



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék  
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-5.  
Telefon: (361) 463 1530 Fax: (361) 463 3753

---

## Nagy Ágnes

(MSc környezetmérnök hallgató)

### A Velencei-tó rövidtávú vízminőség-változása a Hosszú-tisztás adatai alapján

(TDK dolgozat)



Témavezető: Dr. Szilágyi Ferenc egyetemi docens  
és Balogi Zsolt laborvezető-helyettes (KDT KTVF)

Budapest, 2012.

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	1
1.1. Előzmények és a téma fontossága .....	1
1.2. Célkitűzés .....	1
2. Irodalmi áttekintés .....	2
2.1. A tavak létezése, anyagforgalmaik.....	2
2.1.1. Tavak keletkezése és pusztulása.....	2
2.1.2. Tavak anyagforgalma .....	3
2.1.2.1. Nitrogén-körforgalom .....	4
2.1.2.2. Foszfor-körforgalom .....	7
2.2. A Velencei-tó kialakulása, története .....	9
2.3. A Velencei-tó vízrajza és vízminősége .....	12
3. Anyag és módszer .....	15
3.1. A mintavételi hely és a mintavétel ismertetése .....	15
3.2. Mérési módszerek ismertetése .....	17
4. Eredmények és értékelés .....	17
4.1. Eredményeim statisztikai jellemzői és a hivatalos mérésekhez való viszonyuk.....	17
4.2. Eredményeim változása az egy hónapos időszakban .....	26
4.3. A különböző komponensek összefüggés-vizsgálata .....	33
4.4. Saját adataim és a tíz éves adatsor viszonya .....	39
5. Következtetés .....	47
6. Összefoglaló.....	50
7. Irodalomjegyzék .....	52
8. Köszönetnyilvánítás .....	54
9. Mellékletek .....	55

## Ábrajegyzék

1. ábra A nitrogén oxidációs állapotai a természetben [DULOVICS, JUHÁSZ, KÁRPÁTI, NÉMEDI, ORBÁN, SZILÁGYI 2007].....	5
2. ábra Velencei-tó vízborítása.....	9
3. ábra Velencei-tó és vízgyűjtője.....	13
4. ábra Mintavétel.....	15
5. ábra A mérési helyszín, Agárdi Tófelügyelőség.....	16
6. ábra Hibahatár nagysága.....	23
7. ábra Autokorrelációs függvény.....	23
8. ábra A fajlagos vezetőképesség változása.....	26
9. ábra N-formák változása.....	27
10. ábra Foszforformák változása.....	28
11. ábra Lebegőanyag változása.....	29
12. ábra a-klorofill változása.....	29
13. ábra Napfénytartam és az a-klorofill összefüggése.....	30
14. ábra a-klorofill és kl-a/kl-b összevetése.....	31
15. ábra Víz és levegőhőmérséklet közti különbség (KDT-VIZIG 2012.).....	32
16. ábra KOI <sub>d</sub> napi változása 2012. júliusban.....	33
17. ábra Vízállás és a fajlagos vezetőképesség kapcsolata.....	34
18. ábra Az a-klorofill és az összes foszfor regressziója.....	35
19. ábra Lebegőanyag és összes foszfor regressziója.....	35
20. ábra Az a-klorofill és a szélesség napi átlaga (KDT-VIZIG 2012).....	36
21. ábra Lebegőanyag- szélesség napi átlaga (KDT-VIZIG 2012).....	37
22. ábra Az a-klorofill és a napsütötte órák számának összefüggése (KDT-VIZIG 2012).....	38
23. ábra Fajlagos vezetőképesség változása 2002-2012.....	40
24. ábra N-formák változása 2002-2012.....	41
25. ábra P-formák változása 2002-2012.....	43
26. ábra A-klorofill változása 2002-2012.....	44
27. ábra KOI <sub>d</sub> változása 2002-2012.....	46

## Táblázatjegyzék

1. táblázat A trofitás fokozatai (FELFÖLDY 1974) .....	3
2. táblázat A tavak nitrogén-mérlege .....	6
3. táblázat Mérési módszerek felsorolása.....	17
4. táblázat Komponensek statisztikai adatai.....	18
5. táblázat Standard hibahatár .....	20
6. táblázat A saját és a KDT-KTVF által vizsgált minta összehasonlítása .....	21
7. táblázat Nitrogén és foszfor aránya a Velencei-tóban.....	24

Dolgozatomban a Velencei-tó rövid távú vízminőség-változását követem nyomon egyhónapos napi gyakoriságú helyszíni és laboratóriumi méréseim eredményei alapján. Minden nap ugyanabban az időben vettem vízmintát a Velencei-tó egy adott pontján, a Hosszú-tisztásnak nevezett víztéren. Az elemzett paraméterek elsősorban kémiai jellegűek voltak. Ezeken kívül az a-, és b-klorofill koncentrációt is mértem, amik a tó biológiai jellemzői. Az egy hónapos időszak alatt szélsőséges volt az időjárás, így a nagy eső és a magas hőmérséklet hatását is tudtam elemezni. Vizsgálatomat hosszabb távú, sokéves, idősorba illesztettem be, hiszen ezen a víztéren évtizedek óta történik mintavétel. Dolgozatom célja, hogy rámutassak a rendszeres (kétheti-havi) gyakorisággal gyűjtött adatok és a napi adatok összehasonlítása alapján a mintavételből adódó hiba mértékére, a rövid távú vízminőség-változás nagyságára, illetve a vízminőségi jellemzők közötti kapcsolatokra. Célom, hogy a rendszeresen gyűjtött tavi törzshálózati adatok megbízhatóságát vizsgáljam, és az optimális mintavételek gyakoriságára következtetéseket vonjak le.

In this study the short-term water quality changes in Lake Velence at Hosszú-tisztás were investigated by daily field measurements and water sampling during a month in summer, 2012. The water samples were taken at the same time every day. Field measurements and laboratory analyses were made in the samples for several water quality components. The analysed parameters were primarily chemical but chlorophyll-a and chlorophyll-b were also measured representing the trophic status of the water body. While the one month long period, extreme weather conditions were encountered, thus both the effects of heavy rain and elevated temperature could be analysed. I was able to insert my research into a series of data of longer time span that have been measured regularly for decades in this area. The purpose of my research is to analyse the short-term water quality changes at a given water body and to estimate of the sampling errors arising from the less frequent (biweekly or monthly sampling) regular sampling programme for the measured components using daily data. It was also an objective to investigate the reliability of an optimal sampling frequency and to draw practical conclusions about the monitoring programme of the lake.

## HALLGATÓI NYILATKOZAT

Kijelentem, hogy ezt a TDK dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem. Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig általam a dolgozat feltöltésekor beállított jogosultságokkal (publikus vagy titkos) egyezve közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. A TDK konferenciára való regisztrációval vállalom, hogy az általam publikált anyagot határidőre elkészítem, a konferencián személyesen megjelenek és eredményeimet előadom. A benyújtott tudományos munkát magam (és szerzőtársam vagy szerzőtársaim) készítették, minden, a szakirodalomból átvett bármely rész elérhetőségét – a forrás pontos, más által is elérhető formátumban – szögletes zárójelben megjelölt hivatkozásként megadom.

## **1. Bevezetés**

### **1.1. Előzmények és a téma fontossága**

A Velencei-tó hazánk második legnagyobb természetes tava. A Velencei-hegység lábánál, egy lapos süllyedékben helyezkedik el. Kedvelt üdülőkörzet, horgászok, vitorlások és fürdőzők egyaránt szívesen látogatják. Közigazgatásilag Fejér megyében található, így a Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség fennhatósága alá tartozik. A Felügyelőség rendszeres vízminőségi vizsgálatokat végez a tavon. A mérések gyakorisága általában két hét, de előfordulnak havi mérések is. A Velencei-tó sekély tó, átlagos vízmélysége a Balatonhoz képest kisebb a nyílt felszíni vízre jellemző élővilága is eltérő. Leginkább a jellemző élőlény társulásaiban tér el a Balatontól. A fitoplankton mennyiségét a hazánkban az algák koncentrációjának jellemzésére szolgáló a-klorofill mérés mutatja a legjobban. A vizek algaállománya és kémiai jellemzői akár rövid időn belül is (pl. naponta) változhatnak. Ezt a változást több tényező befolyásolhatja. Kérdés, hogy egy hónapon belül tetszőlegesen kiválasztott mérési időpont alkalmával jellemzett vízminőség mennyire adja vissza a tó adott szakaszára jellemző viszonyokat.

