

Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

A Balaton tápanyagterhelésének mérlege, mérése és modellezése, 2022. évre

Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság

Székesfehérvár, 2023. július

TARTALOMJEGYZÉK:

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ	3
2. BEVEZETÉS	4
3. A BALATON EUTROFIZÁLÓDÁSI HELYZETE	4
3.1 Balaton trofitásáról.....	4
3.2 A Balaton tápanyagterheléséről	16
3.2 A Balaton 2022. évi terhelésének becslése	18
4 ÖSSZEFOGLALÁS.....	17

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 2022. 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. Ehhez szükség volt a befolyókon érkező terhelés becsléséhez 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 ismételjük. Az *Átfogó környezeti megfigyelő és tájékoztató rendszer a Balatonon* tárgyú KEHOP projekt keretében a balatoni légköri kihullás mérését lehetővé tevő mintavevő berendezés beüzemelését követően már mérési adatok alapján próbáltuk a terhelést számolni, de egyelőre nem sikerült megoldani a mintagyűjtés időszakában a minták védelmét a szennyeződéstől. A tisztított szennyvíz bevezetésekről nincsenek a jelentéshez felhasználható adatok.

A 2022. évi mérleg alapján a Balatonba a befolyókon, a közvetlen vízgyűjtőről és a légköri terhelésből összesen 1864 tonna nitrogén, 98 tonna foszfor jutott be. Az összes foszforon belül 40 tonnára becsülhető a biológiailag hozzáférhető foszfor, és 26 tonnára az ortofoszfát-foszfor. Ezek az értékek alacsonyabbak, mint a 2021-ben becsült terhelés. 2022-ben az átépítés alatt álló zsiliprendszeren keresztül a Balatonból vízleeresztés nem történt, így a tóból leeresztéssel tápanyagok sem távoztak.

A tó trofitási állapota a kivételesen kedvezőtlen 2019-es év után 2020-2022 között a vízminőség tóközépen mérve nem tért el jelentősen az 1995 utáni időszakban jellemzőtől. Nagy kiterjedésű, és magas klorofill értéket mutató vízvirágzást nem tapasztaltunk. Lokális, strandokat, kikötőket érintő vízminőségi problémák azonban előfordultak, elsősorban a nyugati tórészben figyelhetünk meg ilyeneket, de a keleti területeken is kialakultak ilyen események. Továbbá vízminőségvédelmi célú kotrás zajlott a balatongyöröki térségben. 2022 tavaszán üzembe léptek a mind a négy medence tóközépen elhelyezett folyamatos online vízminőségi monitoring méréseket lehetővé tevő szigetüzemű állomások. Ezek közül kettőn (Siófok, Keszthely) a légköri kiülepedés méréséhez száraz és nedves ülepedést mintázó eszközöket is kihelyeztük.

A későbbiekben a mérési és elemzési kapacitásunk függvényében szeretnénk az eredményeket pontosítani a nagy lefolyási eseményekkel összefüggő terhelési adatok, valamint a légköri terhelés egyes elemeinek mérése és modellezése alapján.

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 korábban is sok bizonytalanság terhelte, később a rendszeres vízminőség-mérési program szűkülése 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 számítás 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 számítást 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/m³ között van, ez alatt az éves maximum alatt a víz mezotróf (0-25 mg/m³), fölötte pedig hipertróf (>75 mg/m³).

A Balaton trofitási (eutrofizálódási) mérőszámainak alakulásában éles különbség figyelhető meg az 1994 előtt és után mért klorofill maximumok alakulásában. 1981-től 1994-ig fokozatosan rosszabbodó 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.

2019-ben azonban a tó nyugati területein olyan magas klorofill éves maximumot mértünk, amilyen magasat korábban még sosem detektáltunk. Ebben a három évben megnövelt gyakorisággal vizsgáltuk a tó trofitási állapotának alakulását a nyári időszakban, de nem mértünk magas klorofill koncentrációt a tóközepeken. Azaz a 2019. évi kedvezőtlen állapot egyelőre nem ismétlődött meg, újra az utóbbi évtizedben jellemző, kedvező trofitási állapottal talákoztunk. 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 pedig kiterjedt felszíni vízvirágzást.

3.1 Balaton trofitásáról

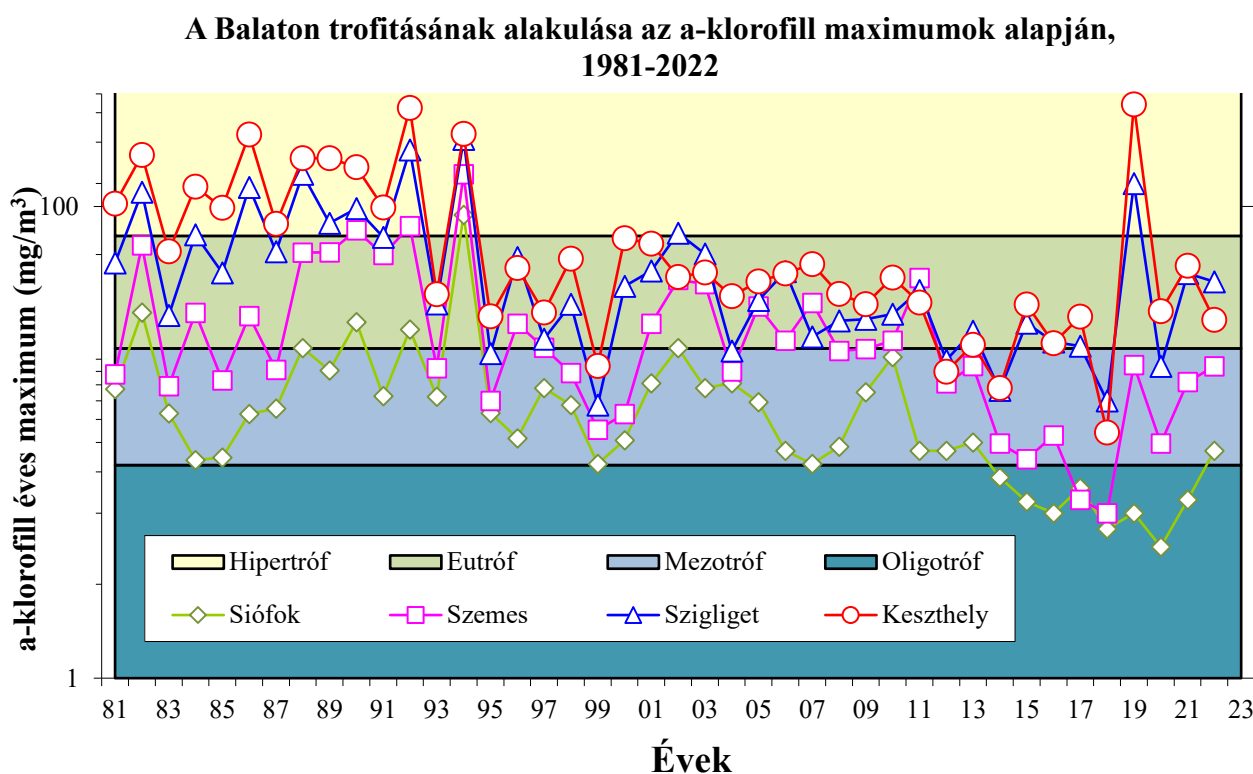
A Balaton vízminőségének alakulását a 70-es évek végétől a 90-es évek közepéig kedvezőtlen trofitási viszonyok, emelkedő algaszám, potenciálisan toxikus kékalgák dominanciája jellemezte, a nyugati medencék rendszeresen, a keletiek esetenként voltak hipertróf állapotúak.

