SZAKDOLGOZAT

PÁLINKÁS-MILE EDIT

Gödöllő
2023

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Gödöllő Campus
Mezőgazdasági mérnöki alapszak

A VELENCEI-TÓ VÍZMINŐSÉGÉNEK HOSSZÚ TÁVÚ VIZSGÁLATA

Belső konzulens:	Dr. Ferincz Árpád tanszékvezető, tudományos főmunkatárs
Készítette:	**Pálinkás-Mile Edit** Neptun kód: xnt8sq levelező tagozat
Intézet/Tanszék:	Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet Természetesvízi Halökológiai Tanszék

Gödöllő
2023

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS 3
1.1 Célkitűzések 4
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS 5
2.1 A szikes tavak jellemzése 5
2.1.1 Elterjedés a Földön, típusok 5
2.1.2 A hazai szikes vizek alapvető jellemzői 7
2.1.3 A szikes tavak vizének fizikai és kémiai jellemzői 8
2.1.4 A szikes tavak élővilága 9
2.2. A Velencei-tó jellemzése 10
2.2.1 A Velencei-tó története: a kialakulástól napjainkig 10
2.2.2 A vízgyűjtő jellemzése: földrajz és vízrajz 14
2.2.3 Éghajlati viszonyok 16
2.2.4. A tó hasznosítása, különös tekintettel a horgászati ágazatra 17
2.2.5. A Velencei-tó élővilága 18
2.3 A vízminőség vizsgálata 21
3. ANYAG ÉS MÓDSZER 22
3.1. Mintavétel és vizsgált paraméterek 22
3.2 Adatelemzés 25
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 26
4.1 Fizikai-kémiai paraméterek 26
4.1.1 A kémhatás (pH) időbeli változásai 26
4.1.2 A fajlagos elektromos vezetőképesség időbeli változásai 27
4.2 Növényi tápanyagok és algaprodukció 29
4.2.1 Összes nitrogén 29
4.2.2 Összes foszfor 30
4.2.3 Klorofill-A koncentráció 32
4.3 A vízminőségi paraméterek hosszú-távú adatsoraiban fellelhető mintázatok 34
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 37
6. ÖSSZEFOGLALÁS 39
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 41
8. IRODALOMJEGYZÉK 42
9. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE 45

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A Velencei-tó Magyarország harmadik legnagyobb tava. „Ex lege” védett szikes tó, amely hasznosítását tekintve – a Balatonhoz hasonlóan – multifunkcionális. A víztesthez kapcsolódóan a rekreációs tevékenységek széles spektrumát kínálja. Kiszolgálja a fürdőturizmus mellett a vízisportok szerelmeseit, illetve a horgászturizmust is. A tó egészen a közelmúltban (2020-2022) bekövetkezett jelentős mértékű halpusztulásokig kiemelkedő horgászvíznek számított, otthont adott számos horgászversenynek és jelentős létszámú horgászközönségnek.

Az elmúlt évtizedek jelentős mértékű hasznosítása és az ennek kiszolgálására végrehajtott beruházások (pl. partvédelem kiépítése, kotrás, tóparti települések terjeszkedése és növekvő beépítés) jelentős mértékben átalakította a tavat és a vízgyűjtőt is. Ennek nyomán napjainkra a Velencei-tó nem tekinthető teljes mértékben természetes (ökológiai) rendszernek. A környező települések védelmében a vízszintet (lehetőség szerint) szabályozzák (előtározók, leeresztő műtárgy és csatorna), a halállomány utánpótlása jelentős mértékben telepítések nyomán valósul meg. Hozzá kell tenni azonban, hogy a szabályozásért felelős infrastruktúra napjainkra jelentősen elhasználódott, nagymértékű karbantartása szükségessé vált.

A sekély tavakra általánosan jellemző a vízszint jelentős, sokszor szélsőséges ingadozása, mindez pedig a klímaváltozás lehetséges hatásaival együtt a 2020-es elejétől szélsőségesen alacsony vízállásokat eredményezett. 2022 szeptemberében megdőlt a korábban (1949-ben 63 cm) valaha mért legkisebb vízállás (röviden: LKV), a tó vízszintje 2022 szeptemberére 53 cm-re csökkent. Ezzel a tóban rendelkezésre álló vízkészlet hozzávetőlegesen a felére csökkent.

A tartós és szélsőségesen alacsony vízállás nagymértékben nehezítette a hasznosítók tevékenységét, jelentős kiesést okozva a térség gazdaságának. A 2020 nyarától 2022 januárjáig több alkalommal bekövetkező, jelentős halpusztulások nyomán a halfogási esélyek csökkentek, ennek következtében a horgászlétszám is drasztikusan visszaesett. A helyzet a 2023-as évben sem javult jelentős mértékben, így véleményem szerint egyre inkább veszélybe kerül a Velencei-tó hatályos üzemeltetési szabályzatában megfogalmazott alapelv, amely a következő:

„A Velencei-tó és teljes vízgyűjtő területe különleges védelmet igénylő nemzeti érték. A térség ökológiai állapotának védelme és a régió kiemelt idegenforgalmi szerepkörének fenntartása hazánk hosszú távú érdeke és feladata.”

1.1 Célkitűzések

A felmerülő havária helyzet feltehetően kapcsolatba hozható a klímaváltozás hatásaival (felmelegedés, a csapadékviszonyok szélsőségesebbé válása). Ezen hatások minél korrektebb értékelésére alkalmas lehet hosszú távú adatsorok vizsgálata. Ennek érdekében dolgozatom céljai a tó vízügyi kezelőjétől, a Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóságtól (röviden: KDTVIZIG) kapott adatsor alapján:

1. Megvizsgálni az egyes víz fizikai-kémiai paraméterek (pH, fajlagos elektromos vezetőképesség) hosszú távú trendjeit.
2. Megvizsgálni a növényi tápanyagok jelenléte, illetve az algaprodukció hosszú távú trendjeit.
3. Többváltozós mintázatelemző módszer alkalmazásával összefüggéseket keresni az egyes vízminőségi paraméterek hosszú távú alakulásában.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A szikes tavak jellemzése

Többségük sekély, gyakran időszakos vizes élőhely. A szikes vizek kémiai karakterét a nátrium-hidrogénkarbonát/karbonát dominanciája, az alacsony vagy közepes szalinitás (oldott sótartalom), ugyanakkor erősen lúgos kémhatás jellemzi, ami egyértelműen megkülönbözteti őket a sós vizektől (Boros 2002).

Napjainkra a szikes tavak száma megfogyatkozott, ezért a megmaradt, sokszor igen lúgos (pH 9-12 közötti!) tavak víztani és természetvédelmi értéke felbecsülhetetlen (Boros et al. 2017).

A szikes tavak fogalmát a természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény (a továbbiakban: Tvt.) 28. § (3) bekezdésének vonatkozó rendelkezése határozza meg. Eszerint a szikes tó olyan természetes vagy természetközeli vizes élőhely, amelyek medrét tartósan vagy időszakosan legalább 600 mg/liter nátrium kation dominanciájú, oldott ásványi anyagtartalmú felszíni víz borítja, illetve a területén sziki életközösségek találhatók. A szikes tavak „ex lege", azaz a törvény erejénél fogva védettnek minősülnek hazánkban.

2.1.1 Elterjedés a Földön, típusok

Sós vizes élőhelyek minden kontinensen megtalálhatóak, melyekhez tartoznak a tipikusan NaCl dominanciájú, tengeri összeköttetéssel rendelkező, ún. thalasszohalin típusú brakkvizek és a kontinensek belsejére jellemző, ún. athalasszohalin típusú állóvizek. Utóbbit jellegzetességét a különféle ionok dominanciája határozza meg. A kontinentális sós tavak és az édesvizek vízkészlete közel azonos térfogatú (Hammer 1986).

Bár a szikes tavak minden kontinensen megtalálhatók (Williams 2005), az elterjedésük világszerte csak szűkebb földrajzi régiókra korlátozódik. A kontinentális típusú, lúgos kémhatású (pH 9 felett), főként CO_3^{2-} és HCO_3^- dominanciával jellemezhető szikes vizek Afrikában (Seaman et al. 1991), Amerikában, Ausztráliában, és Ázsiában (Williams 1991) egyaránt megtalálhatók (Hammer 1986, Löffler 1971). Nagyobb számban kontinentális és

szemiarid területeken, Belső-, Közép- és Kis-Ázsia, Délnyugat-Szibéria, Dauria, Mandzsúria területén találhatók meg, leginkább az ún. sztyeppi körülmények között (Boros & Kolpakova 2018).

Eurázsiában a Kárpát-medence – Ausztria, Magyarország és Szerbia területén – a szikes tavak elterjedési területének nyugati határa (Felföldi et al. 2009, Boros et al. 2014). A Kárpát-medence különösen gazdag alkalikus vizekben, bár ezek összes oldott anyag koncentrációja nem éri el a kelet-afrikai, észak-amerikai területekről ismert magas értéket (Löffler 1957, 1959, Megyeri 1959, Nogrady 1983).

A szikes vizek **két fő típusát** különböztetik meg (Dvihally 1970):

- sziksós vizek
- szikes vizek

A **sziksós vizek** közé tartozó, úgynevezett fehér szikes vizek, ahol az aljzaton szürkésfehér színű karbonát-mészizap halmozódik fel (Boros 2002). A meder kiszáradása esetén a meder felületén „kivirágzik" a sziksó, azaz a szóda. (Régen háztartási mosószer alapanyagként használták a kiszáradt tófenékről összegyűjtött szódát.) Megfelelő körülmények között, ha a talajvíz kalciumtartalma magas, az aljzaton tavi mészkő is képződhet. Bár tavi mészkő a Duna–Tisza közi homokbuckák mélyebb szélbarázdáiban sokfelé fellelhető (Vörös et al. 2005), ez a képződmény világszerte ritkaságnak számít. A fehér vizekben rendszerint csak gyér vízi növényzet telepszik meg.

A **szikes vizek** vagy ún. fekete szikesek, amelyek a fehér vizű tavak feltöltődésével, „feliszapolódásával" jönnek létre, ha a biológiai produkció következtében szerves üledék jelenik meg az aljzaton. Ez az állapot tulajdonképpen átmenet az édesvízi mocsarak kialakulása felé. A „fekete tavak" jellemzően fenékig átlátszó vizének sárgásbarna színét a lebegő, a lúgos kémhatás miatt oldatfázisan található szerves anyagok okozzák. A fekete szikes általában már nem nyílt vízfelületek, ugyanis ezekben rendszerint gazdag vízi- és mocsári növényzet jelenik meg. A növényzet fokozatos előretörése során a fehér és fekete vizek egyazon tómederben egyidejűleg is előfordulhatnak (Boros 2002).

2.1.2 A hazai szikes vizek alapvető jellemzői

A Kárpát-medence mint ökorégió, a természetföldrajzi sajátosságaiból adódóan Európa egyik legmagasabb biodiverzitású térsége. Ezen belül kiemelt jelentőségűek a vizes élőhelyek és ezen belül a szikes tavak.

Szikes tavainkra jellemző, hogy területük nagymértékben változik. Nyáron lecsökkennek, esetleg még ki is száradnak, ezért időszakos típusba sorolható országosan 100 darab, míg az országos állandó típusba tartozó vízterületek száma 113.

Az időszakosan kiszáradó, igen sekély, egy hektárnál nagyobb nyílt vízfelületű szikes tavaink száma 39, átlagos kiterjedésük pedig 70 hektár volt (http 1, http 2).

A Kárpát-medence legnagyobb kiterjedésű **sekélytó típusú** szikes állóvize a Fertő-tó 315 km^2 kiterjedésű területével, amely fekvéséből adódóan a „legnyugatibb sztyepptó" elnevezést is magáénak tudhatja. A Velencei-tó a második helyezett a hozzávetőlegesen 25 km^2 nagyságú területével.

A legjellegzetesebb magyar szikes vizek – melyek kifejezetten időszakos és igen változatos vizes élőhelyek, azaz kistavak, fertők, mocsarak és kisvizek – elterjedésének földrajzi központja az Alföld területén található (Boros 2002).

A hazai szikes vizek között leggyakoribb a szódás ($NaHCO_3$) alaptípus, és az anionokat tekintve szódás-kloridos és szódás-szulfátos altípusok is előfordulnak. A szalinitás, azaz a sók (ásványi anyagok) viszonylagos mennyisége a vízben széles határok között mozog, míg kémhatásukat tekintve az állandóan lúgos környezet a jellemző rájuk (Hammer 1986). A lúgosság mellett a szervetlen lebegőanyag okozta nagyfokú zavarosságuk, a magas oldott szervesszén-tartalmuk, továbbá a hipertróf tápanyaggal való ellátottságuk együtt egy többszörösen extrém, különleges anyagforgalmi, trofikus rendszert és ökoszisztémát alkot. A fenéklakó és planktonikus fajok, a jellegzetes növény- és állatvilág jól mutatja a szódatartalom, a zavarosság és a trofitás erős strukturáló szerepét. Az időszakos tavakban értelemszerűen állandó halállomány nem tud kialakulni. Jelentős a karakter- és bennszülött (endemikus) fajok száma, továbbá különösen magas fokú lehet a mikrobiális biodiverzitás. Az élőbevonat sajátos planktonikus algaösszetétellel jellemezhető (Fehér & Schmidt 2003). Az állandóan zavaros, fehér vizű szikes vizekben az ún. pikoalgák mennyisége a legjelentősebb (Vörös et al. 2005). A pikoalga 2 µm-nél kisebb méretű fitoplankton. Szikes vizeinkben egyedi, más vizekből még le nem írt pikoalgákkal is találkozhatunk (Felföldi, 2010).

A vízimadaraknak is fontos szerepük van a szikes tavak táplálékláncában és produktivitásában, többek között azzal, hogy az alapvetően fontos növényi tápanyagokat, a nitrogént és a foszfort szolgáltatják a planktonállomány számára (Horváth et al. 2013).

A klímaváltozás hatására a vizek hőmérsékletének emelkedése, a párolgás növekedése és a hirtelen keletkező, gyors árvizek által a vízgyűjtőről nagyobb mennyiségben lemosott, vagy a felszín alatti vizekbe leszivárgó szennyeződés ronthatja a vízminőséget. A romló ökológiai állapot a Duna-Tisza közén már napjainkban is tapasztalható, mindez várhatóan tovább fog erősödni (Stenger-Kovács 2012).

A szikes tavak természetes felszíni vízutánpótlódása a csapadék kedvezőtlen eloszlása és mennyisége miatt sok esetben évekig nem biztosított, amit gyakran a talajvíz szintjének (többnyire nagyobb területeken jelentkező) süllyedése is kísér. Vízpótlásuk különös figyelmet igényel, ugyanis csak a saját vízgyűjtőn, természetes úton keletkező felszíni vizekből (illetve a magasabb talajvízből) táplálkoznak. Más vízgyűjtőről történő átvezetés – az eltérő fizikai-kémiai karakter nyomán – ökológiai károkat okozhat, ezért nem mindig vezethet eredményre. (http 1)

2.1.3 A szikes tavak vizének fizikai és kémiai jellemzői

A szikes vizek szalinitása széles határok között (1−50 g/l) mozog (a tengervíz átlagos szalinitása 35 g/l), a kémhatásukat pedig az állandóan lúgos, 9 feletti pH érték jellemzi. Nemzetközi kategorizálásuk az összes oldott sótartalom szerint 500 mg/l alatt édesvíz, 500–3 000 mg/l között subszalin, 3 000–20 000 mg/l között hiposzalin, 20 000–50 000 mg/l között mezoszalin és 50 000 mg/l felett hiperszalin. A hazai szikes vizeink nagy része az összes oldott sótartalom alapján a szubszalin, hiposzalin, vagy mezoszalin kategóriába sorolhatóak (Hammer 1986).

A Kárpát-medence szikes tavaira – a világ egyéb sós vizeihez képest – az alacsonyabb sótartalom, ugyanakkor az erős lúgosság jellemző. Ez indokolja, hogy a szárazföldi sós vizeken belül el kell különíteni a szikes vizek fogalmát. A tipikus alföldi szikes tavak a talajvíz eredetű, magas oldott sótartalom miatt jelentősen különböznek a hazai „édes” állóvizektől. (Boros & Kolpakova, 2018)

A szikes vizek elsősorban nátrium- és hidrokarbonát-ionokban gazdagok, de a kémiai komponensek a környezeti tényezők következtében nagyfokú egyedi és szezonális változatosságot mutatnak (Waiser & Robarts 2009).

A sókoncentráció átlagosan 0,5 és 7,5 gramm/liter értékek között ingadozik, de egyes tavakban a nyári erős párolgási veszteség következtében akár 70 gramm/liter töménységű is lehet. A szikes vizek szervetlen ion összetételét a nátrium-, kalcium-, magnézium-, hidrokarbonát- és karbonátionok túlsúlya jellemzi, esetenként a klór, illetve a szulfát is jelentős lehet, azonban az ionok egyenérték-százalékban kifejezett mennyisége közel állandó (Dvihally 1965, 1999, Woynárovich 1941).