### **1.2. Célkitűzés**

Dolgozatom célja, hogy a KDT KTVF által rendszeresen végzett vízminőségvizsgálatok reprezentativitását vizsgáljam. Munkám során, nyáron, egy hónapon keresztül, minden nap azonos időpontban vettem vízminőségvizsgálatot a Velencei-tó Hosszú-tisztásnak nevezett területéről. A vízminőségvizsgálatot több komponensre vizsgáltam, így az a-klorofill változását össze tudtam vetni a többi komponensével is. Céлом, hogy a mért komponensek alakulását elemezzem és összefüggéseket keressek más tényezőkkel. Az általam vizsgált egy hónap napi adatait egy tágabb időszakra is beillesztettem, hogy jól látható legyen a komponensek múltbeli havi változékonysága, összehasonlítva a rövidtávú változásokkal. Vizsgálom, hogy a Felügyelőség által kiválasztott mérési időpontokban kapott eredmények mennyire adják vissza a hónapra jellemző értéket. Értékelésem során arra is kitérek, hogy a trendek mennyire mutatják jól a valós változásokat.

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1. A tavak létezése, anyagforgalmaik

#### 2.1.1. Tavak keletkezése és pusztulása

Tavak keletkezhetnek természetesen és mesterségesen. A természetes tavak süllyedésekben, kéregmozgások által vagy akár folyók összefolyásainál is létrejöhetnek. A mesterséges tavak lecsapolásokkal, mesterséges kialakulásokkal keletkezhetnek.

A tavak a Föld korához képest rövid életű képződmények. A tavak többféleképpen megszűnhetnek. Egyik megszűnési ok a tavak kiszáradása, ami felmelegedő éghajlatváltozás eredménye. Egy másik elképzelhető pusztulási mód a lecsapolódás, amikor a tóból kivezető patak vagy folyó elég mély lesz ahhoz, hogy rajta keresztül az egész tó vize lefolyjon. Az eutrofizáció is lehet oka a tavak feltöltődésének (feltöltő szukcesszió). Az eutrofizáció a tavak „elnövényesedését” jelenti. A természetes eutrofizálódás a tavak korával és feltöltődéssel együtt járó tápanyagdúsulásra, a trofitás emelkedésére adott lassú biológiai reakció, ami ezer, sőt több tízezer évig alakulhat és rendszerint visszafordíthatatlan, a tó eltűnésével, feltöltődésével ér véget (FELFÖLDY 1974). A vízbe jutó növényi tápanyagok révén egyre több a tavak tápanyag tartalma egyre nagyobb lesz, így egyre több növény tud megtelepedni a vizekben. A tó egyre inkább zöld színű lesz, túlburjánzik a vízi növényzet, ami egy idő után tápanyag hiányában elhal és a tó alján, üledékként halmozódik fel. A felhalmozódás következtében egyre kevesebb hely jut a halaknak, amik így kipusztulnak. Majd a felhalmozódott, elhalt növényzet kiszorítja a vizet is. Ennek a folyamatnak 3 lépcsőjét figyelhetjük meg: első szakasz, amikor kialakul a fertő, a második a mocsári állapot, és a harmadik, egyben utolsó a láp. A fertő állapotot a tó mélyén megtelepedett vízi növények jellemzik. A mocsári állapotban a növények jelenléte a szélsőségekig tolódik, a vizes terület már egyre kevésbé van jelen. A lápos állapotban a víz már csak nyomokban mutatkozik, a vízi növények utalnak a korábbi tó jelenlétére. A trofitás szintjének jó mérőszáma az a-klorofill, melynek értékéből következtethetünk a tó állapotára. Az 1. táblázat az a-klorofill értékeihez rendel trofitás értékeket:



<b>A trofitás fokozatai</b>	
Trofitási szint	a-klorofill mg/m <sup>3</sup>
1. atrófikus	0
2. ultra-oligotrófikus	<1
3. oligotrófikus	1-3
4. oligo-mezotrófikus	3-10
5. mezotrófikus	10-20
6. mezo-eutrófikus	20-50
7. eutrófikus	50-100
8. eu-politrófikus	100-200
9. politrófikus	200-800
10. hipertrófikus	>800

*1. táblázat A trofitás fokozatai (FELFÖLDY 1974)*

Mint látjuk, az a-klorofill az eutrofizáció előrejelzés indikátora, így nem csoda, hogy mérésének egyszerűsítését kutatják. Nem csak helyszíni mérésekkel, hanem távérzékeléssel is lehet már az a-klorofill mérését végezni. Ez a módszer megkönnyíti az a-klorofill nyomon követését (GITELSON et al. 1990).

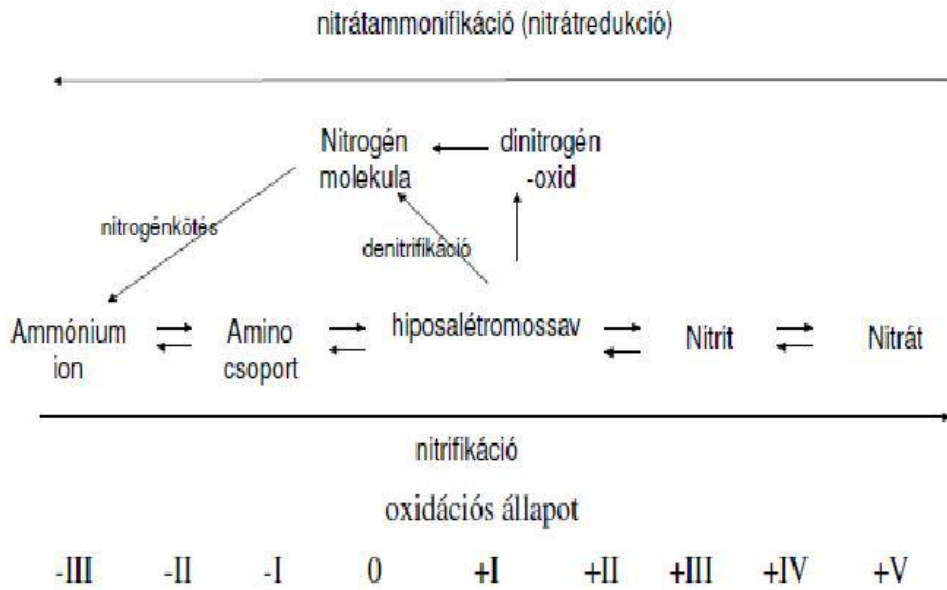
### **2.1.2. Tavak anyagforgalma**

Tavak életük során rengeteg alakító tényezővel találkozhatnak. Az egyik a vizek körforgása, ami vizeik mennyiségét meghatározzák, a másik a vízminőséget sokban befolyásoló biogeokémiai ciklusok. A víz körforgalmának jellegzetességeit HEINRICH és HERRGT (1994), valamint Somlyódy (1999) munkája alapján ismertetem. A Föld teljes vízkészlete mintegy 1.400 millió km<sup>3</sup>, a felszín 71%-át víz borítja. A szűk hőmérsékleti tartományon belüli fázisváltások teszik lehetővé a víz hidrológiai körforgását a napenergia hatására a hidroszféra nyitott rendszerében, kölcsönhatásban az atmoszférával és a litoszférával. A halmazállapotok a hőmérséklet és a nyomás függvényei. A víz fázisdiagramja és a bolygók hőmérséklet és nyomás jellemzőinek relatív viszonya magyarázza, hogy jelenlegi ismereteink szerint, minden valószínűség szerint folyékony víz csak a Földön található. A hidrológiai körforgás kulcseleme a felszíni vizek párolgása, amely jóval a forráspont alatt (szublimáció formájában még szilárd halmazállapotban is) bekövetkezik (a levegő víztartalma már 20 °C-on is elérheti a 15 %-ot) (DULOVICS, JUHÁSZ, KÁRPÁTI, NÉMEDI, ORBÁN, SZILÁGYI 2007).

