) szakos hallgatók számára", (2023.), [Letöltés dátuma: 2023.10.08]
- [32] Dr. Bodnár I. főiskolai tanár, „Oktatási segédlet a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring II. c. tantárgyhoz kapcsolódó laboratóriumi gyakorlat feladataihoz Nappali és levelező tagozatos környezetmérnök (BSc) szakos hallgatók számára”, ((2004-2023.), [Letöltés dátuma: 2023.09.30.]
- [33] MSZ EN ISO 10304-1:2009 *Vízminőség. Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása*, 2009.10.01., Budapest, Magyar Szabványügyi Hivatal, (2009.)
- [34] MSZ EN ISO 14911:2000 *Vízminőség. Az oldott Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} és Ba^{2+} meghatározása ionkromatográfiás módszerrel. Víz- és szennyvízvizsgálati módszer*, 2000.12.01., Budapest, Magyar Szabványügyi Hivatal, (2000.)
- [35] Izbékiné Szabolcsik A. „Ionkromatográfiás vizsgálatok jellemzése”, Debreceni Egyetem, Debrecen [Letöltés dátuma: 2023.10.25.]
- [36] MSZ 448-11:1986 *magyar szabvány az Ivóvízvizsgálat. Lúgosság meghatározása titrálással, a hidrogénkarbonátion-, a karbonátion- és a hidroxidion-tartalom kiszámítása*, MSZ 448-11:1986.
- [37] M. Silberbauer, „WHAT IS A MAUCHA DIAGRAM?,” p. 1., (04. 06. 2006.)
- [38] Internetes forrás: „Tudásnaptár - História,” Elérhető: <https://tudosnaptar.kfki.hu/historia/egyen.php?nanev=darcy>. [Hozzáférés dátuma: 2024.09.25.]
- [39] Náray-Szabó I., "Kémia", Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1969.), Tankönyvi szám: 30686.
- [40] Internetes forrás: DUNA-RÉGIÓ KULTURÁLIS TURISZTIKAI és HAGYOMÁNYŐRZŐ SZÖVETSÉG, „Vízcsöppek”, Elérhető: <https://dr-vtsz.hu/tamogatott-projektek/oktatastovabbkepzesek/fogalomgyujtemeny-viztudomany/>. [Hozzáférés dátuma: 2024.09.25.]