A sziksós vizek csoportja vizének szervetlen kémiai jellegére a nátrium-, a karbonát- és a hidrokarbonát-ionok kiugró mennyisége jellemző. Ezekben a vizekben különösen erős lúgosság tapasztalható, ami a nátrium-karbonát kémiai tulajdonságainak következménye.

2.1.4 A szikes tavak élővilága

A szikes tavak – mint vizes élőhelyek – anyagforgalma jelentősen eltér a valódi édesvízi tavak ökológiai sajátosságaitól. A Kárpát-medence környezeti adottságai mellett vizes élőhelynek tekintünk egy vízteret, ha az átlagos vízmélysége a 2 métert nem haladja meg (Megyeri 1959). A legfeljebb kétméteres vízmélység a víz fölé emelkedő mocsári növényzet megjelenését többnyire kizárja, és a vízi életközösség szerkezetében sem különíthető el egyértelműen a tavakra jellemző parti és mélységi tájék.

A fehér vizű szikes tavak rendszerint igen sekélyek (20–50 cm), de a magas sótartalom így is megakadályozza a növényzet térhódítását. A lebegő ásványi anyagoktól zavaros, szürkésfehér szikes vízbe a fény csekély mértékben képes lehatolni, ami jelentősen korlátozza a fotoszintetizáló szervezetek megtelepedését (V. Balogh et al. 2010).

A magas sótartalmú, látszólag gyér növényzetű szikeseken a gerinctelen állatvilág egyes elemei mégis tömegesen jelennek meg a vízben és a vízparton. A vonulási időszakban a vízimadarak ezrei táplálkoznak a sekély vízben, egyúttal biztosítva ezzel a vizek szervesanyag utánpótlását.

Ugyanis a zavaros víz minden egyes cseppjében többmilliós egyedszámban találhatók mikroszkopikus élőlények, például cianobaktériumok, melyek a víz legfelső rétegében képesek fotoszintézissel szerves anyagot termelni. Mindez biztosítja az egysejtű állatok életfeltételeit.

A fitoplankton szervezetek mellett ezen egysejtűek képezik a vízben lebegő, már szabad szemmel is látható planktonikus méretű rákocskák (pl. vízibolhák) tömegeinek táplálékát. A zooplanktont a halak mellett a ragadozó életmódú vízi rovarok zsákmányolják, sőt egyes madárfajok is fogyasztják a víz átszűrésével. A táplálékláncban keletkező, fenékre süllyedő szerves törmelék hasznosításában szintén jelentős a vízi rovarok szerepe. A tápláléklánc végén fogyasztóként főként a madarak állnak. Az édesvizekben gyakori halak és kétéltűek – amelyek a madarak konkurensei lehetnének – elterjedése. A szikes vizek jelentős részében a magas sótartalom, valamint az időszakos kiszáradás miatt ez korlátozott (Boros 2002). A szikesek szélsőséges ökológiai viszonyai okozzák, hogy jellegzetes élővilág a szikes-sós vizekre specializálódott fajaik a sótartalommal és a kémhatással szemben tág tűrésűeknek tekinthetők (Stenger-Kovács 2012).

A fekete szikes vizekben a fény már mélyebbre hatol, ezért ezekben a vizekben a tápláléklánc már az édesvízi élőhelyekhez hasonlóan alakulhat. A bőséges szervesanyag termelésre épülő gazdag fauna azonban még itt is jellegzetes sziki fajokból áll (Boros 2002).

2.2. A Velencei-tó jellemzése

2.2.1 A Velencei-tó története: a kialakulástól napjainkig

A Velencei-tó eredetileg két, egymásra merőleges árkos vetődésben alakult ki. Az egyik ÉK-DNY irányú (ez a mai Velencei-tó medencéje), a másik ÉNY-DK irányú (ez a mai Dinnyési Fertő, korábban Nádas-tó vagy Szerecseny-tó). A tó korát 10-12 ezer (egyes számítások szerint 20 ezer) évesre becsülik. A Velencei-tóval egységet képező területen keresztül folyt le a medencébe érkező víz. A terepviszonyoknak köszönhetően itt rakódott le a Császár-víz által szállított hordalék is. Ennek következtében a Nádas-tó medre elmocsarasodott és akadályozta a Velencei-tó árvizeinek szabad lefolyását. Sík fekvése és viszonylag kis vízgyűjtő területe (602,3 km^2) miatt a történelem során a vízállás erősen ingadozott: hol kiöntött, hol ki is száradt (legutóbb 1866-ban).

A területét tekintve (maximális, 170 cm-es vízállásnál 2490 hektár), a Balaton után Magyarország második legnagyobb – teljes területét tekintve határainkon belül fekvő – természetes tava. Hossza 10 km, legnagyobb szélessége 3,5 km (átlagosan 2,6 km), a partvonal hossza pedig 28,5 km. A tó vízmérce szerinti „0” pontja 102,60 mBf-en található. Az átlagos

vízmélysége 1,6 méter. A Geomontán Kft. a KDTVIZIG megbízásából 1996-ban elkészítette a tó geodéziai felmérését, amely megadja a különböző vízállásokhoz tartozó merisztikus adatokat (*1. táblázat*). Az eredmények a KDTVIZIG által elkészített (1997) „A Velencei-tó 1996. évi vízmérlege" című anyagban jelentek meg. Ennek alapján a tó legnagyobb vízálláskori térfogata 48 millió m^3.

1. táblázat: A Velencei-tó merisztikus adatai 140-170 cm közötti vízállás esetén (forrás: KDTVIZIG)

Vízállás (cm)	Tó területe (km^2)	Nyílt víz (km^2)	Nádasok (km^2)	Térfogat (millió m^3)	Átlagos vízmélység (m)
140	24,03	14,01	10,02	40,851	1,7
150	24,11	14,05	10,06	43,398	1,8
160	24,17	14,05	10,12	45,681	1,89
170	24,23	14,05	10,18	48,218	1,99

A Velencei-tó nevének eredete még a mai napig sem tisztázott. III. Béla király 1193-ban lejegyzett ajándékozó okiratában Fertőnek hívják a tó melletti falut. Mátyás király olasz származású tudós költője Bonfini az alábbiakat írja: „Inter Albam et Budam Venetis est oppidum ab his conditum." A venetus származású itáliai népcsoport telepedett le a tó partján és megalapította Venezia-t, azaz a mai Velencét. Regélnek arról, hogy a halászok szélzászlóját nevezték velencének, de ennek a hazai halászattörténetben nincs nyoma. A tó néhai részbirtokosa, Meszleny Mór a település nevének, és az erről elnevezett tónak az eredetét azzal magyarázta, hogy a tó vize egykor kevésbé volt náddal ellepve és az érkező erősebb szelek a nyíltvizeken igen nagy hullámokat vert fel. A német nyelvben a víz hullámait „Wellen"-nek nevezik, a tavat pedig „See"-nek, amely összeolvasásából adódik össze a tó neve. Az bizonyos, hogy a Velence elnevezés már 1485-ben ismeretes volt (Pesty 1864), majd a Velence név hivatalosan az 1702. évi birtokösszeírásnál bukkant fel először, mint Velencepuszta, és csak később nevezték el a tavat hivatalosan is Velencei-tónak (Solymos 1996).

Az első katonai térkép elkészítését követően Chiapó (Csapó) Benjamin vármegyei mérnök egyedülálló tervet dolgozott ki 1792-ben a tó lecsapolására. Szerencsére a terv nem valósulhatott meg, köszönhetően a tó többségi birtokosának, a székesfehérvári Káptalannak, mivel jelentős halászatból és nádvágásból származó bevételkiesést okozott volna számukra. Az 1833-1834-es években újra felmerült a lecsapolás ügye, de a továbbgondolt tervekben ekkor már a teljes kiszárítás helyett csak a felesleges vízmennyiséget vezették el a tóból.

Ezt követően, pár évtizeddel később, 1866-ban a tó gyakorlatilag teljesen ki is száradt a feljegyzések szerint.

Az 1883-as nagy árvíz idején – a történelmi időkben nem volt egyedülálló jelenség egy-egy nagyobb árvíz esetén, hogy a Duna ártere olyan kiterjedt volt, hogy abba a tó is beletartozott – a Duna különböző csatornákon keresztül beöntött a tóba és a déli partot is elöntötte (Purgel & Szabó 2019).

1888-ban megalakult Dinnyés-Kajtori Tólecsapoló Társulat, amely először a Nádas-tavat próbálta lecsapolni (Sédi 1944).

Nem sokkal később megépítették a Dinnyés-Kajtori-csatornát is, amely eredetileg egy bukógáttal volt összekötve a tóval, a felesleges vizet pedig a Sárvízen keresztül lehetett a Sióba engedni. A csatorna fenntartása azonban nagyon sokba került, így 1928-29-ben a Társulat államkölcsönt is kénytelen volt felvenni annak karbantartására. A bukógáttal (amely később átépítésre került, amikor a ma ismert felhúzható zsilip került kialakításra) 104 cm-en próbálták tartani a tó vízszintjét a halászati tevékenység végzése miatt. Az alacsonyan tartott vízszint rövidesen hatással volt a tó élővilágára: a víz oxigénkoncentrációja állandósultan alacsonyan szinten maradt, halpusztulások következtek be, milliónyi lett a szúnyog, és állítólag károkat szenvedett az Európa-szerte az egyik legjobb minőségűként számon tartott nádállomány is.

A tó üdülőhelyként való felfedezése az 1930-as évek második felére tehető, amikor megalakult az Agárdi Fürdőegylet és ekkortól már megkezdődtek az 1990-es évekig tartó part- és mederszabályozási munkák és telekparcellázások (utóbbi az 1920-as években kezdődött, az 1930-as években vált népszerűbbé, majd az 1960-as évektől robbant be igazán a köztudatba kedvelt üdülőhelyként) (Purgel & Szabó 2019).

A vadregényes nádasokkal borított erősen eutrofizálódott tavat az 1970-es években indított, két évtizedig tartó tórekonstrukcióval alakították rekreációs tóvá, melynek során jelentős mennyiségű iszap került eltávolításra és a nádasállományok egy részének eltávolításával nagyobb arányú nyíltvízi felületeket is kialakítottak. Napjainkban a tó közel 25 km^2-es területéből 10 km^2-t borítanak nádasok, míg a rekultiváció előtt 14,6 km^2 volt a nádborítottság teljes volumene (Karászi 1984).

A rekultivációs programban a tó partvédelme is kiépítésre került, jelentős részben mesterséges, függőleges beton- és kövezéses rézsűs partvédelem kombinálásával, így a természetes partszakaszok jelentős része eltűnt.

A vízkészlet kiegyensúlyozottabbá tétele érdekében az 1970-es évek elején a fő tápláló vízfolyására, a Császár-vízen megépítették a Zámolyi- és a Pátkai-tározót, melyek teljes feltöltöttsége esetén a Velencei-tó vízkészletének mintegy 30 %-át képesek tárolni és szükség esetén pufferkapacitást jelentenek a tó számára. A vízszint először az 1990-es évek elején csökkent kritikus szintre a csapadékhiányos időszakok miatt, ezért ekkor teljesen le kellett engedni a Zámolyi-tározó és a Pátkai-tározó vízkészletét is.

Kiépítésre került egy több km-es csővezeték Kincsesbányától a Császár-vízig, mellyel lehetőség nyílt a tó karsztvízbázisból származó vízpótlására. Ezzel a 1993-1994. években körülbelül 10 millió m^3 felszín alatti víz került a tóba. A kiépített csővezeték a későbbiekben nem üzemeltették, egyrészt a többletköltségek finanszírozási problémája miatt, másrészről pedig azért, mert a víznyerő kutak vízszintje erősen lecsökkent a bauxitbányászat megszűnésével.

A tó turisztikai aranykora az 1980-as években volt, ezt követően a gazdasági válság, az idegenforgalom csökkenése, a rekreációs szokások átalakulása és a szabadidő hiányának fokozódása, valamint az aszály miatti vízhiány és halpusztulások kapcsolata erős lejtmenetre küldte a térség látogatottságát. Az elmúlt évtizedben kezdett jobban visszatérni a turisztikai érdeklődés a térségbe, és a horgászlátogatottság több évtizede tartó csökkenése is stabilizálódni látszódott a 2020. évig (összehasonlításképpen: az 1980-as években 3,5-szer annyi horgász volt, mint a 2010-es évek átlagában).

A hazánkba 2020-ban megérkező COVID-19 járványhoz köthető korlátozások ismét visszavetették a vendégéjszakák alakulását, majd a 2020-2022-ben bekövetkező halpusztulások, és az ezt követő – gyakran túlzó – rémhírkeltés következtében 2021-ben 50 %, 2022-ben pedig 70 %-os volt a térség turisztikai látogatottságának visszaesése.

2023-ban némileg javult a helyzet, az átlagosnál valamivel csapadékosabb téli időszaknak és ezzel együtt a pátkai zsilip tartósabb ideig tartó megnyitásának köszönhetően. A 2022-es vízkészlet tótérfogat a duplájára nőtt, így a felfrissült víz idén kedvezőbb életfeltételeket nyújtott a halállomány számára is. Ennek köszönhetően ebben az évben nem történt halpusztulás, és a 2022. évi mélyponthoz képest 2023-ban javult némileg a térség turisztikai helyzete is. A horgászlátogatottság tekintetében ez mintegy 20 %-os növekedést jelent (MOHOSZ Velencei-tavi Kirendeltség vezetője által 2023, szóbeli közlés).

2.2.2 A vízgyűjtő jellemzése: földrajz és vízrajz

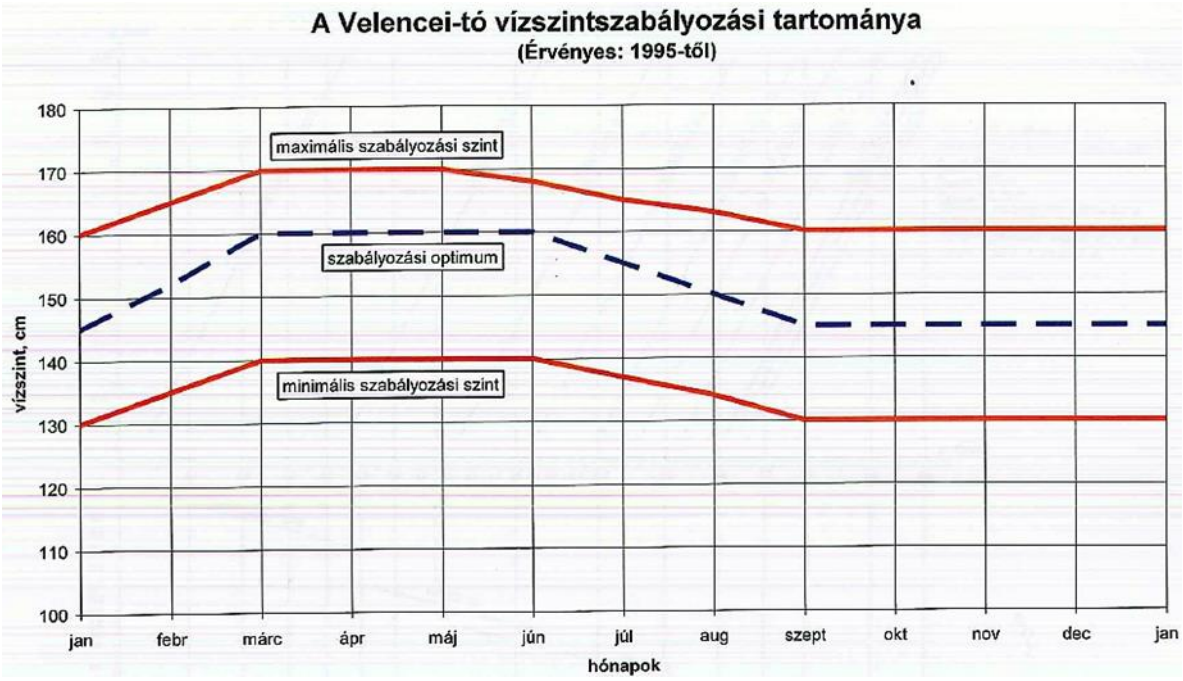
A Víz Keretirányelv (a továbbiakban: VKI) XI. melléklete szerint meghatározott ökorégiók közül Magyarország a „Magyar Alföld” ökorégióban helyezkedik el. Másrészről hazánk teljes területe a Duna-medencébe esik, így a Duna vízgyűjtőre (a VKI-ben bevezetett fogalomnak megfelelően a Duna vízgyűjtő-kerületre) az ország területére esően kell vízgyűjtő-gazdálkodási tervet készítenie. A Velencei-tó a 1-14 tervezési alegység az országos felosztásban, mely a Duna részvízgyűjtőjéhez tartozik (http 1, http 2).

A Velencei-tó vízgyűjtője különböző felépítésű és morfológiájú hegységi, dombsági és síksági kistájakból áll. A víztest a Velencei-hegység déli lábánál található. A vízgyűjtő területet É-on a Vértes-hegység ÉK-DNY irányú gerince; K-en a Váli víz vízgyűjtőterülete; NY-on a Mór-Bodajki vízfolyás (Sárvíz-Nádor vízrendszer) vízgyűjtőterülete; D-en, pedig a Velencei-tó kialakulásakor a medence irányába visszabillent hordalékkúpos vízválasztó határolja. A vízgyűjtőterület legmagasabb vonulata a Vértes-hegység gerince és platója - ennek legnagyobb magassága 455 m, átlagos magassága 350 m. A Velencei-hegység legnagyobb magassága 351 m; átlagos magassága 240 m. A dombságok átlagos tengerszint feletti magassága 180-200 m (legnagyobb magassága 247 m), a síkságoké, pedig 120-130 m (http 2).