A tó állapota a 70-es évek végén, a 80-as évek elején indult gyors romlásnak, amikor a tóban nyár végére egyre nagyobb mértékű tömegprodukciókat alakított ki a süveges kékmoszat (*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 változott. Az éves klorofill maximumok alakulásának alapján is egyértelműen látható ez a változás.

A Balaton négy medencéjének éves a-klorofill koncentráció maximumait medencénként tüntettük fel, hipertróf állapotot a sárga sáv jelöli. 1995-2018 és 2020-2022 között a mezotróf-eutróf, a keleti medencékben egyre inkább oligotróf vízminőség volt a jellemző. Egyedüli kivétel a 2019-es év, amikor a Keszthelyi- és Szigligeti-medencékben felszínen úszó algatömegek alakultak ki, és rekord magas klorofill értékeket mértünk.



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

A hosszirányú vízminőség eltérések kialakulása nem véletlen. A vízgyűjtő aszimmetrikus, a legtöbb tápanyagot szállító vízfolyás, a Zala-folyó és a levezető Sió-csatorna a hosszan elnyúló tó két ellentétes végén helyezkedik el. Ennek megfelelően az egyes medencék fajlagos terhelése is változik, nyugatról kelet felé határozottan csökken. Ennek eredményeképpen elsősorban a vegetációs időszakban feltűnő a nyugat-kelet irányú trofitási gradiens kialakulása. A tápanyaggal jobban ellátott, nyugati tórész (Keszthelyi- és Szigliget-medence) algában rendszerint gazdagabb, míg a keleti tórész (Szemesi-, Siófoki-medence) algában szegényesebb vízű.

A terhelés eloszlásának megfelelően elsősorban a tó nyugati medencéiben, elsősorban a Keszthelyi-medencében okoztak erőteljes vízminőség romlást a nyárvégi kékalga (cianobaktérium) dominanciájú tömegprodukciók. A folyamat ráadásul a 90-es évek közepéig egyre inkább kiterjedni

látszott. 1990-es évek első felében pedig a korábban kedvezőbb állapotú keleti medencékben is nagy tömegben szaporodtak el az algák, 1994-ben nyár végére az egész tó hipertróffá vált.

1995-tel kezdődően viszont sokkal jobb vízminőségi állapotokat tapasztaltunk, a kékalga tömegprodukciók visszaszorultak, az eutróf tartomány vált jellemzővé. Míg 1992-ben és 1994-ben a Keszthelyi-öböl maximális klorofill-a koncentrációi meghaladták a 200 mg/m³ értéket, 1995 után már csak egy-két alkalommal közelítette meg a tóban mért éves maximum a 75 mg/m³-es hipertróf határértéket. 2012-ben és 2014-ben még Keszthelynél is eutróf szint alatt maradt a klorofill maximum. A 2018-as év a klorofill maximumok alapján a legjobb vízminőséget mutató évek közé tartozott.

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 algafaj, a süveges kékmoszat okozta, hanem két másik algafaj (egy kékalga és egy páncélos ostoros faj) szaporodott el tömegesen.

2019-ben a Balatonban két alkalommal észleltük a planktonikus algák olyan mértékű elszaporodását, amikor a vízfelszínét az összegyűlő, úszó algatelepek lepték el. Az első vízminőségileg problémás algaprodukció 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 már a víz trofitási fokozata is jelentősen meghaladta a hipertróf szintet, a Keszthely tóközépen mért legmagasabb klorofill-a koncentráció 314 mg/m³, Szigligetnél 125 mg/m³ volt. A Zala-torkolathoz közeli mintavételi ponton egy extrém magas, 600 mg/m³ feletti értéket is mértünk. Ezt az extrém adatot az algológiai vizsgálatok, elsősorban a biomassa 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 vízen 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, hullámvész, azaz hajózásra alkalmatlan körülmények között) is.

Az algák elszaporodásának mértéke egyrészt a 2020-2021-ben megfigyeltékhez volt hasonló, *Dolichospermum flos-aquae* kora nyári lokális vízvirágzásokkal a nyugati tórérszben. Azonban ez évben a Szemesi-medencében is kialakultak felúszó alga mezők, mint 2022. augusztus 25-én.



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

A Balatonban a fitoplankton mennyisége és összetétele szezonális eltéréseket mutat: tavasszal általában elszaporodnak a kovaalgák, nyáron és nyár végén a nitrogénre egyre limitáltabb vízben a levegő nitrogénjének megkötésére képes kékalgák mennyisége éri el a maximumát, miközben a tó jellegzetes nyári algáinak, a fecskemoszatok száma is megemelkedik. Az algacsúcsok mértéke a tó trofitási állapotát tükrözi.

Az egyes tórészek trofitásbeli különbségei a lebegő mikroszkópikus algák fajösszetételének és dominanciaviszonyainak térbeli eltéréseiben is megnyilvánul. Az eutrofizáció fokozódását jelezte a tóban a múlt század közepétől többek között nemcsak a planktonikus algamennyiség emelkedése, hanem az algaösszetételének kedvezőtlen változása is, mint például a szubtrópusi-trópusi eredetű fonalas kékalgák elterjedése és elszaporodása a tóban. A múlt században a hetvenes évek végén jelent meg a Balatonban a *Raphidiopsis raciborskii* süveges kékalga, ami aztán a 80-as évektől a 90-es évek közepéig az egész tó területére kiterjedő nyárvégi algásodás domináns fajává vált. 1995 után ez az algafaj visszaszorult, nem minden évben vált dominánssá nyár végére, nem volt képes egyeduralkodóvá válni a tó egyik medencéjében sem, így a klorofill koncentrációk éves maximuma ritkán közelítette meg a hipertróf határértéket. 2019-ben a nem kékalga *Ceratium furcoides* fecskemoszat az *Aphanizomenon flos-aquae* fonalas kékalga alakított ki „algavirágzást” a nyugati tórérszben a nyári szezon végén. Az augusztus legvégén - szeptember elején észlelt jelenség a *R. raciborskii*-hoz képest később jelentkezett. További eltérés, hogy erőteljes rétegződés jellemezte, különösen az *Aphanizomenon flos-aquae* fonalai esetében lehetett megfigyelni a víz felszínén úszó alga tömeget. A felúszó algákat az áramlások és a szél összegyűjthette, a műholdképeken is jól megfigyelhető alga tömeg eltéréseket kialakítva a tavon belül.