Dolgozatom szempontjából a biogeokémiai ciklusok közül a nitrogén és a foszfor körforgalma a legfontosabb, hiszen ezek alakítják a tó tápanyag-tartalmát és e tényezők befolyásolják több más komponens jelenlétét is. A nitrogén-, illetve a foszfor körforgalmának ismertetése a DULOVICS, JUHÁSZ, KÁRPÁTI, NÉMEDI, ORBÁN, SZILÁGYI (2007) alapján történt.

### 2.1.2.1. Nitrogén-körforgalom

A nitrogén körforgalma az egyik legbonyolultabb folyamat a természetben. Ennek egyik oka, hogy a nitrogén számos formában előfordulhat természetes állapotban is, mely állapotokban oxidációs száma -3-tól +5-ig terjedő skálán minden értéket felvehet (1. ábra). A másik ok, hogy hiába a levegő 71%-át a nitrogén alkotja, ennek a nitrogénnek a felvétele elég nehéz folyamat, hiszen, a levegőt alkotja  $N_2$  molekulát alkotó két nitrogén között erős hármass kötés található. A  $N_2$  molekulát alkotó két nitrogén elemi nitrogénre bomlásához nagyon sok energia kell. A nitrogéngáz képződéshője +670kJ, tehát rendkívül sok energiát kell befektetni ahhoz, hogy a  $N_2$  molekula széthasadjon. Erre a nagy energia-befektetésre nem minden élőlény képes, így a legtöbb élőlény számára a levegő nitrogén tartalma nem hozzáférhető. A növények és a baktériumok inkább az ásványi nitrogénformákat, az ammónium iont ( $NH_4^+$ ), a nitritet ( $NO_2^-$ ) és a nitrátot ( $NO_3^-$ ) képesek hasznosítani (BOTHE et al. 2007).



1. ábra A nitrogén oxidációs állapotai a természetben [DULOVICS, JUHÁSZ, KÁRPÁTI, NÉMEDI, ORBÁN, SZILÁGYI 2007]

Ezek az ásványi nitrogénformák azok, melyeken keresztül az élőlények nitrogénhez jutnak. Ha a levegő nitrogénje legtöbb élőlény számára nem hozzáférhető, akkor hogyan keletkeznek mégis az ásványi nitrogénformák? Nagyon egyszerű: a levegő nitrogénje fotokémiai úton is átalakulhat. Nagy energiájú sugárzás hatására a levegő nitrogénje  $\text{NH}_3$ -vá, illetve  $\text{NO}_x$ -ká alakulhat. A fotokémiai energia mellett egyes mikroorganizmusok is képesek a levegő nitrogénjét megkötni. Ilyen módon a tavak is hozzájuthatnak a levegőnitrogénjéhez, hiszen a tavakban számos mikroorganizmus előfordulhat. A nitrogénkötés a tavak külső terhelésének akár 1/3-át is adhatja, de ez inkább a tavak keletkezésénél jellemző. A nitrogénformák átalakulásai közül négy folyamat a legfontosabb:

- ammonifikáció
- nitrifikáció
- denitrifikáció
- nitrátlégzés

Ezek ismerete elengedhetetlen, ha a nitrogénformák megismerését tűzzük ki célul. Az ammonifikáció során szerves vegyületeket, elsősorban szerves anyagcseretermékeket, az élőlények elpusztult testét baktériumok (pl.: *Pseudomonas*) bontják aminos csoport (- $\text{NH}_2$ ) eltávolításával úgy, hogy a folyamat végtermékei között a nitrogén ammónia ( $\text{NH}_4^+$ ) formává alakul. Az ammónia mellett természetes víz ( $\text{H}_2\text{O}$ ) és széndioxid ( $\text{CO}_2$ ) is jelen van.

A nitrifikáció során a különböző folyamatokkal keletkező ammóniát ( $\text{NH}_3$ ) a nitrifikáló baktériumok először nitrit-ionná ( $\text{NO}_2^-$ ), majd nitrát-ionná ( $\text{NO}_3^-$ ) oxidálják és a szerves szénből szervesanyagot szintetizálnak. Az ammónia nitrit-ionná oxidálását például a *Nitrosomas* baktérium végezheti. A nitrit-ion nitrát-ionná oxidálását például a *Pseudomonas* baktérium végezheti. Tehát az ammónia nitrit-ionná, majd nitrát-ionná oxidálása két lépésben zajlik, különböző mikroorganizmusokkal, munkamegosztásban. A két lépés során energia szabadul fel.

A nitrátlégzés egy fakultatív légzési mód oxigénhiányos környezetben. Akkor kényszerülnek nitrátlégzésre a baktériumok (már amelyek képesek rá), amikor az oxigén oldott formában nincs jelen a vízben, viszont a nitrát-ionból fel lehet szabadítani. Ilyenkor a baktérium a nitrát oxigénjét oxigénforrásként, illetve a hidrogén-iont elektron-keptorként hasznosítja. A folyamat a nitrátból kiindulva, a nitriten át az ammónium-ionná redukálásig mehet.

A denitrifikáció során is a nitrát játssza a főszerepet. Viszont itt a redukció nem ammóniáig, hanem dinitrigén-oxidig ( $\text{N}_2\text{O}$ ) vagy nitrogén-gázig ( $\text{N}_2$ ) mehet. Anaerob környezetben ez a folyamat is hozzájárul a szerves anyaghoz kötött energia felhasználásához, miközben a keletkező, gáz halmazállapotú végtermékek elhagyják az ökoszisztémát. Tehát a nitrogén-körforgás számos lépése a tavak nitrogén-állományát is befolyásolja. Az 2. táblázat a tavak nitrogén mérlegét foglalja össze.

<b>Tavak nitrogén-mérlege</b>	
<b>BEJÖVŐ</b>	<b>KIMENŐ</b>
A befolyó vízzel érkező mennyiség	A kifolyó vízzel távozó mennyiség
Nitrogénkötéssel bekötődő mennyiség	Denitrifikációval távozó mennyiség
Élőlények által bevitt mennyiség	Vizet elhagyó vagy a vízből kivett élőlények testével távozó mennyiség
Nitrogéngáz bediffundálása a vízbe	Nitrogéngáz kidiffundálása a vízből

*2. táblázat A tavak nitrogén-mérlege*

### 2.1.2.2. Foszfor-körforgalom

A foszfor körforgalom a nitrogén körforgalomhoz képest sokkal egyszerűbb folyamatokat tartalmaz, viszont a vizek életében sokkal fontosabb jelentőséggel bír, hiszen a foszfor az ökoszisztémák életében limitáló, növekedéskorlátozó elemként fordul elő. A P a körforgalomba foszfátion ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) formájában kerül be. Az alapkőzet mállásakor felszabaduló és kimosódó, vagy bányaművelés során a felszínre kerülő foszfátok a növények számára felvehetőek. Számos foszfát nehezen oldható, üledéket képezve kerül ki a ciklusból. A foszfor számos ionnal alkot a természetben nagyon rosszul oldódó csapadékot. A nitrogén körforgalomhoz képest egyszerűbb anyagkörforgalom, hiszen a gázfázis hiányzik.