A vízgyűjtő 602,3 km^2 nagyságú területéből (a tó felületét is beleértve) természetföldrajzi szempontból 446 km^2 a Mezőföld északi részéhez, 58 km^2 a Velencei-hegységhez, és 98 km^2 a Vértes-hegység déli lejtőjéhez tartozik. A terület vízrajzi szempontból három fő részre tagozódik: fő táplálója a vízpótló tározókkal szabályozott Császár-víz 383 km^2 nagyságú vízgyűjtő területe, a 105 km^2 nagyságú Vereb-Pázmándi-vízfolyás (Bágyom-patak) vízgyűjtője, valamint a fennmaradó közvetlen vízgyűjtő terület kiterjedése 114,3 km^2 nagyságú (Karászi 1984, VKI 2009). Szükség esetén a tó vízfeleslegét a Dinnyés-Kajtori-csatorna vezeti le a Nádor-csatornába (a zsilipet a meghatározott 170 cm-es maximális vízállás elérését követően nyitja meg a vízügyi kezelő). A lefolyó víz onnan a Sió-csatornán keresztül jut végül a Dunába.

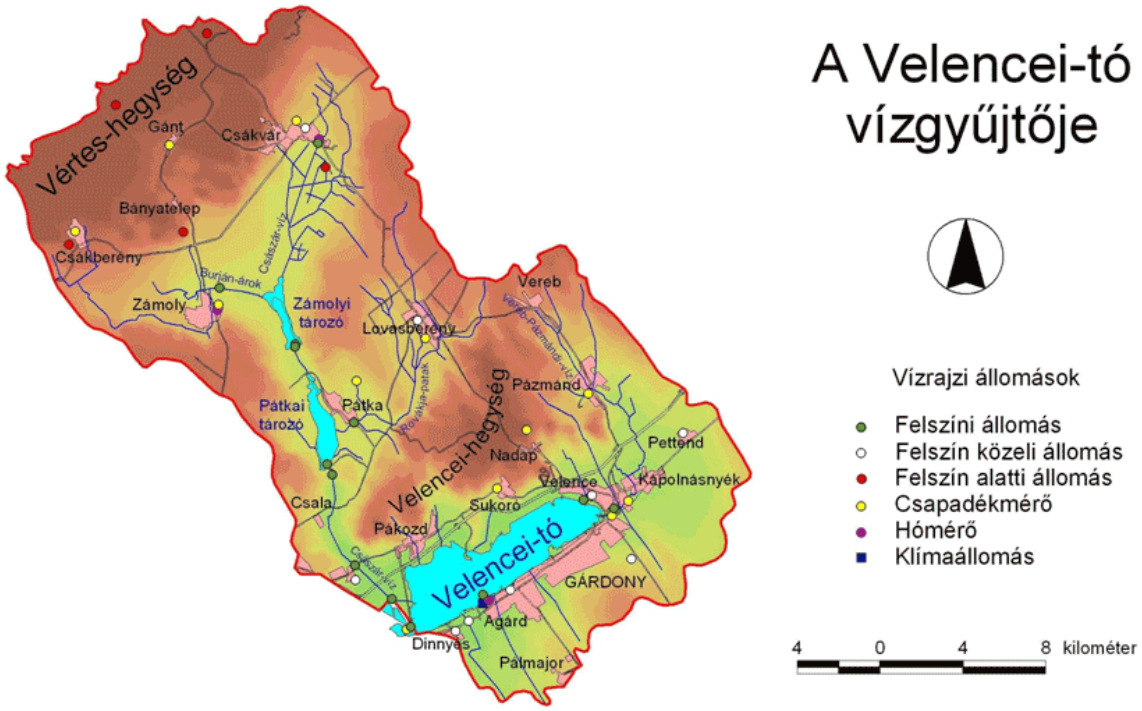
A tó vízszintjét az alkalmazott vízszinttartási elvek jelentősen befolyásolták. Az üzemi vízszintek alsó (minimális) és felső (maximális) éves szabályozási szintje – éven belül, havi bontásban, illetve évszakosan is meghatározásra kerül – időről-időre változott, így 1962-től 120–160 cm, 1971-től 130–170 cm, 1976-tól 140–160 cm között, majd a jelenleg is érvényben lévő szabályozási szint 1995 óta 130–170 cm között került meghatározásra a KDTVIZIG által

a tó vízügyi üzemelési szabályzatában. A hatályos üzemeltetési szabályzat szerint az őszi téli hónapokban a maximális 160 cm, a minimális szabályozási szint 130 cm, míg a tavaszi-nyáreleji hónapokban a 170 és 140 centiméterben van meghatározva (*1. ábra*).



1. ábra: A Velencei-tó vízszintszabályozási tartományai (forrás: KDTVIZIG)

Vízszintszabályozási céllal történő vízeresztés utoljára 2016-ban történt a Dinnyés-Kajtori-csatorna zsilipének megnyitásával. A tározókból történő vízpótlás keretében 2021 őszén teljesen leeresztésre került a Zámolyi-tározó meglévő vízkészlete (a Pátkai-tározón keresztül), ezt követően a Pátkai-tározóból 2023 első negyedévében történt részleges vízeresztés legutóbb (KDTVIZIG, továbbá MOHOSZ 2023, szóbeli közlések) (*2. ábra*)



2. ábra: Áttekintő helyszínrajz a Velencei-tó vízgyűjtőjének hidrológiai észlelőhálózatáról (forrás: KDTVIZIG, A Velencei-tó és tározóinak együttes üzemeltetési szabályzata)

2.2.3 Éghajlati viszonyok

A Velencei-tó vidéke az ország napfényben gazdag tájai közé tartozik. A tó közvetlen környékén kialakult mikroklimatikus viszonyoknak köszönhetően a napsütéses órák száma kiemelkedő, átlagosan 2000 óra/év felett van. A vízgyűjtő átlagos (1960-2003 közötti adatok alapján) évi léghőmérséklete 10,5 °C. A leghidegebb hónap a január, sokéves középhőmérséklete -1,1 °C, míg a legmelegebb a július, sok éves átlag-hőmérséklete 21,1 °C. A Vértes-hegység vidéke hűvösebb, a tó környéke pedig melegebb a vízgyűjtő átlagértékeinél.

A Velencei-tavon, Agárdon észlelt vízfelszín közeli vízhőmérséklet sokéves átlagértéke 11,3 °C. Az észlelt legalacsonyabb vízhőmérséklet 0,0 °C, míg a legmagasabb 28,7 °C volt.

A jég a tavon általában december közepén – bár egyre inkább később – jelenik meg parti jég formájában. Sok évtizedes átlagban január hónapban az összefüggő álló jég 25 cm-nél vastagabb is lehet, amely február közepére, legkésőbb március elejére elolvad. A jégborítás sokéves átlaga 55 nap, azonban az elmúlt évtized éveiben jelentősen csökkent a jégvastagság és jégborítottság időtartama is.

Az évi csapadék mennyisége 357-828 mm között, a csapadékos napok száma évi 110-150 nap között van. A legtöbb csapadék kora nyáron esik (június). A csapadék hó formájában történő megjelenésére általában november végétől március közepéig lehet számítani. A hóolvadásból általában nem keletkezik kiemelkedően nagy lefolyás.

A Velencei-tó vízgyűjtőjének térségében a vízfelszín párolgásának sokévi átlaga 550 mm, a terület evapotranszspirációjának sokévi átlaga 900 mm körül van.

A vízgyűjtő területen az uralkodó szélirány az északnyugati. A legnagyobb szélsebességek kora tavasszal (március-április) fordulnak elő (megj.: az elmúlt években a szélmaximumok inkább január hónapban érkeztek) (http 1, http 2).

2.2.4. A tó hasznosítása, különös tekintettel a horgászati ágazatra

A Velencei-tó jelenkori hasznosítási módjának szerves részét a turisztikai ágazatok képviselik. A hasznosítás módja széleskörű és komplex. Komoly szerepet kap a tó és partjának életében az üdülő- és strandturizmus, emellett az aktív vízisport-, a horgász-, a természeti zöldturizmus, valamint az elmúlt évtizedben vált igen jelentőssé a kerékpáros turizmus, és a gyógyvizeknek köszönhetően a gyógyturisztikai potenciál is komoly a térségben.

A horgászturisztikai hasznosítás a vízterület halgazdálkodási jogának hasznosításához kapcsolódik. A tó halászati joga 1912-ig az egyes víztulajdonosok kezében volt. A múlt század végén a tó birtokosai belátták, hogy egyéni gazdálkodással nem sok hasznot kapnak a tóból, s a halászati törvény is arra ösztökélte őket, hogy 1890-ben megalakították a Velencei-tavi Halászati Társulatot. Az egységes kezelést a bérletek különböző lejárta miatt csak 1912. január 1-től valósult meg. Ezt követően 20 évre bérbe adták, majd 1931-ben ismét.

A halászatra vonatkozó jogszabályok módosítása és kiegészítése tárgyában megalkotott 6700/1945. ME rendelet a természetes vizek halászati jogát állami tulajdonba vette, csak a nád maradt a birtokosoknak. Tehát 1945 óta minden halas víz halászati, illetve halgazdálkodási joga – a jelenleg hatályos ágazati törvényi megfogalmazás szerint halgazdálkodási vízterületek – az államot illeti meg, így a Velencei-tó esetében is.

1945. december 2-án megalakult a Velencei-tavi Halászati Szövetkezet. A halászati szövetkezeti hasznosítást követően, 1974-től kezdődően a horgászok – a Magyar Országos Horgász Szövetség (röviden: MOHOSZ) – hasznosítják (Purgel & Szabó 2019).

A fél évszázaddal ezelőtt megvalósított partfalépítési projekt – a tó árterületeinek kiparcellázása miatt is szükséges „kultiváció” – turisztikai és térségfejlesztési gazdasági szempontból pozitív, de ökológiai negatív hatást indukált, csökkent az öntisztulóképesség, valamint a halak sikeres ívására alkalmas terület.

További turisztikai fejlesztések kivitelezése is megtörtént, ezek közül nagy jelentőségű volt a csónakkikötők építése, amely elsősorban horgászturisztikai célból történt, emellett komoly jelentősége lett a vízisportok tekintetében is.

2.2.5. A Velencei-tó élővilága

A tó vízgyűjtője növényföldrajzi szempontból az Alföld flóravidékéhez tartozik. A kőzethatás miatt sok helyen nem alakulhatott ki zárt gyepszőnyeg. Ezeken a nyílt sziklagyepeken él meg a parányi sziki varjúháj (*Sedum caespitosum*) és a ritka rózsás kövirózsa (*Sempervivum marmoreum*). Veszélyeztetett faj az apró nőszirom (*Iris pumila*). Az éghajlatváltozás miatt a lágyszárú vegetációban egyre gyakoribb a magyar pórsáfrány (*Carthamus tinctorius*). Egyre kisebb területen él már csak az orchideafélékhez tartozó, apró virágokat hordozó őszi füzértekercs (*Spiranthes spiralis*).

A tó leggyakoribb növényfajai a nád (*Phragmites australis*), valamint a széleslevelű vagy bodnározó (*Typha latifolia*) és a keskenylevelű gyékény (*Typha angustifolia*). A vízi tisztásokon gyakran fellelhető a kellemetlen érintésű csillárkamoszat (*Chara sp.*) és az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*), amelynek virágai, termései a vízben kezdenek el fejlődni. A kvázi „húsevő” közönséges rence (*Utricularia vulgaris*), amely a víz alatti hajtásain levő apró hólyagjaihoz kerülő mikroszkopikus méretű állatokat, apró rákokat megemészti. A nyílt vizeken gyakoriak a békaszőlő fajok (Potamogeton sp.), a vizes partszakaszon pedig a magas virágfüzérű füzényfajok (*Lythrum sp.*) fordulnak elő. Az úszólápokon előfordul több védett tőzegmoha faj (*Sphagnum sp.*), és megtalálható a lápi csalán (*Urtica kioviensis*) és a mocsári- vagy tőzegpáfrány (*Thelypteris palustris*) is. Nyáron a mocsári tisztesfű (*Stachis palustris*) bíborló virágai szépíti a környezetét (http 3). Nem utolsósorban itt található az úszólápon a tó talán legértékesebb növénye, a Vörös könyves, fokozottan védett hagymaburok-orchidea (*Liparis loeselii*) mintegy 2000 töves hazai legnagyobb állománya. A terület további értékes, jó terjedőképességű lápi fajok (orchidea- és páfrányfajok) megtelepedésének központjai

lehetnek, azonban a térség erőteljes gyomosodása ezeket az élőhelyeket is fenyegeti (Illyés 2006).

Érdekesség, hogy Petényi János Salamon 1852-ben 15 halfajt talált a tóban, majd – nem mellesleg – a tóra vonatkozó első tudományos igényű adatokat három évtizeddel később, Herman Ottó „A magyar halászat könyve" szakmailag korszakalkotó művében találjuk, mely szerint 1883-ban a következő 13 halfajt találta meg a tóban a mai fajnevekkel feltüntetve (Herman 1887): vadponty (*Cyprinus carpio*), széles kárász (*Carassius carassius)*, compó (*Tinca tinca*), dévérkeszeg (*Abramis brama*), küsz (*Alburnus alburnus*), sügér (*Perca fluviatilis*), balin (*Leuciscus aspius*), csuka (*Esox lucius*), vörösszárnyú keszeg (*Scardinius erythrophthalmus*), bodorka (*Rutilus rutilus*), réti csík (*Misgurnus fossilis*), vágó csík (*Cobitis elongatoides*), vágó durbincs (*Gymnocephalus cernua*). Később megjelent a naphal (*Lepomis gibbosus*) és a törpeharcsa (*Ameiurus nebulosus*) is a tóban, korábbi feltételezések szerint egy nagyobb dunai árvízzel. Az első dokumentált idegenhonos haltelepítés 1890-ben történt, amikor a Balaton mellett a Velencei-tóba is helyeztek ki angolnát (*Anguilla anguilla*). Újabb faj, a süllő (*Sander lucioperca*) betelepítéséről 1914-ben tett említést egy beszámoló (Répássy 1914). A harcsa (*Silurus glanis*) közel egy évszázada, 1921-ben került bele először a tóba (Purgel & Szabó 2019).

Kifejezetten tudományos célú halfaunisztikai felmérést (a horgászok és a halászok zsákmányának vizsgálata alapján, a Kelet-Ázsiai „növényevő" fajok betelepítése után) először Pénzes Bethen végzett (Pénzes 1974), aki összesen 24 fajt mutatott ki a tóból: a fenti felsorolt fajokon túl: amur (*Ctenopharyngodon idella*), kurta baing (*Leucaspius delineatus*), karikakeszeg (*Blicca bjoerkna*), szivárványos ökle (*Rhodeus amarus*), fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*), pettyes busa (*Hypophthalmichthys nobilis*). További fajszám növekedést eredményezett az ezüstkárász (*Carassius gibelio*) megjelenése (Fábián, 1977), majd a fenékjáró küllő (*Gobio gobio*) és a kősüllő (*Sander volgensis*) leírása a tóból (Harka 1997, Györe et al. 2002). Előbbi adat feltehetően egy a vízgyűjtőről véletlenül besodródott egyed lehetett, mivel ezen főként dombvidéki kisvízfolyásokban előforduló faj élőhelyi igényeinek a Velencei-tó nem felel meg.

Chernel István világhírű hazai ornitológus nevét – akinek 1899-ben jelent meg főműve a „Magyarország madarai különös tekintettel gazdasági jelentőségükre" címmel, amely az első tudományos madártani munka, amely magyar szerző alkotása, és nevéhez kapcsolódik Brehm: Az állatok világa mű madarakkal foglalkozó köteteinek magyarra fordítása – ugyancsak meg kell említeni, hiszen legkedvesebb időtöltése volt a Velencei-tó madárvilágának kutatása.

A Velencei-tó élővilágának kutatásában kiemelkedő szerepet töltött be Radetzky Dezső, aki először létesített kutatóállomást a tónál. Fia, Radetzky Jenő méltó módon folytatta édesapja munkásságát a tó élővilágával kapcsolatosan is. Első komoly munkája, amely országosan és nemzetközileg is híressé tette, 1936-ban jelent meg „Madárkataszter a Velencei-tóvidékről" címmel, melyben összegyűjtötte az akkor itt fészkelő madárfajok egyedszámát, fajszámát. Ő tette le a hazai ökológiai oktatás alapjait a Velencei-tavi Madárvártán. Műve még az 1970-1980-as évtizedekben is viszonyítási alapul szolgált az akkori kutatások idején. Nevéhez kapcsolódik az európai törpe cickány jelenlétének megfigyelése, mely Európa legkisebb emlős állata.