A *Ceratium-Aphanizomenon* dominanciájú „vízvirágzás” 2020-2022 között nem ismétlődött meg, de a Keszthelyi- és Szigligeti-medencékben lokális *Dolichospermum*, a Szemesi-medencében

általában lokális, de legalább egy esetben kiterjedt *Microcystis* vízvirágzások fordultak elő. A *Dolichospermum* esetében a hipertóf határértéket meghaladó klorofill koncentrációt is mértünk egy-egy pontban, elsősorban áramlási holtterekben, míg a *Microcystis* esetében ilyen (a teljes vízoszlopra vonatkoztatva) nem tapasztaltunk.

A fitoplankton összetételének alakulását 2022-ben részletesen elemeztük, alapvetően a domináns fajok mennyiségének alakulása alapján.

A mintavételi alkalmak megoszlása térben és időben

A Balatonból 2022-ben a négy tóközépen és a Zala-torkolatból összesen 30 különböző időpontban vett 230 algaminta feldolgozására került sor, a mintavétel a március 24. és november 21-i időszakot öleli át. A mikroszkópos vizsgálat során valamennyi mintából feljegyeztük a domináns algataxonokat. Az így keletkezett adatokból a lebegő mikroszkópikus méretű algák összetételének változását vizsgálva a Balaton vízminőségére, az egyes tórészek trofitásbeli különbségeire lehetett következtetni algológiai szempontból.

Algaminták számának (db) megoszlása a Balatonban 2022-ben az egyes mintavételi helyek és mintavételi rétegek (felszín, átlag, mély) között (március 24-november 15):

Siófok tkp.	Szemes tóközép			Szigliget tóközép					Keszthelyi tóközép			Zala-torkolat	
átlag	felszín	átlag	mély	felszín	átlag	mély	1,5 m	automata	felszín	átlag	mély	felúszó	átlag
28	1	27	1	20	26	20	1	3	26	26	26	1	24

Rendszeres rétegvizsgálatok az algásodásnak, tápanyag-terhelésnek legjobban kitett nyugati tórészben a Szigligeti- és Keszthelyi-medencékben zajlottak. Alga rétegmintákat a Keszthelyi-tóközépből március 24-től, Szigligeti-tóközépben június 30-tól vettünk. Alkalmi jelleggel különböző vízmélységekből a Szemesi-tóközépen és a Zala-torkolatban is zajlott rétegmintavétel.

A teljes vízoszlopot reprezentáló átlagminta mellett a víz felszínéről vödörrel merített 15-30 cm-es vízrétegből vett felszíni, illetve az üledékfelszín közeléből perisztaltikus szivattyú segítségével felszívott mélységi minták alapján vizsgáltuk a rétegzettség alakulását.

Eseti jelleggel, a helyszíni mérések adatai alapján egyéb rétegből is vettünk mintát: július 4-én, Szigligetnél 1,5 méterről, ahol a helyszíni mérés (YSI EXO multiparaméteres szonda) klorofill maximumot jelzett. A Zala-torkolatban, szintén július 4-én a víz felszínén vékony, néhány nagyságrendileg centiméter-milliméter vastagágban összegyűlt felúszó „algavirágzásának” célzott mintázása történt.

Szigligeti platformra automata vízmintavevőt helyeztünk ki, amelyet megemelkedett klorofill koncentráció előfordulása alapján vezéreltünk. Mintákat augusztus 25-27-29-én vettünk a készülékkel.

Augusztus 29-én Szemesi-tóközépen is három vízréteg –felszín, átlag, mély- mintavétel történt. A minták elemzése alapján az algák összetételének, mennyiségének vertikális rétegződése az adott időpontban nem alakult ki Szemesnél.

A feldolgozott algaminták mintavételi alkalmainak időbeli megoszlása (Balaton, 2022)

	algaminták száma (db)	mintavételi alkalom (időpont) száma (db)
márc.-ápr.-máj.	42	8
jún.-júl.-aug.	96	11
szept.-okt.-nov.	92	11
Összesen:	230	30

A március-áprilisban kétheti, májustól novemberig pedig heti gyakoriságú volt a balatoni mintavétel.

Domináns algataxonok listája, mintavételi helyenkénti dominancia gyakoriságuk

A fitoplanktonban legtöbbször meghatározó arányban megjelenő algataxonok 2022-ben a Balatonban: a páncélos ostoros fecskemoszatok (*Ceratium furcoides*, *Ceratium hirundinella*), a toxintermelésre hajlamos fonalas *Aphanizomenon* kékalgák (cianobaktériumok), és apró néhány mikronos sárgás és barázdás ostoros, valamint egysejtű, 2-3 µm-es (pikoalga) egysejtűek, amelyek valószínűleg kékalgák voltak. A fenti algataxonok-algacsoportok legalább öt mintavételi időpontban az adott mintavételi helyen legalább egy vízrétegben (felszín, átlag, mély) domináns mennyiségben jelentek meg.

2022-ben a fecskemoszatok és a toxintermelésre hajlamos kékalgák jellegzetes összetevői voltak a balatoni, elsősorban a nyári algaplanktonnak, rendszeres dominanciájuk a víz algásodásának nagyobb valószínűségét, lehetőségét is magukban hordozzák. A 2019 évben a nyárvégi algainvázióért felelős *Ceratium furcoides* fecskemoszat és *Aphanizomenon flos-aquae* kékalga 2022-ben is gyakran uralkodó algafajai voltak a balatoni algaplanktonnak.

A dominancia alkalmak átlagos száma az öt mintavételi hely mintavételi eseményeinek számátlagát képezi.

A balatoni fitoplankton meghatározó algák dominancia alkalmainak száma az egyes mintavételi helyszíneken 2022-ben (márc.24.-nov.21.)

		Siófok tkp.	Székes tkp.	Szigliget tkp.	Keszthely tkp.	Zala-trk.	Dominancia a lakmak átlagos száma a Balatonban
Összes mintavételi időpont száma:		28	27	27	26	24	
Leggyakrabban domináns algák:							
Fecskemoszatok (páncélos ostoros)	Ceratium furcoides	15	11	18	16	15	15,0
	Ceratium hirundinella	11	8	6	7	4	7,2
Toxintermelésre képes kékalgák	Aphanizomenon flos-aquae	1	0	9	10	5	5,0
	Aphanizomenon issatschenkoii	0	10	11	10	9	8,0
	Aphanizomenon klebahnii	9	14	4	5	2	6,8
Barázdás ostoros	Rhodomonas minuta	14	9	9	12	7	10,2
Sárgás ostoros	Chrysocromulina parva	12	18	11	12	9	12,4
Egyéb kékalka	Néhány mikronos, többnyire pikoalga (2 µm-nél kisebb)	5	5	5	6	5	5,2
Ritkábban domináns algák:							
Toxintermelésre képes kékalgák	Dolichospermum flos-aquae	0	0	2	1	1	0,8
	Dolichospermum spiroides	0	0	0	0	1	0,2
	Oscillatoria agardhii	0	1	3	2	7	2,6
	Raphidiopsis mediterranea	0	1	0	0	0	0,2
	Raphidiopsis raciborskii	0	1	0	3	6	2
Egyéb kékalka	Lyngbya limnetica	0	0	0	0	1	0,2
Kovaalka	Cyclotella sp.	5	4	1	1	3	2,8
	Aulacoseria granulata	3	0	0	0	0	0,6
	Nitzschia acicularis	1	0	0	2	3	1,2
Zöldalka	Monoraphidium contortum	0	0	4	4	3	2,2
	Schroederia setigera	1	1	0	0	0	0,4
	Closterium aciculare	1	2	4	3	0	2
	Closterium acutum var. variabile	0	2	3	4	0	1,8
Barázdás ostoros	Cryptomonas spp.	0	0	0	0	6	1,2
Egyéb páncélos ostoros	Peridinium sp.	0	0	2	0	0	0,4

