

# Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

---

## A Balaton tápanyagterhelésének mérlege, mérése és modellezése, 2023. évre

Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

Székesfehérvár, 2024. július

---

## TARTALOMJEGYZÉK:

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ .....	3
2. BEVEZETÉS .....	5
3. A BALATON EUTROFIZÁLÓDÁSI HELYZETE .....	5
3.1 Balaton trofitásáról.....	6
3.2 A Balaton tápanyagterheléséről .....	18
3.2 A Balaton 2023. évi terhelésének becslése .....	20
4 ÖSSZEFOGLALÁS.....	25

## VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

A Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóságon 2015-től újra elvégezzük a Balaton tápanyagterhelési mérleg számítását, Dr. Prof. Jolánkai Géza által a VITUKI-ban kidolgozott módszer alapján.

Ez a jelentés a 2023. évi tápanyagterhelési mérleg eredményeit tartalmazza. Az értékelő és adatfeldolgozó munkában a vízrajzi értékelő csoport és a laboratórium dolgozói, a mérési munkákban a laboratórium és a vízrajzi mérőcsoportok munkatársai vettek részt. A tó állapotának alakulásának követését a hagyományos, változó gyakoriságú helyszíni mintavételek mellett folyamatos üzemű monitoring állomásokkal egészítettük ki.

A mérleg a Balaton terhelésének alakulását segít követni, a tó állapotának alakulásában kulcsszerepet játszó növényi tápanyagok hozzáférhetőségének becslésével. Az elkészítéséhez szükség volt a befolyókon érkező terhelés becslésére, így a mintavételi program kibővítésére, mivel 2007-től használhatatlanul kevés adat állt rendelkezésre. A szükséges mintavételeket és elemzéseket 2015 május végén indítottuk el, 2016-tól már egész évben mértünk, így az adathiányt sikerült minimálisra csökkenteni. A saját mérési eredmények mellett a Balaton vízgyűjtőjéről származó, mások (társ vízügyek, környezetvédelmi felügyelőségek, kormányhivatal laborok, OKIR FEVI adatbázis, stb.) által mért adatokat is összegyűjtöttük és felhasználtuk.

A Balatont érő légköri eredetű terhelésnél jelenleg a korábbi gyakorlatnak megfelelően a legutóbbi rendelkezésre álló adatot ismétljük. Az *Átfogó környezeti megfigyelő és tájékoztató rendszer a Balatonon* tárgyú KEHOP projekt keretében a balatoni légköri kihullás mérését lehetővé tevő mintavető berendezés beüzemelését követően már mérési adatok alapján próbáltuk a terhelést számolni, de egyelőre nem sikerült megoldani a mintagyűjtés időszakában a minták védelmét a madarak okozta szennyeződéstől. A tisztított szennyvíz bevezetések mérési eredményei a Révfülöpi és a Nemesgulácsi telep esetében voltak elérhetőek, egyedül a legkisebb kapacitású Zánkai telepről nem sikerült az adatbekérés. A szennyvíz eredetű terhelés becslését 2005 után 2023-tól újra az adott évi adatokra támaszkodva tudtuk becsülni.

A 2023. évi mérleg alapján a Balatonba a befolyókon, a közvetlen vízgyűjtőről és a légköri terhelésből összesen 2343 tonna nitrogén, 163 tonna foszfor jutott be. Az összes foszforon belül 66 tonnára becsülhető a biológiailag hozzáférhető foszfor, és 41 tonnára az ortofoszfát-foszfor. A zsiliprendszeren keresztül a Sió-csatornán 34,1 tonna nitrogén, 4,6 tonna összes foszfor, azon belül 0,1 tonna ortofoszfát-foszfor távozott a Balatonból.

A tó trofitási állapota 2020-2023 között, a vízminőséget tóközépen vizsgálva, nem tért el jelentősen az 1995 utáni időszakra jellemző kedvező állapottól. Ebben az időszakban nagy kiterjedésű és magas klorofill értéket mutató vízvirágzást nem tapasztaltunk.

A 2019 évi, a nyugati medencéket (Szigliget, Keszthely) érintő extrém algásodás 2023-ban sem ismétlődött meg. Térben és időben korlátozott, jellemzően strandokat, kikötőket, illetve egy esetben a Szemesi-medencét nagy kiterjedésben érintő vízminőségi problémák (vízvirágzások, élőbevonat felúszás, halpusztulás) 2020-2022-ben is előfordultak, 2023-ban a Siófoki-medencében, szeptemberben jegyeztünk fel tóközépen felúszó *Microcystis*.

2022 tavaszán üzembe léptek a mind a négy medence tóközépen elhelyezett folyamatos online vízminőségi monitoring méréseket lehetővé tevő szigetüzemű állomások, 2023-ban áprilistól novemberig működtek a négy medence vízminőségét folyamatosan, online elérhetően monitorozva.

A Balaton aktuális állapota ugyan jó, de a 2019. évi extrém állapot és a 2020-2022 során észlelt lokális vízminőségi problémák, valamint a kibővített monitoring keretében kapott mérési eredmények miatt a tervezett kutatási programban javasolt mérési programok és fejlesztések (Lóczi-program) elindítása feltétlenül indokolt lenne.

## 2. BEVEZETÉS

A munka legfontosabb feladata tápanyag-terhelési mérleg készítése a Balatonra, a 2009-ig használt, Prof. Dr. Jolánkai Géza által kidolgozott módszer alapján. A terhelés hosszú távú alakulása ezen számítások alapján vált jól követhetővé. A tápanyag-terhelés számítását sajnos eleve sok bizonytalanság terhelte, 2006 után a rendszeres vízminőség-mérési program drasztikus beszűkítése gyakorlatilag lehetetlenné tette. A Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóságon 2015-ben kezdtük el újra a munkát, újrakezdve balatoni befolyók terhelésének mérését, és a mérleg készítését a saját mérési program, illetve a mások által mért vízminőségi adatok felhasználásával.

A jelenleg végzett munka lehetővé teszi a terhelés becslését, de nem oldja meg a tápanyagterhelés becslés összes korábbi és jelenlegi problémáját. A terhelés számítással foglalkozó fejezetben kitérünk azokra a jelenségekre, amelyek a korábbi balatoni terhelés számítás-modellezés ellehetetlenüléséhez vezettek, valamint azokra a már folyamatban lévő és tervezett munkákra, melyekkel a terhelés számítását a későbbiekben pontosabbá tervezzük tenni.

## 3. A BALATON EUTROFIZÁLÓDÁSI HELYZETE

Az eutrofizáció jellemzésére leggyakrabban használt, az OECD által meghatározott kategóriák szerint az eutróf tartomány, amikor a klorofill-a éves maximuma 25-75 mg/m<sup>3</sup> között van, ez alatt az éves maximum alatt a víz mezotróf (0-25 mg/m<sup>3</sup>), fölötté pedig hipertróf (>75 mg/m<sup>3</sup>).

A Balaton trofitási (eutrofizálódási) mérőszámainak alakulásában éles különbség figyelhető meg az 1994 előtt és után mért klorofill maximumok alakulásában. 1981-től 1994-ig fokozatosan emelkedő tendenciát mértünk, a nyár végén menetrendszerűen jelentkező algásodás miatt a rossz vízminőséget jelző hipertróf állapot volt a jellemző. 1995 után az algásodás mértéke drasztikusan visszaesett, a korábban problémás algafaj, a süveges kékmoszat visszaszorult. Előfordultak ugyan kedvezőtlenebb évek, de a vízminőség alakulásában a korábbiakhoz képest egyértelműen jobb állapotok alakultak ki a nyári időszakban. Az algák mennyisége alapján jellemzően a mezotróf és eutróf kategóriába volt sorolható a vízminőség. Átmeneti vízminőségi problémát csak lokális, rövid ideig tartó jelenségek (felszíni vízvirágzások, élőbevonat felszakadása) okozhattak. Ezek a jelenségek mutatták, hogy a tó vízminőségével a nyár végi kiterjedt vízvirágzások visszaszorulása ellenére sincs minden rendben.

2019-ben a tó nyugati területein olyan magas klorofill éves maximumot mértünk, amilyen magasat korábban még sosem detektáltunk. Bár a jelenség feltárására tervezett kutatási program nem valósult meg, feltételezhető, hogy annak kialakulásáért a 2019. évi időjárási és hidrológiai helyzet a felelős. Abban az évben különösen gyakran alakultak ki olyan körülmények, ami a víz tartósabb rétegzettségének kialakulását, és ezzel az üledékből a foszfor felszabadulását lehetővé tette.

2020-2023 között megnövelt gyakorisággal vizsgáltuk a tó trofitási állapotának alakulását a nyári időszakban, igyekeztünk monitorozni a rétegzettség alakulását is, de nem mértünk problémákat okozó magas klorofill koncentrációt a tóközépeken. Azaz a 2019. évi kedvezőtlen állapot egyelőre nem ismétlődött meg, újra az utóbbi évtizedben jellemző, kedvező trofitási állapottal találkoztunk. Ugyanakkor –részben a kiterjesztett mérési és megfigyelési rendszernek, valamint a folyamatos üzemű szigetüzemű monitoring állomásoknak köszönhetően- a nyugati medencékben (Keszthelyi- és Szigligeti-medence), valamint a Szemesi-medencében többször is észleltünk lokális, egy esetben (2022) pedig kiterjedt felszíni vízvirágzást. 2023-ban a Siófoki-medencében alakult ki kora ősszel felszíni vízvirágzás, azaz a tó állapota továbbra is bizonytalan.