A Velencei-tó délnyugati része összefüggő, nagy nádasainak gazdag, szinte páratlan fészkelőmadár-faunája már Herman Ottó idejében is híres volt. Számos hazai és külföldi szakember látogatott el azzal a céllal a Velencei-tóhoz, hogy a területen megtalálható madárfajok életét és szokásait tanulmányozza. A Velencei-tónál rengeteg madárfaj, köztük számos ritka, továbbá védett vagy fokozottan védett faj található meg. A teljesség igénye nélkül, pl. nagy kócsag (*Ardea alba*), vörös gém (*Ardea purpurea*), törpegém (*Ixobrychus minutus*), barna kánya (*Milvus migrans*), barátréce (*Aythya ferina*), cigányréce (*Aythya nyroca*), kerceréce (*Bucephala clangula*), bíbic (*Vanellus vanellus*), billegető cankó (*Actitis hypoleucos*), nádirigó (*Acrocephalus arundinaceus*), nyári lúd (*Anser anser*), küszvágó csér (*Sterna hirundo*), búbos vöcsök (*Podiceps cristatus*), kis vöcsök (*Tachybaptus ruficollis*), függő cinege (*Remiz pendulinus*), dankasirály (*Chroicocephalus ridibundus*), bölömbika (*Botaurus stellaris*), barna rétihéja (*Circus aeruginosus*), bakcsó (*Nycticorax nycticorax*), guvat (*Rallus aquaticus*), vagy gólyatöcs (*Himantopus himantopus*).

A Madártani Intézet javaslataira már 1958 óta védett rezervátum a 420 hektáros Velencei-tavi Madárrezervátum (TT), valamint a dinnyési Fertő (TT) 517 hektáros, kizárólag engedéllyel látogatható területe, amelyek a fokozottan védett a nemzetközi előírásokat rögzítő, 1971. évi vízivad védelmi Ramsari Egyezmény részét képezik (Böhm et al. 1999).

2.3 A vízminőség vizsgálata

A víz minőségét a fizikai, kémiai, biológiai, bakteriológiai tulajdonságainak összessége határozza meg.

- Fizikai tulajdonságok közé tartozik hőmérséklete, az átlátszóság, színe, szaga, íze, sűrűsége, a felületi feszültség, zavarossága, lebegőanyag-tartalma.
- Kémiai tulajdonságok közé tartozik a lúgossága, keménysége, oldott oxigéntartalom, kémhatás, szerves-, szervetlen anyagok tartalma.
- Biológiai minősítés a halobitás, szaprobitás, trofitás és toxicitás alapján történik.

Ezek a tulajdonságok kölcsönhatásban vannak egymással, olykor összetett módon, a biotikus és az abiotikus elemek komplex rendszerében.

A víz nem csak fizikai közegként van jelen, hanem legfontosabb funkciója a biológiai anyagforgalomban betöltött szerepéhez kapcsolódik, ezért a víz, mint élettér ökológiai tulajdonságaival is jellemezhető. A vízminőség fogalmának fejlődéstörténetét tekintve a hangsúly egyre inkább ebbe az irányba tolódik el, oly módon, hogy a természetes víz minőségét a vízi ökoszisztémák állapotának jellemzésével kapcsolják össze. A vizek ökológiájával mintegy fél évszázada foglalkozik a tudomány (Hynes 1970) (Chapman 1992).

A biológiai vízminőség fogalmát Felföldy Lajos hidrobiológus határozta meg. A fogalom meghatározásával együttesen megalkotta a róla elnevezett biológiai vízminősítést Magyarországon (Felföldy 1974).

A biológiai vízminőség „a víz azon tulajdonságainak összessége, amelyek a vízi ökoszisztémák életében fontosak, létrehozzák és fenntartják azokat” (Felföldy 1981).

A gyakorlatban kétféle, egymástól alapelvében különböző megközelítésmód alkalmazása terjedt el:

- Az antropocentrikus, vagyis emberi vízhasználat szerinti minősítés során azt vizsgáljuk, hogy az adott víz tulajdonságai megfelelők-e egy adott vízhasználati cél (pl. ivás, fürdés, öntözés, ipari technológia) szempontjából.
- Az ökológiai szemléletű minősítés nem a vízhasználatok szerinti „alkalmasságot” veszi alapul, hanem a víz ökológiai állapotát önmagában vizsgálja.

Ezt a megközelítésmódot képviseli az EU Víz Keretirányelve (VKI), melyben célkitűzésként a vizek jó állapotának elérését fogalmazták meg.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A meglévő vízminőségvizsgálatok eredményei a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (röviden: KDTVIZIG) jóvoltából állnak rendelkezésemre. Az adatsorokat 1968-tól egészen 2022-ig sikerült beszerezni, a tóból vett vizsgálandó vízmintákat 1982-től napjainkig ugyanarról a három pontról veszik rendszeresen – készültségi foktól függően általában 2-4 hetente – a vízügy szakemberei, így a tóra jellemző mozaikosan megtalálható víztípusok külön-külön is elemezhetők hosszú távon.

3.1. Mintavétel és vizsgált paraméterek

A víz mintavétel kiválasztása, gyakorisága, fajtája a vizsgált víz típusától függ, mindig a vonatkozó szabályok alapján történik. A vízterület egészét jól kifejező minta a vízminőség alapja.

A Velencei-tó esetében általánosan havonta, de az utóbbi évek alacsony vízállása miatt elrendelt vízvédelmi készültség következtében ennél gyakrabban történik a vízminőségi mintavételezés és vizsgálat. Általában három helyszínen történik a mintavétel. 1982-2000 évekig Agárdi móló, Nagy-tisztás, Német-tisztás, 2001-2022 között a Fürdető, a Nagy-tisztás és a Német-tisztás területén történt a mintavétel. Jelen dolgozatban a 2001 és 2022 közötti adatokat vizsgáltam.

A mintavételi helyek (3. ábra) rövid jellemzése:

<u>Fürdető</u>

A mintavételi helyszín a tó nyíltvizes keleti medencéjében, a Korzó, a Bágyom-éri befolyó és a velencei hajóállomás szomszédságában, az ún. „Nagy-móló” elnevezésű hullámtörő műtárgy vonalában, annak csúcsától megközelítőleg 20-30 méternyire található.

A keleti medence vize sekély mélységű, a mintavételi pontok közül a leginkább eutróf képet mutató, átlagában a legmagasabb kémhatással jellemezhető rész.

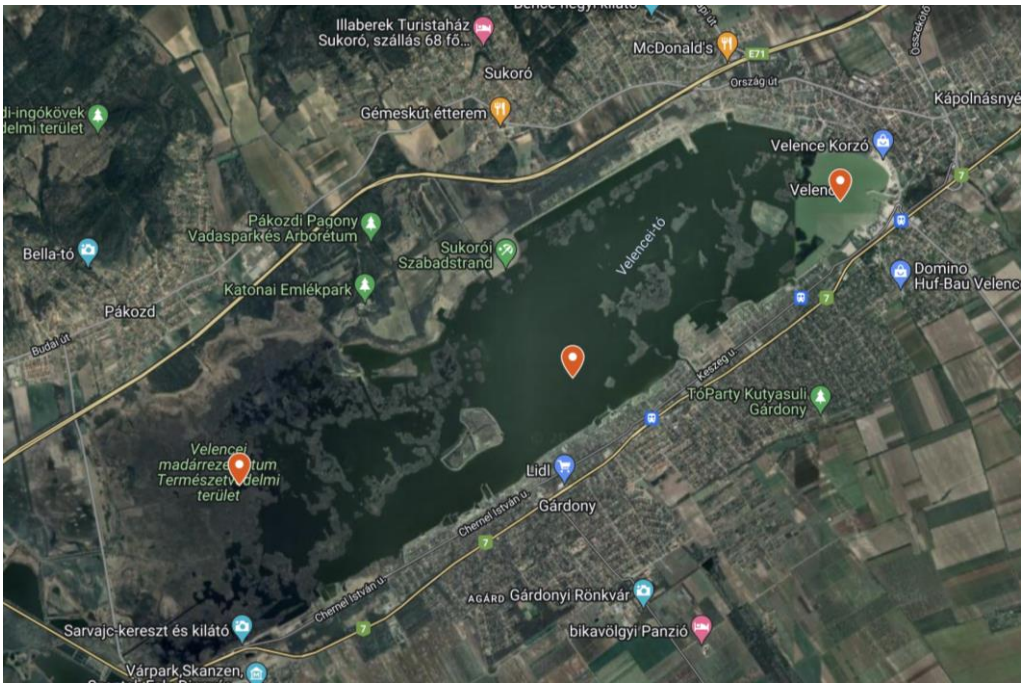
Nagy-tisztás

A mintavételi pont a tó középső részén található. Ez a tó legnagyobb egybefüggő – a fél évszázaddal ezelőtti tórekonstrukció során mesterségesen kialakított – erősen módosított jellegű nyíltvízi területe, amely rendszeresen otthont ad a tavon megrendezett vitorlásversenyeknek is. Az evezőspályát és a dinnyési hullámtörő előtti kotrást leszámítva, illetve területarányosan ez a tó legnagyobb átlagos vízmélységű része. Északnyugatról a Sukorói-félsziget nádasai, délnyugati irányból a Cserepes-sziget, északkelet felől a Halas-nád elnevezésű nádas, délkeleti irányból pedig a Gárdony-Agárd mesterséges rézsűs kövezéssel kialakított partfala határolja.

Német-tisztás

A védett Madárrezervátum nádasai és úszólápjai által körülhatárolt tisztás a tó nyugati oldalán. Az itteni állapotok tükrözik leginkább a tó eredeti, természetes jellegét.

Erre a területre a huminsavakban gazdag feketevíz, így savasabb jellegű (azaz inkább kevésbé lúgos) kémhatás, és lebegőanyagban szegényebb tulajdonság, amely miatt általánosan nagyobb átlátszóság jellemző. Emellett feliszapolódott meder és sekély vízmélység jellemzi. Az iszap kénhidrogéntartalma magas, amely a kisebb mechanikai bolygatástól is könnyen fel tud szabadulni és a jellegzetes záptojás szagú aromájával képes beborítani a területet. A magas kénhidrogén-tartalom miatt – különösen a Császár-vízből érkező vízpótlások alkalmával – vízfelszíni elemi kénkiválás is gyakran megfigyelhető a feketevizes lápi részeken.



3. ábra: A KDTVIZIG mintavételi helyei a Velencei-tavon (forrás: Google térkép)

A Velencei-tavon a KDTVIZIG szakemberei a Hach HQ40d típusú kézivezérlő alapegységet és hozzá csatlakoztatható terepi pH, oldott oxigén elektróda készleteket, ill. klorofill-a mérésre alkalmas spektrofluorimétert, valamint egy sokparaméteres YSI EXO2 típusú műszert használnak.

A laboratóriumi mérésekhez Macherey-Nagel Nanodrop UV/VIS spektrofotométert használnak.

Az elemzésekbe bevont paramétersor a következő volt:

- Vízállás
- Fajlagos elektromos vezetőképesség (EC), kémhatás (pH)
- Nitrogén-formák: NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, összes nitrogén (TN)
- Foszfor-formák: PO_4^-P, összes foszfor (TP)
- Klorofill-a koncentráció

3.2 Adatelemzés

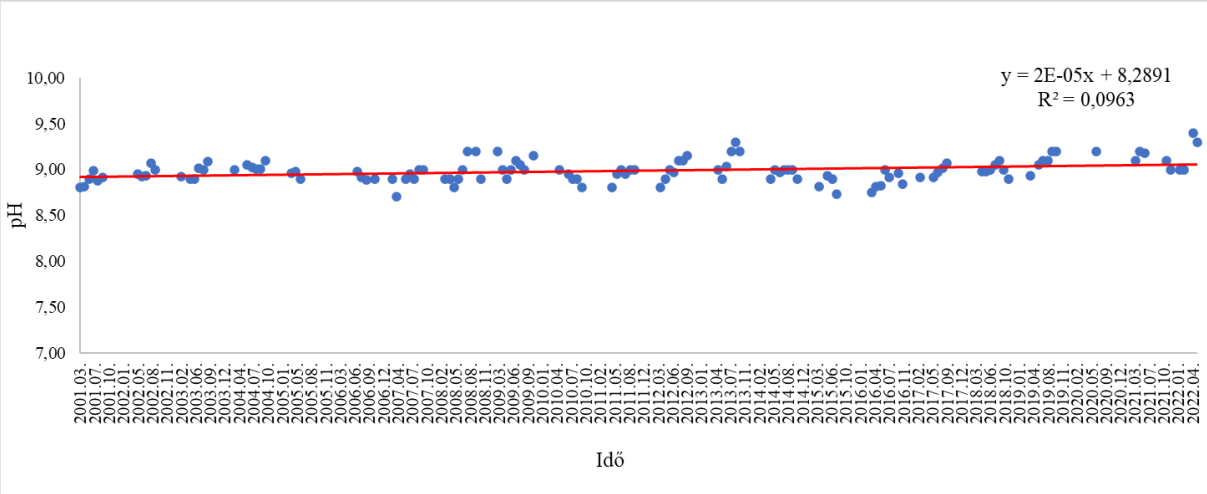
A rendelkezésre álló adatokból havi átlagértékeket képeztem. A hosszútávú trendek meghatározására egyszerű regressziót (legkisebb négyzetek elve) alkalmaztam, és az így kapott egyenleteket elemeztem. Az egyes paraméterek közötti korreláció meghatározására Spearman-féle rangkorrelációs módszert alkalmaztam a log+1 transzformált adatsorokon. Az egyes mintavételi helyek átlagos klorofill-a koncentrációjának összevetésére egyszempontú varianciaelemzést (ANOVA) alkalmaztam. Az adatsorokban rejlő mintázatok feltárására főkomponens elemzést (PCA) használtam. Az elemzések során a PAST 4.0 szoftver volt segítségemre (Hammer et al. 2001).

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

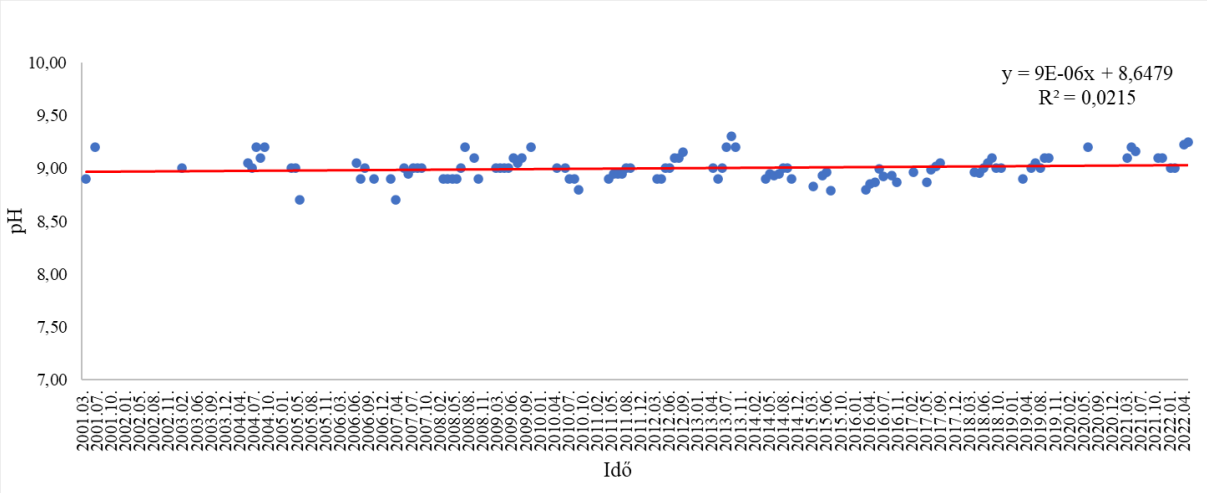
4.1 Fizikai-kémiai paraméterek

4.1.1 A kémhatás (pH) időbeli változásai

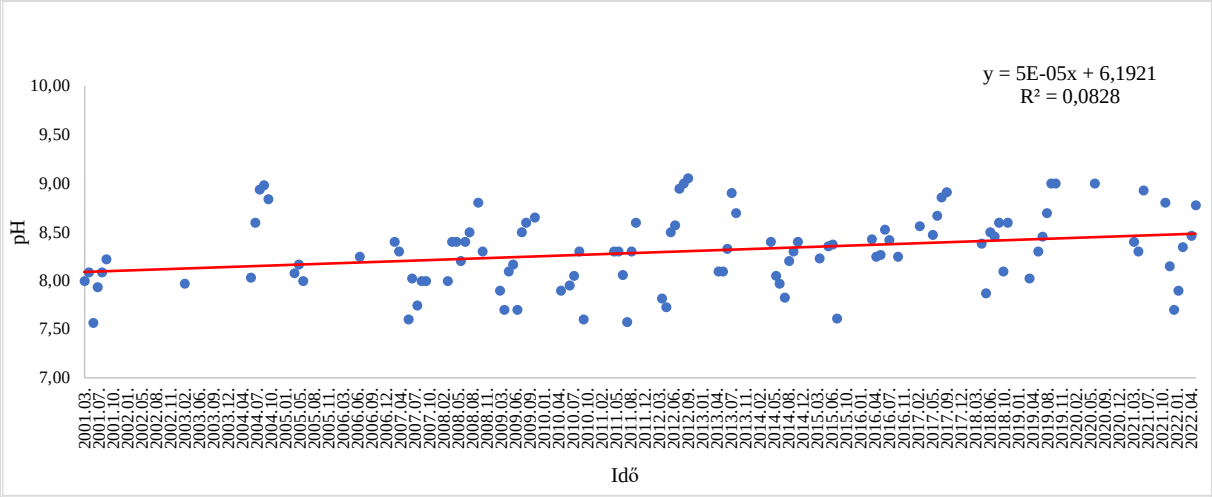
A mért pH adatokra illesztett trendvonal (egyenes) meredeksége mindhárom ponton pozitív, azaz a pH érték az idő előrehaladtával növekedik (4-6. ábra). Az egyenes meredeksége a Német-tisztáson a legnagyobb, ezen a mérési ponton a legkifejezettebb a változás. A pH változásának hátterében állhat önmagában a szikesedés folyamata, de lehetséges az összefüggés a trofitással is, mivel a növényi anyagcseretevékenység pH növelő hatással bírhat. A pH mindhárom mintavételi helyen szignifikáns pozitív összefüggést (Spearman D, $p<0,0001$) mutat a vízállással, azaz alacsony vízállás esetén nő a pH, feltehetően elsősorban az ionkoncentráció növekedése miatt. A tartósan fennálló, 9,5 feletti pH jelentős környezeti stresszforrás a vízi szervezetek (plankton, makrozoobentosz, halak) számára.