Fecskemoszatok és toxintermelésre hajlamos kékalgák tér és időbeli dominancia mintázata

A tóban a múlt században az 1980-as évektől a 90-es évek közepéig okoztak jelentős vízminőségi problémát a fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok, azaz a kékalgák tömegprodukciói, amelyek egyben potenciális toxintermelők is. 2019-ben a nyárvégi algásodást okozó *Aphanizomenon flos-aquae* is egy ilyen cianobaktérium. A balatoni fecskemoszat (*Ceratium hirundinella*) a fonalas kékalga virágzások időszaka előtti kedvezőbb vízminőséghez köthető alga volt. 2019-ben nem ez a fecskemoszat faj, hanem egy világszerte terjedő másik fecskemoszat, a *Ceratium furcoides* túlszaporodása alakult ki a Keszthelyi-öbölben.

A toxintermelésre hajlamos kékalgák mennyisége a keleti tórészben csak július közepén-végén emelkedett meg annyira, hogy az algaplankton döntő részét képezzék, míg a nyugati tórészben már május végén domináns lett ez az algacsoport. A keleti tórészben később jelenik meg, és előbb szűnik meg a toxintermelésre képes kékalgák dominanciája, mint a nyugati medencékben. A kékalgák október elejétől november elejéig keletről nyugatra haladva fokozatosan szorultak ki az egyes

tómedencék algtársulásából. A Zala-torkolatban az *Oscillatoria agardhii* november 7-én, az *Aphanizomenon flos-aquae* Keszthelynél november 2-án, Szigligeten október 27-én még uralkodó algafaj volt a planktonban. Szemesen az *Aphanizomenon issatschenkoi* és *Aphanizomenon klebahnii* október 18-ig, Siófokon az *Aphanizomenon klebahnii* október 6-ig tartott ki. November közepére már egyik mintavételi pontnál sem volt toxintermelésre képes kékalga jelentős arányban és egyedszámban a planktonban.

A fecskemoszatok gyakorlatilag egyszerre terjedtek el majd „tűntek el” a Balaton valamennyi vizsgált mintavételi pontján, mint a fitoplankton domináns összetevői. Nagyjából egyidőben, május végén emelkedett meg meghatározó mértékben a mennyiségük az egész tóban. Ősszel valamennyi mintavételi ponton október 12-én lehetett utoljára feljegyezni a plankton uralkodó algataxonjai között ezeket a páncélos ostorosokat.

Az alábbi táblázat a fecskemoszatok és toxintermelésre képes kéalgák dominanciáját mutatja be a Balatonban. Domináns az az alga, mely az algaflankton meghatározó részét képezi. Ugyanabban az időpontban és mintában egyszerre több algataxon lehet domináns. További magyarázat a táblázathoz, ahol:

- 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.

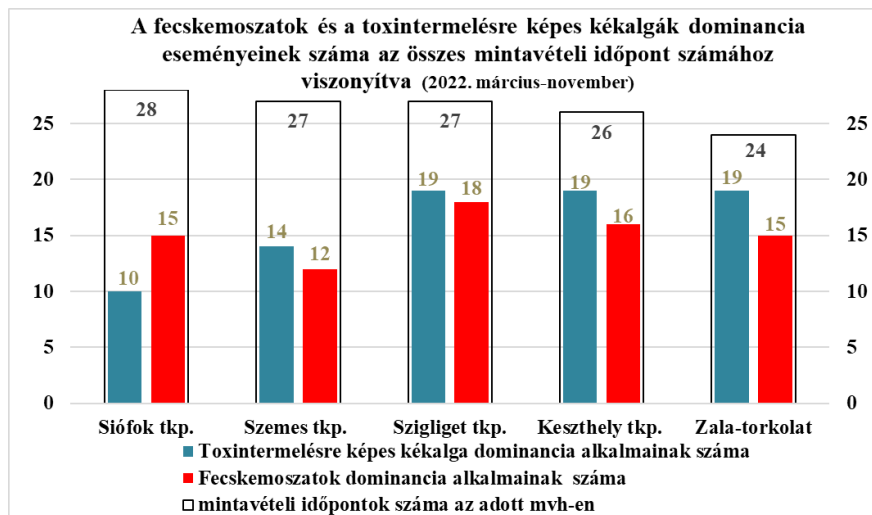
A fecskemoszatok és toxintermelésre képes kéalgák dominanciája a Balatonban, 2022

Toxintermelésre hajlamos kékalga		Fecskemoszatok																														
		03.24.	03.29.	04.06.	04.26.	05.02.	05.09.	05.16.	05.23.	06.30.	07.04.	07.14.	07.19.	07.25.	08.02.	08.11.	08.16.	08.25.	08.27*	08.29.	09.05.	09.13.	09.28.	10.06.	10.12.	10.18.	10.27.	11.02.	11.07.	11.15.	11.21.	
Toxintermelésre hajlamos kékalga	Siófok tkp.						x							tk	tk	tk	tk	tk	x	tk	tk	tk	tk	tk								
	Szemes tkp.						x	x				tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	x	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk						
	Szigliget tkp.					x		x	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk					x
	Keszthely tkp.					x		x	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	x	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk				x
	Zala-torkolat			x		x		x	tk	x	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	x	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk	tk		x
Fecskemoszatok	Siófok tkp.						x		f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	x	f	f	f	f		f							
	Szemes tkp.						x	x	f	f	f	f			f		f	f	x	f	f	f	f		f							
	Szigliget tkp.					x	f	x	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f							x
	Keszthely tkp.					x		x	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	x	f	f	f	f	f	f							x
	Zala-torkolat			x		x		x	f	x	f	f	f	f	f	f	f	f	x	f	f	f	f	f	f							x

* csak automata mintavevővel: aug.27-én, Szigligetnél,

**08.25-én és 08.29-én automata és kézi mintavétel is volt Szigligeten

A mintavételi időpontok/alkalmak kevesebb arányában alakult ki fecskemoszat és toxintermelésre képes kékalga dominancia a keleti tórészben Siófoknál és Szemesnél, mint a nyugati tórészben Szigligetnél, Keszthelyen illetve a Zala-torkolatban. Kékalga dominancia száma (10 alkalom) Siófokon, a fecskemoszat dominancia száma (12 alkalom) Szemesen volt a legkevesebb. A toxintermelésre hajlamos kéalgák dominanciája a keleti tórészben 10-14, a nyugati tórészben 19 mintavételi időpontban, a fecskemoszatok dominanciája a keleti tórészben 12-15, a nyugati tórészben 15-18 mintavételi alkalommal volt megfigyelhető.



