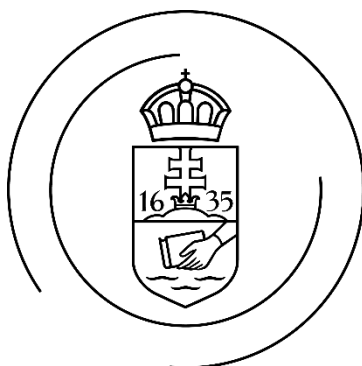


A Balaton hidrológiai és meteorológia viszonyainak elemzése éghajlati adatsorokon

TDK DOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGIA SPECIALIZÁCIÓ



Készítette:

Fliszár Alexandra Zsuzsanna

Témavezető:

dr. habil. Mészáros Róbert

ELTE TTK FFI, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2025

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. Sekély vizű tavak vizsgálata	4
1.1 Környezeti hatások vizsgálata	4
1.2 Vízsabályozás vizsgálata	5
1.3 Kutatások fókuszban a Balatonnal	7
2. A Balaton, és éghajlata	10
3. Felhasznált adatok.....	14
4. A vízállás változásának vizsgálata.....	16
4.1 Átlagos vízállás változása	16
4.2 Éves minimum vízállás változása.....	18
4.2.1. Az 1880–1891 közötti időszak minimum vízállás értékei	19
4.2.2. Az 1921-es év minimum értékei.....	21
4.2.3. A 2003-as év minimum értékei.....	22
4.3 Éves maximum vízállás változása	25
5. Jégviszonyok	29
Összegzés	37
Köszönetnyilvánítás	38
Hivatkozások.....	39
Függelék	41

Bevezetés

Az éghajlatváltozás napjaink egyik legnagyobb kihívása. Hazánkban az Alföld mellett a Balaton térsége az egyik legsérülékenyebb terület, emiatt kiemelten fontos a térség meteorológiai és hidrológiai viszonyainak elemzése. Sekély vizű tavak vizsgálatával hazánkban és külföldön is foglalkoznak. A sekély vizű tavak erősebben kitettek az éghajlatváltozás és az emberi tevékenység hatásainak, mint a mélyebbek. A Balaton esetében az éghajlatváltozás mellett a Sió-zsilippel történő vízszabályozás is meghatározó a tó életében.

A Balaton korabeli éghajlatának rekonstruálásával, és rövidebb mérési adatsorok feldolgozásával a szakdolgozatomban foglalkoztam (*Fliszár, 2024*). Ennek a témának a folytatásaként, kutatásaim során egy viszonylag hosszabb időszakra vonatkozóan vizsgálom a Balaton vízállásának változását, és annak meteorológiai hátterét. Ehhez a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) 1876 óta elérhető hidrológiai adatait (vízállás, jégviszonyok), valamint a HungaroMet Zrt. által készített, Keszthely állomásra vonatkozó, homogenizált adatsorokat (havi átlagos hőmérséklet és havi csapadékösszeg 1871-től) használtam fel.

Dolgozatom célja bemutatni, hogy közel másfél évszázad (1876–2020) alatt hogyan változtak a meteorológiai és hidrológiai viszonyok, és ezek mennyire figyelhetők meg az éghajlatváltozás során a Balaton térségében. A kutatás során kapott eredmények napi, havi és éves léptékű változások megfigyelésére is alkalmasak, mely során a meteorológiai adatok alapján is tudunk következtetni a bekövetkezett hidrológiai változásokra.

A dolgozat első részében a sekély vizű tavak vizsgálata során alkalmazott szempontok közül a környezeti hatások és a vízszintszabályozással kapcsolatos lehetőség elemzését mutatom be. A második fejezetben a Balaton és éghajlatának rövid bemutatása következik, éghajlati diagramok segítségével, míg a harmadik fejezetben a felhasznált adatok rövid ismertetése kap helyet. A negyedik fejezetben saját vizsgálataim alatt a Balaton siófoki vízállása és a keszthelyi homogenizált hőmérsékleti és csapadék adatok segítségével elemzem a vízállás változását, és keresem a szélsőségek okát. Az utolsó, 5. fejezetben a Balaton jégviszonyainak vizsgálatára is kitérek.

1. Sekély vizű tavak vizsgálata

A tavak vizsgálata több szempont szerint is történhet, ezek közül az ökológiai változások megfigyelése és kiváltó okok keresése az egyik leggyakoribb. Emellett a vízszabályozás megfigyelése is igen fontos, hiszen a vízszintszabályozás segítségével akár a tavak helyreállítása is lehetséges.

1.1 Környezeti hatások vizsgálata

Talling (2001) a trópusi sekély vizű tavak vizsgálatával foglalkozott, azon belül is az afrikai térségre fókuszálva. A sekély vizek éghajlati érzékenysége a trópusokon még jobban felerősödik. A trópusokon a sekély vizek fényelnyelése a magas szervesanyag-tartalom miatt optikailag „mély”, ami azt jelenti, hogy a fény gyorsan elnyelődik, így a fotoszintézisre alkalmas réteg vastagsága kisebb a mérsékelt övi hasonló tavakhoz képest. A mérsékelt övvel ellentétben, a trópusi tavakban a napi hőmérsékleti ciklusok változása következtében kialakulhatnak ideiglenes rétegződések, ami a víz oxigénellátottságában is megmutatkozik. A kutatás eredményei arra mutatnak rá, hogy a sekély trópusi tavak működésére nagy befolyással vannak a gyorsan változó környezeti tényezők.

Hu et. al. (2020) Kína sekély tavai esetén a vízszennyeződés vizsgálatával foglalkozott, azon belül is a Taihu-tó került fő fókuszba. A kutatás során a tó kémiai oxigénigényét, foszfor- és nitrogénmennyiségét figyelték meg. Munkájuk célja a szennyezési zónák szabályozása volt, melyhez egy új módszert alkalmaztak, amely a szélirányt és szélsébséget is figyelembe vette. A sekély tavakban a vízáramlások elsősorban a szél hatására jönnek létre, így a szennyeződés eloszlása is elsősorban ennek köszönhető. A kutatás során sikerült a szennyezőanyagok éves mennyiségét, valamint a szennyező zóna maximális méretét meghatározni. Az eredmények következtében pedig további kutatásokra van lehetőség, mely segít a tó környezetének fenntartásában, valamint a szennyezőanyagok kibocsátásnak szabályozásában.

A Balaton esetében is készült már több kutatás, köztük Kutics Károly által is, aki a sekély tavak jellemző vonásait, valamint az ilyen típusú tavaknál előforduló problémákat figyelte meg, és hasonlította össze több, sekély vizű tó esetén. A tavak hasznosítása az évtizedek folyamán sokat változott, melyek befolyásolták a tavak vízmérlegének változását. A tavak körüli építkezések, a turizmus, valamint a vízkivételi helyek építése mind azok az emberi

tevékenységek, melyek hatással vannak a tavak ökológia épségére. Ezekhez adódnak hozzá az éghajlatváltozás által előidézett hatások, melyekkel gyakran együttesen váltják ki a problémákat. A sekély tavak méretükből adódóan kiváltképpen érzékenyek a változásokra, kismértékű víztérfogatuk miatt az időjárási és éghajlati viszonyokat rövid válaszidővel követik (Kutics, 2013).

A környezeti hatások közül az egyik legismertebb az eutrofizáció, melynek természetes és antropogén típusa is van. A természetes eutrofizáció folyamata több tízezer év alatt megy végbe, és a tó elmocsarasodását, majd megszűnését okozhatja. Ezen a folyamaton minden sekély vizű tó végigmegy az élete folyamán. Az antropogén eutrofizáció során az emberi hatásra bekövetkezett eutrofizáció történik, mely során szennyező anyagok kerülnek a tó vizébe, de a part menti építkezések és a partvonal szabályozása is hozzájárul, valamint gyorsítja a folyamatot (Kugler, 2014). A nitrogén és foszfor koncentráció megnövekedése egyaránt az eutrofizáció folyamatát erősítik. A foszfor anyagcseréje okozta változásokat és a Balaton tavi üledékeinek kapcsolatát korábban is vizsgálták már, köztük *Magyari et al.* (2022) is.

Az éghajlatváltozás okozta környezeti hatások közé sorolható a jégkorszakok ideje is, melyek során glaciális tavak jöttek létre, de tavak kiszáradása és eltűnése is előfordult. Ugyanakkor egyes invazív fajoknak a természet közvetítésével történő megjelenése is idetartozik. Amennyiben az invazív fajok bekerülnek egy számukra új környezetbe, veszélyt jelentek az ottani őshonos fajokra (*Müller et al.*, 2020).

A környezeti hatásokkal kapcsolatban a Balaton nyugati-medencéjében az algák elszaporodását is vizsgálták 2020-ban, és a mintavételek után megállapították, hogy az algamennyiség a kétszerese-háromszorosa a part mentén a tó közepéhez képest. Az algák kialakulásához a foszfor elengedhetetlen, mely egy része az üledékekből érkezik, másik része a szennyvizekhez, műtrágyákhoz köthető. Ahhoz, hogy a Balaton algásodását csökkenteni, szinten tartani lehessen, szükséges volt a szennyvíztisztítók felszerelése olyan eszközökkel, mely a foszfort szűri, valamint egy körcsatornának köszönhetően a megtisztított szennyvíz nagy részét is elvezetik a megelőzés érdekében (*Vörös*, 2019). Ezen tevékenységeknek köszönhetően, valamint az algásodáskor történt kotrásoknak köszönhetően ilyen problémákkal már nem kell küzdeni a Balaton térségében (*Csősz*, 2021).

1.2 Vízszabályozás vizsgálata

A sekély vizű tavak vízszintjének szabályozása nemcsak hazánkban fontos, hanem más

éghajlati területeken is. Hollandiában *Coops et al.* (2002) foglalkozott a sekély tavak vízszintjének helyreállításával. Elsődleges céljuk volt, hogy a vízszintszabályozás segítségével helyreállítsák az ökológiai egyensúlyt, mely a korábbi időszakban felborult. Ennek egy részét az emberi beavatkozások indították el, de az eutrofizáció is nagymértékben erősödött, ami az ottani élővilágra is veszéllyel volt. Az alacsony vízszint beállítása, majd annak megtartása, és egyéb intézkedésekkel való kiegészítése sikeresnek bizonyult, ennek köszönhetően a víz tisztasága növekedésnek indult, valamint az élővilág is kezdett visszatérni az eredeti állapotába (*Coops et al.*, 2002).

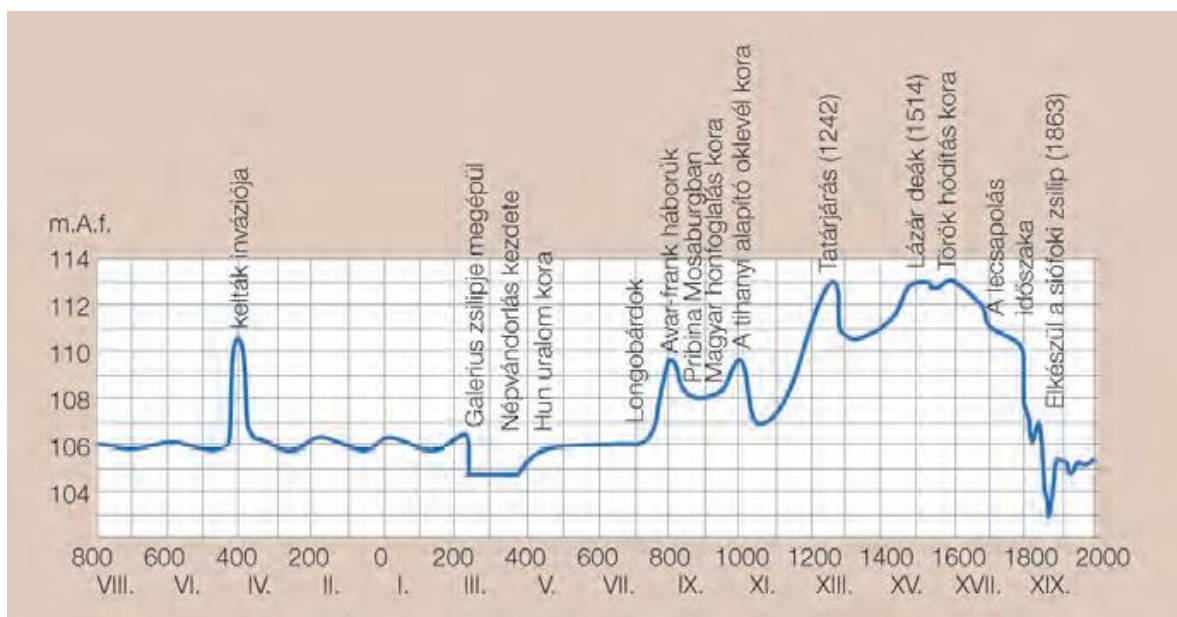
A tavak vízszintjének változása a tavak ökoszisztémájára is hatással van. Az ingadozások következtében bekövetkezhetsz pozitív és negatív változás is a tó életében. A vízszintváltozás mértéke attól is függhet, hogy milyen éghajlati területen helyezkedik el a tó, hiszen a mediterrán területeken az éves ingadozások és a vízkivétel a tavak ökológiájára negatívan hat. Ahhoz, hogy a tavak ökológiája minél stabilabb legyen, szükséges, hogy a vízszintingadozások okát, hatásait ismerjük, hogy megoldást találhassunk rá, és ha szükséges, vízszintszabályozással segítsük a tónak megfelelő vízállást biztosítani annak érdekében, hogy az ökoszisztéma fennmaradjon (*Coops et al.*, 2003).

A Balaton esetében a vízszintszabályozás a Sió-csatornán keresztül történik az ott épült zsilip segítségével. A Sió-zsilip és az ottani vízmérce 1863 óta segíti a Balaton vízszintingadozását szinten tartani. A zsilipet többször átépítették, a Sió medrét bővítették, hogy a vízszintszabályozás minél sikereőbb lehessen. 2016-ban állították be a 120 cm magasságban meghatározott szabályozási szintet, ami azt jelenti, hogy amennyiben a Balaton vízszintje meghaladná ezt a magasságot, akkor a Sió-zsilip segítségével elvezetik a szükséges vízmennyiséget, hogy a határértéken belül maradjon a vízszint a partközeli és parti területek elöntésének megakadályozása érdekében (*Varga és Jakus*, 2020). A Balaton vízállásának visszakövetése jelenleg az Országos Vízelző Szolgálat adatai alapján lehetséges, mely Siófok¹ esetén 1876 óta, a Balaton átlag² vízállása pedig 1988 óta érhető el az archívumok között. A mérési időszak alatt a tó vízszintje nagyjából 1 méteres tartományon belül változott (átlagos minimum vízállás: 49 cm, 2003, átlagos maximum vízállás: 148 cm, 1879, legalacsonyabb vízállás: -39 cm, 1921. december, legmagasabb vízállás: 195 cm, 1879. június). A történeti korokban azonban jóval nagyobb változásokat is feljegyeztek (*Bendefy*, 1968). Az 1. ábrán a Kr. e. 800-as évektől a 2000-es évig láthatjuk, hogy hogyan alakult a

¹ <https://www.hydroinfo.hu/vituki/archivum/si.htm>

² <https://www.hydroinfo.hu/vituki/archivum/ba.htm>

Balaton vízszintje a történeti feljegyzések alapján. Látható, hogy a középkorban mintegy 10 méterrel volt magasabb a Balaton vízszintje, mint az 1800-as évek közepén.