A foszfor a vízfolyásokba a talajrészecskék lemosódásával (eróziójával) kerül, majd a vízfolyásokból az állóvizekbe jut. Az állóvizekben a foszfort részben felveszik a vízinövények (főként a fitoplankton), részben pedig adszorpció és kémiai csapadékképződés révén a foszfor az üledékbe kerül. Az üledékben felhalmozódott foszfor egy része felkerülhet a nyíltvízbe, a vízinövények foszforforrásává válhat. A foszfor jelentős mennyiségben található az élőlényekben.

Az állóvizek leegyszerűsítve kétfázisú heterogén diszperz rendszereknek tekinthetők. A folyadékfázis a víz a benne levő oldott anyagokkal, a szilárd fázis az üledék és a lebegőanyag. A tavakban a víz-üledék határfelület viszonylag éles. Gyakorlati szempontból négy részfázist érdemes megkülönböztetni:

- tóvíz
- lebegőanyag
- üledék
- pórusvíz

Az üledékben és a tóvízben lényegében ugyanazok a folyamatok játszódnak le, csak a fő folyamatok iránya ellentétes.

A tóvízben az algák hasznosítják a legtöbb foszfort. Az algák testük felépítéséhez a vízből foszforforrásként elsősorban oldott reaktív foszfort hasznosítanak, bár a polifoszfátok és a szilárd foszforvegyületek egy része is biológiailag felvehetőnek számít számukra. Az algák testanyaga közvetlenül, vagy a zooplankton közvetítésével holt szervesanyaggá, detritusszá alakul. A holt szervesanyagot a baktériumok mineralizálják. A felszabaduló oldott reaktív

foszfor egy része kötődhet a lebegőanyag szervesetlen frakciójához, más része a felvétel révén újra bekerülhet a biológiai anyagforgalomba. A vízben lévő lebegőanyag ki tud ülepedni. A kiülepedő szervesanyag az üledékben baktériumok segítségével mineralizálódik. A szervesanyag foszfortartalma oldott reaktív foszforra (túlnyomórészt  $\text{PO}_4^{3-}$  ionná) alakul. A baktériumok élettevékenysége közben szén-dioxid keletkezik, a pH savas irányba tolódik el. A pH változása kedvez az üledék szervesetlen frakciója bizonyos mértékű oldódásának, ami a szervesetlen üledékfrakcióhoz kötött foszfor egy részének felszabadulását eredményezi. Az üledék pórusvize és a víz között foszfor gradiens alakul ki, és a koncentráció kiegyenlítés diffúzióval, vagy konvekcióval történik. A vízbe jutó oldott reaktív foszfor részben újra az élőlényekbe kerül, részben pedig szervesetlen formában kötődik a lebegőanyaghoz. Ez a minden állóvízre egyaránt jellemző foszfor forgalom sekély tavak esetében - mint a Velencei-tó - más folyamatokkal is kiegészül. Elsőként kell említeni a felkeveredést. Sekély tavakban a szél keltette vízmozgás a fenéig hatol, és már egyszer kiülepedett anyagot juttat a tóvízbe. Az üledék szervesetlen frakciója a tóvízhez képest nagyobb oldott reaktív foszfor koncentrációjú pórusvízzel tart egyensúlyt. Ennek következtében az üledékszemcsék felületi reaktív foszfor koncentrációja nagyobb, mint a lebegőanyagé. Ha ez a nagyobb felületi reaktív foszfor koncentrációjú üledék felkeveredik a tóvízbe, deszorpció következik be. Felkeveredés hatására a pórusvíz és a tóvíz közötti oldott reaktív foszfor gradiens megszűnése, vagyis a koncentráció kiegyenlítés meggyorsul. Felkeveredés során a tóvízbe jutott többlet foszfor egy részét felveszik az élőlények, más része a tóvízben lévő kis felületi oldott reaktív foszfor koncentrációjú lebegőanyaghoz kötődhet, vagy a fotoszintézis során keletkező biogén mészsel együtt kicsapódhat.

Az állóvizekbe kerülő foszfor nagyobb hányada az üledékbe jut, mint:

- detritusz foszfor (holt szervesanyag foszfor),
- nem akkumulált foszfor (szorbeált foszfor az üledékben),
- okkludált foszfor (ásványokba zárt foszfor),
- foszforásványok (pl. apatit, vivianit).

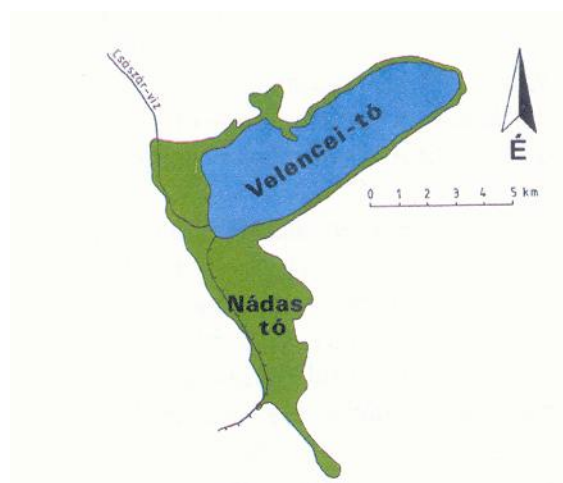
Az üledék bizonyos feltételek közt a foszfor tárolójaként viselkedik. Ha a feltételek megváltoznak, az üledékben kötött foszfor egy része felszabadulhat. A trofitás növekedése során például csökkenhet az évi raktározás és felszabadulás aránya, vagyis nőhet a belső terhelés. A külső foszfor terhelés növekedésének hatását az ökoszisztéma az üledék foszfor

megkötésével próbálja kompenzálni. A külső terhelés hirtelen csökkenésére az üledék foszforleadással válaszol, vagyis nő a belső foszforterhelés. Az üledék tehát pufferként viselkedik, a foszforterhelés növekedését és csökkenését tekintve. Ez a tulajdonsága az oka annak, hogy a külső terhelés csökkenése esetén bizonyos ideig (esetleg sok évig) nem tapasztalunk lényeges változást az algásodás mértékében, mert a belső terhelésből elegendő foszfor származik a fitoplankton számára. Az üledék biológiailag hozzáférhető foszfortartalmának csökkentésével, vagy az üledék spontán regenerálódásával az algásodás mértéke is csökkenni fog.

## 2.2. A Velencei-tó kialakulása, története

A Velencei-tóról szóló irodalmi áttekintésnek túlnyomó részét az ÖKOTECH 2005-ös monitoring jelentése és 2004. évi Velencei-tó-Vértess kiemelt üdülőkörzet környezetállapot felmérése és feladatterv a környezetállapot javítása című összefoglaló jelentés alapján végeztem.

A Velencei –tó hazánk második legnagyobb tava. A Velencei-hegység lábánál terül el. Keletkezése a pleisztocén kor vége-holocén elejére tehető, amikor a Velencei-középhegység legdélibb lépcsői süllyedni kezdtek (SZABÓ 1933, BENDEFY 1972, KARÁSZI 1984, SZABÓ 1997, CSERNY 2001). Ez alapján tulajdonképpen egy több mint 11700 éves tóról beszélünk. Nem meglepő, hogy a Velencei-tó ennyi sok év alatt számos változáson, átalakuláson ment keresztül. A pleisztocén korban a területen átvonuló vizek alakították



2. ábra Velencei-tó vízborítása

kiterjedését, amik a tó területén lévő néhány méter vastag pleisztocén réteget lemosták a tó területéről. Ebben az időben tehát a meteorológia viszonyok, a csapadékos jelleg szabta meg a tó vízzel borítottságát, vagy adott esetben szárazságát. Mivel ezek a változások sűrűn bekövetkeztek, így fiatal felhalmozódások nem keletkeztek. A tóállapot kialakulására az óholocén fenyőnyír korszakban került sor (JÁRAINÉ 1972). A régebbi iszaprétegek ebből az időszakból származnak. Ezekre a régi rétegekre egy viszonylag laza, új iszapréteg is rakódott, ami körülbelül 1-2 méter vastagságú. Ez a két, elkülönülő iszapréteg jelzi, hogy az óholocéntól a legújabb korig a tó időszakos képződményként létezett. Az állandó vízborítás emberi beavatkozás következménye. A 2. ábrán látható a tó jelenlegi vízborítása, összevetve a korábbi évekkal. Jól látszik, hogy a korábbi vízborítás sokkal kiterjedtebb volt, a Seregélyesig kiterjedő Nádas tavat is magába foglalta. A Nádas-tó megmaradt része Kelet-Sikota nádasmező és Dinnyési Fertő néven ismert. Tehát, a Velencei-tó korábbi állapotában mindig is szélsőséges kiterjedésű volt, hiszen az időjárás csapadékosága szabta meg a tó nagyságát.