4. ábra: A Fürdető mintavételi hely pH-jának trendje (2001-2022)



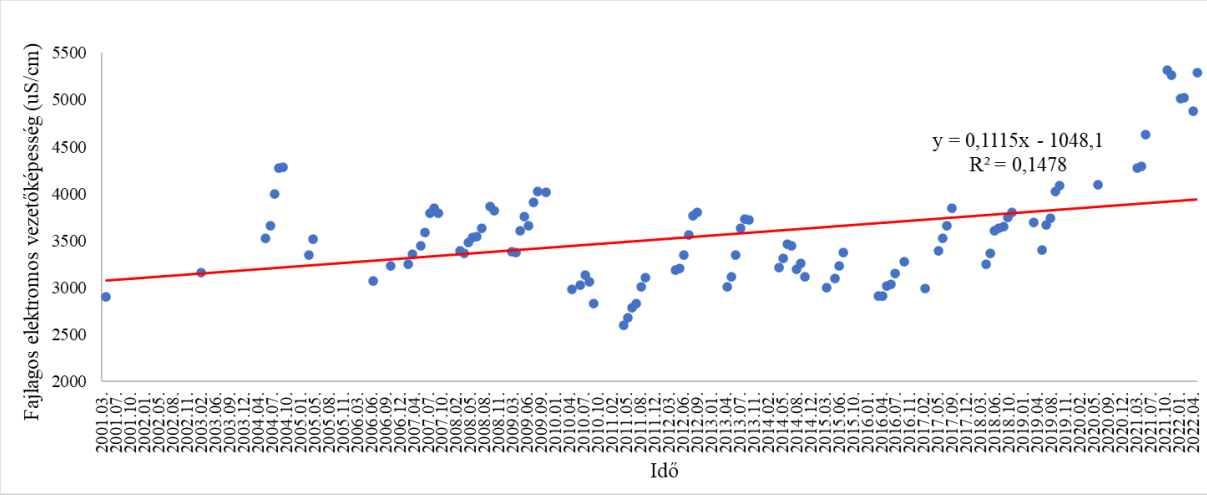
5. ábra: A Nagy-tisztás mintavételi hely pH-jának trendje (2001-2022)



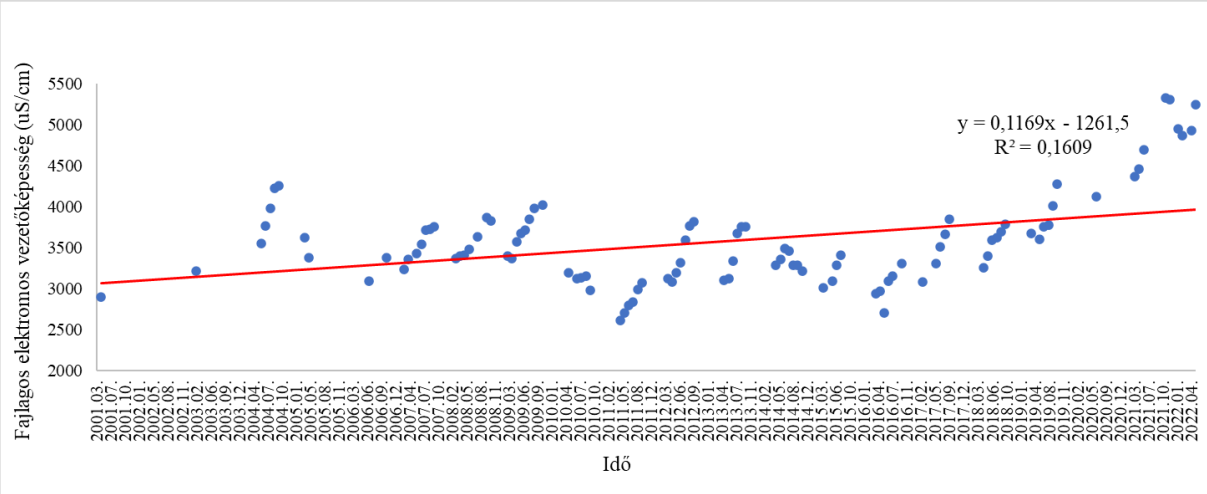
6. ábra: A Német-tisztás mintavételi hely pH-jának trendje (2001-2022)

4.1.2 A fajlagos elektromos vezetőképesség időbeli változásai

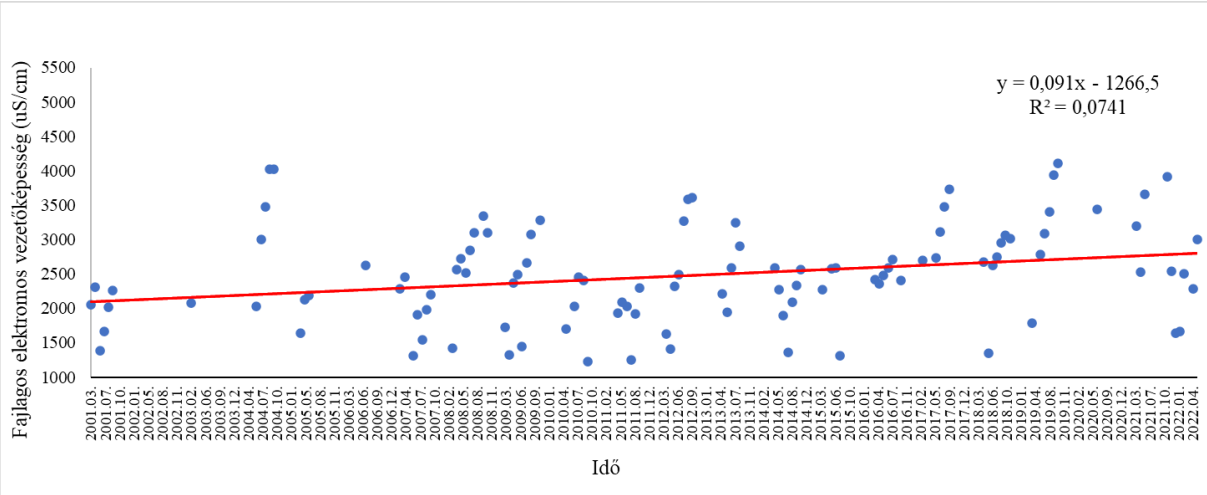
A Velencei-tó fajlagos elektromos vezetőképessége egyrészt szignifikáns negatív összefüggést mutat a vízállással (Spearman D, p<0,0001), azaz jól jelzi a vízálláscsökkenés hatására bekövetkező töményedést (az EC jól jelzi a vízben oldott ionok mennyiségét). Mindemellett, a hosszútávú adatsorra illesztett trendvonal (egyenes) meredeksége mindegyik vizsgálati hely esetében pozitív, amely azt jelzi, hogy a vízállástól függetlenül is növekszik a tó ionkoncentrációja (7-9. ábra). A Velencei-tó vezetőképessége az üzemi vízszint mellett is magas, hozzávetőleg 1500-2500µS/cm értékű. Ez kisvizes időszakokban akár 4500-6000µS/cm értéket is felvehet, amely már jelentős sóstresszt jelenthet az édesvízi életmódhoz alkalmazkodott élőlények (halak, vízi gerinctelen szervezetek) számára.



7. ábra: A Fürdető fajlagos elektromos vezetőképességének változása 2001 és 2022 között



8. ábra: A Nagy-tisztás fajlagos elektromos vezetőképességének változása 2001 és 2022 között

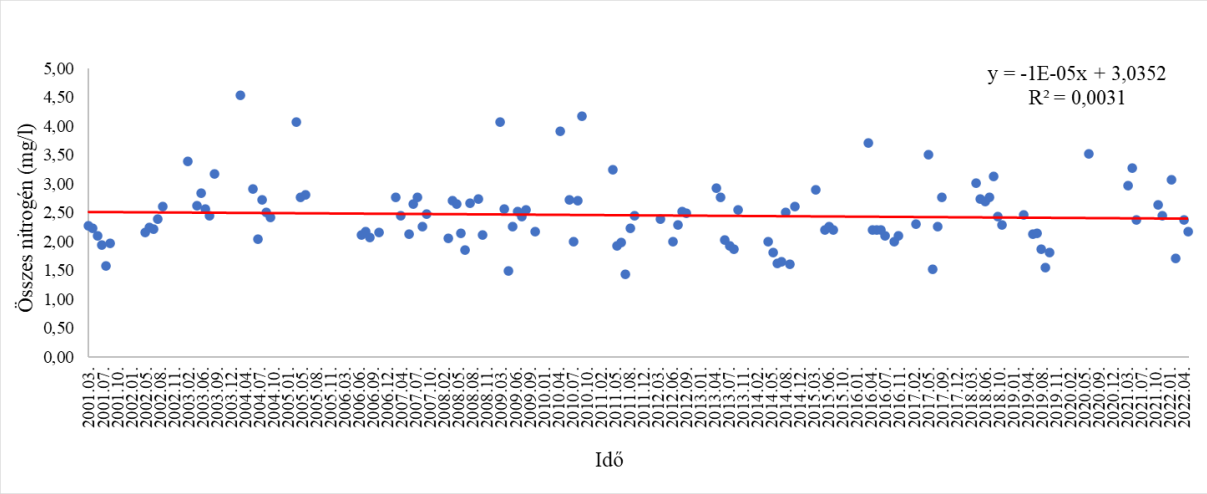


9. ábra: A Német-tisztás fajlagos elektromos vezetőképességének változása 2001 és 2022 között

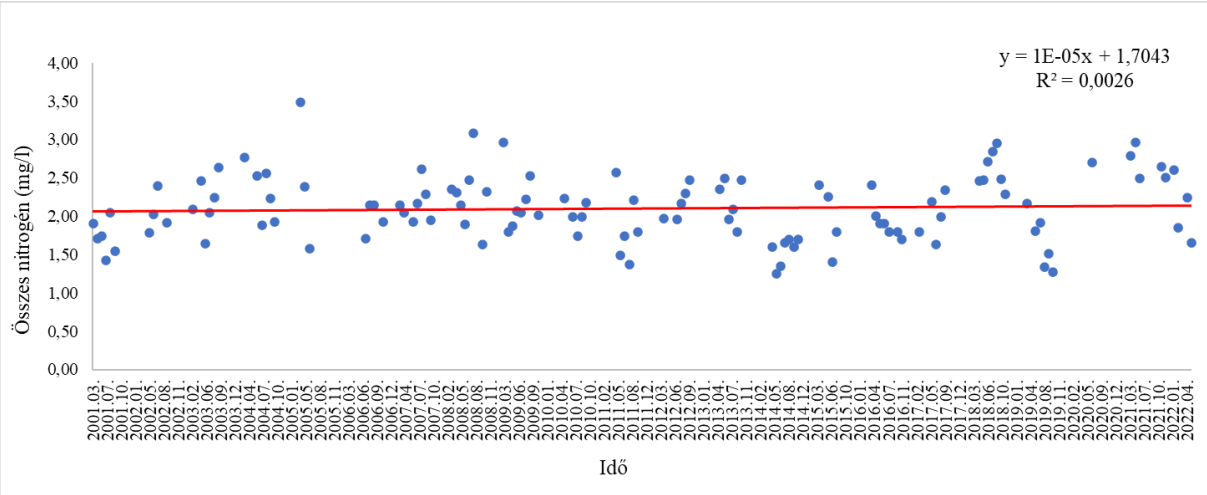
4.2 Növényi tápanyagok és algaprodukció

4.2.1 Összes nitrogén

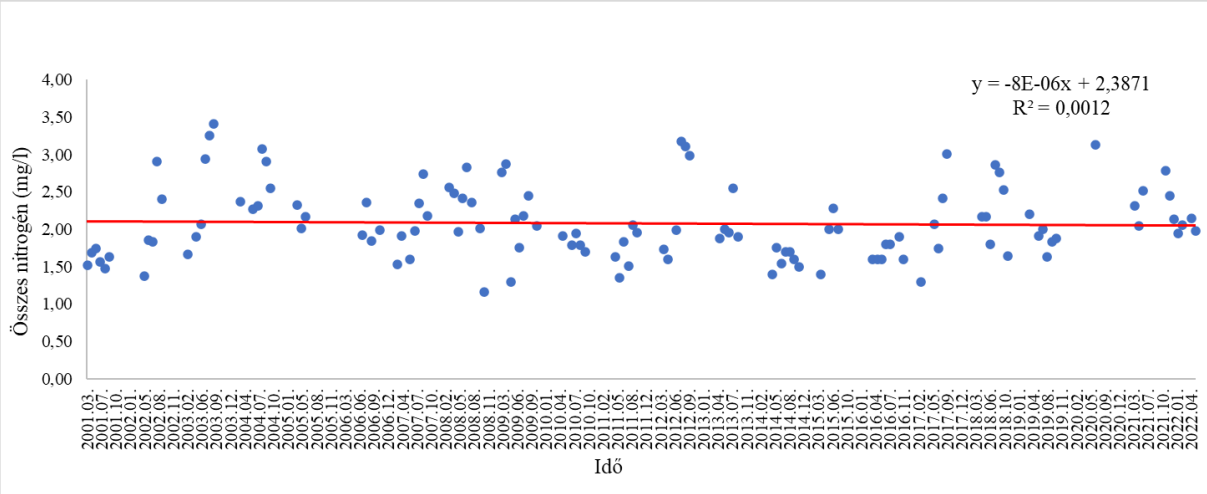
Az összes nitrogén (TN) trendjeit tekintve nem mutat egységes képet a három mintavételi hely (10-12. ábra). Míg a Fürdető és a Német-tisztás esetében az időbeli változás trendje negatív, addig a Nagy-tisztás esetében enyhén emelkedő. A vízállással való összefüggés sem egyöntetű a három területen: A Fürdető esetében nem igazolható korreláció a vízállással (Spearman D, p=0,75), míg a másik két ponton negatív gyenge negatív korreláció mutatkozott (Nagy-tisztás Spearman D, p=0,0002; Német-tisztás Spearman D, p<0,00001). Ez arra enged következtetni, hogy a Velencei-tó nitrogén háztartása heterogén, jelentősen befolyásolja a mintavételi hely térségének biotikus (pl. nádborítás) és abiotikus karakterisztikája.