1. ábra A Balaton tartós vízállásainak görbéje Kr.e 800-tól 2000-ig történeti feljegyzések által rekonstruálva. Bendefy, 1965 nyomán (Varga és Jakus, 2020)

Az 1. ábrán láthatjuk, hogy a vízszint változása általában emberi beavatkozás nélkül alakult, egészen a Sió-zsilip elkészültéig, ugyanis onnantól a vízszint változásában a korábbiakhoz képest nagy változás már nem történt. A kutatás alatt régészeti megfigyelés is történt, mely azt bizonyította, hogy a Balaton mentén korán letelepedtek az emberek, azonban ahogy az 1. ábrán is látszik, a Balaton életébe csak ritkán avatkoztak be, a vízállásban látható nagy kiugrások leginkább természetes eredetűek. A 200-as évek után történt egy nagyobb vízszintcsökkenés, mely a Galerius-féle zsilip megépüléséhez köthető, azonban nincs pontos információnk arról, hogy ez a zsilip tényleg létezett-e, így a vélemények megoszlanak ezzel kapcsolatban (Vadas és Rácz, 2010; Varga és Jakus, 2020). Az 1863-as évben készült el a mai siófoki zsilip elődje, mely még a Balatonhoz közelebb helyezkedett el. Az 1850-es évek végén aszályos időszak következett be, 1859-ben kezdték el építeni a déli-balatoni vasútvonalat, azonban az 1860-as évek elején a hirtelen vízszint emelkedés miatt a vasúti töltés megsérült, és megoldást kellett találni a problémára. Ennek következtében készült el 1863-ban a siófoki zsilip.

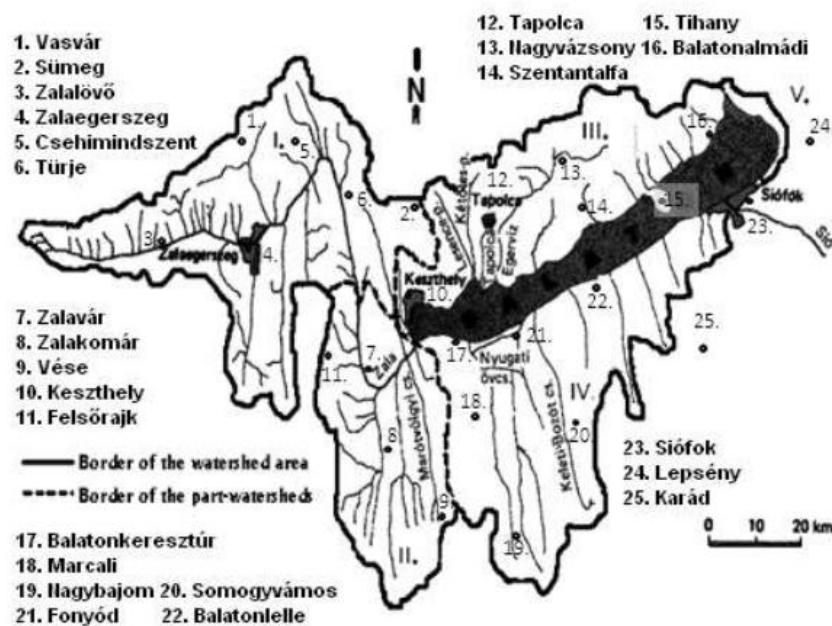
1.3 Kutatások fókuszban a Balatonnal

Mika et al. (2000) a 2000-es évek elején bekövetkezett aszályos időszak alatti vízszintváltozást figyelték meg. Mivel a Balaton egy sekély tó, így a vízháztartásra ható

változásokra érzékenyebb a mélyebb tavakhoz képest. 1921 után a 2000-es évig nem mértek olyan kevés éves csapadékösszeget, mint akkor. A 2000–2003 közötti aszályos időszak alatt a vízháztartás egyensúlya felborult, mely az ökológiai rendszerre is veszéllyel volt. A kutatás célja az volt, hogy elemezzék, hogy a makro-cirkulációs anomáliák hatással voltak-e a vízszintváltozásra. Ehhez három különböző típusú osztályzást is igénybe vettek. A kutatás eredményeként azt kapták, hogy a vizsgált időszakban a száraz időjárást okozó anticiklonális helyzetek fordultak elő a legnagyobb részben, szemben a csapadékot hozó ciklonális helyzetekkel (*Mika et. al*, 2010). Ez a kutatás is magyarázatot ad a dolgozatban a későbbiekben (4. fejezetben) vizsgált alacsony vízállásokra a 2000-es évek elején.

A Balaton vízgyűjtő területének csapadékviszonyaival kapcsolatban *Anda és Varga* (2010) egy közel 90 éves időszak adatait elemezték. A kutatás eredményeként azt kapták, hogy a Balaton vízgyűjtő területének nyugati része a legcsapadékosabb, míg a keleti része a legszárazabb. Mindemellett az éghajlati hatások is befolyásolják a csapadékmennyiség alakulását, az éghajlatváltozás egyik következménye a csökkenő csapadékösszeg, továbbá a nyári magas párolgás és alacsony csapadék értékek negatívan hatnak a tó vízszintjére csakúgy, mint a vízgyűjtőterületen csökkenő vízzsálítás is. A Sió-zsilip segítségével csapadékhányos időszakokban a mesterséges vízelvezetés mértékét is csökkentik, ezzel is növelve a vízszintet. A kutatás eredményeként elmondható, hogy a csapadékmennyiség és a vízgyűjtőterületen (2. ábra) történő változások hatással vannak egymásra, emiatt kiváltképpen fontos azok folyamatos megfigyelése.

A kutatások mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a vízminőség megőrzése, továbbá a vízháztartás egyensúlyának fenntartása is minél sikeresebb legyen.



2. ábra A Balaton vízgyűjtőterülete (Anda és Varga, 2010)

Li et al. (2024) a Balaton vízhőmérsékletének változását vizsgálta, mely során műholdas megfigyeléseket végeztek több mint 20 éven keresztül. A kutatások eredményeként kimutatták, hogy a Balaton vízhőmérséklete évtizedenként 0,7 °C-kal emelkedett a vizsgált időszakban. A melegedés legnagyobb mértékben a téli hónapokban történt, ami a klímaváltozás során tapasztalható léghőmérséklet emelkedésének köszönhető. Emellett azt is kimutatták, hogy évszakonként eltérő a vízhőmérséklet melegedésének mértéke, valamint, hogy a part menti tényezők is befolyással vannak a vízhőmérsékletre.

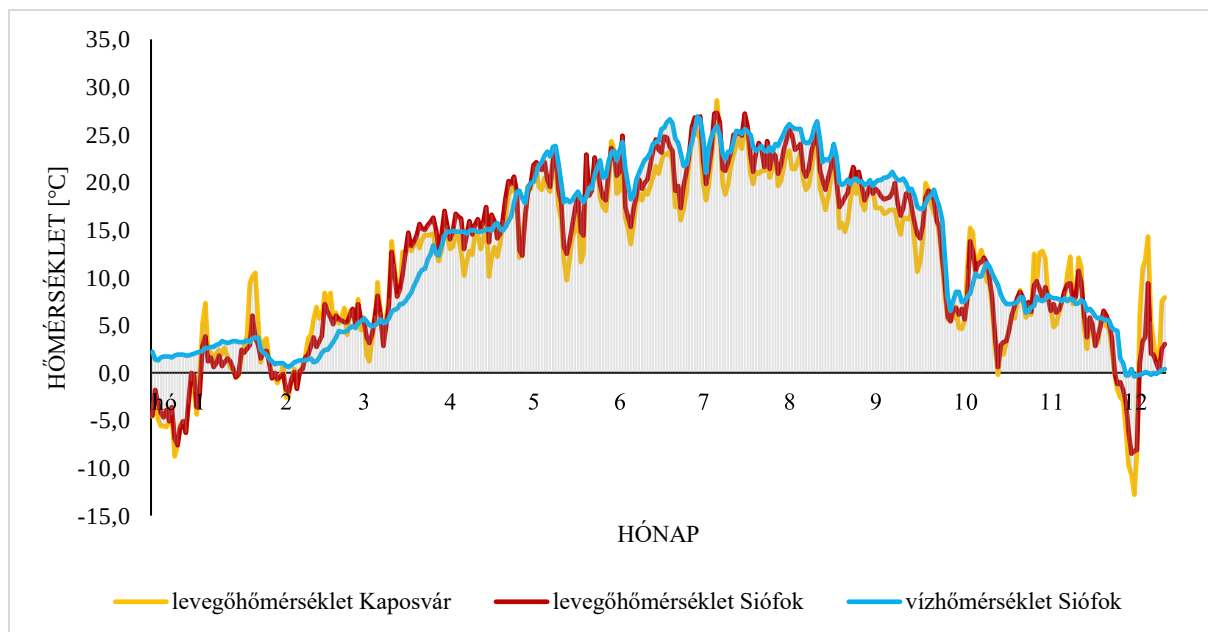
2. A Balaton, és éghajlata

A Balaton Magyarország és egyben Közép-Európa legnagyobb tava, területe kb. 600 km², hossza 78 km, szélessége átlagosan 7,5 km, a legkeskenyebb Tihany és Szántód között, itt 1,5 km, míg a legszélesebb a keleti-medence területén Balatonalmádi és Balatonvilágos között, ahol eléri a 12,7 km-t. Közepes mélysége átlagosan 3 m, legnagyobb mélysége a Tihanyi-szorosnál található, ahol a 11 métert is eléri. Az északi parton a víz gyorsabban mélyül a déli parthoz képest, a 2 méteres mélységet viszonylag hirtelen eléri, majd utána fokozatosabb mélyülés veszi kezdetét a 3–4, esetenként 5 méteres mélységhez. Ezzel szemben a Balaton déli partján a víz sekélyebb, a parttól számítva még 1 km távolságra is csak 1,5 méteres a vízmélység, majd egy kisebb emelkedő után a vízmélység felveszi a 2–5 m közötti értéket. A Tihanyi-szorost leszámítva a tó legnagyobb mélysége 4–5 m, melyek a déli parthoz közelebb helyezkednek el. A fentebb említett értékek alapján egy hosszúkás alakú tóról beszélhetünk, mely az ország Dunántúli részén helyezkedik el Délnyugat – Északkelet irányban. Fő tápláló folyója a Zala, de ezen felül a Balaton-felvidéki, valamint a Somogyi-dombsági vízgyűjtő területéről is táplálják kisebb folyók (l. 2. ábra). Vízsintjét a Sió csatornába folyó kiépített zsilippel szabályozzák.

A Balaton vízhőmérsékletét tekintve általános, homogén vízhőmérsékletről beszélhetünk, átlagosan 1°C-nál nagyobb különbség nem fordul elő normál időjárási helyzetekben, azonban olykor kivételes viszonyok során előfordulhat, hogy a felső réteg hőmérséklete magasabb a mélyebb rétegekhez képest.

A fentebb említettek mellett azonban akármennyire is nagynak tűnik számunkra a Balaton, más tavakkal összehasonlítva, igencsak elenyésző a térfogata. Területe és mélysége egyaránt kicsinek számít a világon található nagy tavakhoz képest, melyről már Cholnoky Jenő is bővebben írt Balaton című művében (*Cholnoky, 1936*).

A Balaton éghajlatát tekintve kontinentális éghajlat figyelhető meg mediterrán hatással kiegészítve. Sekély mélysége következtében hamar felmelegszik, majd a hőmérséklete lassan csökken, így a part mentén érezhető a víz „hűtő-fűtő” hatása. Ez azt jelenti, hogy a Balaton mentén mért levegőhőmérséklet értékek hideg időben magasabbak, míg melegebb időben alacsonyabbak lesznek, mint egy olyan helyen, ahol már nem érződik ez a hatás. Ez figyelhető meg a 3. ábrán is, ahol egy Balaton melletti (Siófok) és egy Balatontól távolabb elhelyezkedő település (Kaposvár) hőmérsékleti értékeit vizsgáltam meg.

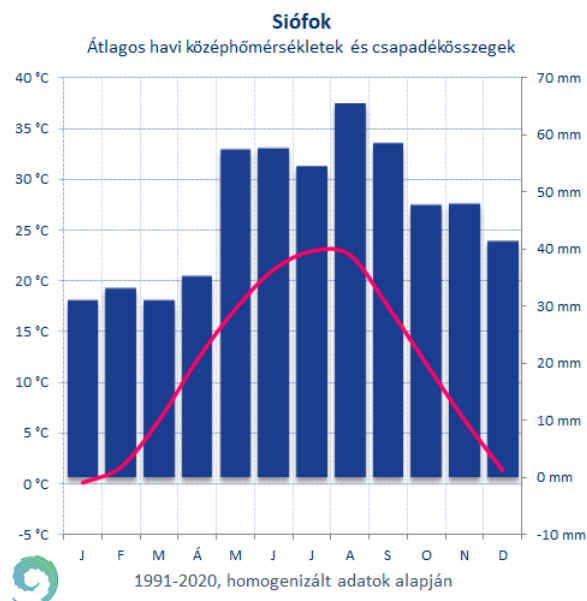


3. ábra A levegőhőmérséklete Kaposváron és Siófokon, valamint a Balaton víz hőmérséklete Siófokon 2009-ben (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 3. ábrán a siófoki és kaposvári hőmérsékleti értékek láthatók, a siófoki víz hőmérséklettel kiegészítve. A sárga színnel jelölt görbe a levegőhőmérséklete Kaposváron, a piros szín a Siófokon mért levegőhőmérséklet, míg a kék szín a víz hőmérsékletét jeleníti meg. Az ábrán megfigyelhető, hogy a Siófokra vonatkozó görbe valamivel közelebb helyezkedik el a víz hőmérséklet görbéjéhez, mint a kaposvári értékeket ábrázoló sárga görbe. Egyes esetekben előfordul, hogy ez a hatás nem érvényesül, például az áprilisi hónapban, ez a helyi időjárási viszonyok befolyásolása miatt lehetséges.