### 3.1 Balaton trofitásáról

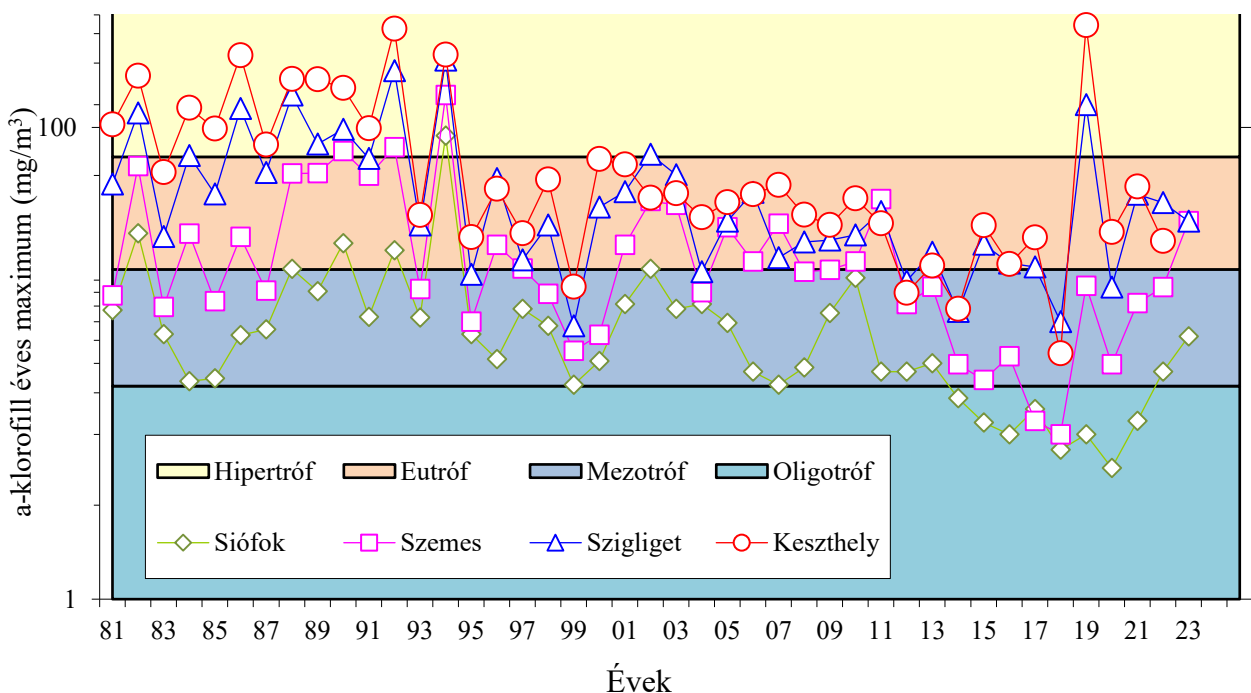
A Balaton vízminőségének alakulását a 70-es évek végétől a 90-es évek közepéig kedvezőtlen trofitási viszonyok, emelkedő algaszám, potenciálisan toxikus kéalgák dominanciája jellemezte, a nyugati medencék rendszeresen, a keletiek esetenként voltak hipertróf állapotúak.

A tó állapota a 70-es évek végén, a 80-as évek elején indult gyors romlásnak, amikor a tóban nyár végére egyre nagyobb mértékű tömegprodukciónak alakított ki a süveges kékoszat (*Raphidiopsis raciborskii*, korábban *Cylindrospermopsis raciborskii*) nevű fonalas nitrogénkötő cianobaktérium. A tóban erőteljes vízminőségi különbségek alakultak ki, kelet felől (Siófoki-medence) nyugatra (Keszthelyi-medence) haladva egyre rosszabb volt a vízminőség. A legrosszabb állapotokat jellemzően nyár végén lehetett mérni.

A 90-es évek közepén a helyzet szinte ugrásszerűen javult meg. Az éves klorofill maximumok alakulásának alapján is egyértelműen látható a jelentős mértékű és tartós csökkenés.

A Balaton négy medencéjének éves a-klorofill koncentráció maximumait medencénként tüntettük fel, a kedvezőtlen (hipertróf) állapotot sárga sáv jelöli. 1995-2018 és 2020-2023 között a mezotróf-eutróf, a keleti medencékben egyre inkább oligotróf vízminőség volt a jellemző. Extrém kivétel a 2019-es év, amikor a Keszthelyi- és Szigligeti-medencékben minden korábbi értéket meghaladóan magas klorofill értékeket mértünk, és mellette vízvirágzás is kialakult, a nyugati medencékben a vízfelszínen úszó algatömegek is megjelentek.

A Balaton trofitásának alakulása az a-klorofill maximumok alapján, 1981-2023



A Balaton trofitásának alakulása a négy medencében.  
A klorofill koncentrációkat jelző tengely logaritmikus beosztású.

A tó hossz tengelye mentén megfigyelhető vízminőség eltérések kialakulásának oka, hogy a vízgyűjtőről a tavat érő terhelés eloszlása aszimmetrikus. A legtöbb tápanyagot szállító vízfolyás, a Zala-folyó és a tó vizét levezető Sió-csatorna a hosszan elnyúló tó két ellentétes végén helyezkedik el. A tó alakja is elnyújtott, nyugaton kisebb, keleten nagyobb ösztér fogatú medencékkel. Ennek megfelelően az egyes medencék fajlagos terhelése is változik, nyugatról kelet felé határozottan csökken. Ennek köszönhetően alakult ki a Balatonban a nyugat-kelet irányú trofitási gradiens, ami a vegetációs időszakban a leginkább feltűnő. A tápanyaggal jobban ellátott, nyugati tórész (Keszthelyi- és Szigliget-medence) rendszerint elalgásodottabb, míg a keleti tórész (Szemesi-, Siófoki-medence) algában szegényesebb vízű.

A terhelés eloszlásának megfelelően elsősorban a tó nyugati medencéiben, azon belül is a Keszthelyi-medencében okoztak erőteljes vízminőség romlást a nyárvégi kékalga (cianobaktérium) dominanciájú tömegtermékek. A folyamat a 90-es évek közepéig egyre inkább kiterjedni látszott, a 1990-es évek első felében már a korábban kedvezőbb állapotú keleti medencékben is nagy tömegben szaporodtak el az algák, 1994-ben nyár végére az egész tó hipertrófiává vált.

1995-tel kezdődően viszont sokkal jobb vízminőségi állapotokat tapasztaltunk, a kékalga tömegtermékek visszaszorultak, az eutróf tartomány vált jellemzővé. Míg 1992-ben és 1994-ben a Keszthelyi-öböl maximális klorofill-a koncentrációi meghaladták a 200 mg/m<sup>3</sup> értéket, 1995 után már csak egy-két alkalommal közelítette meg a tóban mért éves maximum a 75 mg/m<sup>3</sup>-es hipertróf határértéket. 2012-ben, 2014-ben és 2018-ban kiemelkedően kedvezően alakult a vízminőségi helyzet, még Keszthelynél is mezotróf szinten belül maradt a klorofill maximum.

2019-ben, augusztus végén kiterjedt felszíni vízvirágzást tapasztaltunk a Keszthelyi- és Szigligeti-medencékben, és a klorofill koncentráció újra meghaladta a hipertróf szintet. A jelenséget ezúttal nem a 90-es években domináns süveges kékmoszor okozta, hanem két másik algafaj (egy kékalga és egy páncélos ostoros faj) szaporodott el tömegesen.

2019-ben a Balatonban nemcsak a nyár végén, de már a kora nyári időszakban is észleltünk vízvirágzást. Az első vízminőségileg problémás algatermék július első napjaiban alakult ki a Keszthelyi-medencében. A víz klorofill-a koncentrációja akkor még nem haladta meg a hipertróf határértéket. Ezt követte augusztus végén, szeptember elején a Keszthelyi- és Szigligeti-medencékben jelentkező kiterjedt vízvirágzás. Ekkor a klorofill koncentráció is átlépte a hipertróf szintet, a Keszthelyi tóközépen mért legmagasabb klorofill-a koncentráció 314 mg/m<sup>3</sup>, Szigligetnél 125 mg/m<sup>3</sup> volt. A Zala-torkolathoz közeli mintavételi ponton egy extrém magas, 600 mg/m<sup>3</sup> feletti értéket is mértünk. Ezt az extrém adatot az algológiai vizsgálatok, elsősorban a biomasz értékek is alátámasztják.

2020 évben az algásodási helyzetet fokozott figyelemmel kísértük, a tó állapotát a korábban szokásos rendszerhez képest több helyen, több vízrétegben, és több paraméterre vizsgáltuk. A korábban szokásos átlagminta mellett elemeztünk felszíni és az üledékréteg feletti vízrétegből vett mintákat is. Bár lokális algásodást, *Dolichospermum flos-aquae* dominanciával esetenként fel tudtunk jegyezni, a jelenség sem térben, sem időben nem vált kiterjedtté.

2021-ben hasonló intenzitással mintáztuk és mértük a tavat, de ez évben sem tapasztaltunk a nyílt vizet érintő algásodást, alacsony klorofill koncentrációk voltak jellemzően mérhetőek. A nyílt vízben leggyakrabban előforduló algák a 2019. év nyár végi klorofill csúcsokat és a Keszthelyi- illetve Szemesi-medencében a felszíni vízvirágzást okozó *Aphanizomenon flos-aquae* és a *Ceratium furcoides* fajok voltak. A *Dolichospermum flos-aquae* rövidebb ideig tartó, lokális vízvirágzásokat okozott ebben az évben.