10. ábra: A Fürdető összes nitrogén koncentrációjának változása 2001 és 2022 között



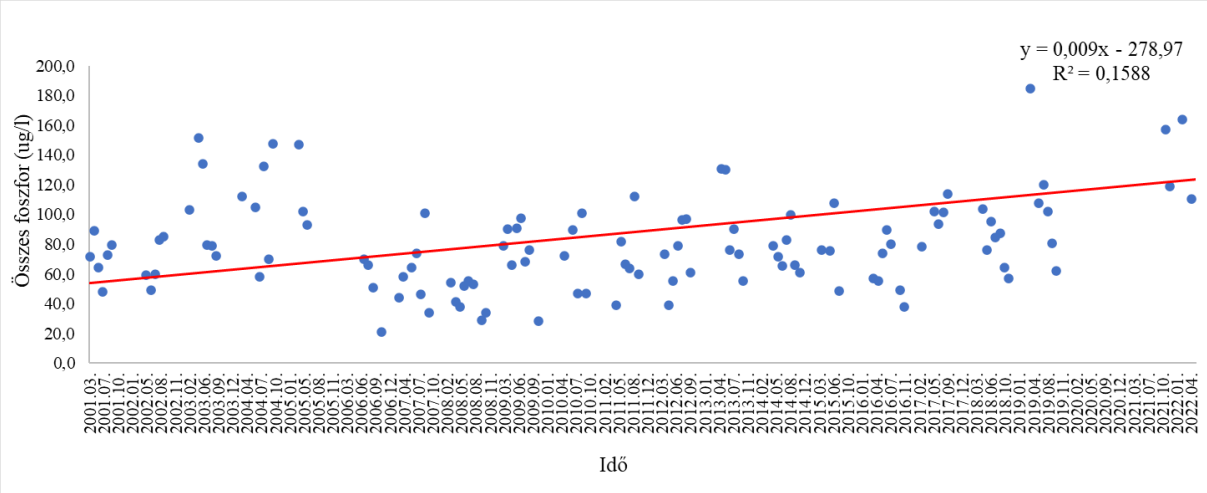
11. ábra: A Nagy-tisztás összes nitrogén koncentrációjának változása 2001 és 2022 között



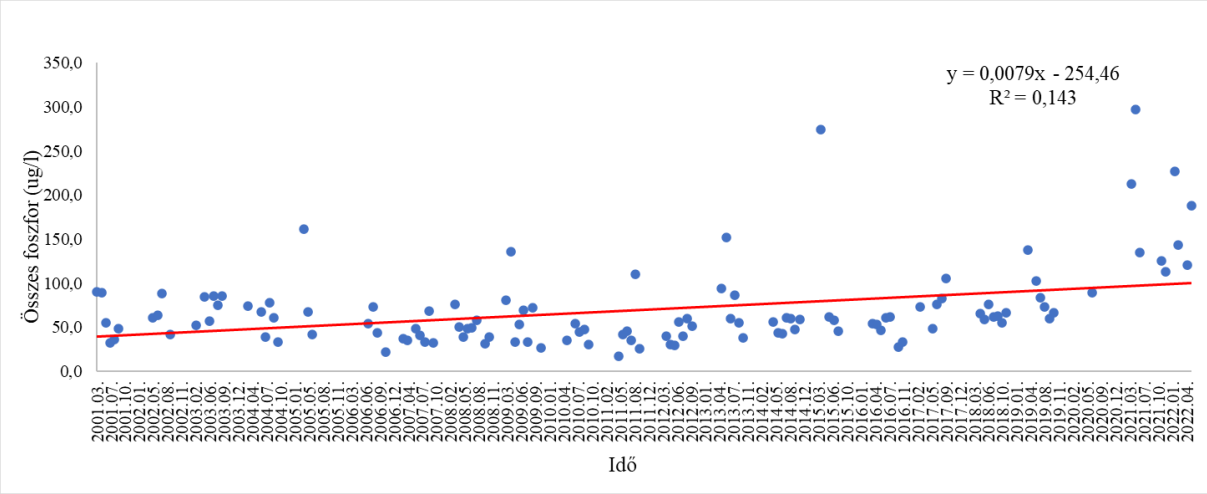
12. ábra: A Nagy-tisztás összes nitrogén koncentrációjának változása 2001 és 2022 között

4.2.2 Összes foszfor

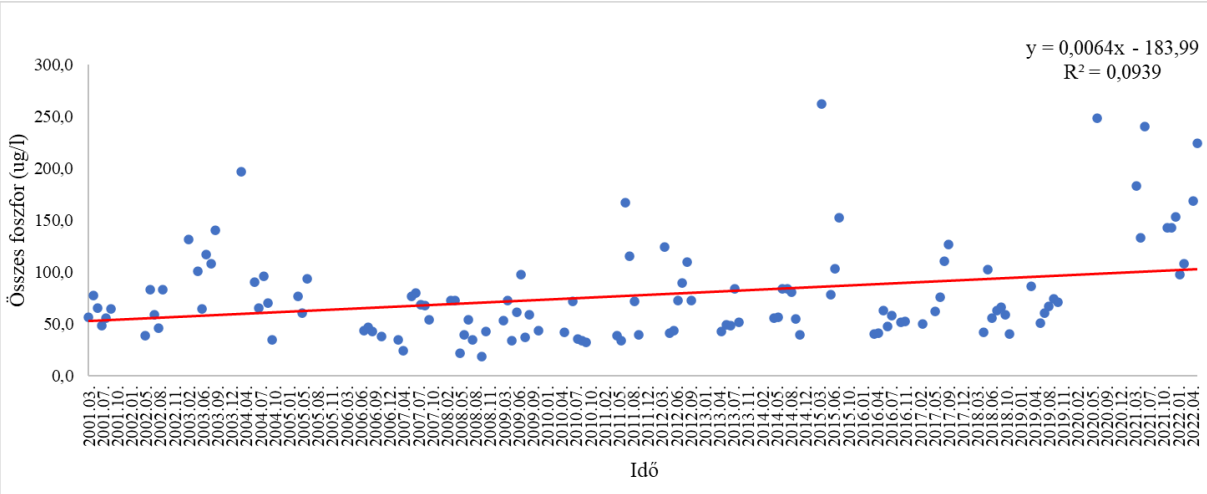
Az összes foszfor (TP) koncentráció időbeli változásának trendje mindhárom mintavételi helyen egyértelműen pozitívnak bizonyult, azaz a TP értékek egyre magasabbak a Velencei-tóban (13-15. ábra). A változás hátterében egyrészt állhat a vízállás, mivel mindhárom mintavételi hely TP értékei egyértelmű és erős negatív korrelációt mutatnak a vízállással (Spearman D, $p<0,00001$). A víztest foszforterhelése származhat külső és belső forrásokból egyaránt. A külső terhelés a befolyó vízzel érkezik (pl. az előtározók tápanyaggazdag vize; a tópart településekről és mezőgazdasági területekről bemosódó szennyezések), míg a belső terhelést az üledékbe csapdázódott foszforformák oldatfázisba kerülése jelentheti. Utóbbi folyamat jellemzően a víztestben kialakuló rétegződés és az üledékfelszín felett kialakuló anoxikus körülmények esetén valósul meg (pl. Istvánovics et al. 2022), tehát sokkal valószínűbb, hogy az alacsony vízállás esetén a tározókból (közvetlenül csak a Pátkai-tározóból) érkező vízpótlás felelős a TP növekedésért.



13. ábra: A Fürdető összes foszfor koncentrációinak változása 2001 és 2022 között



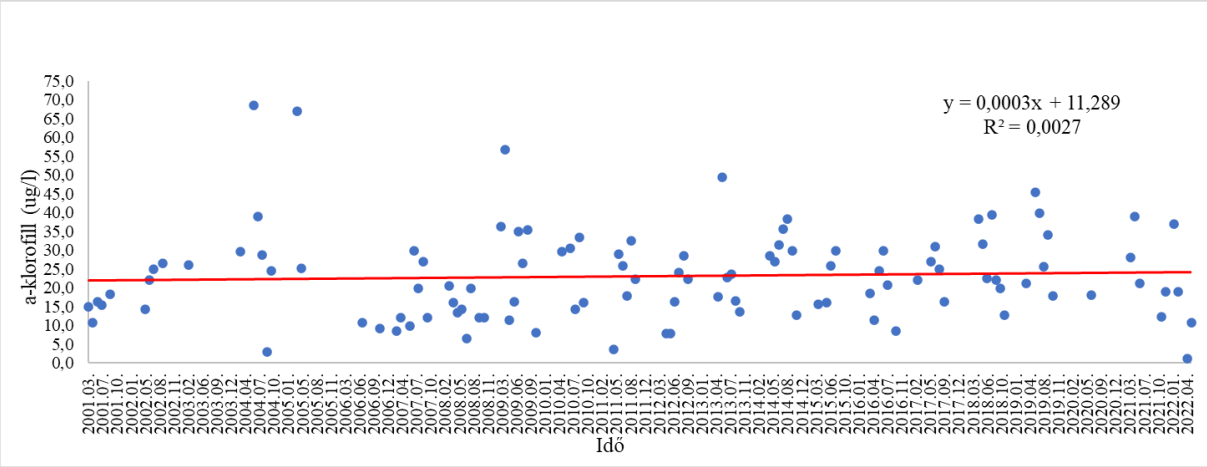
14. ábra: A Nagy-tisztás összes foszfor koncentrációinak változása 2001 és 2022 között



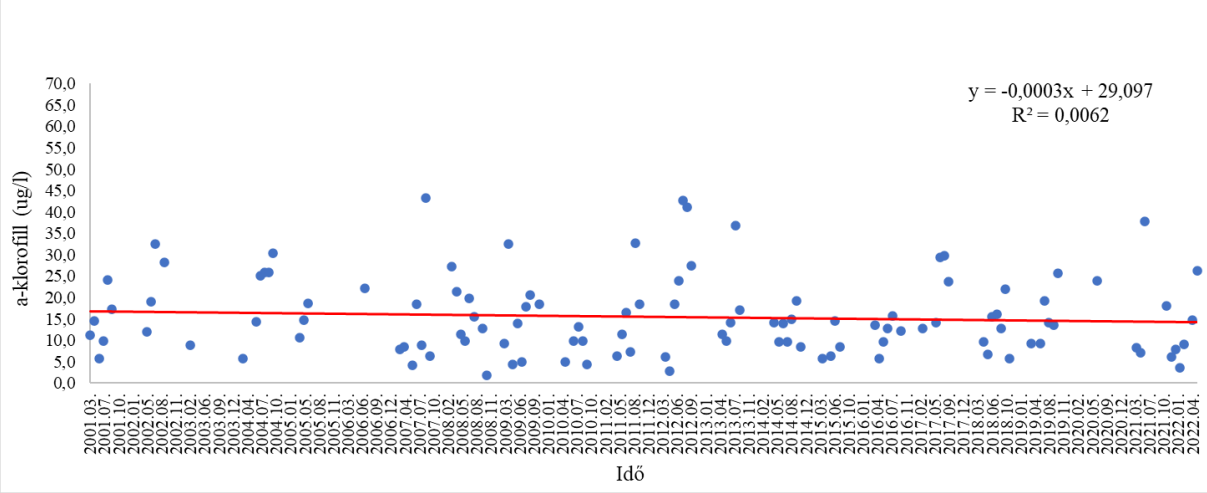
15. ábra: A Német-tisztás összes foszfor koncentrációinak változása 2001 és 2022 között

4.2.3 Klorofill-A koncentráció

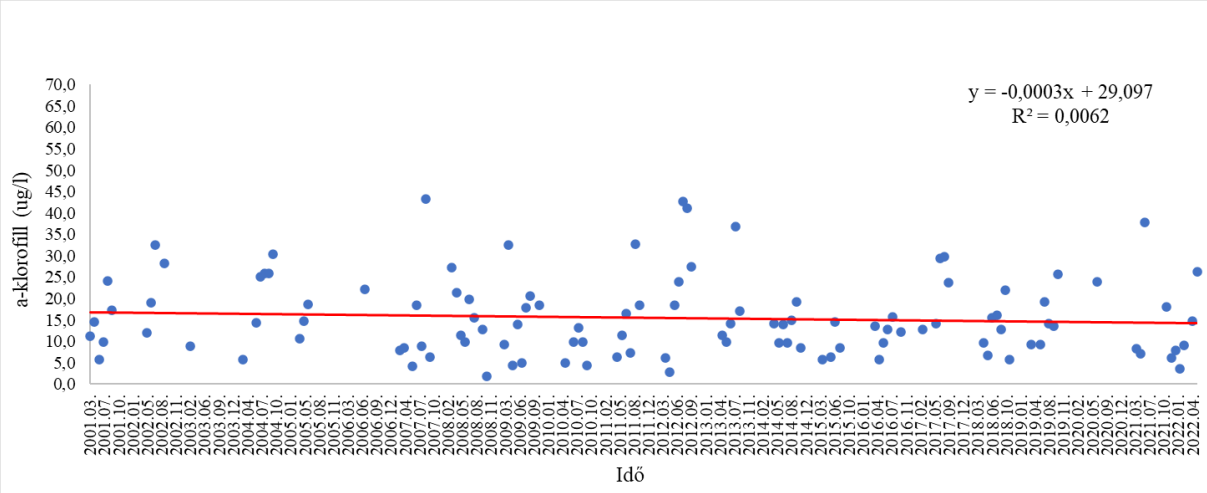
A vízben élő algák produkciójának mérésére szolgáló klorofill-a koncentráció időbeli trendje a trendvonalak jellemzőinek vizsgálata alapján nem mutatott egységes képet (16-18. ábra). A Fürdető mintavételi hely esetében az minimális emelkedés, míg a másik két vizsgálati helyen minimális csökkenő tendencia volt jellemző. Az adatok a vízállással sem mutattak minden esetben korrelációt (Fürdető: Spearman p=0,0024; Német-tisztás: Spearman p=0,0001; Nagy-tisztás Spearman p>0,05). A klorofill-a koncentráció értéke alapján a víztestek produktivitása becsülhető. A Velencei-tó esetében a klorofill-a koncentráció jelentős szórást mutat.



16. ábra: A Fürdető klorofill-a koncentrációinak változása 2001 és 2022 között



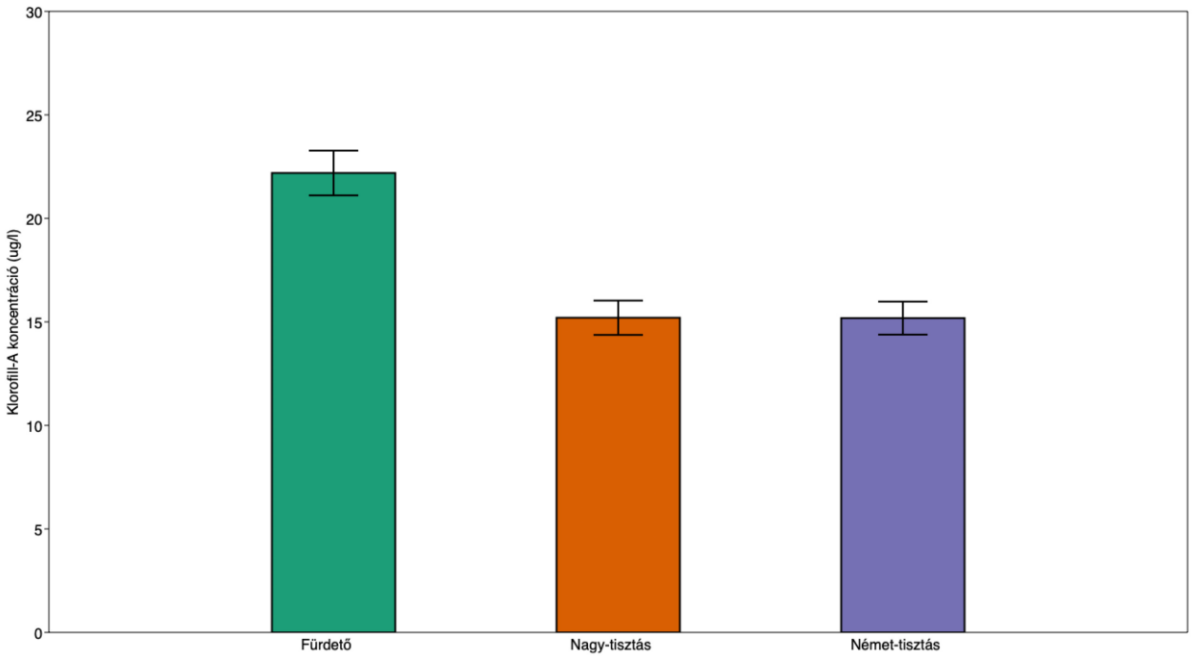
17. ábra: A Nagy-tisztás klorofill-a koncentrációinak változása 2001 és 2022 között



18. ábra: A Német-tisztás klorofill-a koncentrációinak változása 2001 és 2022 között

A klorofill koncentrációk 2001-2022 közötti értékeinek átlagai 15,1 µg/l és 22,2 µg/l között változtak, a Fürdető átlagos klorofill-koncentrációja szignifikánsan magasabb, mint a másik két élőhely esetében mért érték (ANOVA: F=19,6, df=2, p<0,0001; 19. ábra). Az átlagos értékek tekintetében a Velencei-tó mezotrofikus, illetve mezo-eutrofikus kategóriába sorolható, azonban meg kell jegyezni, hogy az átlagok tartalmazzák a késő őszi, téli és kora tavaszi mérések eredményeit is, amikor az algabiomassza természetes módon jelentősen alacsonyabb, mint nyáron. Nyári időszakban rendszeresen előfordulnak 50µg/l feletti értékek, melyek eutróf vizet jeleznek.