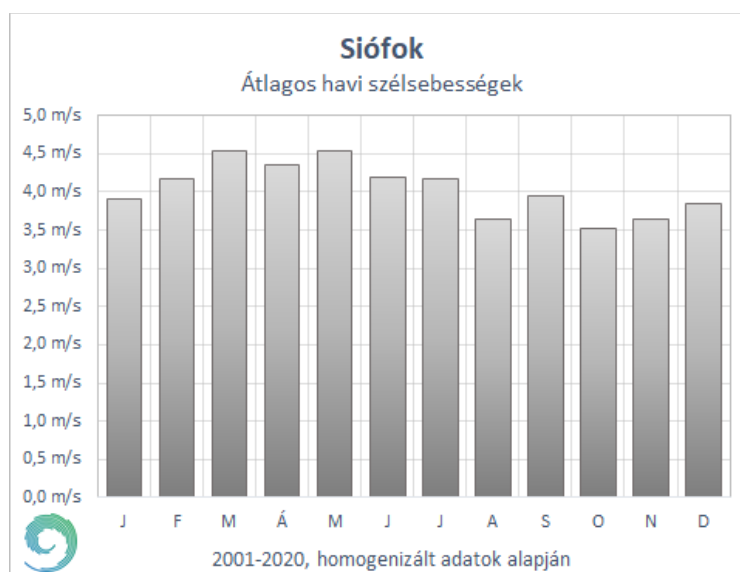
A Balaton térségében az uralkodó szélirány a Tihany–Balatonkenese között az északnyugati, míg Keszthely–Tihany között az északi. A Balatonon hirtelen alakulnak ki a viharok, melyekhez akár erős hullámozás is párosul (Pongrácz, 2022). A Balaton keleti-medencéjében helyezkedik el Siófok. Éghajlati adatait tekintve a kontinentális éghajlatra jellemző jegyek figyelhetők meg, a havi átlagos középhőmérséklet januárban a legalacsonyabb, míg július a legmagasabb. Ami a csapadékmennyiséget illeti, az átlagos évi csapadékösszeg 560 mm, a legcsapadékosabb hónap augusztus, míg a legszárazabb a január és április közötti időszak. Siófokon az uralkodó szélirány az északi, de Délnyugati és Északnyugati irányból is érkezhetszél. A 4., 5., 6. ábrákon Siófok hőmérséklet- és csapadékviszonyai, valamint a szélre vonatkozó éghajlati adatok láthatók.³

³ https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/varosok_jellemzoi/Siofok/



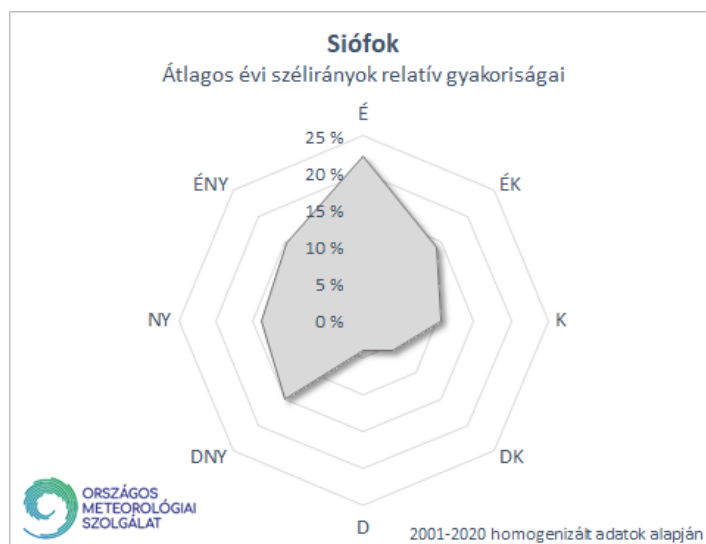
4. ábra Az átlagos havi középhőmérséklet (piros görbe) és havi csapadékösszeg (kék oszlopok) értékek Siófokon az 1991 és 2020 közötti időszakra vonatkozóan (HungaroMet Zrt.)

A 4. ábrán is jól látszódik, hogy a hőmérséklet és a csapadékösszeg követi a kontinentális éghajlatra jellemző mintát. Januárban 0,2 °C, júliusban 22,9 °C az átlagos havi középhőmérséklet az 1991–2020 közötti időszakban. A csapadékösszegek átlagos havi értéke a legszárazabb, január–április közötti időszakban 31–35 mm között mozog, míg a legcsapadékosabb hónapban (augusztus) ez az érték 65 mm.



5. ábra Az átlagos havi szélsébségek értékek Siófokon a 2001 és 2020 közötti időszakra vonatkozóan (HungaroMet Zrt.)

A szélsébség értékeket a 5. ábráról leolvasva azt vesszük észre, hogy a tavaszi időszak, azon belül is március és május a legszelesebb, ekkor az átlagos havi szélsébség 4,53 m/s, illetve 4,54 m/s, míg a legkevésbé szeles hónap az október, melynek átlaga 3,51 m/s.



6. ábra Az átlagos évi szélirányok relatív gyakorisága a 2001 és 2020 közötti időszakra vonatkozóan (HungaroMet Zrt.)

Az 6. ábrán jól látszódik, hogy az uralkodó szélirány az északi, valamint azt követi a délnyugati és az északnyugati. Az ábráról az is leolvasható, hogy a déli szél a legritkább Siófokon.

3. Felhasznált adatok

A Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) hidrológiai adatai 1876 óta állnak rendelkezésre, melyek a Balaton vízállására és jégviszonyaira vonatkoznak. Az adatok nem minden esetben folytonosak, vannak napok, hónapok, melyek során nem történt mérés, vagy a mérés feljegyzése nem történt meg, így az adatsor részben hiányos.

A Balaton vízállás vizsgálata során negatív értékek is szerepelnek. Ennek oka az, hogy a vízállást egy választott ponthoz, a „0” ponthoz képest adják meg. Amennyiben a vízállás a „0” pont értéke alatt van, azt tudjuk leolvasni, hogy a „0” ponthoz képest mennyivel van alacsonyabban a vízszint (például: a vízállás -2 cm, akkor a vízszint a „0” ponthoz képest 2 centiméterrel van alacsonyabban.) Hazánkban a null-pont magasságát a Balti-tenger középvízszintjéhez képest adják meg. 1997-ben az Országos Vízügyi Igazgatóság a Balaton vízszintjét 100 cm-ről 110 cm-re szeretne volna emelni, azonban ez nem történt meg, mert egyes helyeken az alacsonyan fekvő épületek, illetve esetleges belvizek esetén nem lett volna biztonságos, emiatt a parti menti települések egy része elutasította akkor ezt a felvetést. A vízszintemeléssel kapcsolatosan ekkor került megfogalmazásra a Sió-zsilip felújításának gondolata (Varga, 2014).

A jégviszonyok meghatározására a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság egységes jelölést vezetett be⁴. Az álló jég, vagy teljes jég jelölése „A” betűvel, a parti jég jelölése „P” betűvel, míg a zajló jég jelölése „Z” betűvel történik. 2006 óta a jégviszonyok során egy új kategóriát is bevezettek, mely jelölése „T” betűvel történik, és jégtorlasz esetén használják. A víztükrön elterülő összefüggő jégtakarót, mely a területet részben vagy teljes szélességében beborítja, álló jégnek nevezzük. Az álló jég kialakulhat parti jég terjeszkedéséből, vagy a zajló jég összefagyásából is. Parti jég esetén egy vékony álló jégréteg figyelhető meg a part melletti területeken, míg a zajló jég kifejezést a vízfelszínen úszó jégtáblák esetén használjuk. Jégtorlasz akkor figyelhető meg, ha az úszó jégtáblák (zajló jég) valamilyen okból kifolyólag nem tudnak tovább haladni.

A meteorológiai adatok a HungaroMet Zrt. által készített homogenizált adatsorok, melyek Keszthely állomásra vonatkoznak. Ezek az adatsorok az 1871–2023 közötti időszakra vonatkozóan tartalmazzák Keszthely állomás havi középhőmérsékletét és csapadékösszegét. Homogenizálás során az a cél, hogy a mérésre ható zavaró hatások okozta mérési hibákat

⁴ – <https://www.kdvvizig.hu/kozep-duna-volgyi/rolunk/fogalomtar/fogalmak>

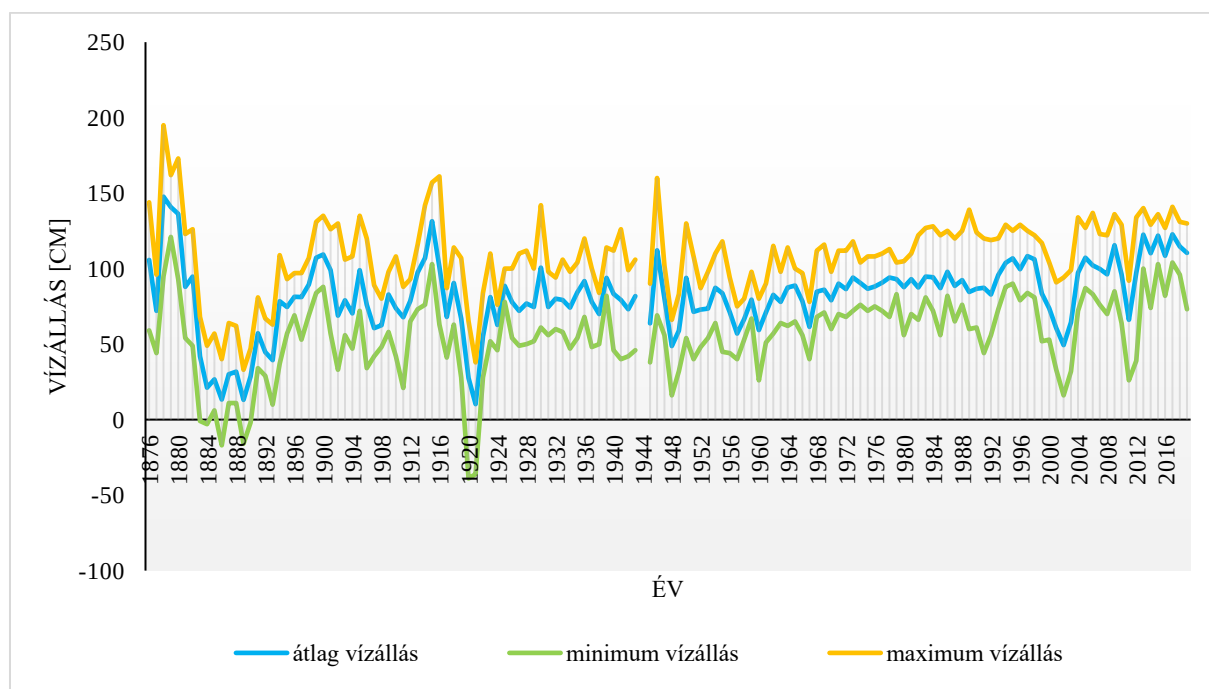
kiszűrjük (Szentés and Izsák, 2022). A mérőállomás áthelyezése, vagy környezetének megváltozása, a mérések időpontjának megváltozása, valamint a mérőműszerek fajtája és elhelyezése is befolyással vannak az adatokra. Amennyiben a fentiek közül akárcsak egy is megtörtént, fontos, hogy az adatsorokat átvizsgálják, és a hibákat kiszűrjék, korrigálják. A homogenizálás folyamatának köszönhetően, így az állomások adatait (jelen esetben Keszthely állomás) úgy tudjuk vizsgálni, mintha a mérések körülményei változatlanok volnának (Izsák et al., 2024).

A Kárpát-medence éghajlatváltozásával kapcsolatban történt kutatás során hosszú távú meteorológiai adatok felhasználása is történt. A kutatás során az 1871–1918 közötti időszak alatt történt meteorológiai adatokat hasonlították össze az 1971–2020 közötti adatokkal. Ahhoz, hogy az eredmény minél pontosabb legyen, szükséges volt az 1871–1918 közötti adatok homogenizálása, mivel az állomások környezetében 100 év alatt változás történt. A kutatás során vizsgálták a hőmérséklet- és csapadékváltozást, illetve a ködös napok számát. Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgált területeken a hőmérséklet és a csapadékösszeg terén is növekedés következett be (Ilona et al., 2022).

4. A vízállás változásának vizsgálata

A rendelkezésemre álló adatsorok közel 150 év hosszú időszakra vonatkoznak. A Keszthely állomásra vonatkozó meteorológiai adatok 1871–2023 közötti időszakra, míg a Középdunántúli Vízügyi Igazgatóság hidrológiai adatai Siófokra vonatkozóan 1876–2020 közötti időszakra állnak rendelkezésemre. Az ábrákon a hőmérsékleti értékek °C-ban, a vízállás és csapadékösszeg értékei centiméterben láthatók.

A hidrológiai viszonyok elemzésénél azt vizsgáltuk, hogy a meteorológiai körülmények (csapadék, hőmérséklet) hogyan alakították a tó vízháztartását, illetve befagyását. A 7. ábrán a Balaton éves átlag, minimum és maximum vízállás értékei láthatók 1876–2020 között.



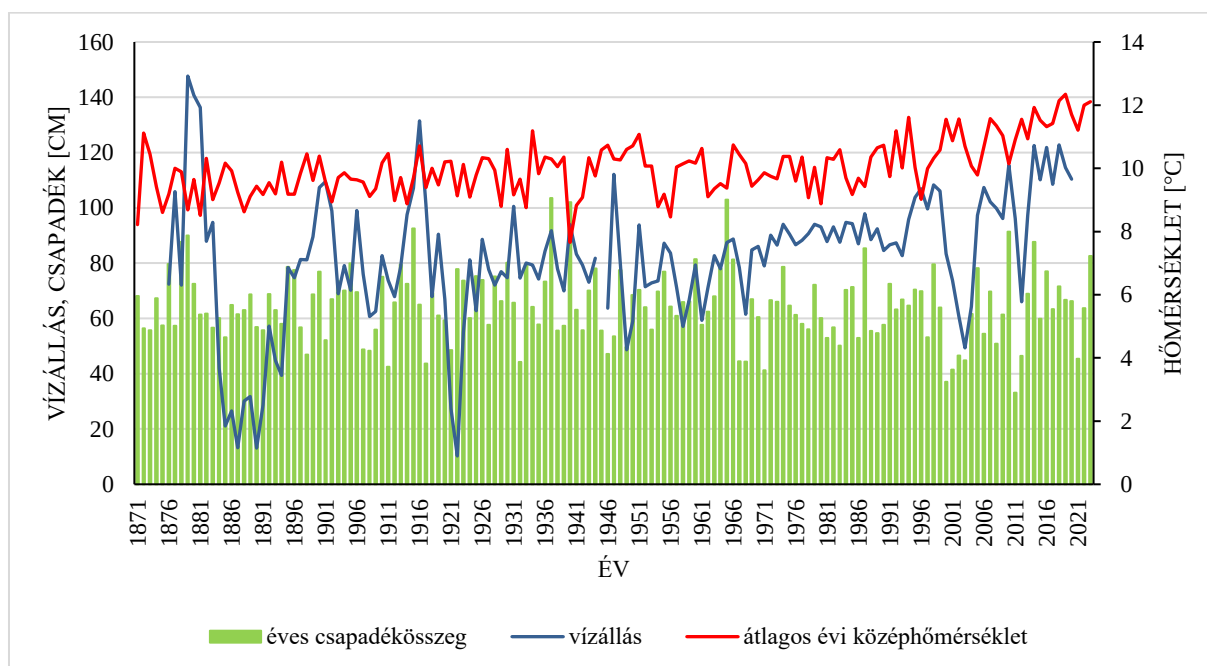
7.ábra A Balaton éves átlag, minimum és maximum vízállásának változása Siófokon 1876–2020 közötti időszakban (KDTVIZIG)

Az 1880-as évek folyamán, valamint az 1920-as évek elején, illetve 2003 körül is megfigyelhető, hogy a vízállás hirtelen csökkent. A továbbiakban ezen időszakok meteorológiai viszonyait vizsgálom, és keresem az okát a kiugróan alacsonyan értékeknek.

4.1 Átlagos vízállás változása

A 8. ábrán láthatjuk az 1876 és 2020 közötti időszakra a Balaton átlagos vízállását Siófokon,

valamint az éves csapadékösszeget és az átlagos évi középhőmérsékletet Keszthelyre vonatkozóan 1871–2023 között.



8. ábra A Balaton éves átlagos vízállásának változása Siófokon, valamint az éves csapadékösszeg és az átlagos évi középhőmérséklet változása Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

Zöld színnel, oszlop diagram formájában szerepel az éves csapadékösszeg, piros színnel az átlagos évi középhőmérséklet, kék színnel pedig az éves átlagos vízállás.

A korábban említett összefüggés alapján azt várjuk, hogy a magas csapadékösszeg és nem túl magas hőmérsékleti értékekhez magas vízállás párosul. Az éves átlag vízállást megfigyelve az 1880-as évek végén, 1890-es évek elején voltak először alacsonyabb értékek. A következő, *1. táblázatban* 1881 és 1890 közötti időszakra vonatkozó adatok láthatók. Ez az az időszak, amikor az egyik legalacsonyabb volt a Balaton vízállása Siófoknál. Az alacsony vízállás oka lehet az alacsony hőmérséklet, a kevés csapadékmennyiség, illetve a magas párolgás, valamint a kevés hozzáfolyás. Az *1. táblázatban* látjuk, hogy a csapadékmennyiség jelentősen nem csökkent, azonban a hozzáfolyás során érkezhetett kevesebb vízmennyiség. Ezzel szemben a hőmérséklet értékei magasabbak az alacsony vízállású évek során, így a nagyobb mértékű párolgás szintén hozzájárulhatott a vízszint csökkenéséhez.