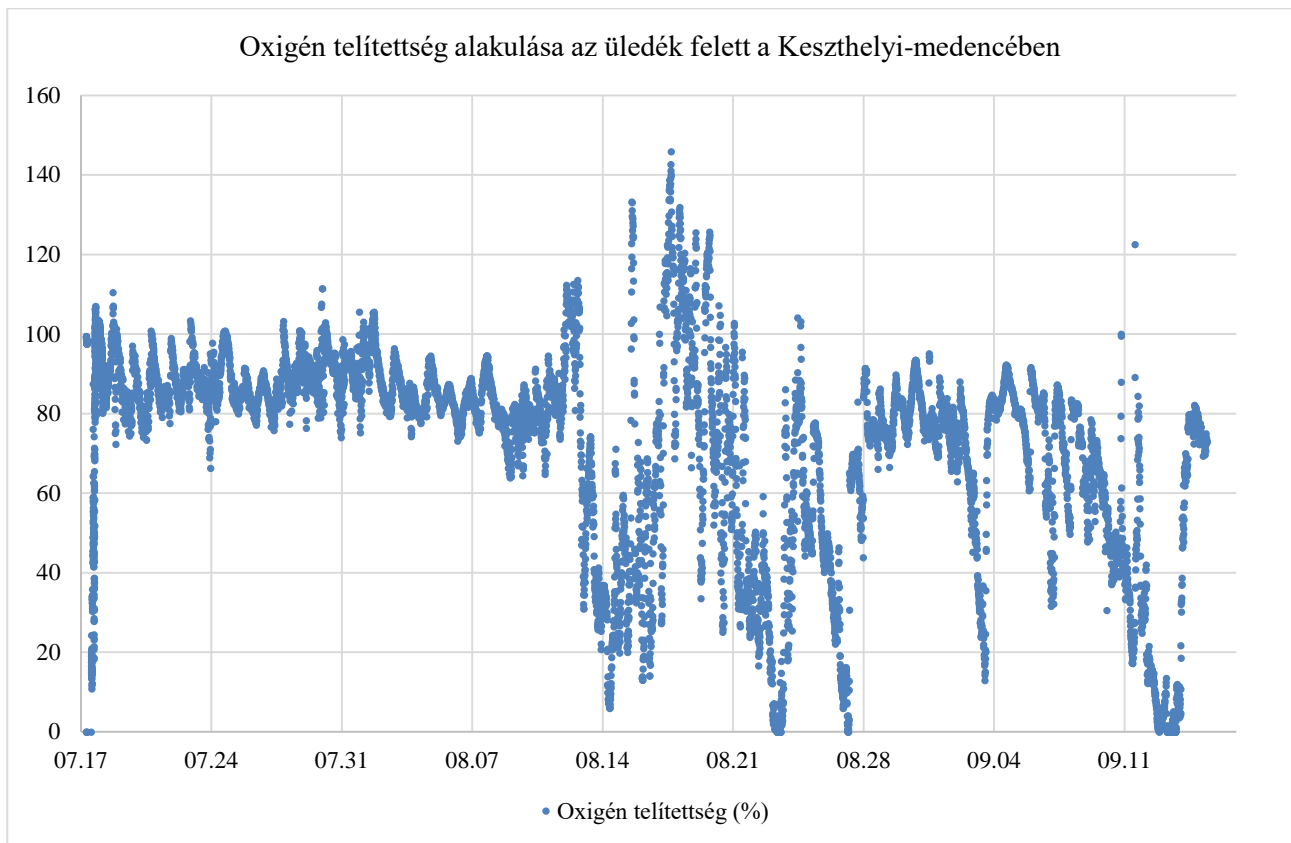
2022-ben az előző évhez hasonló mintavételek mellett a négy tóközépen (Siófoki-, Szemesi-, Szigligeti- és Keszthelyi-medencében) egy-egy szigetüzemű monitoring állomást is üzemeltettünk. A rendszer számos funkciót látott el egyidejűleg, része volt a viharjelző rendszernek, helyet biztosított kutatások műszerei számára, valamint meteorológiai, vízrajzi, vízminőségi paraméterek folyamatos mérése és a mért adatok online továbbítása mellett 360 fokban képeket is készített és rögzített a vízről. Így a vegetációs időszakból folyamatos mérésekkel tudtuk figyelemmel kísérni a vízminőség alakulását a tóközépen. A rendszer nagy előnye, hogy nagy megbízhatósággal tudott adatokat gyűjteni nemcsak munkaidőben, de éjszaka, hétvégi és munkaszüneti napokon, illetve kedvezőtlen időjárású időszakokban (viharos szél, eső, hullámmás, azaz hajózásra alkalmatlan körülmények között) is. 2022-ben a Szemesi-medencében észleltünk alacsony klorofill koncentráció mellett átmeneti jellegű, de kiterjedt *Microcystis* dominanciájú vízvirágzást.



*Felúszó Microcystis telepek a Szemesi-medence tóközépen (Szemesi szigetüzemű állomás)*

2023-ban az előző évhez hasonló mintavételi programot végeztünk, és üzemeltek a szigetüzemű állomások is a négy medencében. A platformokra tervezett profilozó (a vízoszlopban kialakuló rétegzettséget is mérni képes) rendszer beüzemelésére sajnos nem sikerült forrást fordítani. Ezért a felszín közeli mérések mellett Keszthelyi-medence tóközépen üzembe helyeztünk egy-egy folyamatos mérésre alkalmas műszert és automata mintavevőt a felszínen kialakuló vízvirágzások, valamint az üledékfelszín közelében kialakuló oxigén hiányos állapot detektálására és mintázására.

Alga felúszást Keszthely-tóközépen nem észleltünk, üledék feletti oxigénhiány több alkalommal alakult ki. Az oxigénhiányos üledék feletti vízrétegből sikerült néhány mintát venni (augusztusban négyszer, szeptemberben egyszer), és ezek között akadt olyan is (08.13-i minta), melyből sikerült a megemelkedett foszfát koncentrációt kimutatni. Ez a néhány eredmény is arra utal, hogy a 2019-események kialakulásához vezető feltételek mérésekkel igazolhatóan fennállhatnak a Balaton nyugati medencéiben. Az automatikus rétegzettség mérések költségére sajnos 2024-ben sem sikerült forrást találni.



Az oxigén telítettség alakulása Keszthelyi-medence tóközépen az üledék feletti vízrétegben

A fitoplankton összetételének alakulását a tóban domináns algafajok összetételének, tér- és időbeli alakulásának alapján elemezzük.

A Balatonból 2023-ban a négy tóközépen és a Zala-torkolatból összesen 24 különböző időpontban vett 172 algaminta feldolgozására került sor, a mintavétel március 22-e és november 24-e közötti időszakot öleli át. A fénymikroszkópos vizsgálat során valamennyi mintából feljegyzésre kerültek a domináns algataxonok. Az algacsoportok biomassza becslésére fordított mikroszkópos algaszámlálást, Utermöhl-féle módszert alkalmaztunk (UTERMÖHL 1958, LUND ET AL. 1958).

A mikroszkópos vizsgálat algadominancia és algaszámlálás adataiból, valamint a klorofill-a mérési eredményekből kiindulva, az egyes tórészek trofitásbeli különbségeire, a Balaton algológiai szempontú vízminőségére lehetett következtetéseket levonni.

Rendszeres rétegvizsgálatok május 15-étől, az algásodással, tápanyag-terheléssel leginkább érintett nyugati tórészben, a Szigligeti és Keszthelyi-medencékben történtek. Ezen kívül március 22-én Siófokon és Keszthelyen volt egy-egy koratavaszi rétegmintavétel.

Ütemezett mintavételi rendtől eltérő mintavételi események: Néhány alkalommal a *YSI EXO* multiparaméteres szonda a klorofill függély menti eloszlásában klorofill csúcsokat jelzett. Ilyen extra rétegvizsgálati alkalmak voltak augusztus 24-én és szeptember 14-én a keszthelyi tóközépen, amikor a felszín, átlag és üledék feletti vízrétegeken kívül 1 m, 2 m és 3 m mélységekből is vettünk mintát.

2023. szeptember 11-én a Siófoki tóközépen *Microcystis spp.* kékalga telepei úsztak a vízfelszínen, ekkor a felúszóból, a felszínről vett néhány centiméteres réteg képezte az algamintát.

A mikroszkópos vizsgálatok alapján a potenciálisan toxintermelő kéalgák, továbbá a fecskemoszatok és a barázdás ostoros algák a domináns planktonalgái a Balatonnak. Az értékelésnél egy algacsoport akkor számított dominánsnak az adott mintavételi helyszínen (Keszthely- és Szigliget tóközépen), ha a mintavételi helyen az adott időpontban legalább egy vízrétegben (felszín, átlag, mély) meghatározó mennyiségben jelent meg.

A fecskemoszatok és a toxintermelésre hajlamos kéalgák jellegzetes összetevői a balatoni, elsősorban a nyári algaplanktonnak. Kitartó dominanciájuk az víz bealgásodásának nagyobb valószínűségét jelzi.

2023-ban a tó uralkodó algái között voltak a balatoni nyári plankton jellegzetes képviselői, a páncélos ostoros fecskemoszatok (*Ceratium furcoides*, *Ceratium hirundinella*). Szintén a tóra jellemzően gyakoriak a toxintermelésre hajlamos fonalas kéalgák, mint az *Aphanizomenon issatschenkoi*, *Aphanizomenon klebahnii* és *Raphidiopsis raciborskii*. Elsősorban a tó nyugati felében (Keszthelyi-medence, Szigligeti-medence) az apró barázdás *Rhodomonas minuta* és *Cryptomonas spp.* ostorosok jelentek meg meghatározó számban a tó algaplanktonjában.

A 2023-as balatoni planktonképet, a tóra jellemzően, a potenciálisan toxintermelő kéalgák és fecskemoszatok határozták meg elsősorban. A tó algákhoz köthető vízminőségi problémái jelenleg ehhez a két algacsoporthoz kapcsolódnak. A múlt század jelentős algásodásait is a toxintermelésre képes kéalgák okozták, és bár 1995 után a hipertróf állapotok, a jelentős algatömegtermelések megszűntek, de a nyári és kora őszi algabiomassza csúcsokat továbbra is döntő arányban közéjük tartozó algafajok dominálták. A vegetációs időszak melegebb szakaszában tűnnek fel és terjednek el a fecskemoszatok, amelynek két faja terjedt el elsősorban a tóban: a balatoni fecskemoszat, a *Ceratium hirundinella*, ami a fonalas kéalga virágzások időszaka előtti kedvezőbb vízminőség jellemző algája, és a *Ceratium furcoides*, amely pedig a tóban egy invazív algafaj. 2019-ben a *Ceratium furcoides* és *Aphanizomenon flos-aquae* kéalga túlszaporodása okozott nyárvégi tömeges algásodást a Keszthelyi-öbölben.

Baltoni fitoplanktonot meghatározó algák dominancia alkalmainak száma az egyes mintavételi helyszíneken 2023-ban (márc.22.-nov.24.)