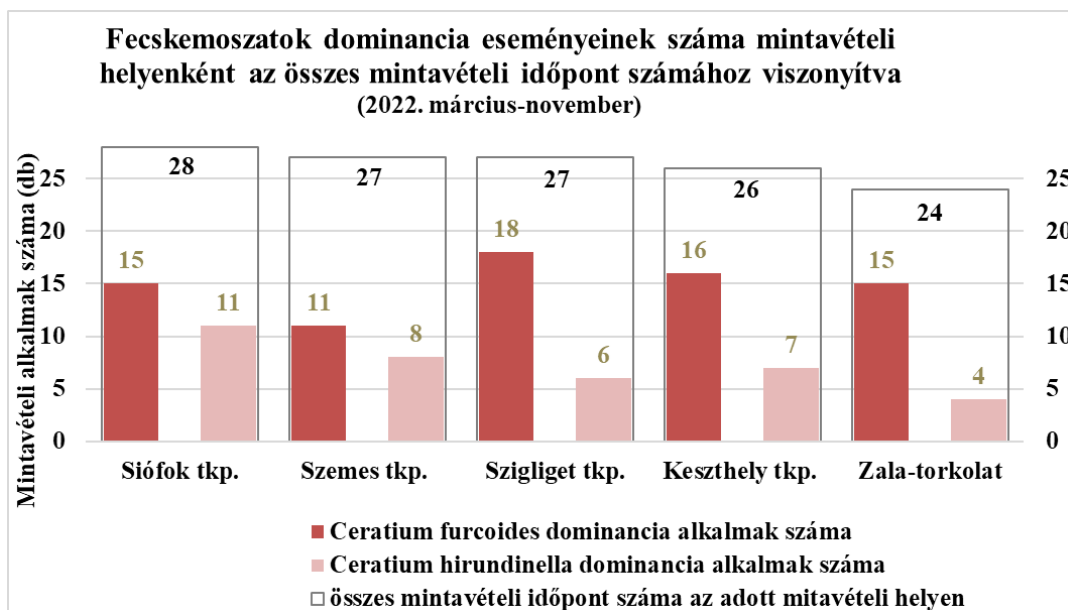
A rétegmintázás esetében egy adott mintavételi időponthoz több (három: felszín, átlag, mély) algaminta is tartozik ugyanahhoz a mintavételi helyhez. Adott mintavételi ponton dominánsnak számított az algataxon, ha legalább egyik mintázott rétegben domináns lett. A kéalgák és fecskemoszatok többféle algafajból tevődnek össze, ha valamelyik képviselőjük domináns lett, akkor az az algacsoport dominánsnak számított.

A fitoplankton fajszintű térbeli mintázata dominancia gyakorisága alapján a Balatonban, 2022-ben

A fecskemoszatok

A fecskemoszatok rendszertani besorolásuk szerint a páncélos ostoros moszatok (*Dinoflagellata*) közé tartoznak. Képesek a fotoszintetizáló és a heterotróf táplálkozásmódot váltogatni (mixotrófok), valamint ostorukkal a vízoszlopban, ha lassan is, de vándorolni, és számukra kedvezőbb vízrétegeket felkeresni. Két fajuk rendszeresen előfordul a tóban, mindketten a melegvizes időszak, a nyári balatoni alगतársulások jellemző algái. A *Ceratium hirundinella* a Balatonban őshonos algafaj, a „balatoni fecskemoszat”. A *Ceratium furcoides* („nyurga fecskemoszat”) viszont invazív faj, tömegprodukcióival világszerte okoz vízminőségi problémákat felszíni édesvizekben, vízvirágzásokat kialakítva gyorsan terjed.

Megállapítható, hogy a Balatonban minden monitorozott mintavételi helyen a *Ceratium furcoides* gyakrabban lett domináns, mint a *Ceratium hirundinella*. Továbbá, az invazív fecskemoszatforma a nyugati tórészben valamivel többször volt domináns (15-18 alkalom), mint a keleti tórészben (11-15 alkalommal). Az őshonos fecskemoszat esetében ez fordítva történt: a nyugati tórészben ritkábban (4-7-szer) lett a plankton meghatározó része, mint a tó keleti (8-11-szer) felében. (Természetesen egyszerre is lehettek dominánsak ezek az algák).



Toxintermelésre hajlamos kéalgák

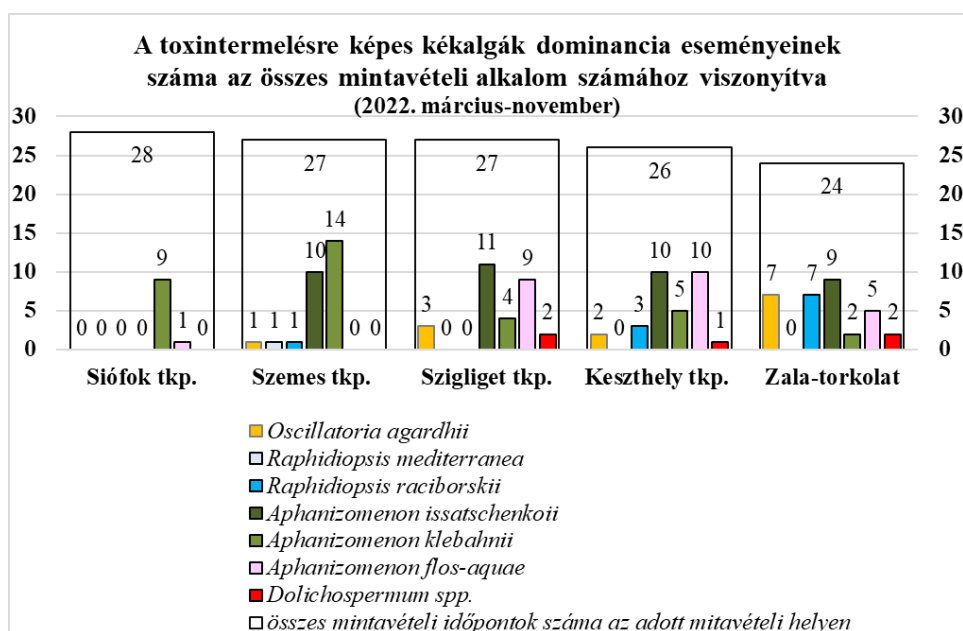
Vízminőségileg a toxintermelésre képes kéalgák tekintetében Siófok van a legkedvezőbb helyzetben, mert itt a legritkábban domináns ez a kéalgacsoport, és csak kétféle fajuk tudott elszaporodni a planktonban döntő mértékben: *Aphanizomenon klebahnii* a leggyakrabban és csupán egyszer a *Raphidiopsis raciborskii*.