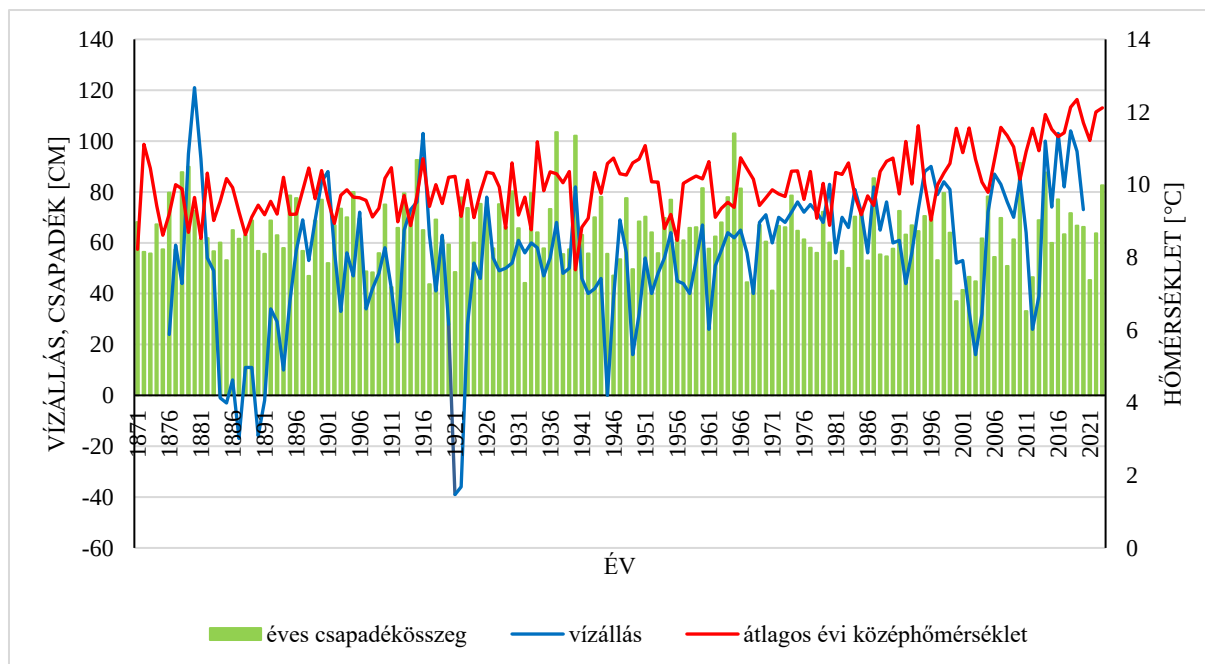
év	vízállás (cm)	középhőmérséklet (°C)	csapadékösszeg (mm)
1881	136	8,52	614,5
1882	88	10,32	617,8
1883	95	9,01	566,8
1884	42	9,54	600,8
1885	21	10,17	531,2
1886	27	9,92	649,2
1887	13	9,25	615,5
1888	30	8,63	629,8
1889	32	9,11	687,0
1890	13	9,43	568,3

1. táblázat 1881–1890 közötti időszak átlagos vízállása Siófokon, valamint az éves csapadékösszeg és átlagos évi középhőmérséklet Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

Láthatjuk, hogy míg 1881-ben a vízállás még 136 cm felett volt éves szinten, addig 1887-ben és 1890-ben épphogy meghaladta a 10 cm-es magasságot. Ugyanakkor az éves csapadékösszeg 1887-ben közel ugyanannyi volt, mint 1881-ben, azonban az 1887-es év több mint 0,5 °C-kal melegebb volt az 1881-es évhez képest. Mindazonáltal, a meteorológiai viszonyok mellett vélhetően valamilyen emberi beavatkozás is hozzájárulhatott a több évig fennálló alacsony vízálláshoz 1882 és 1890 között.

4.2 Éves minimum vízállás változása

Az éves minimum vízállás ábrázolása során figyelembe vett érték az az adott évben mért legalacsonyabb vízállás, amit a siófoki mérőállomáson olvastak le. A minimumok értékeit figyelve láthatjuk, hogy egyes időszakokban nagyobb kiugrások is észrevehetők. A vízállást több minden befolyásolja, köztük a hőmérséklet és a csapadék is. A 9. ábrán az éves minimum vízállás mellett az éves csapadékösszeget és az átlagos évi középhőmérséklet is megjelenítettem.

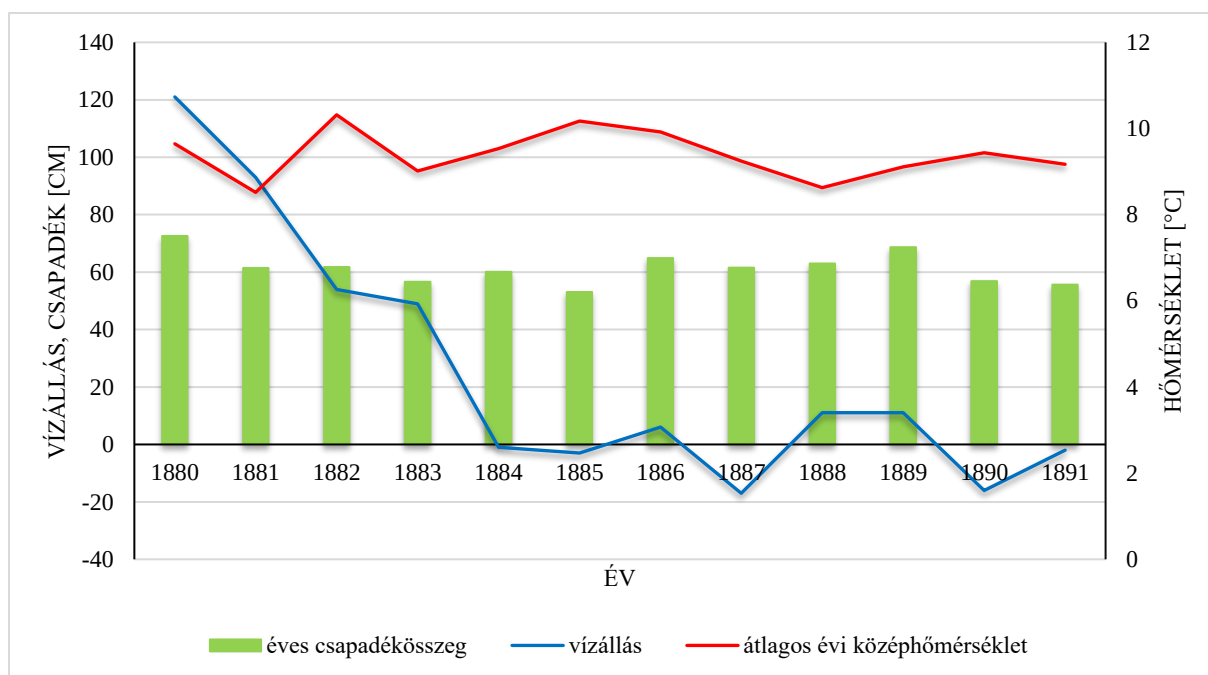


9. ábra A Balaton éves minimum vízállásának változása Siófokon, valamint az éves középhőmérséklet és csapadékösszeg változása Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 9. ábrát figyelve azt vesszük észre, hogy a diagram kinézete nagyon hasonlít az 8. ábrán látható diagramhoz, ahol az átlagos vízállás értékeit mutattam be. Az 1880-as évek végén megfigyelt alacsony vízállás a minimumok között is kirajzolódik, és az 1922-es minimum vízállás is igen szembetűnő.

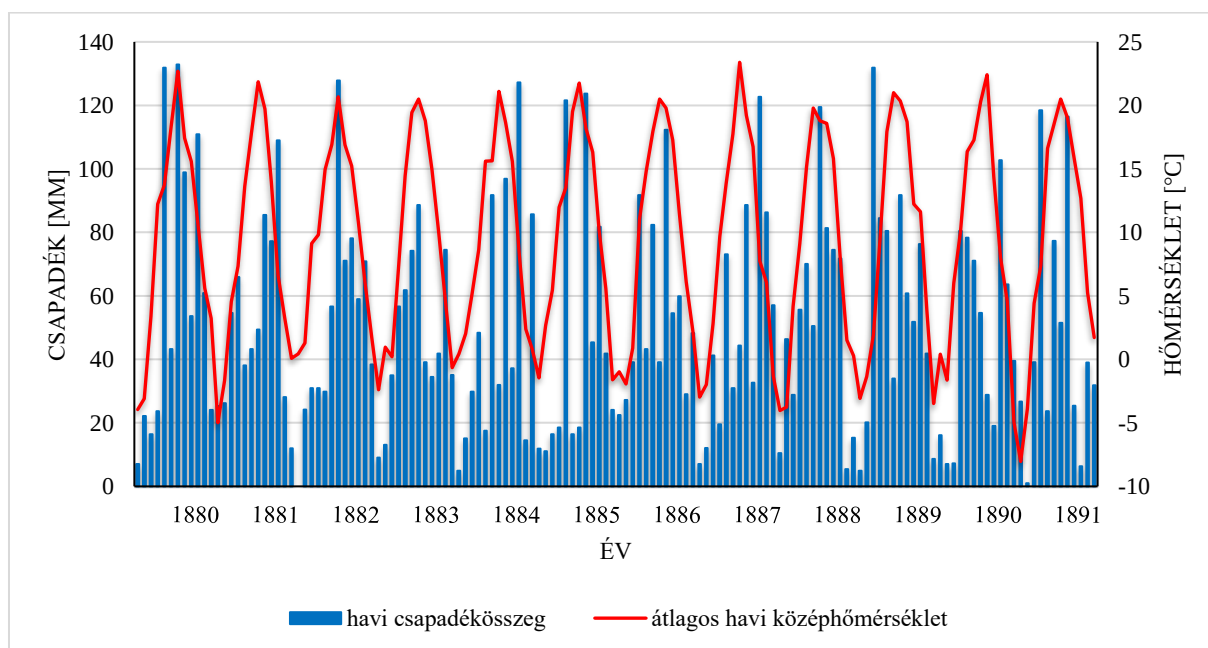
4.2.1. Az 1880–1891 közötti időszak minimum vízállás értékei

Az átlagos vízállás vizsgálata során ezt az időszakot már elemeztem, azonban a minimum vízállás értékeinek vizsgálata is érdekes lehet. Az 1880-as évek folyamán a Balaton vízállása negatív értéket vett fel. Negatív vízállás esetén azt értjük, amikor a vízszint a meghatározott null-pont alá csökken. Siófokon ez 1884 és 1885-ben történt meg először, majd 1887-ben, 1890-ben is 1891-ben is az alsó határ alá csökkent a vízszint, mely a 10. ábrán látható.



10. ábra A Balaton éves minimum vízállásának változása Siófokon, valamint az éves középhőmérséklet és csapadékösszeg változása Keszthelyen 1880 és 1891 között (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

Az 1880-as évek alatt a viszonylag magas és stabil csapadékmennyiség ellenére a vízállás nagyon alacsony értékeket mutat több éven keresztül, így a meteorológiai viszonyokat részletesebben is megfigyeltem. Ennek a rövidebb időszaknak a meteorológia értékei a 11. ábrán figyelhetők meg.



11. ábra Havi hőmérséklet és havi csapadékösszeg változása Keszthelyen 1880–1891 között (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 11. ábrán a havi középhőmérséklet és csapadékösszeg figyelhető meg. A hőmérséklet havi változása során nem látszódik olyan változás, amely az alacsony vízállást igazolná, valamint a csapadékösszegek között sincs feltűnően nagy különbség, emiatt ezen vizsgált időszak meteorológiai adatai nem bizonyítják az alacsony vízállást, így feltehetően más egyéb (véltetően emberi) tényező is szükséges volt az igen alacsony vízálláshoz. Ennek pontos feltárása azonban további vizsgálatokat igényelne.

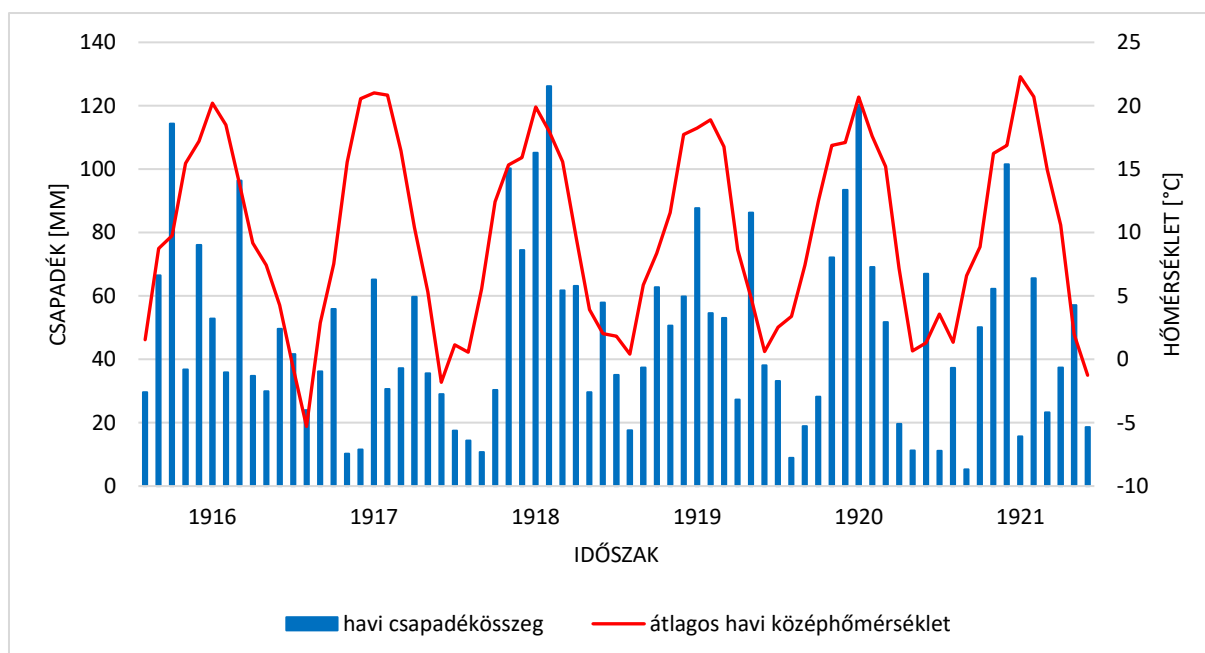
4.2.2. Az 1921-es év minimum értékei

A legalacsonyabb éves minimum vízállás 1921-ben mérték, ekkor –39 cm volt a vízállás.