		Siófoki- tkp.	Szemes tkp.	Szigliget tkp.	Keszthely tkp.	Zala-torkolat	Dominancia alkalmak átlagos száma a Balatonban	Maximális dominancia alkalom
Összes mintavételi időpont száma:		18	19	20	22	18		
<b>Leggyakrabban domináns algák 2023-ban:</b>								
<b>Fecskemoszatok</b>	<b>Ceratium furcoides</b>	10	13	15	16	10	12,8	16
	<b>Ceratium hirundinella</b>	13	8	7	6	4	7,6	13
<b>Toxintermelésre képes kékalga</b>	<b>Aphanizomenon issatschenkoi</b>	0	7	9	12	10	7,6	12
	<b>Aphanizomenon klebahnii</b>	8	10	10	14	10	10,4	14
	<b>Raphidiopsis raciborskii</b>	1	4	8	10	6	5,8	10
<b>Barázdás ostoros</b>	<b>Cryptomonas spp.</b>	0	0	3	8	9	4,0	9
	<b>Rhodomonas minuta</b>	4	6	12	17	6	9,0	17
<b>Kovaalga</b>	<b>Cyclotella sp.</b>	3	5	6	5	1	4,0	6
<b>Kékalga</b>	<b>Néhány mikronos, többnyire pikoalga (2 µm-nél kisebb)</b>	6	6	7	8	6	6,6	8
<b>Ritkábban domináns algák:</b>								
<b>Toxintermelésre képes kékalga</b>	<b>Aphanizomenon flos-aquae</b>	0	0	3	4	2	1,8	4
	<b>Dolichospermum spp.</b>	0	0	2	2	2	1,2	2
	<b>Oscillatoria agardhii</b>	0	1	1	2	3	1,4	3
	<b>Raphidiopsis mediterranea</b>	0	0	2	2	2	1,2	2
<b>Fonalas, nem toxikus kékalga</b>	<b>Lyngbya circumcreta</b>	2	0	1	0	0	0,6	2
	<b>Lyngbya contorta</b>	0	0	0	0	2	0,4	2
	<b>Lyngbya limnetica</b>	0	2	2	3	1	1,6	3
<b>Zöldalga</b>	<b>Closterium aciculare</b>	1	4	1	0	0	1,2	4
	<b>Closterium acutum var. variabile</b>	0	2	3	2	0	1,4	3
	<b>Monoraphidium contortum</b>	0	0	0	2	1	0,6	2
<b>Kovaalga</b>	<b>Aulacoseria granulata</b>	1	0	0	0	0	0,2	1
	<b>Aulacoseria granulata var. angustissima</b>	1	0	0	1	1	0,6	1
	<b>Nitzschia acicularis</b>	1	0	0	1	2	0,8	2
	<b>Nitzschia sigmoidea</b>	1	0	0	0	0	0,2	1
	<b>Surirella robusta var. splendida</b>	0	0	1	0	0	0,2	1
	<b>Synedra acus</b>	0	0	0	1	1	0,4	1
<b>Sárgás ostoros alga</b>	<b>Chrysocromulina parva</b>	2	3	2	5	2	2,8	5
	<b>Dinobryon sp.</b>	0	0	0	0	1	0,2	1
	<b>Synura sp.</b>	0	0	0	0	1	0,2	1

		03.22.	05.15.	06.07.	06.13.	06.21.	06.26.	07.11.	07.18.	07.28.	08.02.	08.10.	08.15.	08.21.	08.24.	08.31.	09.11.	09.14.	09.20.	09.27.	10.03.	10.18.	11.20.	11.21.	11.24.
Toxintermelésre hajlamos kékalga	Siófoki-tpk.										tk	tk	tk	tk	X	tk	tk	X	tk	X	tk		X	X	X
	Szemes tkp.							tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	X		tk	X	tk	X	tk	tk	X	X	
	Szigliget tkp.				tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	X	tk	tk	X	tk	tk	tk	tk		X	X
	Keszthely tkp.			tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	X		X
	Zala-torkolat			tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	X	tk	tk	tk	X	tk	X	tk	tk	X	X
Fecskemoszatok	Siófoki-tpk.			f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	X	f	f	X	f	X			X	X	X
	Szemes tkp.			f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	X	f	f	X	f	X	f			X	X
	Szigliget tkp.			f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	X	f	f	X	f	f	f			X	X
	Keszthely tkp.			f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f		f			X	X
	Zala-torkolat						f	f	f	f	f	f	f	f	X	f		X	f	X			X	X	X

Dominancia táblázat: a fecskemoszatok és toxintermelésre képes kékalgák dominanciája a Balatonban, 2023

Domináns: az algaplankton meghatározó részét képezi. A dominancia nem feltétlenül jár együtt az alga jelentős mennyiségével, elősorban döntő arányát jelenti a planktonban.

f: fecskemoszatok, *Ceratium hirundinella* és *C. furcoides* dominanciája

tk: egy vagy többféle toxintermelésre képes kékalga dominanciája valamelyik vízrétegben az adott mintavételi ponton

X: nincs mintavétel

üres négyzet: nem domináns a kérdéses algacsoport az adott időpontban

Ugyanabban az időpontban és mintában egyszerre több algataxon lehet domináns.

A fecskemoszatok, nyári algák, először a június 13-án vett mintákban lettek dominánsak valamennyi tóközépen, míg október 18-án mennyiségük már nem volt számottevő a balatoni planktonban, egyedszámuk nagyjából egyidőben csökkent le az egyes tómedencékben.

2022-höz hasonlóan a kékalgák elterjedése 2023-ban is fokozatosan történt a tóban, a nagyobb trofitású nyugati tórészből keleti irányban haladva. Az egyes tómedencékben a szomszédos medencékhez képest kb. két-három hét késéssel jelentek meg domináns összetevőként a toxintermelésre képes kékalgák. Azaz amíg a nyugati tórészben júniusban, a szemesi tórészben júliusban, addig Siófokon csak augusztus elején tűntek fel az algaplanktonban meghatározó arányban a toxintermelésre képes kékalgák. A kékalga dominancia október közepéig tartott ki a tóban, Siófok kivételével, ahol egy héttel korábban, október 3-án az véget ért.

Az egyes toxintermelő kékalgafajok elszaporodásának időbeli egymásutánisága, szukcessziója eltért az különböző tórészekben: Legkorábban, június közepétől az *Aphanizomenon klebahnii*, az *Aphanizomenon issatschenkoii* pedig július közepétől vált fokozatosan dominánssá nyugatról kelet felé terjedve. A múlt század kilencvenes éveiben a tóban nyárvégi algásodásokat okozó *Raphidiopsis raciborskii* idén augusztus közepén, a nyugati tórészben lett domináns először. A tó keleti felében csupán egy hónap múlva, szeptember közepén tűnt fel döntő arányban a planktonban, de alacsony egyedszámmal, továbbra is alacsony klorofill-a tartalom mellett volt jelen a vízben.

Vízminőségileg kedvező, hogy 2023-ban az *Aphanizomenon flos-aquae* dominancia időszaka sokkal rövidebb (június-július) volt, mint 2022-ben. 2022-ben Keszthelyen és Szigligeten még októberben is nagy mennyiségben gyűltek össze ennek a kékalgának a fonalai a vízfelszín közelében. 2023-ban a vizsgált algaminták alapján a tóban az *Aphanizomenon flos-aquae* elszaporodásához nem kapcsolódott a víz klorofill-a tartalmának jelentősebb, határértéket is meghaladó emelkedése.

Toxintermelésre képes kéalgák, 2023	05.22.	05.15.	06.07.	06.13.	06.21.	06.26.	07.11.	07.18.	07.28.	08.02.	08.10.	08.15.	08.21.	08.24.	08.31.	09.11.	09.14.	09.20.	09.27.	10.03.	10.18.	11.20.	11.21.	11.24.
Siófoki-tkp.														X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Szemes tkp.														X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Szigliget tkp.						D Sd								X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Keszthelyi tkp.						D Sd								X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zala-torkolat						Sd D								X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Siófoki-tkp.														X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Szemes tkp.														X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Szigliget tkp.						D D Sd								X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Keszthelyi tkp.						D D D D								X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zala-torkolat						D D								X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Siófoki-tkp.										D D D D					D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Szemes tkp.										D D D D D D D					Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
Szigliget tkp.										D D D D D D D					Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
Keszthelyi tkp.										D D D Sd D D D D D D D					Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
Zala-torkolat										Sd D D Sd D Sd Sd D					Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
Siófoki-tkp.																								
Szemes tkp.																								
Szigliget tkp.																								
Keszthelyi tkp.																								
Zala-torkolat																								
Siófoki-tkp.																								
Szemes tkp.																								
Szigliget tkp.																								
Keszthelyi tkp.																								
Zala-torkolat																								
Siófoki-tkp.																								
Szemes tkp.																								
Szigliget tkp.																								
Keszthelyi tkp.																								
Zala-torkolat																								
Siófoki-tkp.																								
Szemes tkp.																								
Szigliget tkp.																								
Keszthelyi tkp.																								
Zala-torkolat																								

Dominancia táblázat: az egyes toxintermelésre képes kéalgák dominanciája a Balatonban, 2023

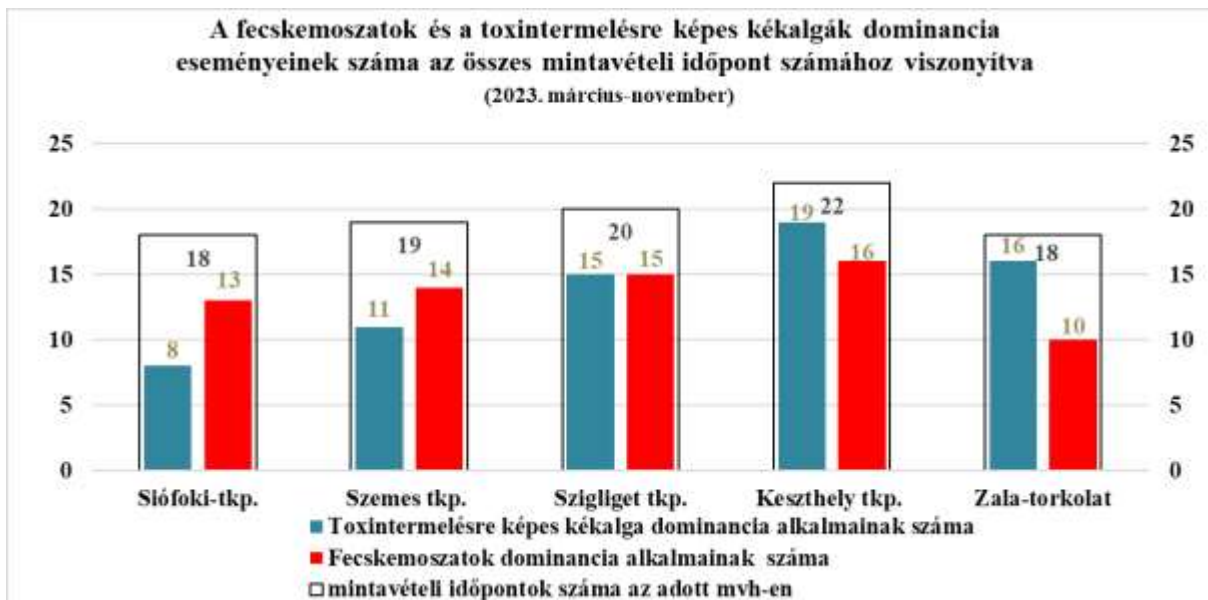
Domináns: az algaplankton meghatározó részét képezi. A dominancia nem feltétlenül jár együtt az alga jelentős mennyiségével, elősorban döntő arányát jelenti a planktonban.