A tó az óholocén korban érte el a legnagyobb kiterjedését, majd az újholocén korban a tó mérete lecsökkent, és többször ki is száradt. Felülete 3-61 km<sup>2</sup> között változott, vízmélysége pedig csapadékos időszakban elérhette a 4-5 m-t is. Átlagosan azonban jellemzően mintegy 1,5 m volt. Vízborítottságára a mozaikosság volt a jellemző. Eredeti, természetes állapotára is a nádasos, fertő jelleg volt a jellemző, vagyis alapvetően nem emberi behatásra változott a tó nádasos jellege, hanem ez a sekély sztyepptavak egyik jellegzetessége. A tó természetes eutrofizálódási folyamaton ment keresztül, ami az 1950-es évektől felgyorsult a rekreációs célú használat növekedésével. Ezt a folyamatot kezdték el lelassítani a velence-tavi intézkedési programokkal, hogy az idegenforgalom igényeit továbbra is kielégítse a tó.

Az 1950-es évek elején rájöttek, hogy a Velencei-tó jelentős idegenforgalmi adottságokkal rendelkezik, hiszen földrajzi fekvéséből következően hamar meg lehet közelíteni a fővárosból, illetve Székesfehérvár megyei jogú városból is. A tó és környezetének természeti értékei jelentősek, így nem csoda, hogy az 1930-as évektől megnőtt az igény a látogathatóságára. Ebben az időszakban hazánk másik tava, a Balaton mellett igény mutatkozott egy másik, az állóvizek kedvező tulajdonságaival bíró vízterület fejlesztésére. Az igények teljesítésére a tó még nem állt készen, hiszen a természetes előregedési és eutrofizációs folyamatok következtében feliszaposodott, mocsaras jellegűt mutatott. Területének csaknem 60%-át nádas borította, vízjárása meglehetősen szélsőséges jellegűt mutatott: a tavaszi nagyvizeket és kiöntéseket, nyári alacsony vízállások követték. Ez a jelleg



az idegenforgalom főleg nyári elvárásainak nem tudott megfelelni. A tóra természetes jellegéből adódóan jellemző volt a „mozaikosság”, amely nádasokkal és úszólápokkal elválasztott különböző vízminőségi tájakat jelentett. A vízpart sem a fürdőzés lehetőségeit támogatta, hiszen a partvonalat nádasok szegélyezték, melyek megakadályozták a nyílt víz megközelítését.

Az 1960-as évek végén kezdődött meg a tó és környezetének átfogó, szervezett rendezését, fejlesztését célzó munka, továbbá a kivitelezési programok módosítása. A tevékenység első lépéseként az 1009/1969. (III.28.) számú Kormányhatározat keretében jóváhagyásra került a Velencei-tó és környéke üdülőfejlesztési, regionális rendezési terv. Ebben olyan általános feladatokat fogalmaztak meg, mint az üdülőkörzet településeinek meghatározása. Számos fejlesztési feladatról rendelkeztek, mint a vízszinttartás, a vízpótló tározók (zámolyi és pátkai) építése, a part-és mederszabályozás feladatai, a regionális ivóvíz- és csatornahálózat építési üteme, kutatási irányelvek. A Velencei-tavi Fejlesztési Program 1971-ben került elfogadásra. Legfontosabb céljai között a tó rehabilitációja, a víz minőségének és a vízi környezetnek javítása, a tó üdülési célokra való alkalmassá tétele szerepelt. A program hosszú távú célként fogalmazta meg a tóba történő szennyvízbevezetések megszüntetését. A fejlesztési program 1971-1990 közötti időszakra egy négy ütemből álló programot határozott meg.

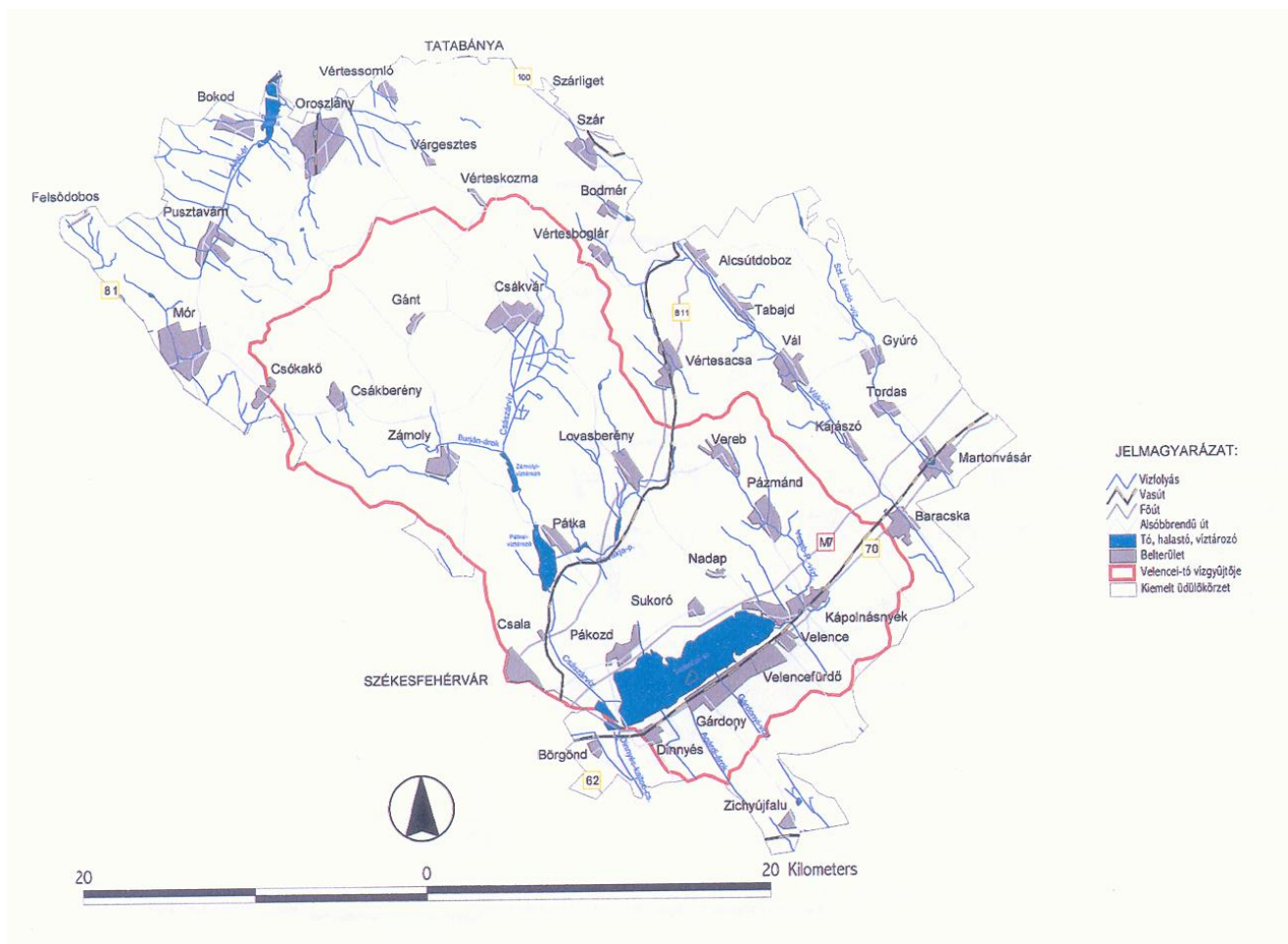
Elsőnek a Zámolyi-tározót építették meg. Ez a munka 1967-ben kezdődött és 1970 szeptemberében fejeződött be. A Pátkai-tározót 1974-re fejezték be. A Zámolyi- és a Pátkai-tározók üzemeltetésével elérhető, hogy fürdési idényben a minimális vízszint 90%-os valószínűséggel a 120 cm-es agárdi vízállás felett maradjon. Másodlagosan, az elsődleges célnak teljesen alárendelten a tározót horgász-, illetve üdülőtóként hasznosítják. (VKKI-KÖVIZIG 2010). A tó partvonalán nádas kotrást végeztek, illetve a partvonalat kibetonozták, így mesterséges arculatot kölcsönöztek a tó peremének. Strandokat építettek ki, illetve sportolási lehetőségeket biztosítottak (hajókikötők, kajakpálya). A fejlesztési terv sikerességét jól mutatja, hogy míg 1971-ben az egyidejű népesség (lakó, üdülő, kiránduló) 55.000 fő/nap volt, addig az 1980-as évek végére ez a szám meghaladta a 100.000 fő/napot. 1988-ban értékelték az elmúlt 2 évtizedet, és megállapították, hogy a tervek megvalósítása sikeres volt. Megszűnt a vízszintingadozás, a part- és mederszabályozás végrehajtásával megteremtődtek a megfelelő strandolási lehetőségek. A vízminőség és a vízi környezet javítását a szerves anyagban gazdag iszap kotrásával, a nádasok szabályozásával és az egybefüggő, jelentősen szabad víztükör kialakításával sikerült megvalósítani (SZILÁGYI et al. 1989).