év	vízállás (cm)	középhőmérséklet (°C)	éves csapadék (mm)
1916	103	10,71	649,61
1917	63	9,40	436,84
1918	41	10,00	691,30
1919	63	9,48	610,31
1920	28	10,20	593,59
1921	-39	10,23	485,06

2. táblázat Az 1916–1921 közötti időszak minimum vízállása Siófokon, valamint éves csapadékösszeg és átlagos évi középhőmérséklet Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 2. táblázatban látszódik, a vizsgált 1916–1921 közötti időszak során a vízállás értékeiben nagy csökkenés történt, míg a meteorológiai értékek ezeket az alacsony értékeket nem féltetlen támasszák alá. Láthatjuk, hogy 1921 előtt utoljára 5 évvel előtte, 1916-ban volt 100 cm felett a vízszint, annak ellenére, hogy 1918, 1919 és 1920 során a csapadékösszeg igen magas volt. Azonban az átlagos évi középhőmérsékletek 10 °C körül voltak, mely értékek nem térnek a megszokottól, így ezek se bizonyítják az igen alacsony vízállás kialakulását. A következő 12. ábrán erre az időszakra vonatkozó meteorológiai adatok havi bontásban láthatók:

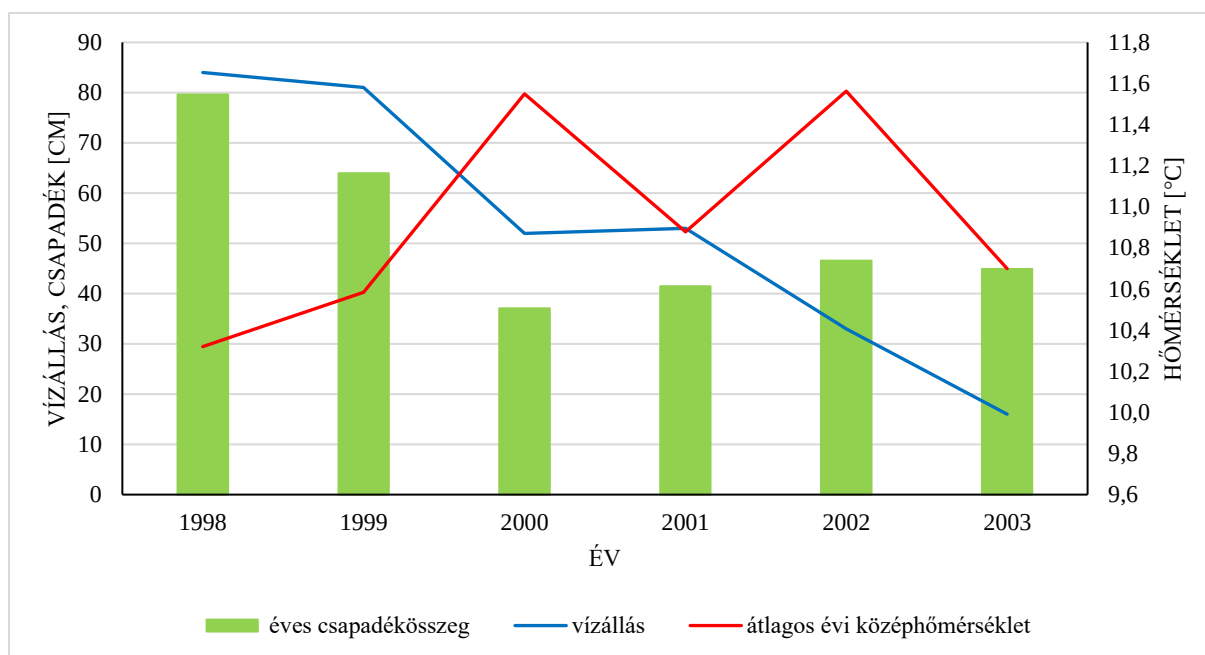


12.ábra Havi hőmérséklet és havi csapadékösszeg változása Keszthelyen 1916–1921 között (HungaroMet Zrt.)

A csapadékot tekintve az 1917-es év során hullott a legkevesebb mennyiség, mely az 12. ábráról is leolvasható, ezt követően azonban a csapadék havi eloszlásában, valamint a csapadék mennyiségét tekintve az 1921-es –39 cm-es vízállás a rendelkezésre álló adatok alapján nem feltétlen bizonyítható. Feltehetően ebben az időszakban is történt valamilyen külső hatás, hasonlóan a már vizsgált 1880–1891 közötti időszakhoz.

4.2.3. A 2003-as év minimum értékei

A 2000-es évek elején aszályos időszak alakult ki a Balaton térségében, mely a vízálláson is megmutatkozott és 2003-ban érte el a legalacsonyabb értéket. A 2003-as évet megelőző időszak meteorológiai és hidrológiai viszonyai a 13. ábrán látható módon alakultak.



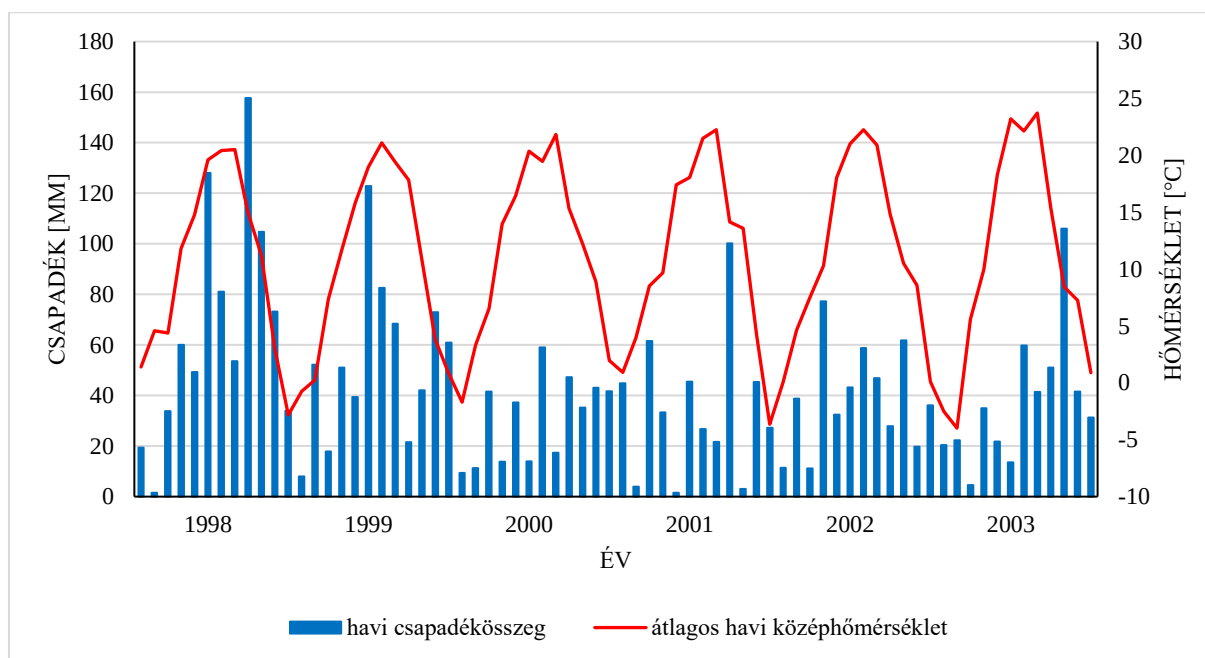
13. ábra A Balaton éves minimum vízállásának változása Siófokon 1998 és 2003 között, valamint az éves csapadékösszeg és az átlagos évi középhőmérséklet változása Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 13. ábrán megfigyelhetjük, hogy az 1998-as év után a vízállás csökkenő tendenciát mutat, a csapadékösszegek értéke is csökkent ettől az időszaktól kezdve 2000-ig, míg a hőmérsékleti értékek növekvő tendenciát mutatnak.

év	vízállás	átlagos évi középhőmérséklet (°C)	éves átlagos csapadékösszeg (mm)
1998	84	10,32	796,16
1999	81	10,58	639,55
2000	52	11,55	370,46
2001	53	10,88	414,67
2002	33	11,56	465,41
2003	16	10,70	448,8

3. táblázat 1998–2003 közötti időszak minimum vízállása Siófokon, valamint éves csapadékösszeg és átlagos évi középhőmérséklet Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 3. táblázatban látható, hogy 1999-ben több mint 150 mm-rel volt kevesebb az évi csapadékösszeg, mint az azt megelőző évben, majd 2000-ben körülbelül 270 mm-rel csökkent az éves csapadékösszeg 1999-hez képest. Ezt követően – bár a csapadékösszegek nőttek éves szinten – a vízállás tovább csökkent, mely a magasabb hőmérsékleti értékeknek, valamint a csapadékösszegek lassú növekedésének köszönhető. Ezen időszak meteorológiai viszonyainak havi felbontása a 14. ábrán látható.



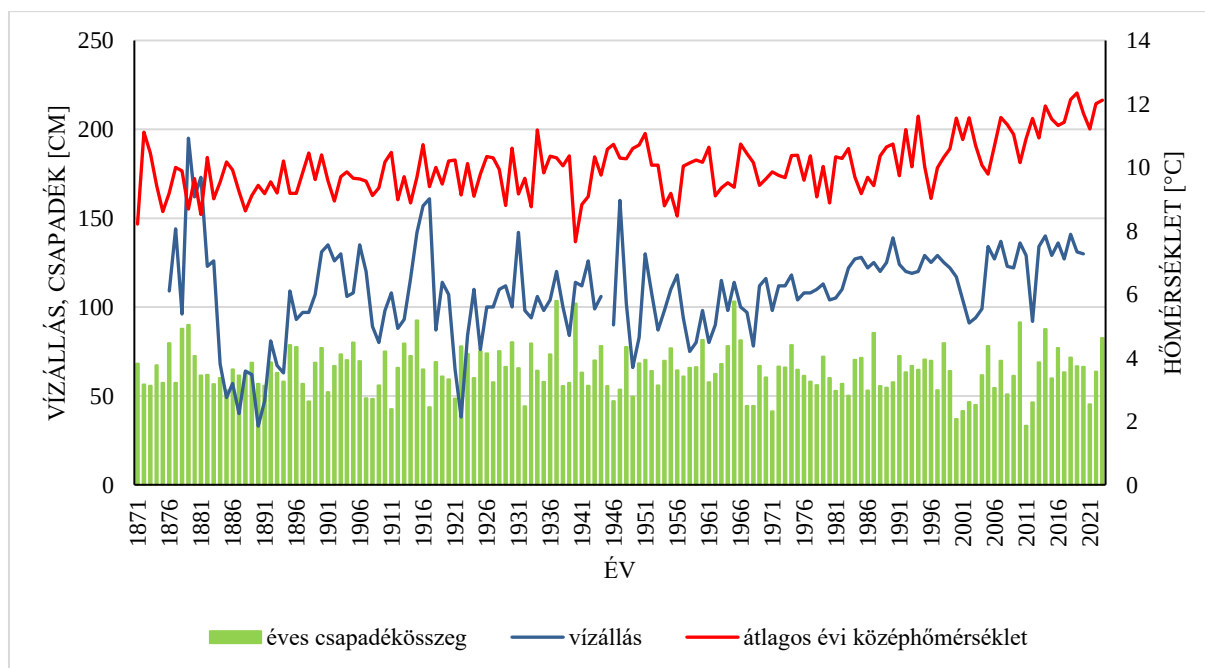
Az ábrán szépen kirajzolódnak a már említett csapadékviszonyok. A 2000-es évek után az éves csapadékösszegek nőttek, azonban a havi felbontásban látszódik, hogy az előtte lévő időszak értékeit nem közelíti meg, így ez a csapadékösszeg növekedés nem tudott hozzájárulni a vízállás tartós növekedéséhez. Emellett a magas hőmérsékleti értékek kedveztek az aszályos időszak kialakulásának és ennek köszönhetően a rendkívül alacsony vízállásnak (15. ábra). Összegezve elmondható, hogy a 2003-as év alacsony vízállását a meteorológiai viszonyok, és azon belül is a több éven keresztül fennálló kedvezőtlen időjárási helyzet igazolják.



15. ábra Balaton Gyenesdiásnál 2003 augusztus végén (Mészáros Róbert)

4.3 Éves maximum vízállás változása

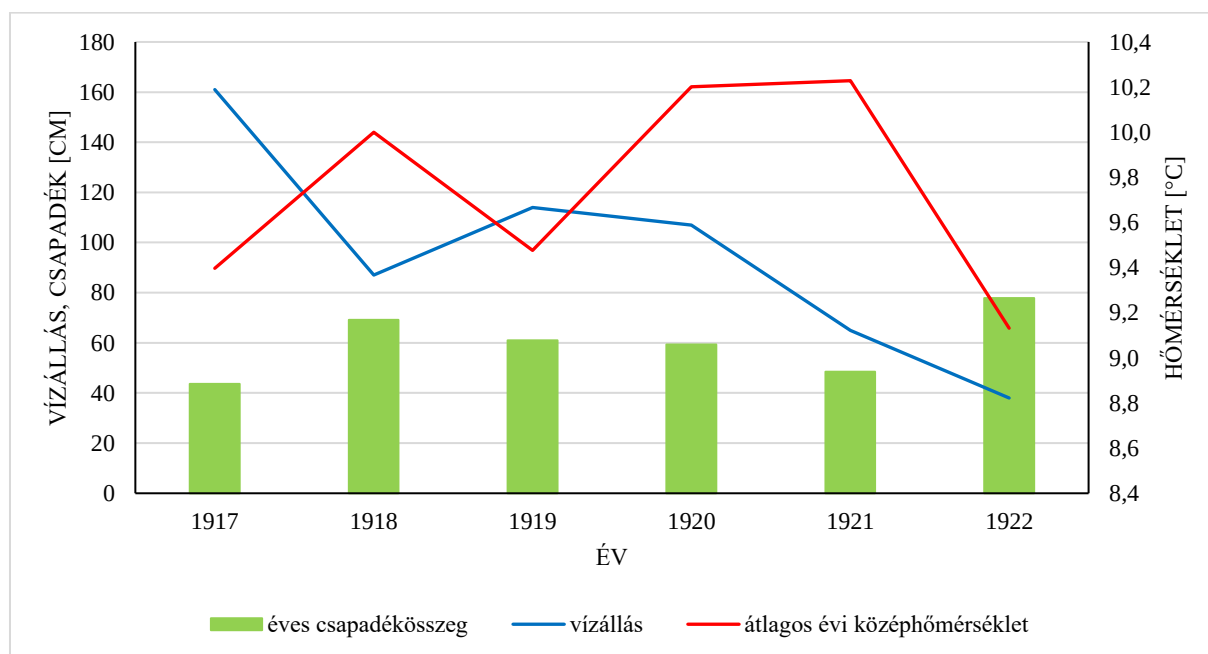
Az éves maximum vízállás során az éves minimumhoz hasonlóan vizsgáltam az adatokat, ebben az esetben a legmagasabb vízállás értékeket vettem figyelembe, majd ábrázoltam, ahogy a 16. ábrán látható.