D: domináns, Sd: szubdomináns X: nincs mintavétel, üres négyzet: nem domináns a kérdéses algacsoport az adott időpontban Ugyanabban az időpontban és mintában egyszerre több algataxon lehet domináns.

Összességében elmondható, hogy a potenciálisan toxikus kéalgák dominancia időszaka a tóban megszokott módon 2023-ban is a nyugati tórészben előbb kezdődött és hosszabb ideig tartott. A toxintermelésre hajlamos kéalgáknak az időben fokozatos nyugat-keleti irányú elterjedése a tó hossz tengelyében a tóra jellemző kelet-nyugati irányú trofitási gradienst jelzi.

Ritkábban alakult ki toxintermelésre képes kéalga dominancia a keleti tórészben (Siófoknál és Szemesnél), viszont itt gyakrabban meghatározó algái a balatoni planktonnak a fecskemoszatok, mint a Keszthelyi-medencében (Keszthelyi tóközép és Zala-torkolat). Szigliget egyfajta átmenetet képez 2023-ban, itt a két algacsoport megfigyelt dominancia gyakorisága megegyezett.

A 2022-es évhez hasonlóan alakult 2023-ban is a két algacsoport dominancia gyakoriságának tó hossz tengely menti megoszlása: A keleti tórészben ritkábban dominánsak a víz algásodásához, köthető, toxintermelésre képes kéalgák, mint a nyugati tórészben. A 2023-ban nemcsak a Siófoki-medencében, hanem a Szemesi-medencében is gyakoribb domináns összetevői voltak a planktonnak a fecskemoszatok a kéalgákhoz képest.



A rétegmintázás esetében-elsősorban Keszthelynél, Szigligetnél- egy adott mintavételi időponthoz több (három: felszín, átlag, mély) algaminta is tartozik ugyanahhoz a mintavételi helyhez. Adott mintavételi ponton dominánsnak számított az algataxon, ha legalább egyik mintázott rétegben domináns lett.

A kékalgák és fecskemoszatok többféle alfafajból tevődnek össze, ha valamelyik képviselőjük domináns lett, akkor az algacsoport dominánsnak számított.

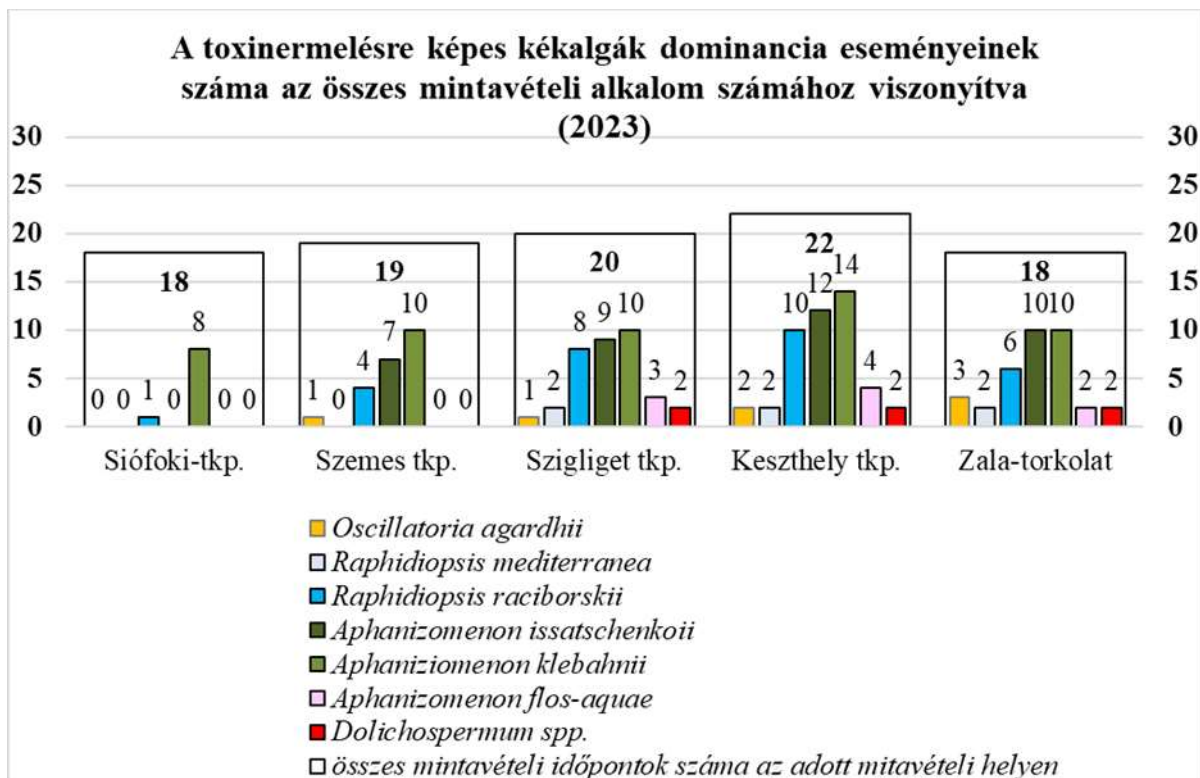
A fecskemoszatok két faja rendszeresen előfordul a tóban, mindkettő a melegvízes időszak, a nyári balatoni alगतársulás jellemző algái. A *Ceratium hirundinella* a Balatonban őshonos alfafaj, a „balatoni fecskemoszat”. A *Ceratium furcoides* („nyurga fecskemoszat) viszont invazív faj, tömegprodukciónival világszerte okoz vízminőségi problémákat felszíni édesvizekben, vízvirágzásokat kialakítva gyorsan terjed.

Hasonlóan a korábbi évekhez, 2023-ban a Balatonban a „nyurga fecskemoszat”, a *Ceratium furcoides* általában gyakrabban és nagyobb arányban összetevője a planktonnak, mint az őshonos balatoni fecskemoszat. Csupán Siófokon volt a „balatoni fecskemoszat” a *Ceratium hirundinella* többször domináns, mint invazív társa.

A dominancia gyakoriságok alapján 2022-vel megegyezően 2023-ban is a keleti tórészekén többször, nyugatabbra pedig egyre ritkábban találkozhattunk a Balatonban őshonos fecskemoszattal. Az egész tavat tekintve az invazív „nyurga fecskemoszat” (*Ceratium furcoides*) elterjedtebb a tóban, sokkal gyakrabban uralkodó alfafaja a planktonnak, mint a „balatoni fecskemoszat” (*Ceratium hirundinella*).



A Balatonban a nagyobb trofitási állapottal járó algacsúcsokat a nyári időszakban legtöbbször a kékalgák elszaporodása hozza létre. Kedvező vízminőségileg, hogy 2023-ban egyik kékalgafaj sem alakított ki jelentős algásodást, de a potenciálisan toxintermelő kékalgák továbbra is meghatározó összetevői maradtak a tavi alaplanktonnak.



A felszíni vízvirágzás kialakítására képes kékalgafajok, mint az *Aphanizomenon flos-aquae* (a 2019-es algainvázió egyik fő összetevője) és a *Dolichospermum spp.* kékalgák a korábbi évekkel megegyezően csak a nyugati tórészben váltak dominánssá néhány hétre, mennyiségük a Siófoki- és Szemesi-medencében nem volt jelentős.

A nyugati tórészben (Szigligeti- és Keszthelyi-medence) az *Aphanizomenon flos-aquae* nyár elején (jún. 21-júl. 18), mintegy 3-4 hétig volt döntő összetevője a planktonnak, a *Dolichospermum* ennél is rövidebb ideig, csupán két mintavételi alkalommal (jún. 21-26.) vált a plankton meghatározó részévé.

„Vízvirágzásukat” 2023-ban nem észleltük sem a mintavételi bejárások során, sem pedig lakossági bejelentés nem érkezett ilyen jelenségről.

Csupán egyetlen alkalommal talákoztunk „algavirágzással”: a *Microcystis sp.* potenciálisan toxintermelő kékalga vízfelszínre felúszó telepeit szeptember 11-én észleltük Siófok tóközépen, miközben mennyisége jelentéktelen maradt az alsóbb vízrétegekben. Ez az eset leszámítva a *Microcystis* vízvirágzásról 2023-ban nem tudunk. Az algának a dominanciája az alsóbb vízrétegekben nem alakult ki sem ekkor, sem más mintavételi időpontokban, illetve egyetlen mintavételi helyen sem a vizsgált algaminták alapján.

Léteznek olyan kékalgafajok, amelyek az egész vízoszlopra kiterjedő algásodást alakítják, azaz nem gyűlnek össze a vízfelszínen, a vízoszlopban eloszlának, és koncentrációjuktól függően színezik meg gyengébben vagy erősebben a vizet. Ide tartoznak például a tavi plankton összetételét 2023-ban leggyakrabban meghatározó kékalgafajok, mint az *Aphanizomenon klebahnii* és *Aphanizomenon issatschenkoi*.

Az *Aphanizomenon klebahnii* a legelterjedtebb és a leggyakrabban domináns toxintermelésre képes kékalga volt a Balatonban 2023-ban. A tó valamennyi mintavételi pontján gyakorlatilag rendszeresen domináns fajként tűnt fel a nyári-őszi időszakban. Az *Aphanizomenon issatschenkoi* majdnem olyan gyakran volt meghatározó algafaj, mint az *Aphanizomenon klebahnii*, viszont Siófokon nem alakított ki dominanciát, csak a nyugatabbra eső tórészekben.

1992-ben és 1994-ben a tó bealgásodásáért felelős *Raphidiopsis raciborskii* (süveges kékalga), 1995 óta nem okozott hasonló mértékű algatömegprodukción, azonban a Balatonban a nyári plankton rendszeresen észlelt algafaja maradt. Ez a fonalas kékalga domináns tudott lenni valamennyi tómedencében, de jóval ritkábban, mint a tavi planktonban 2023-ban gyakoribb *Aphanizomenon* kékalga fajok.

A süveges kékalga gyakorisága a tó hossz tengelye mentén nem egyforma: a nyugati tófélben többször lett a plankton meghatározó algafaj, mint a keleti tófélben, Szemesen és főképpen Siófokon ritkábban jellemző ez az algafaj.