A tavon belül többször iszapkotorásokat is végeztek, ami a tápanyag-eltávolításban, főleg a foszfor-eltávolításban is szerepet vállalt. Az iszapkotrásokkal párhuzamosan nádeltávolítás is történt, ami megint a tó tápanyagainak módosításában vállalt szerepet. A nádasok irtásával, iszapkotrással a tó tápanyagháztartását kedvező irányba terelték, a partvédmű építésével a partvonalat stabilizálták (erózió megszüntetése), valamint 1972-ben elkészült zámolyi és pátkai víztározó megépítésével javították a tó vízháztartását. A part menti területekről az iszapot a partra rendezték, illetve a tó középső részén lévő iszaptól 2 szigetet (Cserepes- és Úttörő-sziget) alakítottak ki a 60-70-es években. Így meghagyták a nádasos képet, de a nádasok arányának csökkentésével biztosították a víz szél által történő átlegegőztetését. Amurt is telepítettek a tóba, hogy pusztítsa a hínárt.

### **2.3. A Velencei-tó vízrajza és vízminősége**

A Velencei-tó vízrajzát és vízminőségét a Víz Keretirányelv hazai megvalósítása, Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 1-14.: Velencei-tó vízgyűjtő, alapján ismertetem.

A Velencei-tó két nagyobb befolyóval rendelkezik. A legnagyobb befolyója a Császár-víz, ami a tó vizének 67%-át szállítja. Kisebbik befolyója a Vereb-Pázmándi vízfolyás. A tóból a fölös vizeket a Dinnyés-Kajtori-csatorna vezeti le. A tó területe 24,2 km<sup>2</sup>. A vízgyűjtő terület ÉNY-i részén a fő vízadó terület a Vértes-hegység fő tömegét alkotó felső triász korú földolomit, amely igen nagy vízadó képességű. A hegység peremi részén a karsztvíz nem rendelkező kellő védelemmel, így előfordulhat, hogy elszennyeződik. A vízgyűjtő jelentősebb vízfolyásai a Császár-víz, Rovákja-patak, Burján-árok, a Vereb-Pázmándi-vízfolyás a Cibulka-patakkal. A Zámolyi-tározó és a Pátkai-tározó a Császár-vízen épült a tószabályozás végett. A Velencei-tó és vízgyűjtője a 3. ábrán látható.



3. ábra Velencei-tó és vízgyűjtője

A Velencei-tó vízgyűjtőjén 2002. évben végzett vízgazdálkodási, környezetvédelmi tevékenységről szóló jelentés alapján a Velencei-tó tápanyagforgalmáról azt mondhatjuk, hogy főként a mezőgazdasági területről a csapadékkal bemosódó növényi tápanyagok határozzák meg. A tápanyagforgalmat leginkább a trofitás főbb jellemzői határozzák meg, mint a nitrogén- és foszforháztartás elemei, illetve az a-klorofill. A tó közvetlen vízgyűjtője elég szennyezett. Északi részén aktív mezőgazdaság, állattartás figyelhető meg. Így nem csoda, hogy a tápanyagháztartás jellemzői alapján a vízgyűjtő szennyezett értékeket mutat. A tározók vízminősége fokozatosan romlik. A Zámolyi tározóban a növényi tápanyagként ismert jellemzők intenzív bakteriális tevékenységre is utaltak. Gyakori az algásodás jelensége, hiszen a két tározó az év nagyobb részében le van zárva, így nem megy rajta „keresztül” vízfrissítés. A Velencei-tó a vízgyűjtőjén található víztestekhez képest jobb állapotban van (VKKI-KÖVIZIG 2010).

A Velencei-tó két külön víztestre tagolódik: a nyílt vizes területre és a nádas-lápi területre. A természetes vizekhez sorolt nádas-lápi terület fitoplankton minősítés alapján jó, fitobenton

alapján mérsékelt állapotban van. Összesített biológiai osztálya mérsékelt. Viszont ez a terület nem fürdőhelynek kijelölt terület, hanem természetvédelmi szempontból védettséget élvez. A Velencei-tó nyílt vizes területének állapota mind fitobenton, mind fitoplankton tekintetében jó. A betorkolló vízfolyással (Császár-víz alsó) viszont nő a terület szerves- és tápanyagtartalma. Ez a vízminőség-romlás időszakosan figyelhető meg, hiszen a befolyó vizét általában nem engedik a tóba, csak a tározónyitások alkalmával. A Pátkai- és a Zámolyi-tározóról levezetett víz hatással van a Velencei-tó természetvédelmi területén lévő, nádas-lápi terület vízminőségére. A magas tápanyagtartalom a foszforkoncentrációt megnöveli, melynek hatására az algákat jellemző a-klorofill érték fog növekedni. A Vereb-Pázmándi víz a kora tavaszi és nyári időszakban a nyílt vizes terület szerves- és tápanyagterhelését változtatja. Ezen a befolyón érkező termásvíz-bevezetés, a horgászati és üdülési tevékenység is befolyással van a tó vízminőségére.

A Velencei-tó Európa legnyugatibb, egyedi vízminőséggel jellemezhető sztyepptava. Sok természetes eredetű oldott só és szerves anyagot (huminanyagok) tartalmaz. Ezért a kémiai oxigénfogyasztás körébe tartozó és az összes szerves szén mérő (KOI, TOC) komponensek értékei mindig magasak (KDT-VIZIG-KÖFE 2003). A legnagyobb a-klorofill értékek a Fürdető és a Német-tisztás területén tapasztalhatók. A a-klorofill mellett a Velencei-tóra jellemző az időszakos cianobaktérium (kékalga) dominancia is. A Velencei-tóra jellemző képviselőjük a *Microcystis aeruginosa*. Először 1990-es évek elején okozott problémát ennek a fajnak a megjelenése. A *Microcystis aeruginosa* 3-7 µm átmérőjű, gázüreges, sűrűn álló, gömbölyű sejtjeiket vastag kocsonyaburok tartja össze. Telepeinek alakja változó, az összetapadt kolóniák szabad szemmel is jól látható méretűek (FELFÖLDY 1972, KOMÁREK 1991). Az irodalmi adatok szerint a *Microcystis aeruginosa* pH és vízhőmérséklet optimuma magas, a N-formák közül az ammónia a legkedvezőbb számára (ZENDER és GORHAM 1960, AHLGREN 1985, KAPPERS 1985).