Az *Oscillatoria agardhii*, *Aphanizomenon issatchenkoi* a Siófoki tóközépen egyszer sem váltak uralkodó alfafajjává, ellenben az innen nyugatra eső tórészekkel: az *Aphanizomenon issatschenkoii* Siófok kivételével valamennyi mintavételi ponton, az *Oscillatoria agardhii* a Zala-torkolatnál rendszeresen uralkodó alfafaja a planktonnak.

Az *Aphanizomenon klebahnii* a legelterjedtebb toxintermelésre képes kéalga volt a Balatonban 2022-ben, a tó valamennyi mintavételi pontján domináns tudott lenni.

1992-ben és 1994-ben a tó bealgásodásáért volt felelős a *Raphidiopsis raciborskii* (süveges kéalga), 1995 óta nem okozott hasonló mértékű algatömegprodukción, viszont a Balatonban a nyári plankton rendszeres és jellemző összetevője maradt. 2022-ben Siófokon, Szemesen, Keszthelyen és a Zala-torkolatban lett domináns, de mennyisége nem volt jelentős, nem okozott algásodási problémát.

A *Raphidiopsis mediterranea* szintén toxintermelésre képes kéalga csak egyszer, és csupán a Szemesi-tóközépen szaporodott el domináns mértékben.



A toxintermelő kéalgák elszaporodásának időbeli egymásutánisága, szukcessziója eltért az egyes tórészekben.

A Siófokon egyetlen toxintermelésre képes kéalga szaporodott el tartósan-július végétől október elejéig- domináns mennyiségben: az *Aphanizomenon klebahnii*. *Raphidiopsis raciborskii* csak egyszer volt domináns.

Szemesen az *Aphanizomenon klebahnii* július közepén lett uralkodó alga faj, majd augusztus végétől október elejéig-közepéig az *Aphanizomenon issatschenkoi*-vel együtt dominánsak.

A nyugati tórészben többféle toxintermelésre hajlamos kéalga terjedt el, és képezte a plankton döntő hányadát, és dominanciájuk később ért véget, mint a tó keleti felében.

Május végén, július elején a *Dolichospermum spp.* egy-egy alkalommal domináns.

Július közepétől október közepéig a tóközépeken, a Zala-torkolatban szeptember közepéig az *Aphanizomenon issatschenkoi* folyamatosan uralkodó alga faj az alga társulásoknak, mellette szórványosan az *Aphanizomenon klebahnii*, még ritkábban a *Raphidiopsis raciborskii* is domináns mennyiségben tűnt fel.

Legutolsóként dominánsként megjelenő kéalga az *Aphanizomenon flos-aquae*, augusztus végétől október végéig Szigligeten, szeptember elejétől november elejéig Keszthelyen volt jellemző.

A Zala-torkolat toxintermelésre képes kéalgaösszetétele részben eltér a tó tóközépeinek algaösszetételétől. A *Raphidiopsis raciborskii* a Zala-torkolatban volt a leggyakoribb kéalga, a tó többi részében ritkán tűnt fel domináns fajként. A torkolatban augusztus közepétől-szeptember elejéig, valamint október első felében döntő része a fitoplanktonnak ez az alga. Ugyancsak itt fordult elő legtöbbször meghatározó számban és arányban az *Oscillatoria agardhii* fonális kéalga, amely szeptember végétől november elejéig meghatározó része volt az algaplanktonnak.

Az algák mennyisége mellett a növényi tápanyagok, elsősorban az oldott reaktív foszfor (PO₄-P) koncentrációja is jelzi a trofitás alakulását. Az alábbi táblázatokban a balatoni tóközépen mért koncentrációkat foglaljuk össze, éves bontásban.

Balaton trofitási jellemzői 2019-ben a KDT VIZIG mérései alapján

Állomásnév	VM kód	Chl-a, átlag, mg/m ³	Chl-a, maximum, mg/m ³	PO ₄ -P, átlag, µg/l	PO ₄ -P, maximum, µg/l
Zala-torkolat	04FB14	48	618	43,7	77
Keszthelyi-öböl, tóközép	04FB16	45	314	23,9	41
Szigligeti-öböl, tóközép	04FB17	26	125	23,3	39
Balatonakali, tóközép	04FB08	7,0	21	18,3	33
Siófok, tóközép, Alsóörs vonalában	04FB03	2,8	5	19,9	33

Balaton trofitási jellemzői 2020-ban a KDT VIZIG mérései alapján

Állomásnév	VM kód	Chl-a, átlag, mg/m ³	Chl-a, maximum, mg/m ³	PO ₄ -P, átlag, µg/l	PO ₄ -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 ³	Chl-a, maximum, mg/m ³	PO ₄ -P, átlag, µg/l	PO ₄ -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 ³	Chl-a, maximum, mg/m ³	PO ₄ -P, átlag, µg/l	PO ₄ -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

A táblázatban közölt adatok jellemzően március-áprilistól november-decemberig tartó időszakban havonta, nyáron hetente-két hetente mért eredmények alapján lettek kiszámolva. Emiatt a nyári időszakban mérhető értékek irányába tolódnak el az átlagértékek. A 2022. évi értéket már havi átlagokból képeztük.

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. A táblázatban a saját adatainkat használtuk. 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 2021-hez képest kis mértékben csökkent, a foszfát koncentráció alig változott.

Összességében 2022-ben a Balaton trofitási állapota a 2020-2021-ben tapasztalt állapotokhoz hasonlított, a 2019-ben tömegesen tapasztalt fecskemoszatok ez évben nem jelentek meg nagy mennyiségben. A nyílt vízben a nitrogénköti fonális cianobaktériumok, azon belül is az *Aphanizomenon flos-aquae*, és a parti sávban a *Dolichospermum flos-aquae* elszaporodása okozott átmeneti vízminőségi problémát.

3.2 A Balaton tápanyagterheléséről

A Balatonba befolyó vizek mérőhálózatának drasztikus megkurtítása miatt nem volt elkészíthető a 2008. év utáni tápanyagterhelési mérlege oly módon, hogy az összevethető legyen a mintegy 35 éven át készült, nagyobb számú adatra alapozott mérlegekkel. Emiatt a mérlegek készítése egészen 2014-ig szünetelt.

Ebből a helyzetből kiindulva több irányból kezdtünk hozzá a hiányosságok javításához, hogy a tápanyag terhelési becslés újra elkészülhessen.

Ehhez egyrészt 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 pedig 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. Ugyanakkor a vizsgált vízfolyások számát megnöveltük a jelentős terhelést adó, de korábban nem vizsgált vízfolyások vizsgálatával. Így például rendszeresen mérjük a Lesence nádasmező kifolyóit is. Rövidesen várható (KEHOP projekt keretében) a Lesence nádasmező elfolyó vizeit monitorozó automata rendszer kiépítése, onnantól kezdve ezen vízfolyások eredményeit is szeretnénk beépíteni a modellbe.

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 vízhozam mellett csak ritkább 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.