2023-ban a legritkábban dominánsként megjelenő toxintermelésre képes kékalgafajok között van az *Oscillatoria agardhii* és a *Raphidiopsis mediterranea*. Elsősorban a nyugati tórészben bukkantak fel jelentősebb számban, de Szemesen egyszer az *Oscillatoria agardhii* is domináns lett.

A toxintermelésre képes kékalgák tekintetében vízminőségileg továbbra is Siófok van a legkedvezőbb helyzetben, mert itt a legritkábban domináns bármelyik tóban ismert faja ennek a kékalga csoportnak. Csupán kétféle fajuk tudott elszaporodni a planktonban, nyolcszor az *Aphanizomenon klebahnii* és csak egyszer a *Raphidiopsis raciborskii*, miközben nem emelkedett meg lényegesen mértékben az algaszám, a víz klorofill-a koncentrációja.

Az algák mennyisége mellett a növényi tápanyagok, elsősorban az oldott reaktív foszfor (PO<sub>4</sub>-P) koncentrációja is jelzi a trofitás alakulását. Az alábbi táblázatokban a balatoni tóközépen mért koncentrációkat foglaljuk össze, éves bontásban.

**Balaton trofitási jellemzői 2020-ban a KDT VIZIG mérései alapján**

Állomásnév	VM kód	Chl-a, átlag, mg/m <sup>3</sup>	Chl-a, maximum, mg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> -P, átlag, µg/l	PO <sub>4</sub> -P, maximum, µg/l
Zala-torkolat	04FB14	12	33	40	235
Keszthelyi-öböl, tóközép	04FB16	15	36	8	30
Szigligeti-öböl, tóközép	04FB17	11	23	6	18
Balatonakali, tóközép	04FB08	4,3	9,9	4	11
Siófok, tóközép, Alsóörs vonalában	04FB03	2,2	4,3	4	10

**Balaton trofitási jellemzői 2021-ben a KDT VIZIG mérései alapján**

Állomásnév	VM kód	Chl-a, átlag, mg/m <sup>3</sup>	Chl-a, maximum, mg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> -P, átlag, µg/l	PO <sub>4</sub> -P, maximum, µg/l
Zala-torkolat	04FB14	18	54	11,7	38
Keszthelyi-öböl, tóközép	04FB16	18	56	5,0	14
Szigligeti-öböl, tóközép	04FB17	14	52	4,3	6
Balatonakali, tóközép	04FB08	6,2	18	3,2	4
Siófok, tóközép, Alsóörs vonalában	04FB03	2,2	5,7	3,0	7

**Balaton trofitási jellemzői 2022-ben a KDT VIZIG mérései alapján**

Állomásnév	VM kód	Chl-a, átlag, mg/m <sup>3</sup>	Chl-a, maximum, mg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> -P, átlag, µg/l	PO <sub>4</sub> -P, maximum, µg/l
Zala-torkolat	04FB14	15	31,0	16,2	56
Keszthelyi-öböl, tóközép	04FB16	12	33,0	5,8	12
Szigligeti-öböl, tóközép	04FB17	12	48,0	5,2	14
Balatonakali, tóközép	04FB08	6,4	21,0	3,5	9
Siófok, tóközép, Alsóörs vonalában	04FB03	3,4	9,2	2,6	6

**Balaton trofitási jellemzői 2023-ban a KDT VIZIG mérései alapján**

Állomásnév	VM kód	Chl-a, átlag, mg/m <sup>3</sup>	Chl-a, maximum, mg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> -P, átlag, µg/l	PO <sub>4</sub> -P, maximum, µg/l
Zala-torkolat	04FB14	25	60	31,5	117
Keszthelyi-öböl, tóközép	04FB16	22	53	4,6	19
Szigligeti-öböl, tóközép	04FB17	19	40	3,6	6
Balatonakali, tóközép	04FB08	11	40	2,6	4
Siófok, tóközép, Alsóörs vonalában	04FB03	4,2	13	2,0	3

A táblázatban közölt adatok jellemzően március-áprilistól november-decemberig tartó időszakban havonta, nyáron hetente-két hetente mért eredmények alapján lettek kiszámolva. A számolásokhoz saját monitoring adatainkat használtuk. Az éves átlagokat havi átlagokból képeztük, így a mintavételi gyakoriság változása, azaz a nyáron jelentősen gyakoribb mintavétel nem torzítja el az értékeket.

Az éves adatokból is egyértelműen látható, hogy a tóban megfigyelhető trofitási gradiens továbbra is létezik, a keleti medencékben mind a klorofill, mind a foszfát-ion koncentráció alacsonyabb, bár kivételek lehetnek. Más laboratóriumok által, különböző időpontokban vett mintákból végzett elemzések közötti különbségek is jelentősek lehetnek. Ennek okai elsősorban a változó környezeti feltételek, az eltérő mintavételi gyakoriság mellett a mintavétel módjában (átlagminta/merített minta) kereshető, illetve egyéb módszertani eltérések is lehetnek.

A mérési eredmények alapján a klorofill koncentráció átlaga és maximuma 2022-hez képest jellemzően nőtt, a 2020-2023 közötti időszak legmagasabb értékeit mértük. Ennek ellenére a 2023-as évben algásodásra visszavezethető vízminőségi problémát nem észleltünk.

A foszfát koncentráció alig változott, a Zala-torok kivételével kisebb csökkenést tapasztaltunk.

Összességében 2023-ban a Balaton trofitási állapota a 2020-2022-ben tapasztalt állapotokhoz hasonlított. Az *Aphanizomenon klebahnii* volt a legelterjedtebb és a leggyakrabban domináns toxintermelésre képes kékalga a Balatonban 2023-ban, de problémát nem okozott. A 2019-ben tömegesen elszaporodó *Ceratium furcoides*, és a nitrogénkötő fonalas cianobaktérium *Aphanizomenon flos-aquae* sem okozott problémát ez évben. A parti sávban esetenként felúszó *Dolichospermum flos-aquae* sem szaporodott el.

### 3.2 A Balaton tápanyagterheléséről

A Balatonba befolyó vizek mérőhálózatának drasztikus megkurtítása miatt nem volt elkészíthető a tó 2008. év utáni tápanyagterhelési mérlege oly módon, hogy az összevethető legyen a mintegy 35 éven át készült, nagyobb számú adata alapozott mérlegekkel. Emiatt a mérlegek készítése egészen 2015-ig szünetelt.

2015-ben több irányból kezdtünk hozzá a hiányosságok javításához, hogy a tápanyag terhelési becslés újra elkészülhessen. A hozzáfolyások terhelésének becsléséhez 2015 júniusától újra mintázzuk a Balaton befolyóit. Elsősorban azokat vizsgáljuk, amelyek a korábbi mérlegekben is szerepeltek, de ezek mellett mérünk olyan befolyókat is, amelyekről eddig nem rendelkezünk felhasználható adatokkal. A mintavételi pontokat igyekeztünk a torkolathoz minél közelebb vinni. A mintavételi gyakoriságot úgy módosítottuk, hogy a legnagyobb befolyókat hetente, a kisebbeket 2-4 hetente mintázzuk.

Sajnos a 2016-os év tapasztalataiból kiderült, hogy mintavételi és mérési kapacitásunk nem teszi lehetővé, hogy a heti mintavételt fenntartsuk, így 2017-től kénytelenek voltunk a mérési gyakoriságot ritkítani. A jelentősebb vízfolyásokat 2 hetente (havonta kétszer), a kisebbeket 4 hetente (havonta egyszer) mintázzuk. A vizsgált vízfolyások számát megnöveltük néhány jelentős terhelést adó, de korábban nem vizsgált vízfolyások vizsgálatával. Így például rendszeresen mérjük a Lesence nádasmező kifolyóit is. 2024-ben elindult a Lesence nádasmező elfolyó vizeit monitorozó automata rendszer, jelenleg az üzemeltetési rendszer kialakítása zajlik.

2017 óta 21 vízfolyáson végezzük a tápanyagterhelés számításához szükséges vízminőségi mintavételeket és méréseket.

A befolyókon át érkező terhelés kiszámításánál a mérési adatokból a mérési gyakoriságnak megfelelően próbáltunk havi, illetve évi terhelést számolni. Ahol napi adatokkal dolgozhattunk, ott napi terhelésből indultunk ki. Ahol a napi vízhozamhoz csak kisebb gyakoriságú (kétheti, havi) vízminőségi adatsor társult, ott a vízminőségi adatokat extrapolálva számoltunk napi terhelést. A többi esetben havi átlagokból havi terhelést számoltunk. A BAP értékét az összes foszfor és foszfát koncentrációkból, szakirodalmi összefüggés alapján, számítással becsültük meg.

Havi 2 minta	Havi 1 minta
Imremajori-csatorna	Egervíz
Lesence-patak	Burnót-patak
Nemesvitai-övärok	Örvényesi-séd
Nyugati-övesatorna	Jamai-patak
Keleti-Bozót-árok	Endrédi-patak
Tapolca-patak	Fűzfői-séd
ABC-csatorna	Vörösberényi-séd
	Lovasi-séd
	Csopaki-séd
	Köröshegyi-séd
	Ordacsehi-árok
	Tetves-patak
	Nagymetszés-patak
	Cinege-patak

2019-től már nemcsak a tóba bejutó, hanem az onnan távozó tápanyagokra is végeztünk becslést, ezen belül első lépésként a Sió-csatornán a vízeresztések során távozó mennyiségeket számoltuk ki.

A mérleget még számos hiányosság terheli, hiszen a becslések, a modellezés pontatlansága mellett a mérhető terhelések esetében is jelentős hibalehetőségekkel kell számolni. A vízfolyások esetében az árhullámok terhelésének hiánya alulbecslést, a légköri terhelés mérésének hiányában használt meglehetősen régi adat vélhetően túlbecslést okoz. A szennyvíz eredetű terhelés mértékéről eddig nem rendelkezünk naprakész információkkal, de a 2023. évi mérleg már frissített tisztított szennyvíz adatokkal készült.

Kérdéses továbbá a horgászat okozta terhelés mértéke is. Itt az első, a horgászok önbevallásán alapuló felmérések alapján a terhelés szintén nem kritikus mértékű. A belső terhelés jelentősége nem elhanyagolható, az üledékből felszabaduló foszfor lehet a 2019. évi algásodási események hátterében. Ennek szerepét kutatási programokkal lehetne feltárni.