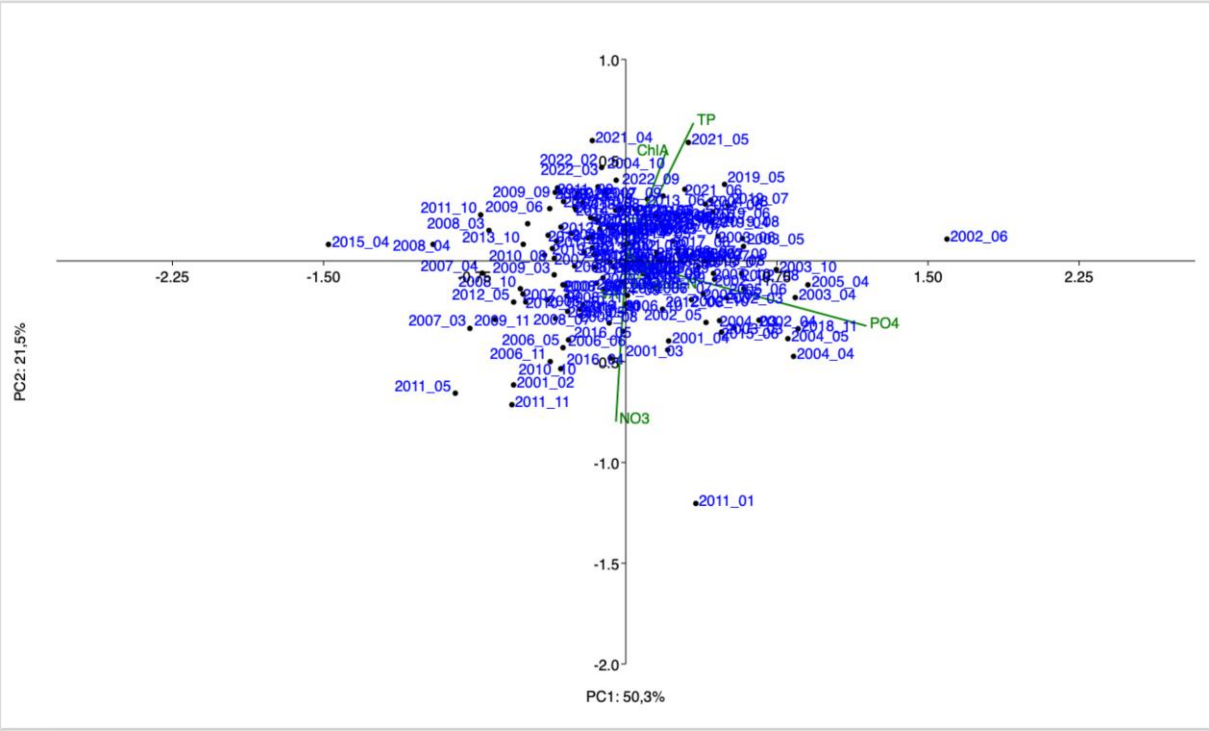
A hosszú-távú grafikonok értékelése alapján kijelenthető, hogy az elmúlt húsz évében nem változott trendszerűen a tó trofitása, illetve a vízállással is csak két mintavételi hely esetében mutatható ki gyenge pozitív korreláció. Valószínűsíthető, hogy a klorofill-koncentráció változásait egyrészt olyan biotikus tényezők okozzák, mint pl. a „top-down” kontroll erőssége, azaz végső soron a tóban élő halak mennyisége és fajösszetétele.



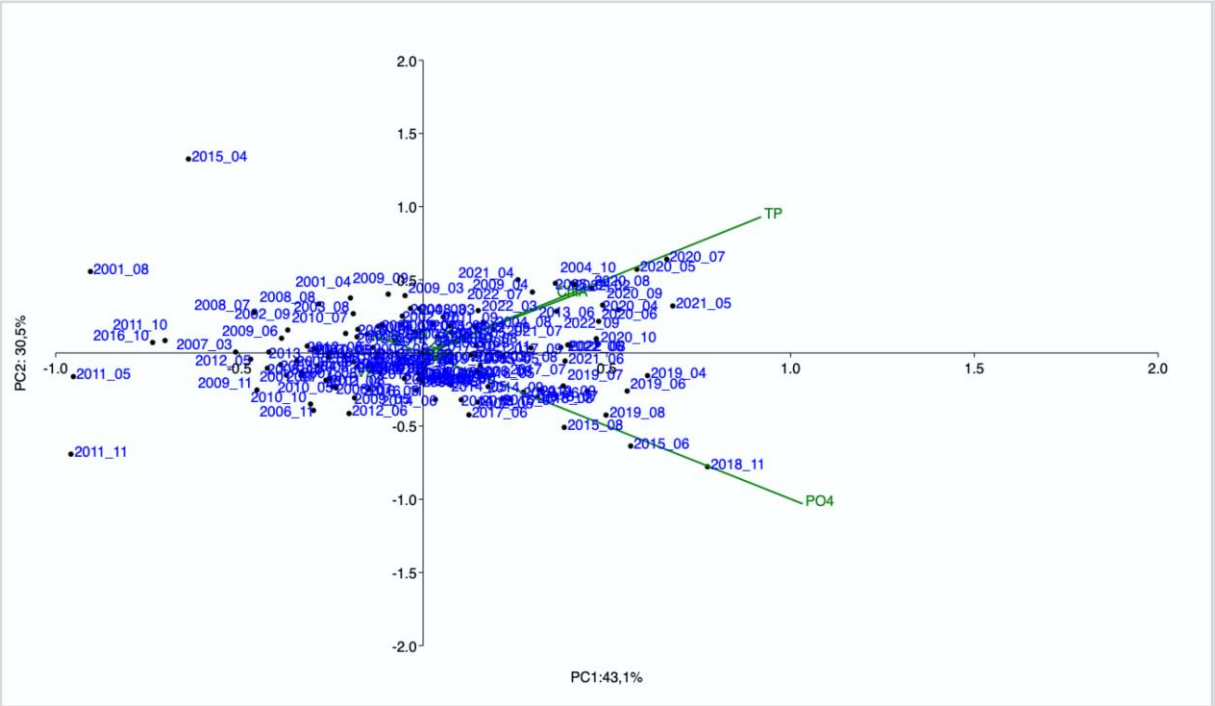
19. ábra: A klorofill-a koncentrációk sokévi (2001-2022) átlagai a három mintavételi helyen

4.3 A vízminőségi paraméterek hosszú-távú adatsoraiban fellelhető mintázatok

Két víztér, a Fürdető és a Nagy-tisztás esetén a főkomponens elemzéssel (PCA) értékelt változók (vízállás, pH, EC, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}, klorofill-a, TN, TP) hasonló időbeli mintázatot mutattak (20-21. ábra). A főkomponenseket a PO_4^{3-}, TP és klorofill-a koncentráció határozta meg. Ez önmagában a két víztér foszfor-limitáltságára utal. Ha nagyobb koncentrációban vannak jelen a vízben a foszforformák akkor a fotoszintézis is nagyobb intenzitással tud végbemenni. A két mintavételi hely között különbséget tesz a foszforformák előfordulása: a Fürdető esetében a TP és a PO_4-P koncentrációja kevésbé asszociált egymáshoz, mint a Nagy-tisztás esetében. Ez a Fürdető esetében jelenlévő nagyobb szerves P frakció jelenlétre utal. A PCA-k megerősítik a TP és a vízállás gyenge negatív összefüggését is, azaz alacsonyabb vízállásnál magasabb TP koncentráció mérhető. Ezen két mintavételi hely esetében a PCA-k nem fedtek fel trendszerű, előre haladó (szukcesszív) dinamikára utaló mintázatot. A kapott mintázat leginkább a periodikusan (hozzávetőlegesen 10 évente) előforduló 1-3 évig tartó kisvizes időszakok előfordulásával magyarázható.

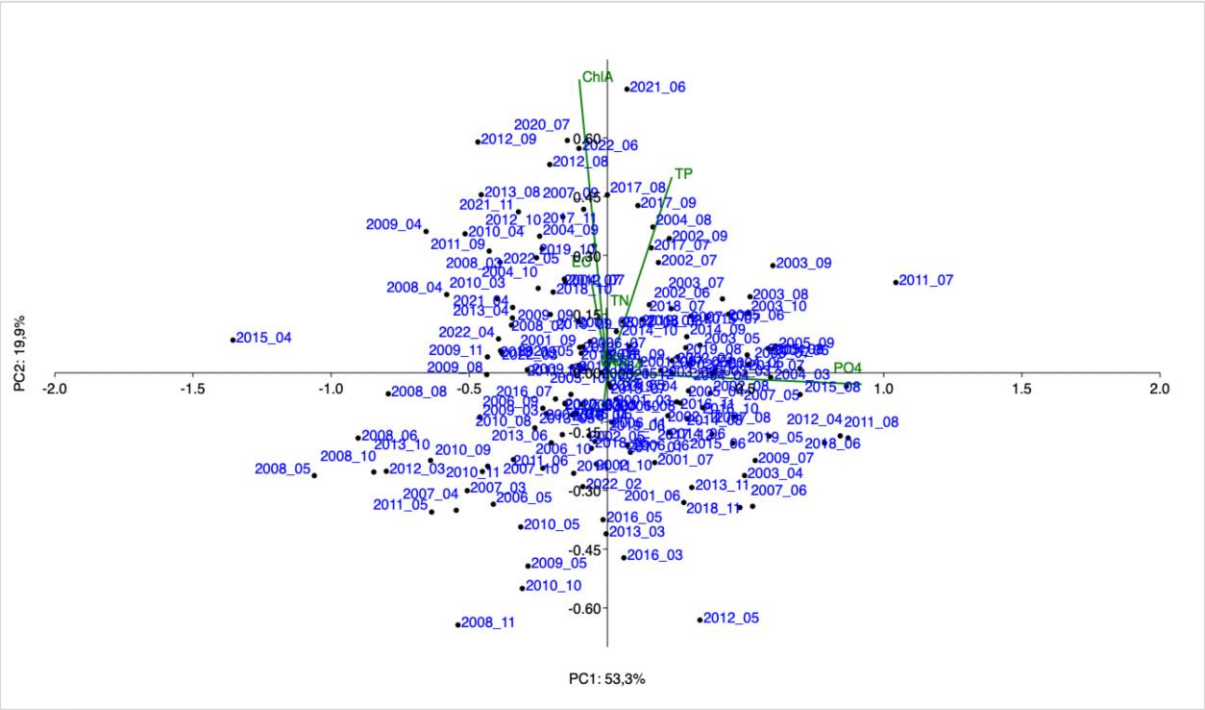


20. ábra: A Fürdető mintavételi hely különböző időpillanatokban regisztrált vízminőségi változóinak főkomponens analízise (PCA biplot, havi átlagértékek)



21. ábra: A Nagy-tisztás mintavételi hely különböző időpillanatokban regisztrált vízminőségi változóinak főkomponens analízise (PCA biplot, havi átlagértékek)

Bár a Német-tisztás esetében is alapvetően hasonló mintázatot tapasztalunk, mint a másik két mintavételi pont esetében itt az első főkomponens mentén a legintenzívebben jelen lévő gradienst a PO4-P koncentráció okozza (22. ábra). A klorofill-a koncentráció ebben az esetben is a TP koncentrációval asszociált, azaz a Velencei-tó nyugati, nádasállományokkal körülvett víztere is alapvetően foszforlimitáltnak tűnik. Szukcesszív jellegű dinamikát ez esetben sem sikerült kimutatni.

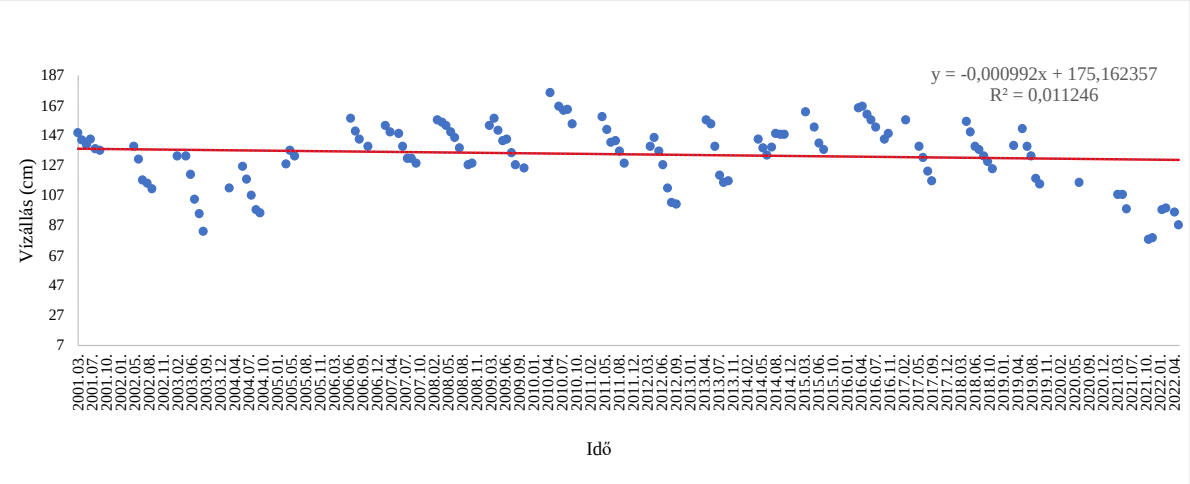


22. ábra: A Német-tisztás mintavételi hely különböző időpillanatokban regisztrált vízminőségi változóinak főkomponens aznalízise (PCA biplot, havi átlagértékek)

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A Velencei-tó alapvető vízminőségi adatainak vizsgálata alapján megállapítható:

1. A víz pH-ja és fajlagos elektromos vezetőképessége emelkedő tendenciát mutat. Ez a két mutató elsősorban a vízállástól függ, melynek trendje a 2001-2022-es időszakra vonatkoztatva szintén gyengén csökkenő (23. ábra).



23. ábra: A Velencei-tó vízállásának trendje 2001 és 2022 között

   A Velencei-tóhoz hasonló szikes tavakra jellemző a magas sókoncentráció (és az ebből következő magas fajlagos elektromos vezetőképesség), illetve a lúgos pH, de a 2020-2022 időszakban mérhető értékek (pH=9,5-9,8; EC=5500-6500) már jelentős stresszt jelentenek a vízi élőlények számára. Az ebben az időszakban bekövetkező halpusztulások is jelentős részben visszavezethetők az említett környezeti stressztől legyengült állományra.
2. A Velencei-tó összes foszfor koncentrációja mindhárom vizsgált helyen növekvő trendet mutatott. Az adatok alapján valószínűsíthető, hogy a foszfor külső terhelés formájában érkezett, feltehetően a Pátkai-tározóból a kisvizes időszakok után nagyobb mennyiségben érkező pótlóvízből. Mivel ez a terhelés a rendszer egésze szempontjából meghatározónak tűnik a továbbiakban feltétlenül szükséges a Pátkai-tározó vízminőségi adatainak a jelenlegihez hasonló értékelése, illetve a vízeresztések hatásainak részletesebb vizsgálata.
3. Annak ellenére, hogy TP koncentráció növekvő trendet mutatott, a klorofill-a koncentráció ezt nem minden esetben követte. A klorofill-a koncentráció trendje csak a Fürdető esetében volt kismértékben emelkedő. Ezt az eltérést a tó halállományának

hatása, azaz a „top-down” kontroll erőssége magyarázhatja. A trend szempontjából meghatározó 2020-2022-es időszakban a nagyarányú halpusztulások következtében eleinte jelentősen csökkent az omnivor és plaktivor halfajok mennyisége, amelyet a zooplankton szervezetek jelentős elszaporodása követett (Ferincz, pers. comm.). A nagy mennyiségű zooplankton hatékonyan szűrte a fitoplanktont egészen az állomány összeomlásáig, alacsonyan tartva ezzel a klorofill-a koncentrációt.

4. A többváltozós mintázatelemzés rávilágít, hogy a Velencei-tó tápanyaggazdálkodására alapvető hatással vannak a kisvizes periódusok. Annak kiderítésére, hogy ez a hatás milyen mértékben függ a Pátkai-tározóból leengedett pótlóvíz tápanyagtartalmától, további elemzések szükségesek.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatom célkitűzésében arra vállalkoztam, hogy az egyes vízminőségi fizikai-kémiai paramétereket (pH, fajlagos elektromos vezetőképesség), a növényi tápanyagok jelenlétét, valamint az algaprodukciót vizsgálom meg Velencei-tavon, majd összefüggéseket keresek a megvizsgált adatok között többváltozós mintázatelemző módszer alkalmazásával.

A rendelkezésre álló adatok vizsgálata során az alábbiakban összefoglalt összefüggéseket állapítottam meg.

A Velencei-tó – ahogy ez a szikes tavak nagy részére jellemző – sókoncentrációja magas, amellyel együtt az elektromos vezetőképesség is magas, valamint meglehetősen lúgos kémhatással is rendelkezik.

A pH és az elektromos vezetőképesség a vizsgált időszakban emelkedő tendenciát mutat, amely azzal is összefüggésben van, hogy a tó vízállása csökkenő tendenciát mutat. A csökkenő vízállással összefüggésben nő a pH, részben vélhetően az ionkoncentráció növekedése miatt, mely az elmúlt hónapokban már tartósan fennálló, 9,5 feletti pH értékeket eredményezett. Mindez jelentős környezeti stresszforrást jelent a vízi szervezetek számára.

A Velencei-tó vezetőképessége az optimális vízszint mellett is magas, de a vízszint csökkenésével egyre magasabbá válik ez az érték, amely már jelentős sóstresszt jelenthet az édesvízi életmódhoz alkalmazkodott élőlények számára. A víz elektromos vezetőképessége mindegyik vizsgálati helyszín esetében pozitív, amely azt jelzi, hogy a vízállástól függetlenül is növekszik a tó ionkoncentrációja.

Az összes nitrogén (TN) trendjeit a megadott adatokat tekintve nem mutat egységes képet a három mintavételi helyszínen. A tó nitrogén háztartása heterogén, jelentősen befolyásolja a mintavételi helyszínek térségének biotikus (pl. nádborítottság) és abiotikus karakterisztikája.