16. ábra A Balaton éves maximum vízállásának változása Siófokon, valamint az éves középhőmérséklet és csapadékösszeg változása Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

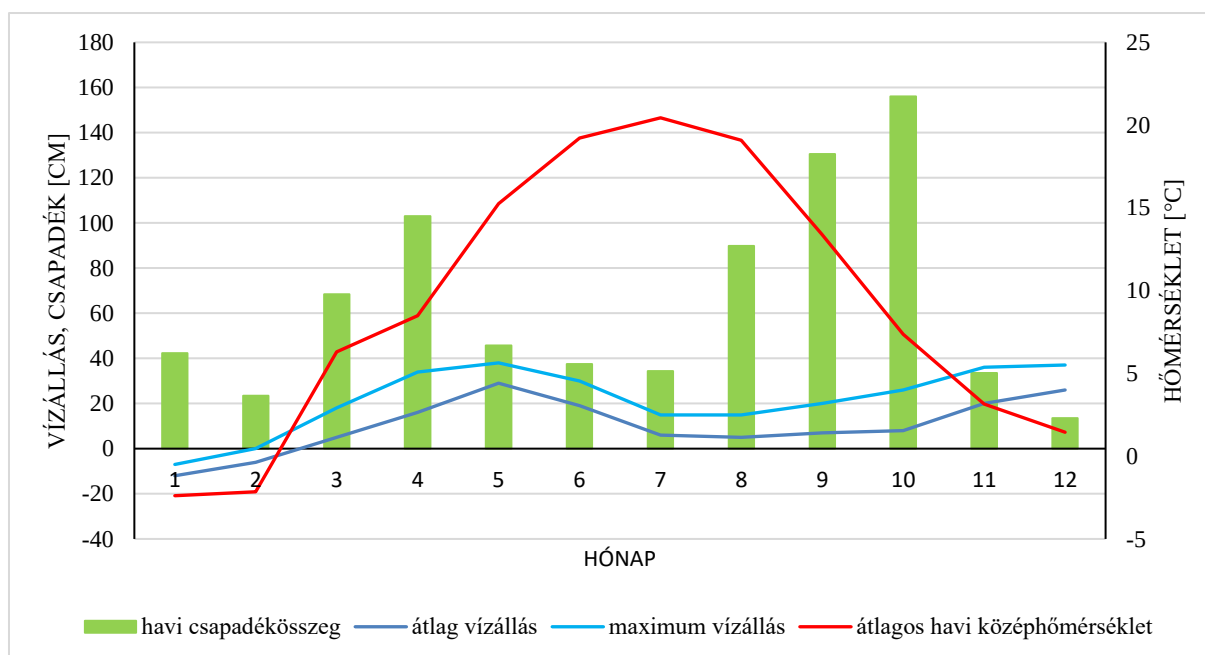
A 9. ábrához hasonlóan, a vízállás során itt is kivehető a 8. ábrán megfigyelt tendencia. A legmagasabb vízállást 1879-ben mérték, 195 cm-es vízzszinttel (ez amiatt volt lehetséges, hogy ekkor még nem volt felső határa a vízállásnak, 2016 óta ugyanis 120 cm-ben maximalizálták a Balaton felső magasságát). Ez a maximum érték magyarázható a nagyobb csapadékmennyiséggel és a viszonylag alacsony éves átlaghőmérséklettel is. A további években bekövetkezett maximumoknál is jól látható ez a kapcsolat, ugyanis kiugróan magas vízállások évében a csapadékösszeg is magas volt.

Maximumok tekintetében az 1922-es év mutat érdekességet, ugyanis a maximum vízállás ekkor volt az egyik legalacsonyabb érték, azonban a csapadékmennyiség abban az évben sok volt (éves összeg: 778 mm). Ennek az évnek, valamint az ezt megelőző időszak hidrológiai és meteorológia viszonyai a 17. ábrán láthatók.



17. ábra A Balaton éves maximum vízállásának változása Siófokon 1917 és 1922 között, valamint az éves csapadékösszeg és az átlagos évi középhőmérséklet változása Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

Az ábrán is szemmel látható, hogy az éves csapadékösszeg 1922-ben magasabb volt az előző éveknél, ugyanakkor az éven belüli csapadékeloszlás az átlagoshoz képest eltérően alakult. A 18. ábrán az 1922-es év csapadékmennyisége, középhőmérséklete látható havi bontásban, az átlag és maximum vízállással kiegészítve.



18. ábra A Balaton havi átlag és maximum vízállásának változása Siófokon 1922-ben, valamint az éves csapadékösszeg és az átlagos évi középhőmérséklet változása Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

1922 a legmagasabb siófoki vízállás 38 cm volt, melyet májusban mértek. Ez a maximum érték az áprilisi nagy mennyiségű esőzésnek köszönhető egyrészt, az év második felében a szeptemberi és októberi esőzés szintén emelkedő vízállást okozott, novemberben 36 cm, míg decemberben 37 cm magas volt a vízállás Siófokon. Ugyanakkor a nyári, átlagosnál jóval alacsonyabb csapadékmennyiség, és magas hőmérséklet a vízállás erős csökkenését okozta júniustól. Mindezek mellett az a tény, hogy 1922-ben a legmagasabb vízállás is csak a 38 cm volt, az előző évek csapadékösszegétől is függ. A következő, 4. táblázatban az 1922-es évet megelőző 6 év és azt követő 1 év vízállása, átlagos évi középhőmérséklete, valamint éves csapadékösszege látható.

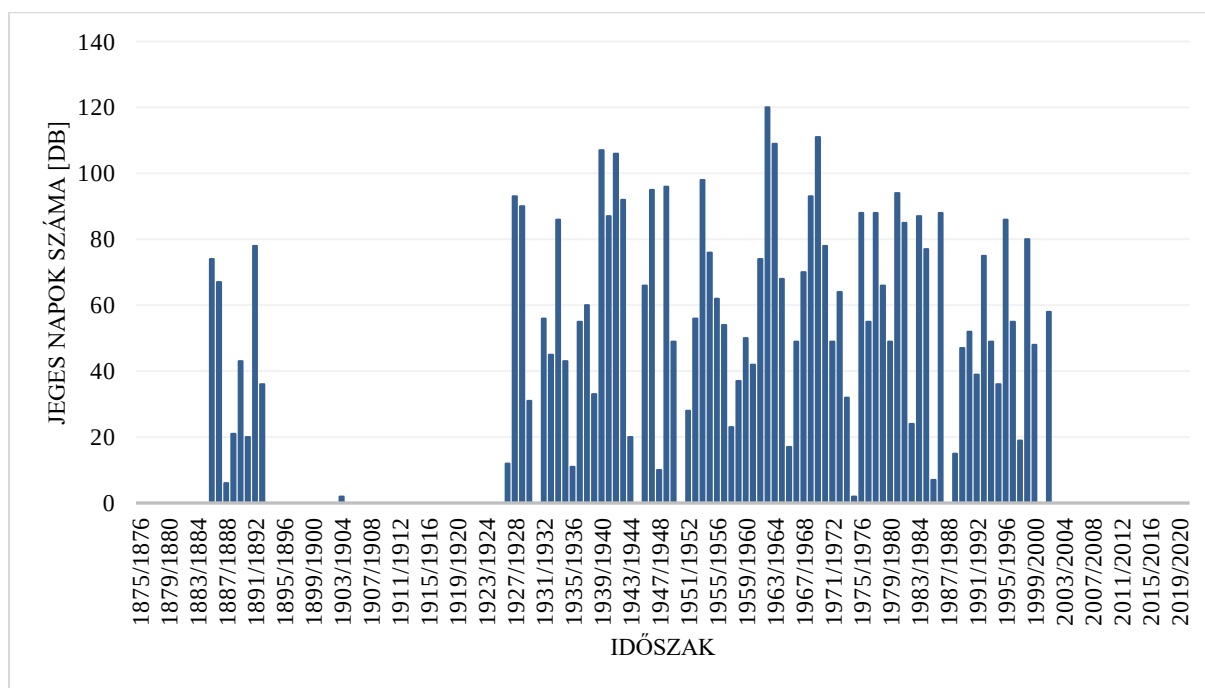
év	vízállás (cm)	középhőmérséklet (°C)	éves csapadék (mm)
1916	157	10,71	649,61
1917	161	9,40	436,84
1918	87	10,00	691,30
1919	114	9,48	610,31
1920	107	10,20	593,59
1921	65	10,23	485,06
1922	38	9,13	778,09
1923	84	10,12	736,17

4. táblázat 1916–1921 közötti időszak maximum vízállása Siófokon, valamint éves csapadékösszeg és átlagos évi középhőmérséklet Keszthelyen (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

A 4. táblázat segít megérteni az 1922-es alacsony maximumérték okait. Látható, hogy 1916-ban a maximum vízállás 157 cm volt és abban az évben a csapadékösszeg is magas, így várható volt, hogy 1917-ben a vízállás emelkedni fog, ami be is következett. Ezzel szemben 1917-ben közel 200 mm-rel kevesebb csapadék esett, így 1918-ban a vízállás maximuma majdnem a felére csökkent az előző évhez képest. (1917: 161 cm, 1918: 87 cm) Az 1918-as évtől kezdődően az éves csapadékösszeg 4 éven keresztül folyamatosan csökkent, és ezzel a Balaton vízállása is, ennek köszönhető, hogy 1922-ben a maximum vízállása mindössze 38 cm volt. A 4. táblázatban láthatjuk, hogy ebben az évben az éves csapadékösszeg közel 300 mm-rel volt magasabb az azt megelőző 1921-es évhez képest, mely az 1923-as maximális vízállás értékén (84 cm) is látszódik.

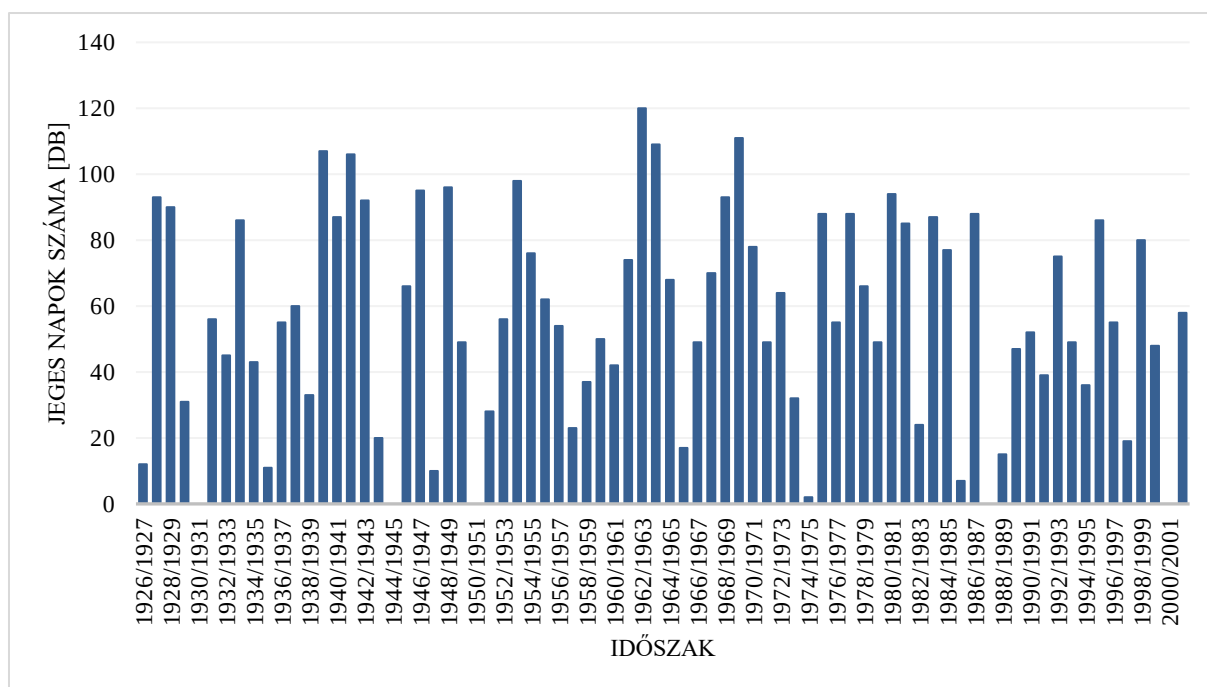
5. Jégviszonyok

A Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) hidrológiai adatai során a Balaton Siófokra vonatkozó jégviszonyait is feljegyezték, mely adatsor a 1876 és 2020 közötti időszakot öleli fel. A közel másfél évszázad hosszú időszak alatt 4616 napon figyeltek meg jégviszonyokat, melyet a 18. ábra szemléltet. Jeges napok azok, melyek a jégviszonyok valamelyike jelen volt Siófoknál a Balaton területén.



19. ábra 1876–2020 közötti időszak teleinek a jéggel borított napjai Siófokon (KDTVIZIG)

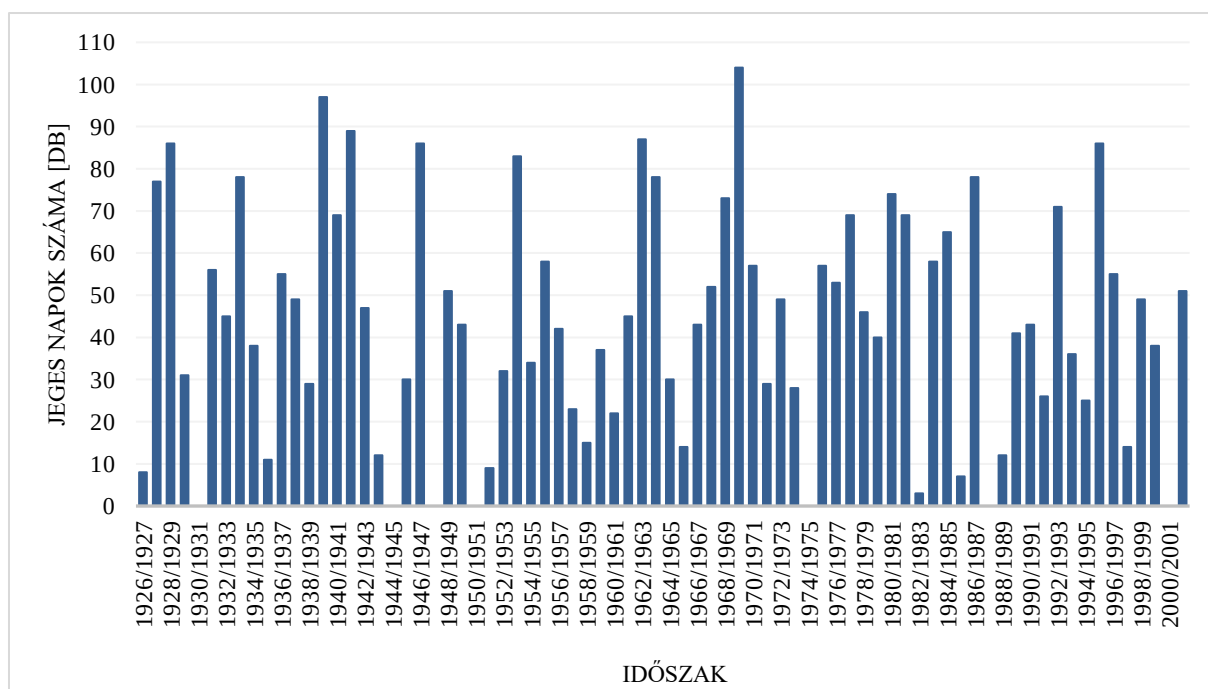
Az első jégviszonyokkal kapcsolatos feljegyzés 1886-ban történt, így az vizsgált időszak első évtizedének jégviszonyait nem tudtam vizsgálni. A 19. ábrán jól látható, hogy 1893 és 1926 között csupán egy alkalommal (1904. április) történt jégviszonyokkal kapcsolatos feljegyzés. Ebben az időszakban vélhetően valamilyen okból szünetelt a jégmegfigyelés. Az 1896 és 1926 közötti, valamint a 2002 utáni adathiányos adatbázis miatt munkám során az 1926–2002 közötti időszakot vettem figyelembe (20. ábra).



20. ábra Az 1926–2002 közötti időszak teleinek a jéggel borított napjai Siófokon (KDTVIZIG)

Az időszak meghatározását a jégviszonyok vizsgálata esetén nem az évek szerint végeztem, hanem a telek szerint. A jégviszonyok kapcsolatos feljegyzések január, február, március, április, november és december hónapok folyamán történtek, így az időszakok meghatározásánál is ezeket vettem figyelembe. Az első vizsgált téli időszak 1926/1927-es tél, az utolsó tél pedig 2001/2002-es.