A befolyók esetében, a Zala kivételével kis számú mérésből kell extrapolálni az éves terhelés értékét, ami az árhullámok, villám árvizek által szállított, feltehetően igen jelentős többlet-terhelést nem, vagy csak esetlegesen és kis mértékben tartalmazza. 2023-ban megkezdjük a Balatonba torkolló vízfolyásokon levonuló villámárvizek, árhullámok terhelését mérni. A mérési eredmények feldolgozása jelenleg még folyamatban van.

A tápanyag terhelés szempontjából jelentős újítás volt a platformokon elhelyezett száraz-nedves ülepedésmérő, melynek szerepe a légköri ülepedéssel és a csapadékkal a tóba jutó tápanyag-terhelés mérése lett volna. Sajnos az eredmények is azt bizonyították, hogy a madárürülék szennyezés miatt ezekből a mintákból terhelés nem számolható. A kihelyezett különböző madárriasztó eszközök (automatikus és mozgásérzékelővel ellátott riasztók, stb.) mind 2022-ben, mind 2023-ban hatástalannak bizonyultak, így jelenleg parti mintavétellel (Balatonszemes meteorológiai műszerparkban elhelyezve) próbálkozunk.

2023-ban a befolyók terhelését a rendszeres mintavételek alapján, a közvetlen vízgyűjtő terhelését a vízháztartás adatai alapján modellezéssel, a szennyvíz eredetű terhelést a szennyvíztisztítók önbevallásai alapján, a légköri terhelést a legutóbbi ismert adatok felhasználásával számoltuk.

A mérlegben nem szerepel a horgászok által bevitt terhelés. Ezt a tételt a korábbi mérlegek sem tartalmazták. A horgászok önbevallásán alapuló adatok alapján a csalianyagokkal behordott mennyiség a teljes terheléshez viszonyítva csekély érték, 1-2%.

### **3.2 A Balaton 2023. évi terhelésének becslése**

A 2023. évi terhelési számítások eredményeit a korábbi évekhez hasonlóan táblázatos formában közöljük, a vízfolyások, a közvetlen vízgyűjtő és az összegzett adatok részletes ismertetésével.

A vízfolyások valamint a közvetlen vízgyűjtőről származó 2023. évi terhelést a következő oldalakon található táblázatok tartalmazzák.

## 2023 Balatoni tápanyagterhelés a vízfolyásokból

Tórész	Vízfolyás	Szelvény	VM állomás	TN kg/év	TP kg/év	PO <sub>4</sub> -P kg/év	BAP kg/év	A számítás módja
<b>I.</b>	Zala	Fenekpuszta	z27	<b>275 391,3</b>	<b>19 693,8</b>	<b>12 346,4</b>	<b>13 815,9</b>	napi vízhozamból
<b>II.</b>	Egervíz	Nemesgulács	04FB41	48 714,0	8 468,9	1 040,6	2 526,3	napi vízhozamból
	Imremajori-árok	Balatonfenyves	05FB40	12 106,1	1 039,6	270,2	424,1	havi szivattyúzásból
	Keleti-bozót-árok	Fonyód	05FF24	26 788,9	2 419,2	151,3	604,9	vízmérleg havi vízhozamból
	Nyugati-övcSATORNA	Balatonkeresztúr	05FF23	99 588,3	11 346,3	773,4	2 887,9	vízmérleg havi vízhozamból
	Tapolca-patak	Hegymagas	04FB42	70 938,7	4 784,1	1 455,2	2 120,9	napi vízhozamból
	Zichy-csatorna	Bélatelep	05FB41					nem működik
				<b>258 135,9</b>	<b>28 058,1</b>	<b>3 690,6</b>	<b>8 564,1</b>	
<b>III.</b>	ABC-csatorna	Balatonlelle	05FB72	1 999,4	291,6	47,7	96,5	havi szivattyúzásból
	Burnót-patak	Ábrahámhegy	04FB39	5 857,5	379,1	27,0	97,4	napi vízhozamból
	Jamai-patak	Balatonboglár	05FB70	1 860,4	237,2	19,5	63,1	vízmérleg havi vízhozamból
	Köröshegyi-Séd	Balatonföldvár	05FF26	2 378,1	348,7	95,1	145,8	vízmérleg havi vízhozamból
	Nagymetszés	Balatonszárszó	05FB63	5 450,6	595,2	140,5	231,4	vízmérleg havi vízhozamból
	K-Ny-főcsatorna	Ordacsehi	05FB71	3 365,8	77,8	13,9	26,7	havi szivattyúzásból
	Tetves-patak	Visz	05FF25	8 564,5	584,2	186,2	265,8	vízmérleg havi vízhozamból
	Örvényesi-Séd	Örvényes	04FB36	7 161,3	180,2	17,3	49,9	napi vízhozamból
				<b>36 637,8</b>	<b>2 694,0</b>	<b>547,3</b>	<b>976,6</b>	
<b>IV.</b>	Csopaki-Séd	Csopak	04FB32	1 403,4	32,0	8,4	13,1	VM vízhozamból
	Endrédi-patak	Zamárdi	05FB73	240,9	31,9	7,6	12,4	VM vízhozamból
	Fűzfői-Séd	Balatonfűzfő	04FB27	1 917,1	127,7	41,7	58,9	vízmérleg havi vízhozamból
	Lovasi-Séd	Alsóörs Csopak között	04FB31	2 114,7	157,0	17,6	45,5	VM vízhozamból
	Vörösberényi-Séd	Balatonalmádi	04FB28	713,8	82,8	7,4	22,4	VM vízhozamból
				<b>4 986</b>	<b>399</b>	<b>74</b>	<b>139</b>	
<b>Összesen, kg/év:</b>				<b>575 151</b>	<b>50 845</b>	<b>16 659</b>	<b>23 496</b>	
Zala nélkül:				<b>299 760</b>	<b>31 151</b>	<b>4 312</b>	<b>9 680</b>	
Déli oldal:				<b>162 343</b>	<b>16 972</b>	<b>1 705</b>	<b>4 759</b>	
Északi oldal:				<b>138 820</b>	<b>14 212</b>	<b>2 615</b>	<b>4 934</b>	

## A tó közvetlen vízgyűjtőjéről származó, modellel számított 2023. évi terhelések

### Összes nitrogén, 2023

Tórész	Terhelés, kgN/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	38 040	23 424	0	1 186	30 383	38,04	54,99
II.	20 709	13 963	5 392	1 383	13 376	20,71	34,11
III.	27 255	35 206	0	523	21 105	27,26	56,83
IV.	47 732	20 946	0	531	11 290	47,73	32,77
<b>Balaton</b>	<b>133 737</b>	<b>93 539</b>	<b>5 392</b>	<b>3 624</b>	<b>76 155</b>	<b>133,74</b>	<b>178,71</b>
					<b>312 446</b>		

### Összes foszfor, 2023

Tórész	Terhelés, kgP/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	7 999	7 306	0	458	13 146	8,00	20,91
II.	5 301	5 191	419	490	5 533	5,30	11,63
III.	6 401	12 447	0	185	8 933	6,40	21,57
IV.	12 594	7 811	0	190	4 651	12,59	12,65
<b>Balaton</b>	<b>32 295</b>	<b>32 755</b>	<b>419</b>	<b>1 323</b>	<b>32 263</b>	<b>32,29</b>	<b>66,76</b>
					<b>99 056</b>		

### Ortofoszfát-foszfor, 2023

Tórész	Terhelés, kgP/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	3 807	1 692	0	359	2 764	3,81	4,82
II.	224	75	7	26	154	0,22	0,26
III.	541	471	0	23	542	0,54	1,04
IV.	444	106	0	8	111	0,44	0,23
<b>Balaton</b>	<b>5 016</b>	<b>2 345</b>	<b>7</b>	<b>417</b>	<b>3 572</b>	<b>5,02</b>	<b>6,34</b>
					<b>11 356</b>		

### BAP, 2023

Tórész	Terhelés, kgP/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	4 645	2 815	0	379	4 840	4,65	8,03
II.	1 239	1 098	90	119	1 230	1,24	2,54
III.	1 713	2 866	0	56	2 220	1,71	5,14
IV.	2 874	1 647	0	44	1 019	2,87	2,71
<b>Balaton</b>	<b>10 472</b>	<b>8 427</b>	<b>90</b>	<b>598</b>	<b>9 310</b>	<b>10,47</b>	<b>18,42</b>
					<b>28 896</b>		

A mérleghez a vízfolyások és a közvetlen vízgyűjtő terhelése mellett a légköri terhelés és a közvetlen szennyvíz terhelés járul még hozzá.

A közvetlen tisztított szennyvíz terhelés esetében 3 működő telepről tudunk, amelyből az elfolyó tisztított szennyvíz a Balatonba folyik. Ezek közül a két jelentősebből (Nemesgulács, Révfülöp) kaptunk felhasználható 2023-as adatokat. A harmadik telep (Zánka) kibocsátása töredéke a másik kettőnek. Összességében a szennyvíz eredetű terhelési tétel a csekélyebb súlyúak közé tartozik a tó tápanyag terhelésében.

A légköri terhelésről különös tekintettel a foszforra, mérési adat nem beszerezhető, így azt becsülni sem lehet. Ezért a mérlegben 1996 óta ugyanazt az adatot szerepeltetjük. Ez a tétel, ellentétben a szennyvízzel, jelentős mértékű, feltehetően 10-20% körüli érték is lehet. 2022-től kezdve ezt mérési és modellezési adatok alapján terveztük pontosítani. A platformokon, a Keszthelyi- és a Siófoki-medence tóközépen gyűjtöttük és elemeztük a száraz és a nedves ülepedésből származó kihullást. Sajnos a korábban leírt gyűjtési problémából adódóan a mérési adatok a terhelés becslésére használhatatlannak bizonyultak, ezért 2024-ben a mintavételt Balaton parti sávjába helyeztük át. A 2023. évi mérleg is a legutóbbi mért érték ismétlését tartalmazza.

Összegezve a számított terhelést a tómedencékre és a teljes Balatonra a vízfolyásokból, a tisztított szennyvíz bevezetésekből, a városias és az egyéb közvetlen vízgyűjtőről történő bemosódás és a légköri terhelés számítása esetében a következő oldalon található táblázatokban látható értékeket kapjuk.