A Velencei-tó összes foszfor (TP) koncentrációja mindhárom vizsgált mintavételi helyen növekvő trendet mutat. Ismételten összefüggés található a kis vízállás és a foszfor koncentrációja között, mert az adatok alapján a foszfor inkább külső terhelés formájában érkezhetett, tekintettel arra is, hogy az alacsony vízállás miatt a Pátkai-tározóból vízutánpótlásra volt szükség.

Ezt a növekvő tendenciát ugyanakkor a klorofill-a tartalom nem egyértelműen követi.

A főkomponens analízisek eredményei alapján megállapítható, hogy a Velencei-tó tápanyaggazdálkodására alapvető hatással vannak a kisvizes periódusok. Annak kiderítésére, hogy ez a hatás milyen mértékben függ a Pátkai-tározóból leengedett pótlóvíz tápanyagtartalmától, ahhoz további vizsgálatok és elemzések szükségesek.

Az elmúlt évtizedek vízállásadatainak alakulása alapján a kisvizes, vízhiányos időszakok, előfordulása gyakoribb lett, melyre feltehetően – és többek között – negatív hatással van a klímaváltozás következtében egyre hektikusabbá váló időjárás is.

Bár időnként az alacsony vízszintnek is vannak pozitív hatásai a tó állapotára nézve (a kiszáradt meder oxidációja következtében , a kapott eredmények arra utalnak, hogy a vízi szervezetek, az őshonos halállomány védelme, továbbá a térségi turizmus működőképességének biztosítása érdekében a vízgyűjtői vízszabályozás és vízpótlás érdekében kiépített és fenntartott víztározók és vízfolyások rehabilitációjának szükségessége mellett már középtávon is egyre indokoltabbnak látszik, hogy egy, a kisvizes időszakokban is működőképes mesterséges vízutánpótlási rendszer kialakításra kerüljön az extrém alacsony vízállások – ez a szint hivatalosan nincs meghatározva, de a gyakorlatban jellemzően a 130 centiméteres üzemi vízszint szabályozási minimumérték alatti szint június hónapban, illetve az őszi időszakban a 100 centiméter alatti vízszint értendő ez alatt – kialakulásának megelőzése érdekében.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Ferincz Árpádnak, hogy lehetőséget adott nekem a Természetesvízi Halökológiai Tanszéken a szakdolgozatom megírására. Segítőkészsége, szakmai tudása, naprakészsége és közvetlensége nagyon sokat segített a dolgozat elkészítése során.

Köszönettel tartozom a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság vezetőjének, Dr. Csonki István Igazgató Úrnak, valamint Kóbor István Laborvezető Úrnak a rendelkezésemre bocsátott adatsorokért és hasznos információkért.

Köszönettel tartozom továbbá a Magyar Országos Horgász Szövetség vezetőjének, Dr. Dérer István Főigazgató Úrnak a rendelkezésemre bocsátott Velencei-tavi halgazdálkodásra vonatkozó adatokat és információkat.

Végül hálásan köszönöm a bíztató szavakat, a rengeteg támogatást Férjemnek és Szüleimnek, akik mindig kiegyensúlyozott, zavartalan családi hátteret biztosítottak számomra a szakdolgozat megírásához.

8. IRODALOMJEGYZÉK

BARANYI S., FEJÉR V., KARÁSZI K., KISS I., KISS P., SZABÓ M. (1984): *Vízügyi műszaki gazdasági tájékoztató 149. sz.: A Velencei-tó rekreációja.* Szerk. Karászi K. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest.

BOROS E. (1999): *A magyarországi szikes tavak és vizek ökológiai értékelése*. Acta Biol. Debr. Oecol. Hung. (Suppl.) 9: 13–80. CSÁNYI B., GULYÁS P., NÉMETH J ...

BOROS E. (2002): *Szikes tavak*. Nemzeti Ökológiai Hálózat 4. KöM Budapest, ISBN 963-00-7168-1 Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: http://www.termeszetvedelem.hu/_user/downloads/nok/Szikestavak.pdf

BOROS, E. ECSEDI, Z. OLÁH, J. (2013) (Eds.), *Ecology and Management of Soda Pans in the Carpathian Basin, Hortobágy Environmental Association*, Balmazújváros

BOROS E., V.-BALOGH K., VÖRÖS L. ÉS HORVÁTH ZS. (2017). *Multiple extreme environmental conditions of intermittent soda pans in the Carpathian Basin* (Central Europe). Limnologica, 62: 38−46.

BOROS E., KOLPAKOVA M. (2018) *A review of the defining chemical properties of soda lakes and pans: An assessment on a large geographic scale of Eurasian inland saline surface waters*. PLoS ONE 13(8): e0202205. DOI: 10.1371/journal.pone.0202205

BŐHM A. – FÜLEKY CS. – VÉGH M. (1999): *A Ramsari Egyezmény kézikönyve. Kézikönyv a vizes területekről szóló egyezményhez* (Ramsar, Irán, 1971). KTM, Budapest, 169 p.

CHAPMAN, D. (1992): *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition*, Edited by Deborah Chapman, 1992, 1996 UNESCO/WHO/UNEP, ISBN 0 419 21590 5 (HB) 0 419 21600 6 (PB)

DVIHALLY ZS. (1965): *Szikes vizek kémiai, optikai és energetikai vizsgálata produkciós-biológiai szempontból.* – Kandidátusi dolgozat. Budapest 173 pp.

DVIHALLY ZS. (1970): *A kémiai és optikai változások dinamikája a magyar szikes vizekben.* In. Hidrológiai Tájékoztató, 10. évfolyam, 1. szám, pp. 130-132.

DVIHALLY ZS. (1999): *Hazai szikes vizeink kémiai jellege.* – Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica 9: 281–292.

ENYEDI-E. SZ., TÓTH S. (1997): *A Velencei-tó 1996. évi vízmérlege.* KDTVIZIG, Székesfehérvár Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás:https://vpf.vizugy.hu/reg/kdtvizig/doc/Velencei-to%20vizmerleg,%201996.pdf

FÁBIÁN, GY. (1977): *A Velencei-tó múltja és jelene*. Horgász Kalauz ’78. 28–38.

FEHÉR G. ÉS SCHMIDT A. (2003): *A kiskunsági szikes tavak (KNP II) algológiai vizsgálata.* Természetvédelmi Közlemények, 10. sz. 163−176.

FELFÖLDI T. (2010): *Szikes tavaink pikoalgáinak biodiverzitása.* MHT XXVIII. Országos vándorgyűlés kiadványa, Sopron.

FELFÖLDY L. (1974): *Biológiai vízminősítés.* Vízügyi Hidrobiológia 3. VIZDOK, Budapest, p. 242

FELFÖLDY L. (1981): *A vizek környezettana*. Általános hidrobiológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 290.

GYÖRE K., LENGYEL P., KOVÁCS N. (2002): *Halfaunisztikai és ivadékvizsgálatok a Velencei-tavon.* Halászatfejlesztés 27: 63–69.

HAMMER, U. T. (1986): *Saline lake ecosystems of the World.* Dr. W. Junk, The Hague.

HAMMER, ØYVIND, HARPER, DAVID A.T., AND PAUL D. RYAN (2001) *Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. Palaeontologia Electronica, vol. 4, issue 1, art. 4: 9 pp

HARKA, Á. (1997): *Halaink. Természet- és Környezetvédő* Tanárok Egyesülete, Budapest, 175 pp.

HERMAN O. (1887): *A magyar halászat könyve*. K. M. Természettudományi Társulat, Budapest

HORVÁTH, Z., VAD, C. F., VÖRÖS, L., BOROS, E. (2013): *The keystone role of anostracans and copepods in European soda pans during the spring migration of waterbirds*. Freshwater Biology, 58. sz. 430−440

HYNES, H. B. N. (1970): *The ecology of running waters*. Univ. Toronto Press, xxiv + 555 p

ILLYÉS Z. (2006) *A Velencei-tó flórájának változásai* KITAIBELIA XI/1 Különszám az Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében VII. című konferenciára, Debrecen

ISTVÁNOVICS, V., HONTI, M., TORMA, P., KOUSAL, J. (2022) *Record-setting algal bloom in polymictic Lake Balaton (Hungary): A synergistic impact of climate change and (mis)management* Freshwater BiologyVolume 67, Issue 6 p. 1091-1106 Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: https://doi.org/10.1111/fwb.13903

LÖFFLER, H. (1957): *Vergleichende limnologische Untersuchungen an den Gewässern des Seewinkels (Burgenland).* – Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien 97: 27–52.

LÖFFLER, H. (1959): *Zur Limnologie, Entomostraken und Rotatorien fauna des Seewinkelgebietes (Burgenland, Österreich).* – Sitzungsberichte der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung I. 168: 315–362

LÖFFLER, H. (1971): *Geographische Verteilung und Enthstehung von Alkaliseen.* – Sitzungsberichte der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung I. 179: 163–170.

MEGYERI J. (1959): *Az alföldi szikes vizek összehasonlító hidrobiológiai vizsgálata*. – Acta Academiae Paedagogicae Szegediensis 11: 91– 170.

MEZŐSI G. (2011): *Magyarország természetföldrajza*, Akadémia kiadó

NOGRADY, T. (1983): *Succession of planktonic rotifer populations in some lakes of the Eastern Rift Valley*, Kenya. – Hydrobiologia 98: 45– 54.

PÉNZES B. (1974): *A Velencei-tó halfaunájának alakulása néhány új faj betelepítésével kapcsolatban*. Állattani Közlemények 61: 110–116.

PESTY F. (1864): Kéziratos gyűjtés a Széchenyi könyvtárban.

PURGEL I., SZABÓ I. (2019): *Hej halászok, horgászok és az ő cselekedeteik Fejér megyében.* Agrárminisztérium Halgazdálkodási Főosztály, Duna-Mix Kft., Budapest, p. 14-29.

RÉPÁSSY M. (1914): *A Velenczei tóról.* Halászat 15/13, p. 145-147.

SEAMAN, M. T. – ASHTON, P. J. – WILLIAMS W. D. (1991): *Inland salt waters of southern Africa.* – Hydrobiologia 210: 75–91.

SÉDI K. (1944): *A Velencei-tó. Búvár* (1935-1944), Budapest,1937. (3. évf.) 8. sz. 609-612. old.

SOLYMOS E. (1996): *A Velencei-tó halászata*. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 9-14.

SOMOGYI, B., FELFÖLDI, T., VANYOVSZKI, J. (2009) *et al. Winter bloom of picoeukaryotes in Hungarian shallow turbid soda pans and the role of light and temperature. Aquat Ecol* 43, 735–744. Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: https://doi.org/10.1007/s10452-009-9269-0

STENGER-KOVÁCS CS. (2012): *Az éghajlatváltozás következménye: szikes tavak és algaközösségeinek veszélyeztetettsége*. Iskolakultúra: pedagógusok szakmai-tudományos folyóirata, 2013. (23. évf.) 12. sz. 86-94.

SZABÓ M. & FEJÉR V. (1978): *A Velencei-tó vízgazdálkodása Vízügyi Dokumentáció és Továbbképző Intézet* Budapest,

V.-BALOGH K., NÉMETH B., VÖRÖS L. (2010): *Szervesanyagok magyarországi fehér vizű szikes tavakban.* – Acta biologica debrecina, Supplementum oecologica hungarica 22: 75-86.

VÖRÖS L., BALOGH V.K., BOROS E. (2005): *Pikoplankton dominancia szikes tavakban*. Hidrol. Közl. 85: 166-168.

WAISER, M.J., ROBARTS, R.D. (2009). *Saline Inland Waters. in: Likens, G.E. (Ed.)*, Encyclopedia of Inland Waters, volume 2. Elsevier, Amsterdam, pp. 634–644.

WILLIAMS, W. D. (2005): *Lakes in arid environments.* In: O'Sullivan, P. E. és Reynolds, C. S. (szerk.): The Lake Handbook Vol 2, Lake Restoration and Rehabilitation: 200−240. Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Carlton.

WILLIAMS, W.D. (1991): *Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview.* – Hydrobiologia 210: 39–66.

WOYNÁROVICH, A., KOVÁCS É., NAGY S. A. (2018) A VÍZMINŐSÉG ÁLLAPOTÁNAK FELMÉRÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE, GYAKORLATI ÚTMUTATÓ TERMÉSZETESVÍZI HALGAZDÁLKODÓKNAK ÉS TÓGAZDASÁGI HALTERMELŐKNEK, Klenovics Gábor főosztályvezető, Agrárminisztérium, Halgazdálkodási Főosztály Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: https://halaszat.kormany.hu/download/d/06/72000/V%C3%ADzmin%C5%91s%C3%A9g%20felm%C3%A9r%C3%A9se_2019-Ebook.pdf

WOYNÁROVICH E. (1941): *Néhány magyarországi víz kémiai sajátságairól*. – A Magyar Biológiai Kutatóintézet Munkái. 13: 302–315.

http 1: DUNA RÉSZVÍZGYŰJTŐ közreadja: Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, 2010. április Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: http://www2.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto_VGT_Duna.pdf

http 2: Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság 2009. augusztus Víz Keretirányelv hazai megvalósítása VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV 1-14. jelű, Velencei-tó vízgyűjtő Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: http://www2.vizeink.hu/files/vizeink.hu_0403_1-14_Alegyseg_Velencei-to.pdf

http 3 Velencei-tó élővilága. Letöltés dátuma: 2023. 11. 01. forrás: http://www.nadap.hu/kiop/content/2_0.htm

9. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: A Velencei-tó merisztikus adatai 140-170 cm közötti vízállás esetén (forrás: KDTVIZIG)11. oldal

3. ábra: A Velencei-tó vízszintszabályozási tartományai (forrás: KDTVIZIG) 15.oldal

2. ábra: Áttekintő helyszínrajz a Velencei-tó vízgyűjtőjének hidrológiai észlelőhálózatáról (forrás: KDTVIZIG, A Velencei-tó és tározóinak együttes üzemeltetési szabályzata) 16.oldal

3. ábra: A KDTVIZIG mintavételi helyei a Velencei-tavon (forrás: Google térkép) 24.oldal

4. ábra: A Fürdető mintavételi hely pH-jának trendje (2001-2022) (forrás: Saját szerkesztés) 26. oldal

5. ábra: A Nagy-tisztás mintavételi hely pH-jának trendje (2001-2022) (forrás: Saját szerkesztés) 27. oldal

6. ábra: A Német-tisztás mintavételi hely pH-jának trendje (2001-2022) (forrás: Saját szerkesztés) 27. oldal

7. ábra: A Fürdető fajlagos elektromos vezetőképességének változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 28. oldal

8. ábra: A Nagy-tisztás fajlagos elektromos vezetőképességének változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 28. oldal

9. ábra: A Német-tisztás fajlagos elektromos vezetőképességének változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 28. oldal

10. ábra: A Fürdető összes nitrogén koncentrációjának változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 29.oldal

11. ábra: A Nagy-tisztás összes nitrogén koncentrációjának változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 30. oldal

12. ábra: A Nagy-tisztás összes nitrogén koncentrációjának változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 30. oldal

13. ábra: A Fürdető összes foszfor koncentrációinak változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 31. oldal

14. ábra: A Nagy-tisztás összes foszfor koncentrációinak változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 31. oldal

15. ábra: A Német-tisztás összes foszfor koncentrációinak változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 31. oldal

16. ábra: A Fürdető klorofill-a koncentrációinak változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 32. oldal

17. ábra: A Nagy-tisztás klorofill-a koncentrációinak változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 32. oldal

18. ábra: A Német-tisztás klorofill-a koncentrációinak változása 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 33.oldal

19. ábra: A klorofill-a koncentrációk sokévi (2001-2022) átlagai a három mintavételi helyen (forrás: Saját szerkesztés) 34.oldal

40. ábra: A Füredető mintavételi hely különböző időpillanatokban regisztrált vízminőségi változóinak főkomponens aznalízise (PCA biplot, havi átlagértékek) (forrás: Saját szerkesztés) 35.oldal

21. ábra: A Nagy-tisztás mintavételi hely különböző időpillanatokban regisztrált vízminőségi változóinak főkomponens aznalízise (PCA biplot, havi átlagértékek) (forrás: Saját szerkesztés) 35.oldal

22. ábra: A Német-tisztás mintavételi hely különböző időpillanatokban regisztrált vízminőségi változóinak főkomponens aznalízise (PCA biplot, havi átlagértékek) (forrás: Saját szerkesztés) 36.oldal

23. ábra: A Velencei-tó vízállásának trendje 2001 és 2022 között (forrás: Saját szerkesztés) 37.oldal

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Pálinkás-Mile Edit
A Hallgató Neptun kódja:	XNT8SQ
A dolgozat címe:	VELENCEI-TÓ VÍZMINŐSÉGÉNEK HOSSZÚ TÁVÚ VIZSGÁLATA
A megjelenés éve:	2023
A konzulens intézetének neve:	Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Természetesvízi Halökológiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023. év november hó 04. nap

Pálinkás-Mile Edit

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Pálinkás-Mile Edit (hallgató Neptun azonosítója: XNT8SQ) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom** / **nem javaslom**[1].

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*[2]

Kelt: 2023. év november hó 04. nap

belső konzulens

[1] A megfelelő aláhúzandó.
[2] A megfelelő aláhúzandó.