2 hetente	4 hetente
Imremajori-csatorna	Egervíz
Lesence-patak	Burnót-patak
Nemesvitai-övért	Örvényesi-séd
Nyugati-övért	Jamai-patak
Keleti-Bozót-árok	Endrédi-patak
Tapolca-patak	Fűzfői-séd
ABC-csatorna	Vörösberényi-séd
	Lovasi-séd
	Csopaki-séd
	Kőröshegyi-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 sem rendelkezünk naprakész információkkal, de ez a tétel jelenleg csekély mértékű. 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, ennek szerepét a közeljövőben induló kutatási programok hivatottak 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 tervezünk méréseket végezni a Balatonba torkolló vízfolyásokon levonuló árhullámok terheléséről.

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. A csapadék gyűjtő által képzett minták azonban a platformokat pihenőhelyként használó madarak miatt sajnos ürülékkel erősen szennyezett volt, a kihelyezett különböző madárriasztó eszközök (automatikus és mozgásérzékelővel ellátott risztók, stb.) hatástalannak bizonyultak. 2022-ben összesen 73 száraz és nedves kiülepedés mintát gyűjtöttünk, és elemeztük azok növényi tápanyag tartalmát. Sajnos az eredmények is azt bizonyították, hogy a madárürülék szennyezés miatt ezekből a mintákból terhelés nem számolható. A madarak távoltartásra szolgáló alkalmas módszert továbbra sem tudtunk találni, jelenleg valamilyen mechanikus riasztó módszer kialakításán gondolkodunk.

2022-ben a befolyók terhelését a rendszeres mintavételek alapján, a közvetlen vízgyűjtő terhelését a vízháztartás adatai alapján modellezéssel, a légköri és a szennyvíz eredetű terhelést a legutóbbi ismert adatok felhasználásával számoltuk.

A mérlegben nem szerepel a horgászok által bevitt terhelés. A horgászok önbevallásán alapuló adatok alapján a csalianyagokkal behordott mennyiség a teljes terheléshez viszonyítva csekély érték.

3.2 A Balaton 2022. évi terhelésének becslése

A 2022. 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 2022. évi terhelést a következő oldalakon található táblázatok tartalmazzák.

2022 Balatoni tápanyagterhelés a vízfolyásokból

Tórész	Vízfolyás	Szelvény	VM állomás	TN kg/év	TP kg/év	PO ₄ -P kg/év	BAP kg/év	A számítás módja
I.	Zala	Fenekpuszta	z27	115 837	13 432	8 735	9 674	napi vízhozamból
II.	Egervíz	Nemesgulács	04FB41	19 455,2	4 991,6	1 049,9	1 838,3	napi vízhozamból
	Imremajori-árok	Balatonfenyves	05FB40	0,0	0,0	0,0	0,0	havi szivattyúzásból
	Keleti-bozót-árok	Fonyód	05FF24	10 207,1	1 250,3	71,1	306,9	vízmérleg havi vízhozamból
	Nyugati-övesatorna	Balatonkeresztúr	05FF23	6 107,8	866,2	43,0	207,6	vízmérleg havi vízhozamból
	Tapolca-patak	Hegymagas	04FB42	63 542,6	4 483,5	1 027,9	1 719,0	napi vízhozamból
	Zichy-csatorna	Bélatelep	05FB41					nem működik
				99 313	11 592	2 192	4 072	
III.	ABC-csatorna	Balatonlelle	05FB72	1 574,4	330,8	2,9	68,4	havi szivattyúzásból
	Burnót-patak	Ábrahámhegy	04FB39	317,6	45,4	10,8	17,7	napi vízhozamból
	Jamai-patak	Balatonboglár	05FB70	328,2	66,3	6,8	18,7	vízmérleg havi vízhozamból
	Köröshegyi-séd	Balatonföldvár	05FF26	386,4	93,9	26,7	40,2	vízmérleg havi vízhozamból
	Nagymetszés	Balatonszárszó	05FB63	1861,7	438,3	104,9	171,6	vízmérleg havi vízhozamból
	K-Ny-főcsatorna	Ordacsehi	05FB71	382,3	19,0	2,1	5,5	havi szivattyúzásból
	Tetves-patak	Visz	05FF25	269,9	37,7	6,6	12,9	vízmérleg havi vízhozamból
	Örvényesi-séd	Örvényes	04FB36	4 566,3	73,5	12,6	24,8	napi vízhozamból
				9687	1 105	174	360	
IV.	Csopaki-séd	Csopak	04FB32	1 474,4	80,8	7,8	22,4	egyedi mérésekből
	Endrédi-patak	Zamárdi	05FB73	251,5	51,3	17,3	24,1	egyedi mérésekből
	Fűzfői-séd	Balatonfűzfő	04FB27	943,4	58,3	27,0	33,2	vízmérleg havi vízhozamból
	Lovasi-séd	Alsóörs Csopak között	04FB31	1 858,4	102,8	10,6	29,0	egyedi mérésekből
	Vörösberényi-séd	Balatonalmádi	04FB28	2 566,4	24,9	5,6	9,4	egyedi mérésekből
				7 094	318	68	118	
Összesen, kg/év:				231 930	26 447	11 168	14 224	
Zala nélkül:				116 094	13 015	2 434	4 550	
Déli oldal:				21 369	3 154	281	856	
Északi oldal:				94 724	9 861	2 152	3 694	

A tó közvetlen vízgyűjtőjéről származó, modellel számított 2022. évi terhelések

Összes nitrogén, 2022

Tórész	Terhelés, kgN/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	22 537	14 184	0	676	16 449	22,54	31,31
II.	14 545	9 650	3 144	905	8 127	14,54	21,83
III.	13 420	16 617	0	211	7 787	13,42	24,61
IV.	26 257	11 150	0	252	5 073	26,26	16,47
Balaton	76 759	51 600	3 144	2 043	37 436	76,76	94,22
					170 982		

Összes foszfor, 2022

Tórész	Terhelés, kgP/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	5 479	5 128	0	240	6 872	5,48	12,24
II.	4 336	3 588	320	332	3 303	4,34	7,54
III.	4 266	6 153	0	79	3 155	4,27	9,39
IV.	9 084	4 012	0	98	2 035	9,08	6,15
Balaton	23 164	18 881	320	750	15 366	23,16	35,32
					58 480		

Ortofoszfát-foszfor, 2022

Tórész	Terhelés, kgP/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	389	124	0	22	286	0,39	0,43
II.	76	23	2	8	51	0,08	0,08
III.	52	31	0	1	43	0,05	0,08
IV.	74	14	0	1	20	0,07	0,04
Balaton	590	193	2	32	401	0,59	0,63
					1 218		

BAP, 2022

Tórész	Terhelés, kgP/év					Városias t/év	Egyéb közvetlen t/év
	település	szántó	legelő	erdő	szőlő		
I.	1 407	1 125	0	65	1 604	1,41	2,79
II.	928	736	65	73	702	0,93	1,58
III.	895	1 256	0	17	666	0,89	1,94
IV.	1 876	814	0	21	423	1,88	1,26
Balaton	5 105	3 931	65	175	3 394	5,11	7,57
					12 670		

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 terhelésről nem kaptunk használható 2022-es adatokat, de összességében ez a tétel csekély súlyú 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-ben ezt mérési és modellezési adatok alapján terveztük pontosítani. Áprilistól novemberig gyűjtöttük és elemeztük a Keszthelyi- és a Siófoki-medence tóközépen a száraz és a nedves ülepedésből származó kihullást, ez több, mint 70 mintát jelentett. Sajnos a korábban leírt gyűjtési problémából adódóan a mérési adatok a terhelés becslésére használhatatlannak bizonyultak.