A *Microcystis*, mint már említettem összetapadt telepekben található. Leginkább a víz felszínét kedveli, ahol szabad szemmel is jól láthatók a fehér, összetapadt telepek, melyek a fürdőzőkre és vízi állatokra is rátapadhatnak. Mintavételek alkalmával figyelni kell az ilyen területeket, hiszen a víz felszínéről vett minta mind a nitrogénformák mérését, mind az algaformák mérését meghamisíthatja, hiszen torzított képet kaphatunk a N-kedvelő, felszín közeli *Microcystis* jelenléte miatt. Ha nem is látjuk a kiterjedt telepeket, akkor is érdemes hosszanti mintát venni, hiszen a víz felkeveredésével eltűnhetnek, szétszakadhatnak az addig

összenőtt telepek, de jelenlétük ilyenkor is elképzelhető. Tehát a Velencei-tavon ez az alga a legnagyobb biológiai veszélyforrás, újabb, kiterjedt elszaporodása a tó élővilágára, idegenforgalmára igen jelentős hatással lehet. Tömeges jelensége a különböző élőlények pusztulását okozhatja, mert toxint termelhet. Károsíthatja a magasabbrendű (pl. nád) növényzetet is. A tömegprodukciók megisméltődésének reális veszélye a későbbi évekre is fennáll (KDT-VIZIG 1997).

### 3. Anyag és módszer

#### 3.1. A mintavételi hely és a mintavétel ismertetése

Méréseimet 2012. július hónapban végeztem, egy négy hetes időszakban. Minden nap, este hét órakor az Agárdi Tófelügyelőség területén lévő, vízbe hosszan benyúló stég végéről vettem mintát. A mintavételi helyet gépkocsival vagy biciklivel közelítettem meg. A mintavételhez egy két méter hosszú PVC csövet használtam, amivel hosszanti mintát tudtam venni. Erre azért volt szükség, mert a Velencei-tavon gyakori a *Microcystis* jelenléte, ami a tó felszínén fordul elő, és felszín közeli mintavétel esetén meghamisíthatja a mintavételeink reprezentativitását. Mintáimat egy másfél literes PET palackba töltöttem, és a laborba érkezésig hideg helyen tároltam, hogy megakadályozzam a mintában lezajló lebontási folyamatokat és a minta romlását. A mintavétel során fontos volt az időpont óra szerinti egyezése, hiszen azonos időben a jelenlévő algák változását szerettem volna vizsgálni.

A mérési helyszín a Velencei-tó Hosszútisztás nevezetű részén helyezkedik el, ahonnan évtizedek óta történik mintavétel, így méréseimet a már meglévő hosszú idősorba is be tudtam illeszteni. A mérési helyszínt térképen is ábrázoltam (5. ábra).



4. ábra Mintavétel

A mérési hely koordinátái: É 47°11'50,76" , K 18°40'42,67".



5. ábra A mérési helyszín, Agárdi Tófelügyelőség

### 3.2. Mérési módszerek ismertetése

Vizsgált mérési jellemzők az MSZ 12749 szabvány szint csoportba bontva	Mérés módszer	Szabvány
<b>Laboratóriumi mérések</b>		
<i>pH</i>	Üvegelektrodás pH mérő készülékkel	MSZ 448-22:1985
<i>Fajlagos vezetőképesség (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</i>	Konduktométerrel	MSZ EN 27888:1998
<i>Zavarosság (FNU/NTU)</i>	Turbidimetriás műszerrel	MSZ EN ISO 7027:2000
<i>Ammónium-ion (<math>\text{NH}_4\text{-N}</math>) (mg/l)</i>	Eredeti mintából, szalicilát és oxidálószer felhasználásával, abszorbanciaméréssel	MSZ EN ISO 11732:1999
<i>Nitrit (<math>\text{NO}_2\text{-N}</math>) (mg/l)</i>	Áramló oldatos injektálós elemzés (FIA)	MSZ-EN ISO 13395:1999
<i>Nitrát (<math>\text{NO}_3\text{-N}</math>) (mg/l)</i>	Áramló oldatos injektálós elemzés (FIA)	MSZ-EN ISO 13395:1999
<i>Összes nitrogén (mg/l)</i>	roncsolás + FIA	MSZ-EN ISO 13395:1999
<i>Orto-foszfát (<math>\mu\text{g}/\text{l}</math>)</i>	Szűrt vízminta színreakciója molibdát-kénsavval aszorbinsav oxidálószer jelenlétében, abszorbancia-mérés	MSZ 12750-17:1974
<i>Összes foszfát (<math>\mu\text{g}/\text{l}</math>)</i>	Roncsolás kénsavas közegben, kálium-peroxi-diszulfát jelenlétében; pH beállítása után foszfátkoncentráció mérése	MSZ 260-20:1980
<i>Lebegőanyag (mg/l)</i>	Szűrés és szárítás	MSZ 12750-17:1974
<i><math>\text{KOl}_d</math> (mg/l)</i>	Küvetteszt	ISO 15705:2002
<i><math>\alpha</math>-klorofill (<math>\mu\text{g}/\text{l}</math>)</i>	Spektrofotometriás meghatározás	MSZ ISO 13395:1999

3. táblázat Mérési módszerek felsorolása

## 4. Eredmények és értékelés

Először eredményeim egymáshoz való viszonyát és az egy hónapi változásokat vizsgáltam, majd eredményeimet beillesztettem egy tíz éves adatsorba, és néztem a változásokat.

### 4.1. Eredményeim statisztikai jellemzői és a hivatalos mérésekhez való viszonyuk

Havi eredményeim napi eltéréseinek értékelésére meghatároztam az egyes komponensek átlagát, szórását, relatív szórását, medián értékét, minimumát és maximumát (4. táblázat). Megjegyzendő, hogy a kapott napi változások a mérési és mintavételi hiba összegét mutatják.

A mérési hiba a kémiai komponensekre jellemzően 3-5 % alatti abban az esetben, ha a kimutatási határ felett mérünk. A kimutatási határ környékén amérés hibája sokkal nagyobb is lehet.

Komponens	Átlag	Szórás	Relatív szórás	Medián	Minimum	Maximum
pH	8,80	0,15	1,7%	8,84	8,17	8,92
Vezetőképesség ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2858	90	3,1%	2845	2745	3020
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l)	0,006	0,003	50%	0,005	0,002	0,010
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	0,050	0,028	56%	0,045	0,025	0,140
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	0,150	0,071	47,3%	0,134	0,055	0,336
Ásványi-N (mg/l)	0,206	0,085	41,3%	0,191	0,082	0,486
$\text{ÖN}$ (mg/l)	1,65	0,077	4,7%	1,66	1,44	1,75
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l)	0,007	0,003	42,8%	0,0075	0,001	0,012
$\text{ÖP}$ (mg/l)	0,061	0,028	46%	0,058	0,023	0,142
a-klorofill (mg/l)	0,016	0,004	25%	0,015	0,010	0,027
Lebegőanyag (mg/l)	24,73	9,54	38,6%	23	6	55
$\text{KOI}_d$ (mg/l)	63,5	3,10	4,9%	63	59	69

#### 4. táblázat Komponensek statisztikai adatai

A táblázat alapján több következtetést is levonhatunk. A pH érték relatív szórása a legkisebb, 1,7%-os (megjegyzendő, hogy a pH skála logaritmikus), ami azt jelenti, hogy a Velencei-tó pH értéke nem csak az enyhén lúgos tartományt tartja jól, hanem 8,8 körüli pH körül ingadozik. Ez azért van így, mert a nagy szervesanyagkoncentráció miatt nagy a víz pufferkapacitása. Tehát a pH mérése bármikor egy elég pontos képet adhat a tó enyhén lúgos állapotáról. Tehát a Velencei-tó pH értéke összhangban van a tó szikes jellegével is. A másik két jellemző, amely kis szórás értékkel rendelkezik, az a fajlagos vezetőképesség és a kémiai oxigén-igény ( $\text{KOI}_d$ ). Mindkét jellemző relatív szórása 5% alatti, ami egy elfogadható érték. Igaz a vezetőképesség elég tág skálán mozgott az egy hónap során, de a fajlagos vezetőképesség mérésénél ez nem számít „nagy” lépéseknek. A vezetőképesség változása a vízszint csökkenésével hozható összhangba. Az időjárás túlnyomóan napos jellege miatt a tó vízszintje csökkent, a tó betöményezett, így a vezetőképesség csökkent.