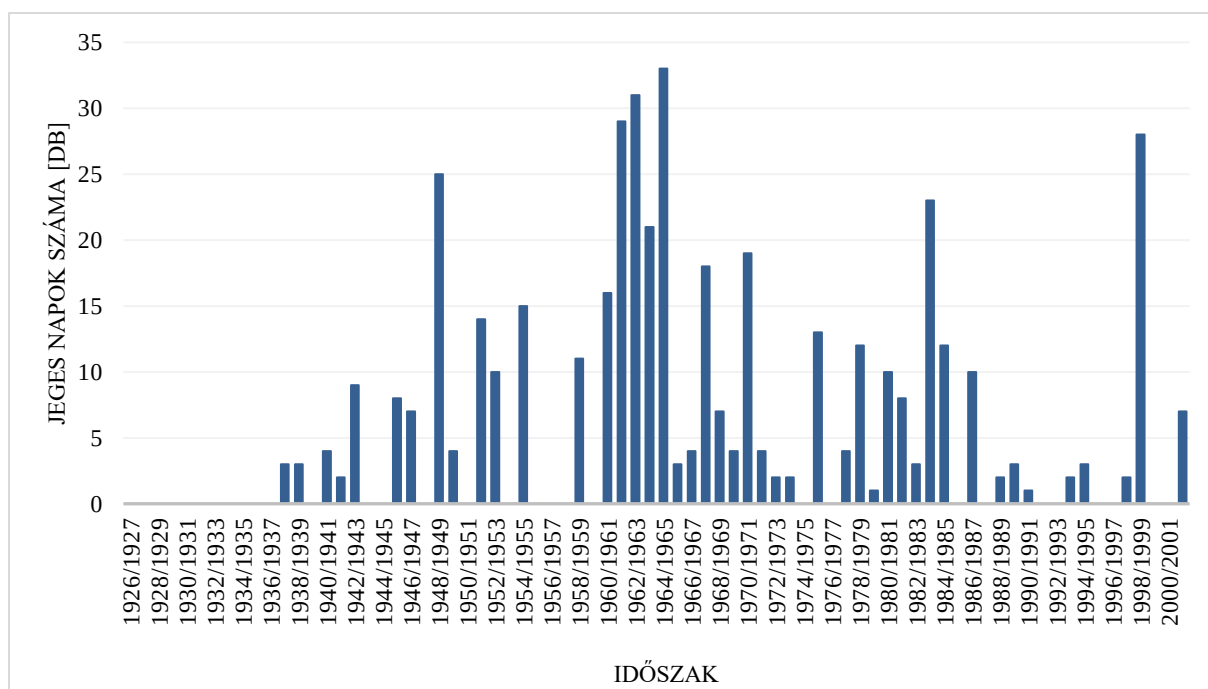
A leggyakoribb jégtípus, melyet megfigyeltek és feljegyeztek az álló jég. Az álló jég, más néven teljes jég az összefüggő jégtakarót jelenti, és a vizsgált időszak alatt 3279 napon alakult ki, amely az összes (4272 nap) jeges napnak a háromnegyedét jelenti, mely a 21. ábrán látható.



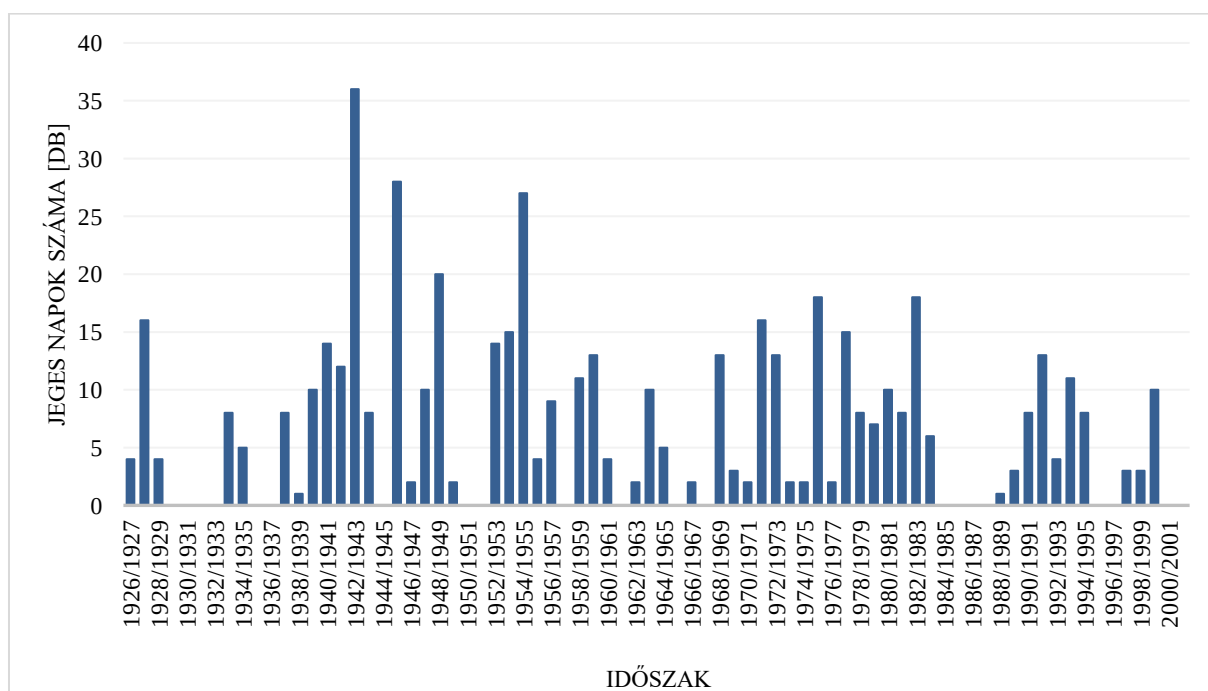
21. ábra 1926–2002 közötti időszak álló jéggel borított napjainak száma telek szerint Siófokon (KDTVIZIG)

A 21. ábrán jól látszik az álló jég, mint leggyakoribb jégtípus minden télen megfigyelhető volt. Az 1969/1970-es tél alatt 104 napon keresztül fordult elő ez a jégtípus.

A zajló jég és parti jég megjelenése többnyire az álló jeget megelőző időszakban figyelhető meg, azonban az azt követő időszakban is előfordulhat. A 22. ábra a zajló jeges napokat, a 23. ábra a parti jeges napok számát ábrázolja.



22. ábra 1926–2002 közötti időszak zajló jéggel borított napjainak száma telek szerint Siófokon (KDTVIZIG)

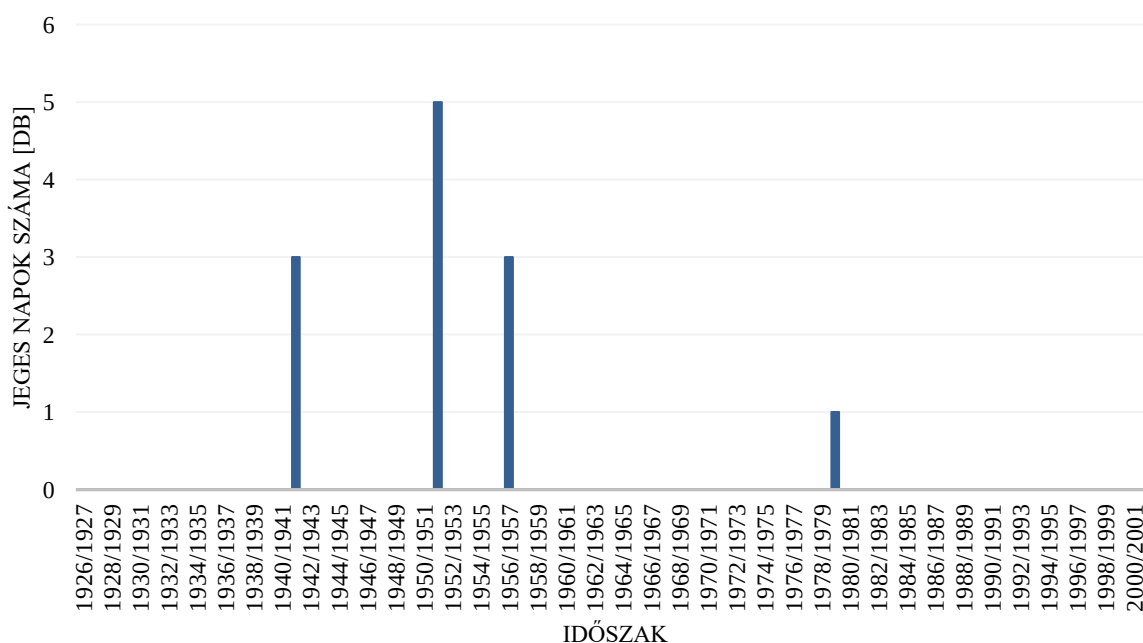


23. ábra 1926–2002 közötti időszak parti jéggel borított napjainak száma telek szerint Siófokon (KDTVIZIG)

A két ábrát vizsgálva azt figyelhetjük meg, hogy a vizsgált időszak első 10 éve alatt zajló jég egyáltalán nem alakult ki, míg ezzel szemben az 1940-es évek telei folyamán is csak kevés napon volt jelen. Ezzel szemben a parti jég kialakulásának tendenciája állandó, csak rövidebb időszak telt el parti jég megfigyelése nélkül. Az 1960-as évek alatt a zajló jég volt

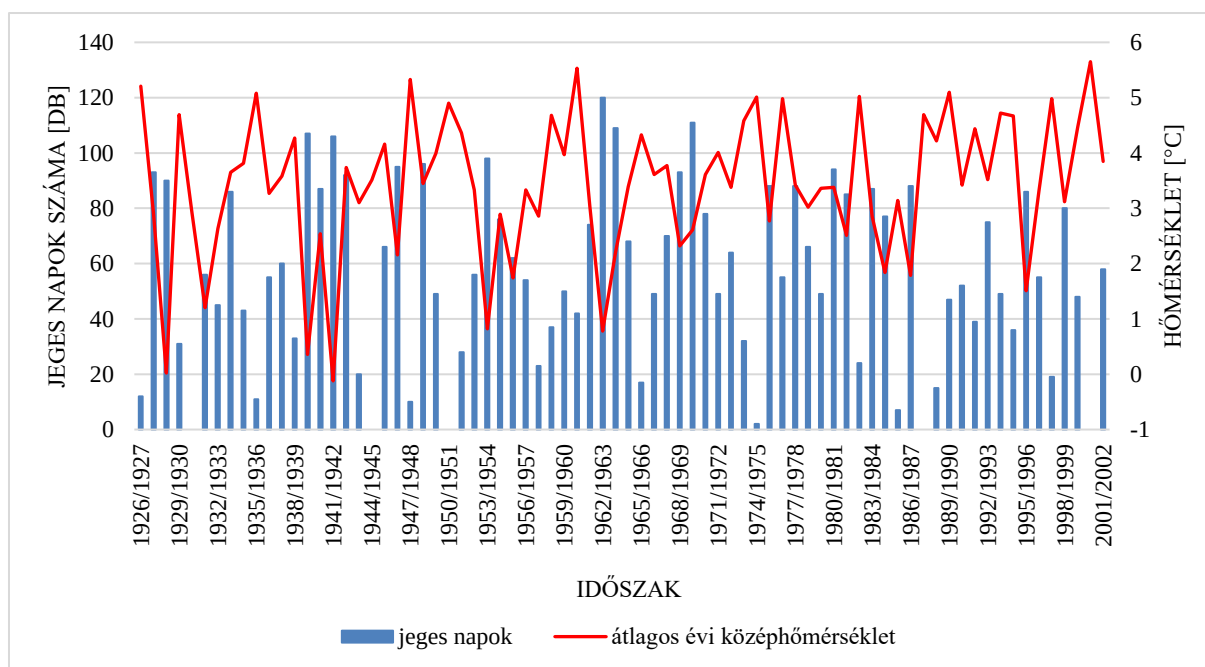
jelen hosszabb ideig, majd az 1990-es alatt pedig újra a parti jég alakult ki több napon. A 22. *ábra* és 23. *ábra* oszlopai hasonló mértékben haladtak, a vizsgált időszak alatt a zajló jég 452 napon, parti jég pedig 511 napon volt megfigyelhető a Siófoknál.

A legritkább jégviszony a jégtorlasz, amely a 24. *ábrán* is jól megfigyelhető, ugyanis összesen 12 napig volt jégtorlasz a közel 150 év alatt.



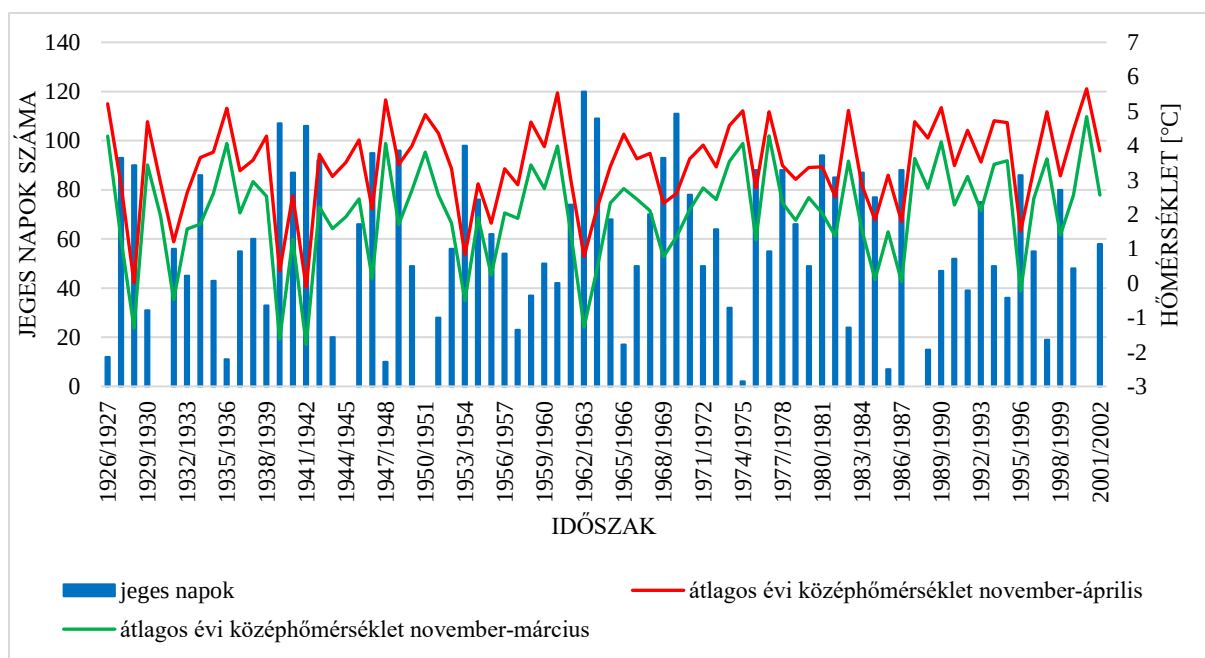
24. *ábra* 1876–2020 közötti időszak parti jéggel borított napjainak száma telek szerint Siófokon (KDTVIZIG)

A jég kialakulásához az egyik legszükségesebb tényező a megfelelő hőmérséklet. A Keszthelyre (Siófokra nem álltak rendelkezésemre a homogenizált adatok) vonatkozó havi középhőmérsékleti adatokból a vizsgált téli időszakra (november, december, január, február, március, április) átlagoltam a középhőmérsékleteket, majd ábrázoltam a vizsgált időszakon belüli összes jeges nappal, mely a 25. *ábrán* látható.