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.

2022-ben a külső nitrogén terhelésben az átlagtól elmaradó hozzáfolyás következtében a légköri terhelés aránya nőtt meg. A terhelés a Siófoki-medencében volt a legmagasabb, ezt követték a középső medencék (Szemes és Szigliget), a legalacsonyabb a Keszthelyi-medence nitrogén terhelése volt.

A foszfor formák esetében a nyugatról keletre csökkenő tendencia érvényesült, bár a foszfor formák esetében a Siófoki-medence megelőzte a Szemesi-medencét, minimális különbséggel. 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 jelentősége nő meg. Az év során az északi parton több projekt keretében is voltak vízrendezési munkálatok, mint Palóznakon vagy a Lesence szűrőmező területén.

Ez évben a Sió-csatorna átépítése miatt a Sió-zsilip egész évben zárva volt, a tóból vízleeresztés nem történt, így a tóból tápanyagok ezen az úton nem távoztak.

A Balatont érő összes terhelés tómedencékre bontva, 2022

A Balatont érő összes nitrogén terhelés					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	115,8	99,3	9,7	7,1	231,9
Közvetlen szennyvíz	0,0	7,6	5,3	0,0	12,9
Városias terület bemosódása	22,5	14,5	13,4	26,3	76,8
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	31,3	21,8	24,6	16,5	94,2
Légköri terhelés	98,7	329,7	451,7	567,6	1447,7
Összesen	268,4	473,0	504,7	617,4	1863,5

A Balatont érő összes foszfor terhelés					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	13,4	11,6	1,1	0,3	26,4
Közvetlen szennyvíz	0,0	0,4	0,3	0,0	0,7
Városias terület bemosódása	5,5	4,3	4,3	9,1	23,2
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	12,2	7,5	9,4	6,1	35,3
Légköri terhelés	0,8	2,8	3,9	4,8	12,4
Összesen	32,0	26,7	18,9	20,4	98,0

A Balatont érő ortofoszfát-foszfor terhelés					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	8,7	2,2	0,2	0,1	11,2
Közvetlen szennyvíz	0,0	0,4	0,3	0,0	0,7
Városias terület bemosódása	0,4	0,1	0,1	0,1	0,6
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	0,4	0,1	0,1	0,0	0,6
Légköri terhelés	0,8	2,8	3,9	4,8	12,4
Összesen	10,4	5,6	4,5	5,0	25,5

A Balatont érő biológiailag hozzáférhető foszfor (BAP) terhelés					
t/év					
Eredet	I.	II.	III.	IV.	Balaton
Vízfolyások	9,7	4,1	0,4	0,1	14,2
Közvetlen szennyvíz	0,0	0,4	0,3	0,0	0,7
Városias terület bemosódása	1,4	0,9	0,9	1,9	5,1
Egyéb közvetlen vízgyűjtő bemosódása	2,8	1,6	1,9	1,3	7,6
Légköri terhelés	0,8	2,8	3,9	4,8	12,4
Összesen	14,7	9,8	7,4	8,1	40,0

4 ÖSSZEFOGLALÁS

A jelentés a 2022. 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 légköri kihullásból, a száraz és nedves ülepedésből származó terhelést a Siófoki- és a Keszthelyi-medencében, tóközépen álló platformokra kihelyezett mintavevőkkel gyűjtött minták alapján szerettük volna pontosítani. Sajnos a madarakat nem sikerült a mintavevőktől távol tartani, így gyakorlatilag minden gyűjtött minta madárürülékkel erősen szennyezett volt. Emiatt a légköri terhelés pontosítása sikertelen volt.

A tó trofitási állapota 2019-ben kedvezőtlenül alakult, térben és időben is kiterjedt nyárvégi, kora őszi alga tömegprodukció alakult ki. A 80-as, 90-es években jellemző süveges kékmoszatnak ez évben nem volt szerepe a kialakult állapotban, a fecskemoszatok (elsősorban a *Ceratium furcoides*) és az *Aphanizomenon flos-aquae* kékalga voltak a domináns fajok. Keszthelynél rekordot döntött a tóközépen mért klorofill tartalom.

A vízminőség 2020 és 2022 között újra kedvező volt, bár lokális vízvirágzások kialakultak. A *Dolichospermum (Anabaena) flos-aquae* volt a partközeli, lokális, rövid ideig tartó vízvirágzások leggyakoribb faja. 2022-ben a Szemesi-medencében, elsősorban annak északi partja mellett lehetett *Microcystis* vízvirágzásokat észlelni. Egy alkalommal a felúszó algákkal borított terület a nyílt vízre, azaz a tóközépre is kiterjedt, nem csak a parti sávban volt észlelhető. A 2019 évben problémás *Aphanizomenon flos-aquae* is jelen volt, csak nem ért el olyan biomasszát, ami a 2019. évi eseményeket megismételhetette volna. A *Ceratium furcoides* esetében is hasonló a helyzet, előfordult, de a 2019. évi mennyiség töredéke.

A 2022. évi mérleg alapján a Balatonba a befolyókon, a közvetlen vízgyűjtőről és a légköri terhelésből összesen 1864 tonna nitrogén, 98 tonna foszfor jutott be. Az összes foszforon belül 40 tonnára becsülhető a biológiailag hozzáférhető foszfor, és 26 tonna az ortofoszfát-foszfor. Ezek az értékek alacsonyabbak, mint a 2019-2021 közötti három évben becsült terhelések.

A tóból a Sió-csatornán 2022-ben nem történt leeresztés, így a tóból ezen az úton tápanyagok nem távoztak.

2022. évi tápanyagterhelési mérleg alapján a Balatonba bejutó tápanyagok tekintetében nem történt jelentős változás, a terhelés ez évben kissé csökkent az előző évhez viszonyítva. 2022-ben az előző évnél gyakrabban figyeltünk meg az algák felúszásából adódó felszíni vízvirágzást, elsősorban a part mentén, de egy alkalommal a Szemesi-medencében a nyílt vízen is.

2023-ban tervezzük a munkát kiterjeszteni a nagy lefolyási eseményekkel összefüggő többlet terhelési adatok mérésével. További próbát teszünk a légköri terhelés, a légköri száraz és nedves kiülepedés alapján történő számításával. Ehhez a madarak elleni védelmet szükséges megoldani.

Székesfehérvár, 2023. július

Kóbor István
laborvezető