2023-ban a külső nitrogén terhelésben az emelkedő hozzáfolyás következtében a vízfolyások és a közvetlen vízgyűjtőről érkező terhelés nőtt. A terhelés a Siófoki-medencében volt a legmagasabb (654 tonna/év), ezt követte a Szigligeti-medence (647 tonna/év). A legalacsonyabb a Keszthelyi-medence nitrogén terhelése volt (467 tonna/év).

A foszfor formák esetében a nyugatról keletre csökkenő tendencia érvényesült. A Keszthelyi- és a Szigligeti.-medencében is kerekítve 49 tonna/év a foszfor terhelés, a keleti medencékben ehhez képest 35 és 31 tonna/év. A nyugati medencékben a vízfolyások és a közvetlen vízgyűjtőről származó bemosódás hozza a terhelés túlnyomó részét, ehhez képest a nagy felületű keleti medencékben a légköri terhelés és a városias területekről történő bemosódás jelentősége nő meg.

Ez évben a Sió-zsilip 24 napon keresztül volt nyitva, a tóból vízleeresztés június második felében (július 1-ig) és év végén (november, december hónapokban) történt, a tóból vízleeresztéssel 34,1 tonna nitrogén, 4,6 tonna foszfor, ezen belül 0,1 tonna ortofoszfát-foszfor távozott. Ez a mennyiség nitrogén esetében a teljes terhelés 1,5, az összes foszfor 2,8, az ortofoszfát-foszfor 0,2%-a.

**A Balatont érő összes terhelés tómedencékre bontva, 2023**

<b>A Balatont érő összes nitrogén terhelés</b>					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	275,4	258,1	36,6	6,4	<b>576,6</b>
Közvetlen szennyvíz	0,0	4,4	2,4	0,0	<b>6,7</b>
Városias terület bemosódása	38,0	20,7	27,3	47,7	<b>133,7</b>
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	55,0	34,1	56,8	32,8	<b>178,7</b>
Léggöri terhelés	98,7	329,7	451,7	567,6	<b>1 447,7</b>
<b>Összesen</b>	<b>467,1</b>	<b>647,0</b>	<b>574,8</b>	<b>654,5</b>	<b>2 343,4</b>

<b>A Balatont érő összes foszfor terhelés</b>					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	19,7	28,1	2,7	0,4	<b>50,9</b>
Közvetlen szennyvíz	0,0	0,9	0,1	0,0	<b>1,0</b>
Városias terület bemosódása	8,0	5,3	6,4	12,6	<b>32,3</b>
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	20,9	11,6	21,6	12,7	<b>66,8</b>
Léggöri terhelés	0,8	2,8	3,9	4,8	<b>12,4</b>
<b>Összesen</b>	<b>49,4</b>	<b>48,7</b>	<b>34,6</b>	<b>30,5</b>	<b>163,3</b>

<b>A Balatont érő ortofoszfát-foszfor terhelés</b>					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	12,3	3,7	0,5	0,1	<b>16,7</b>
Közvetlen szennyvíz	0,0	0,9	0,1	0,0	<b>1,0</b>
Városias terület bemosódása	3,8	0,2	0,5	0,4	<b>5,0</b>
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	4,8	0,3	1,0	0,2	<b>6,3</b>
Léggöri terhelés	0,8	2,8	3,9	4,8	<b>12,4</b>
<b>Összesen</b>	<b>21,8</b>	<b>7,9</b>	<b>6,1</b>	<b>5,6</b>	<b>41,4</b>

<b>A Balatont érő biológiailag hozzáférhető foszfor (BAP) terhelés</b>					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	13,8	8,6	1,0	0,2	<b>23,5</b>
Közvetlen szennyvíz	0,0	0,9	0,1	0,0	<b>1,0</b>
Városias terület bemosódása	4,6	1,2	1,7	2,9	<b>10,5</b>
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	8,0	2,5	5,1	2,7	<b>18,4</b>
Léggöri terhelés	0,8	2,8	3,9	4,8	<b>12,4</b>
<b>Összesen</b>	<b>27,3</b>	<b>16,1</b>	<b>11,8</b>	<b>10,6</b>	<b>65,8</b>

## 4 ÖSSZEFOGLALÁS

A jelentés a 2023. évi, a teljes évet átfogó mérési adatok alapján készült tápanyagterhelési mérleg eredményeit tartalmazza. Az értékelő és adatfeldolgozó munkában a vízrajzi értékelő csoport és a laboratórium munkatársai, a mérési munkákban a laboratórium és a vízrajzi mérőcsoport vettek részt. A saját adatokon felül a társ Vízügyi Igazgatóságok és a Kormányhivatalok laboratóriumaitól kapott mérési eredményeket is felhasználtunk.

A mérleg a tápanyagterhelés számításra 2008-ig használt módszertanra épül, a Balaton trofitási állapotának alakulásának értékeléséhez szolgáltat alapadatokat. A munka jelentősége a Balaton 2019. évi kedvezőtlen vízminőségi állapota miatt még inkább megnőtt. A munka keretében bővítettük ki a 2007-től 2014-ig használhatatlanul kevés adatot szolgáltató mintavételi programot a balatoni befolyók vizsgálatával.

A mintavételeket és elemzéseket 2015. május végén indítottuk be, 2016-tól már a teljes évet vizsgáltuk. 2017-től módosítanunk kellett a mintavételi programot, de továbbra is egész évben vizsgáljuk a balatoni befolyókat. A mérési és elemzési kapacitásunk függvényében növeltük a vizsgált vízfolyások számát, de csökkentenünk kellett a mérési gyakoriságot. 2019. évtől a Sió-csatornán levezetett vízzel távozó terhelésre is készítünk becslést.

A léghőri kihullásból, a száraz és nedves ülepedésből származó terhelést a Siófoki- és a Keszthelyi-medencében, tóközépen álló platformokra kihelyezett mintavevőkkel gyűjtött minták alapján szeretnénk volna pontosítani, de a minták szennyeződését nem sikerült kiküszöbölni. 2024-től a tópartra kihelyezett mintavevőt használunk.

A 2023. évi mérleg alapján a Balatonba a befolyókon, a közvetlen vízgyűjtőről és a léghőri terhelésből összesen 2343 tonna nitrogén, 163 tonna foszfor jutott be. Az összes foszforon belül 66 tonnára becsülhető a biológiailag hozzáférhető foszfor, és 41 tonna az ortofoszfát-foszfor. Ezek az értékek magasabbak, mint az elmúlt két év becsült terhelése, de így sem kiemelkedő a becsült terhelés a 2016-2023 közötti időszakban.

A zsiliprendszeren keresztül a Sió-csatornán 34,1 tonna nitrogén, 4,6 tonna összes foszfor, azon belül 0,1 tonna ortofoszfát-foszfor távozott a Balatonból.

2023. évi tápanyagterhelési mérleg alapján a Balatont érő terhelés magasabb volt az előző évhez viszonyítva. A tó trofitási állapota a mért foszfor és klorofill koncentrációk alapján is magasabb volt, de a problémás szintektől továbbra is elmaradt. 2023-ban egy alkalommal, a Siófoki-medencében figyeltünk meg felszíni vízvirágzást vagy egyéb vízminőségi problémát.

A tó trofitási állapota 2016-2023 között egyedül 2019-ben alakult kedvezőtlenül, amikor térben és időben is kiterjedt nyárvégi, kora őszi alga tömegprodukciónak alakult ki. 2023-ban valamivel magasabb terhelés mellett a trofitási szint csekély mértékben emelkedett meg. Hipertróf határértéket elérő klorofill értékeket nem mértünk, a magasabb alga biomasszájánál a fecskemoszatok (elsősorban a *Ceratium furcoides*) és az *Aphanizomenon klebahnii* és *issatschenkoii* kékalgafajok voltak a domináns fajok. A tóban mért legmagasabb klorofill koncentráció Keszthelyi-medencében alakult ki, 53 mg/m<sup>3</sup> volt a legmagasabb, a teljes vízoszlopra vonatkozó mért érték.

A potenciálisan toxikus kékalgák dominancia időszaka 2023-ban is a tóban megszokott módon alakult, a nyugati tórészben előbb kezdődött és ott is tartott hosszabb ideig. A toxintermelésre hajlamos kékalgáknak az időben fokozatos nyugat-keleti irányú elterjedése is jelzi a tóra jellemző, a medencénkenti tápanyag-terhelésnek megfelelő kelet-nyugati irányú trofitási gradienst.

2020 és 2023 között erőteljes algásodás nem, csak térben és időben korlátozott vízminőségi problémák alakultak ki. Nyugaton a *Dolichospermum flos-aquae*, keleten a *Microcystis* volt a jellemzően partközeli, lokális, rövid ideig tartó vízvirágzások leggyakoribb faja. 2023-ban az első faj viszonylag rövid ideig, alacsony egyedszámban volt domináns a tóban, a *Microcystis* egyedszáma mindvégig alacsony maradt. Egyedül a *Microcystis* volt képes a Siófoki-medencében tóközépen egy mérsékelt felszíni vízvirágzást kialakítani szeptemberben, kifejezetten alacsony klorofill koncentráció mellett.

A 2019. évben tömegesen felúszó *Aphanizomenon flos-aquae* 2023-ban is jelen volt, csak nem ért el olyan biomasszát, ami a 2019. évi eseményeket megismételhette volna. A *Ceratium furcoides* esetében is hasonló a helyzet, előfordult, de csak a 2019. évi mennyiség töredéke volt mérhető.

2023-ban egy balatoni kisvízfolyáson végeztünk villámárvíz mintavételeket. A beszerzett automata mintavevővel számos kisebb-nagyobb árhullámot sikerült megmintázni.

2024-ben folytatjuk a munkát a nagy lefolyási eseményekkel összefüggő többlet terhelési adatok mérésével. Parti pontokon gyűjtünk mintákat a légköri terhelés, a légköri száraz és nedves kiülepedés alapján történő számításához, mert a platformokon elhelyezett eszközökkel nem tudtunk értékelhető mintákat gyűjteni.

A 2019. évi események okainak feltárására tervezett kutatási program nem indult el, így az ebben tervezett fejlesztéseket, mint például a rétegzettség mérések, nem tudtuk elindítani. A Balaton vízminőségi problémáinak vizsgálatára a jelenlegi monitoring rendszer nem elégséges, célzott kutatásokra lenne szükség.

Székesfehérvár, 2024. július 11.

Kóbor István  
laborvezető