25. ábra Jéggel borított napok száma Siófokon és az átlag középhőmérséklet Keszthelyen 1871–2023 között (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

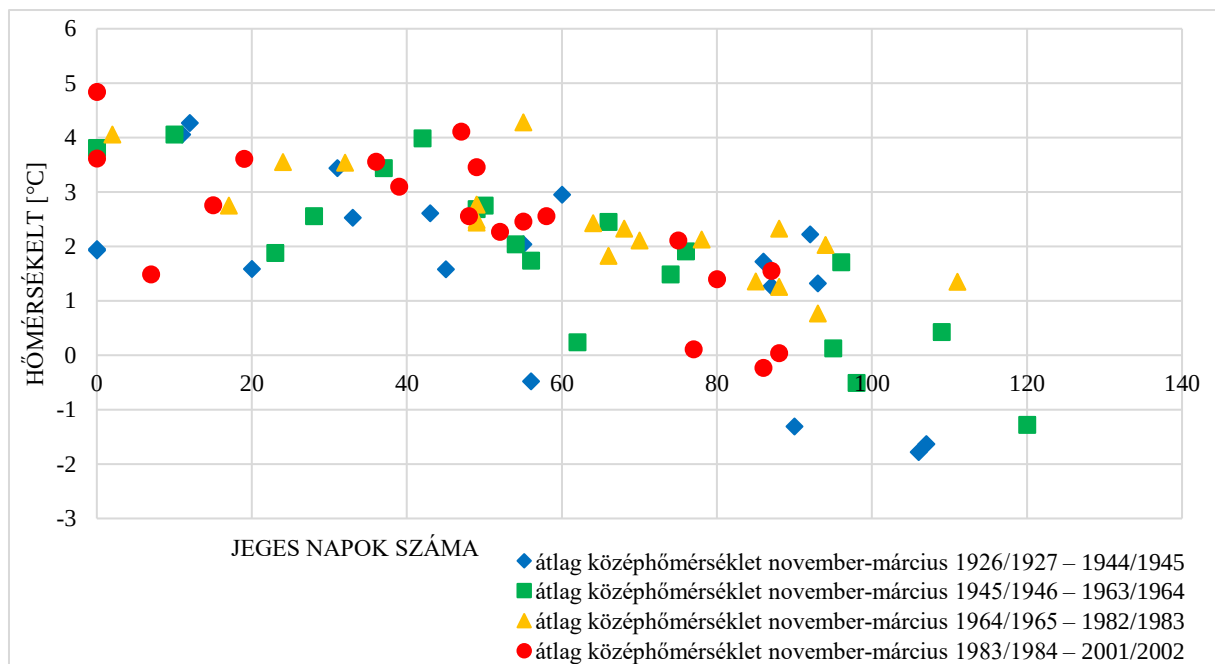
Jól látható, hogy amikor a középhőmérséklet alacsonyabb, akkor a jeges napok száma megnő. Azonban az áprilisi havi középhőmérsékletek értéke 10 °C körül értéket vett fel és ez az általam vizsgált rövid időszaknak az átlagos középhőmérsékleti értékét torzította. Emiatt megvizsgáltam a középhőmérséklet értékeit az április havi nélkül, így minden téli időszak esetén a november, december, január, február és március havi középhőmérsékletek értéket átlagoltam, mely a 26. ábrán látható zöld színnel.



26. ábra Jéggel borított napok száma Siófokon és az átlag középhőmérséklet Keszthelyen 1871–2023 között (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

Az ábrán jól látható, hogy a zöld színnel ábrázolt görbe értékei alacsonyabbak, ami bizonyítja, hogy az áprilisi értékek emelték a vizsgált időszak középhőmérsékletének értékeit. Az áprilisi értékekkel és azok nélkül mért értékek között közel 2 °C különbség is megfigyelhető.

A jéges napok száma és a hőmérséklet közötti összefüggést a Scatter-plot diagram segítségével is be lehet mutatni, ami a 27. ábrán ez látható. A vizsgált időszakot négy rövidebb, 19 telet felölelő időtartamra bontottam és így vizsgáltam az azok közötti összefüggést.



27. ábra Jéggel borított napok száma Siófokon és az átlag középhőmérséklet Keszthelyen 1871–2023 között (KDTVIZIG és HungaroMet Zrt.)

Az ábrára nézve azt vehetjük észre, hogy minél alacsonyabb a hőmérséklet, annál több a jeges napok száma. A legtávolabbi időszak, amit vizsgáltam, az 1926/1927–1944/1945 közötti téli időszakok, mely időszak alatt a legtöbbször volt az átlag középhőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt. Az ezt követő 1945/1946–1963/1964 közötti rövidebb időszak során volt a legtöbb jéggel borított napok száma egy tél során (1962/1963 tele, 120 nap). Az 1964/1965–1982/1983 téli időszakai voltak a legmelegebb, az átlag hőmérsékleti értékek nem csökkentek 0°C alá, azonban a jéggel borított napok száma több téli időszakban is 80–100 nap között mozgott, egy tél alkalmával meg is haladta azt. A legutolsó rövidebb időszak első tele 1983/1984, majd 2001/2002 téli időszakával zárul. Az ábrán azt vehetjük észre, hogy az előtte lévő időszakhoz képest, voltak hidegebb telek, azonban a jéggel borított napok száma csökkent, ebben az időszakban már a 40–60 nap között volt a legtöbb tél, míg az előtte lévő időszakban (sárga háromszög) 80 nap körül voltak többségében.

Összegzés

A Balaton vízállásának változása egy összetett folyamat, melyben a meteorológiai viszonyok mellett a természetes környezet is nagy befolyással van. Munkám során bemutattam, hogy a sekély vizű tavak vizsgálata milyen szempontok szerint lehetséges, valamint az egyes vizsgálatok eredményeképpen a megfelelő vízszintszabályozás fontosságára is utaltam.

Dolgozatomban a Balatont, és annak éghajlatát jellemeztem, majd röviden bemutattam a felhasznált adatokat. Annak ellenére, hogy az adatok hidrológiai része Siófokra és a meteorológiai adatok Keszthelyre vonatkoztak, ez az eredményeket azonban nem torzítja el a tó sekély mérete miatt. Ugyanakkor munkám során az emberi tevékenységek mértékét nem tudtam kiszűrni, így ez a kutatás eredményeire is hatással lehet.

A Balaton vízállását a vízszintszabályozás óta maximalizálják, így a maximum vízállásban kiugrásokat már nem tapasztalhatunk, a minimum vízállás pedig abban ez esetben vesz már csak fel kiugróan alacsonyan értéket, amennyiben szélsőséges időjárási helyzet áll fenn. A jégviszonyok elemzése után azt láthatjuk, hogy amennyiben az időjárási körülmények megfelelőek hozzá, akkor a jégképződés megtörténik. A jéggel borított napok átlagos száma a vizsgált téli időszakokon belül 56 nap. A legtöbb jéggel borított napot 1962/1963 telén figyelték meg, ekkor 120 napon keresztül volt jégtakaró. (a vizsgált telek 181 napból, szökőév esetén 182 napból állnak.) A legkevesebb jég 1974/1975 telén volt, amikor összesen 2 napon történt jégviszony megfigyelése.

Az éghajlatváltozás továbbiakban is hatással van vizeinkre, és fontos, hogy a rendelkezésünkre álló eszközöket, mint a vízszintszabályozás jól használjuk fel. Kutatásom során megfigyeltem, hogy egy kritikus vízállás kialakulásához az szükséges, hogy több éven át tartsanak az egyes meteorológiai és hidrológiai viszonyok, például a 2003-as év alacsony vízállást több éves aszályos időszak előzte meg.

További terveim között szerepel a meteorológiai adatok kibővítése több állomás adataival, hogy minél pontosabb eredményeket kaphassak, valamint a jégviszonyok során jelenleg adathiányos időszakok adatainak feltárása (amennyiben egyáltalán létezik ilyen adatbázis), majd elemzése a komplexebb eredmény érdekében. Emellett hosszú távú célom, hogy a vizsgált területre éghajlati modellek eredményeit is megvizsgáljam a jövőbeli kilátásokkal, elsősorban a vízállás várható alakulásával kapcsolatosan.

Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek, dr. habil. Mészáros Róbertnek, a munkám során nyújtott támogatásért, valamint, hogy értékes ötletivel hozzájárult a dolgozat létrejöttéhez.

Szívből köszönöm Csík Andrásnak, az Országos Vízelző Szolgálat munkatársának a hidrológiai adatokkal kapcsolatosan nyújtott segítséget, illetve Szentes Olivérnek, a HungaroMet Zrt. munkatársának a meteorológiai adatok továbbítását.

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani Családomnak és Barátaimnak, akik a dolgozat megírása során végig támogattak.

Hivatkozások

- Anda A. & Varga B., 2010, Analysis of precipitation on Lake Balaton catchments from 1921 to 2007., *Időjárás*, 114, 187–201.
- Bendefy L., 1968, A Balaton vízszintjének változásai a neolitikumtól napjainkig, *Hidrológiai Közlöny* 48. (6) 257–263.
- Kovácsné Izsák B. C., Szentes O., Bihari Z., Bokros K. & Lakatos M., 2024, Reprezentatív meteorológiai adatok biztosítása a múlt és a jelen éghajlatának megismerésére, *Léggör*, 69, 4–11.
- Coops H. & Hosper S. H., 2002, Water-level management as a tool for the restoration of shallow lakes in the Netherlands, *Lake and Reservoir Management*, 18 (4), 293–298.
- Coops H., Beklioglu M., & Crisman T. L., 2003, The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems—workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 506–509 (1), 23–27.
- Cholnoky J., 1936, Balaton, Országos Meteorológiai Szolgálat, 50–59.
- Csősz L., 2021, A Balaton jelenlegi állapotának vízügyi szempontú összefoglalása=Summary of the Current State of Lake Balaton with Regards to Water Management, *Hadmérnök*, 16 (2), 47–55.
- Fliszár A., 2024: Időjárással kapcsolatos történeti feljegyzések a Balaton térségéből, Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, (témavezető: Dr. Mészáros Róbert)
- Hu K., Wang Y., Feng B., Wu D., Tong Y., & Zhang X., 2020, Calculation of water environmental capacity of large shallow lakes—a case study of Taihu Lake. *Water Policy*, 22 (2), 223–236.
- Ilona J., Bartók B., Dumitrescu A., Cheval S., Gandhi A., Tordai Á. V., & Weidinger T., 2022, Using long-term historical meteorological data for climate change analysis in the Carpathian region. *Atmosphere*, 13 (11), 1751.
- Kugler Sz., 2014, A Balaton és a légkör közötti nitrogénforgalom meghatározása, Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest (témavezetők: Dr. Weidinger Tamás, Dr. Horváth László)
- Kutics, K., 2013, Sekélyvizű tavak jellegzetességei és problémái, *Acta Scientiarum Socialium* 39, 11–34.
- Li H., Somogyi B. & Tóth V., 2024, Exploring spatiotemporal features of surface water temperature for Lake Balaton in the 21st century based on Google Earth Engine, *Journal of Hydrology*, 640, 131672.
- Magyari E. K., Pálfi I., Pósfai M., Buczkó K., Demény A., Czuppon Gy., ... & Bihari Á., 2022: A múlt megértése segíti a jelen kezelési terveinek megalkotását: holocén vízminőség, vízszint és felszínborítás változások a Balatonban, *LXIII. Hidrobiológus Napok Tihany* 2022. október 5–7., Felszíni vizeink monitorozása és védelme, 12–13 p.
- Mika J., Varga G., Pálfi L., Bonta I., & Bálint, G., 2010, Could circulation anomalies cause the strong water deficit of Lake Balaton in 2000–2003, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35 (1–2), 2–10.
- Müller T., Urbányi B., & Staszny Á., 2020, Veszélyeztetett lápi halak megóvása (lápi póc, rétcsík, széles kárász) (második, módosított kiadás).

- Pongrácz R., 2022, A Balaton éghajlata, Hidrometeorológia előadás, Eötvös Loránd Tudományegyetem
- Szentes O., Izsák B., 2022, Homogenizált és rácsponti éghajlati adatbázis megújítása: hőmérséklet, csapadék, A Magyar Meteorológiai Társaság XXXVIII. Vándorgyűlése, Szeged 2022. augusztus 25–26. – http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2022/09/Vandorgyules_2022_Szentes.pdf
- Talling J. F., 2001, Environmental controls on the functioning of shallow tropical lakes. *Hydrobiologia*, 458, 1–8.
- Varga Gy., 2014, Tájékoztatás a Balaton vízszint-szabályozásáról, *Országos Vízkárelhárítási Konferencia*, Miskolctapolca, 2014. május 6–8., https://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/3.2_Tajekoztatas%20a%20Balaton%20vizszintszabalyozasarol.pdf
- Varga Gy., Jakus Á., 2020, Gondolatok a Balaton időben változó vízháztartásáról és vízszintszabályozásáról, *GeoMetodika Földrajz Szakmódszertani Folyóirat*, 4 (2), 5–16.
- Vadas A., Rácz L., 2010, Éghajlati változások a Kárpát-medencében a középkor idején, *Agrártörténeti Szemle*, 57 (1–4) 39–62
- Vörös L., 2019, A Balaton vízminősége és az algák, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany, Online: www.blki.hu/Balaton_es_algak

Internetes hivatkozások

- [1] Központi Hidrológiai Adattár Archívum Siófok állomásra – <https://www.hydroinfo.hu/vituki/archivum/si.htm> (Utoljára megnyitva: 2025. 01. 04.)
- [2] Központi Hidrológiai Adattár Archívum Siófok állomásra – <https://www.hydroinfo.hu/vituki/archivum/ba.htm> (Utoljára megnyitva: 2025. 01. 04.)
- [3] HungaroMet Zrt. honlapja – https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/varosok_jellemzoi/Siofok/ (Utoljára megnyitva: 2025. 01. 04.)
- [4] Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság honlapja – <https://www.kdvvizig.hu/kozep-duna-volgyi/rolunk/fogalomtar/fogalmak> (Utoljára megnyitva: 2025. 01. 04.)

Függelék

Saját eredmények

Kutatás fő kérdése a Balaton vízállásának és jégviszonyainak elemzése éghajlati adatsorokon:

- meteorológiai viszonyok kapcsolata a vízállással és jégviszonyokkal,
- hidrológiai viszonyok kialakulásának lehetséges okai.

Kutatás során használt módszerek:

- meteorológia és hidrológiai adatok elemzése éghajlati skálán.

Kutatás eredményei 150 éves idősoron:

- a meteorológiai viszonyok a legtöbb esetben igazolják a vízszintben bekövetkező változásokat,
- egyes esetekben egyéb emberi beavatkozás is hozzájárulhatott a vízszint változáshoz (például: 1882–1890 között),
- a jelentős vízszintcsökkenés általában több éves kedvezőtlen időjárási helyzetnek köszönhető (például a 2000-es évek aszályos időszaka jelentősen meghatározta a Balaton vízállását, ennek következménye volt a 2003-as alacsony minimum vízállás),
- maximum vízállás esetében a legkisebb maximum értékek vizsgálata érdekes a vízszintszabályozás miatt,
- a csapadék éven belüli eloszlása is okozhat a vízállások értékeinél érdekességet, (például az 1922-es év),
- a rendelkezésre álló adatok alapján elemeztem a Balaton jégviszonyait is: a jégviszonyok kialakulása közel 80 év téli időszaka alatt 4272 nap volt, ami a vizsgált téli periódus háromnegyede, de az egyes évek között nagy a változékonyság az egyes jégtípusokat illetően (álló, zajló, parti jég, illetve jégtorlasz), valamint a jéggel való borítottság időtartamát tekintve,
- a vizsgált 150 éves időszak alatt a téli időszakok átlag középhőmérséklete növekedett, azonban a jéggel borított napok száma továbbra is eléri a 40 – 60 napot,
- szélsőséges időjárás kialakulásához szükséges, hogy több éven keresztül tartsanak a meteorológiai és hidrológiai viszonyok.