A  $\text{KOI}_d$  értékei is egy nagyságrendben ingadoztak, ami jól jellemezheti a vizet. A  $\text{KOI}_d$  értéke a tóban lévő szerves anyagok bonthatóságával van kapcsolatban. Mint az irodalmi



bevezetőben említettem, a Velencei-tó gazdag huminanyagokban. A huminanyagok a növények rothadásánál képződő szerves anyagok, amik nehezen bonthatóak. A nehezen bontható jellegük miatt a  $KOI_d$  jelentősen nem változik. Egy hónap alatt 59-69 mg/l között volt a kémiai oxigén igény, ami azt jelenti, hogy 65 mg/l körüli értékek várhatók a  $KOI$  értékekre, ami egy elég jó közelítés.

A nitrogénformáknál már kevésbé elfogadható a kép. Igaz az összes nitrogén mennyiségének fajlagos szórása nem éri el az 5%-ot, de a különböző nitrogénformák adatainak átlagai egyenként elég nagy szórás értékkel rendelkeznek. Tehát, ha árnyaltabb képet akarunk kapni a nitrogénformák eloszlásáról, akkor nem elegendők a havi mérések, hiszen e komponensek relatív szórása miatt előfordulhat, hogy pont egy szélsőséges értéket fogunk mérni, ami a hónapot jellemző átlagos értéktől túlságosan különbözik. Ha az ásványi nitrogénformák mennyiségi összegének szórását tekintjük, akkor a három nitrogénforma külön-külön vett értékeinek relatív szórásaitól kisebb értéket kapunk. Ez az érték se alacsony, hiszen 41,6% relatív szórásról van szó, de a nitrát-N 56%-os relatív szórásánál kisebb érték. Egyszóval, ha megelégszünk azzal, hogy a szerves nitrogénformák együttes mennyisége kisebb relatív szórással rendelkezik, és az egyedi mennyiségek értékeit nagyobb kétkedéssel fogadjuk csak el, akkor a szerves nitrogénformák havi mérései elegendők lehetnek. A havi mérések helyett a kétheti mérésével viszont kisebb, valószínűleg fele akkora szórás értékeket tudnánk elérni. A havi két mérés átlaga jobban megközelítené a havi átlagot. A leginkább elfogadható szórási szint a 10% vagy annál is kevesebb lehetne. Ezt az értéket biztosan csak megfelelően választott nappal rendelkező heti mérésekkel tudnánk elérni (ez a nap viszont előre nem tudható). Ez a mérési gyakoriság növelés viszont csak akkor szükséges, ha az összes nitrogén összetételére pontosabban is kíváncsiak vagyunk. Ha megelégszünk az összes nitrogén elfogadhatóan biztos, 5% alatti relatív szórással kapott mennyiségével, akkor a havi mérések is elegendőnek mutatkoznak.

A foszforformák tekintetében már nem ennyire elfogadható a kép. Mind az orto-foszfát ( $PO_4$ -P), mind az összes foszfor magas relatív szórással rendelkezik. Az orto-foszfát ( $PO_4$ -P) relatív szórása kisebb, mint az összes foszforé. Mint a 2.1.2.2. fejezetben említettem, a vízben lévő, foszfor-tartalmú szerves anyagok foszfortartalma oldott reaktív foszforra alakul. Így tehát a vízben lévő szerves anyagok is alakítják az orto-foszfát tartalmát, melynek kisebb szórása azt mutatja, hogy kevesebb foszfor tartalmú szerves anyag található a vizekben. A magasabb szórások miatt viszont, a foszforformák esetén nem elégedhetünk meg olyan megoldásokkal,

mint a nitrogénformák esetén, hiszen az összes foszfor szórása majdnem 50%-os. Ahhoz, hogy pontosabb képet kapjunk, a foszfor mennyiségéről sűrűbb mintavételekre lenne szükség. A foszforral összefüggő a-klorofill és a lebegőanyag szórása is magas. Az a-klorofill relatív szórása 25%, míg a lebegőanyag relatív szórása 38,6%. Ezek a jellemzők a víz felkeveredésétől is függenek, így mennyiségük kis időn belül is változhat. A szelesebb időjárás azt eredményezi, hogy a sekély tó más részeiről származó vízzel keveredik a mintavétel helyén található víztömeg, és így a különböző eredmények szórását a máshonnan odakeveredett vizek is befolyásolják (2.1.2.2.).

A napi méréseim alapján meghatároztam, hogy a havi átlagtól milyen mértékű hibával térhetnek el a napi mérések adatai. 95%-os konfidencia szint mellett megállapítottam a standard hiba határt. A standard hiba =  $k \cdot \text{szórás} / \sqrt{n}$ , ahol  $k$  a konfidencia-intervallumot jellemző szám,  $n$  a mintavételek száma.

<b>Komponens</b>	<b>Átlag</b>	<b>Szórás</b>	<b>Standard hibahatár 95%-os konfidencia szint esetén (k=1,96)</b>	<b>Konfidencia-intervallum alsó határa</b>	<b>Konfidencia-intervallum felső határa</b>
<i>pH</i>	8,80	0,15	8,8±0,057	8,7	8,9
<i>Vezetőképesség (μS/cm)</i>	2858	90	2858±34,6	2823	2893
<i>NO<sub>2</sub>-N (mg/l)</i>	0,006	0,003	0,006±1,15*10 <sup>-3</sup>	0,005	0,007
<i>NO<sub>3</sub>-N (mg/l)</i>	0,050	0,028	0,050±0,011	0,039	0,061
<i>NH<sub>4</sub>-N (mg/l)</i>	0,150	0,071	0,150±0,027	0,123	0,177
<i>Ásványi-N (mg/l)</i>	0,206	0,085	0,206±0,033	0,173	0,239
<i>ÖN (mg/l)</i>	1,65	0,077	1,65±0,029	1,62	1,68
<i>PO<sub>4</sub>-P (mg/l)</i>	0,007	0,003	0,007±1,15*10 <sup>-3</sup>	0,006	0,008
<i>ÖP (mg/l)</i>	0,061	0,028	0,061±0,011	0,05	0,07
<i>a-klorofill (mg/l)</i>	0,016	0,004	0,016±1,53*10 <sup>-3</sup>	0,014	0,018
<i>Lebegőanyag (mg/l)</i>	24,73	9,54	24,73±3,67	21,06	28,4
<i>KOI<sub>d</sub> (mg/l)</i>	63,5	3,10	63,5±1,19	62,81	64,69

#### 5. táblázat Standard hibahatár

Ez alapján a táblázat alapján azt mondhatjuk, hogy egyes komponenseknél, például a fajlagos vezetőképességnél egészen széles a hibahatár, míg a NO<sub>2</sub>-N, az PO<sub>4</sub>-P, 1 századnyi eltérést „enged”. A pH, az összes foszfor 95%-os konfidencia-intervalluma 0,1 eltérést enged az átlagtól. Ezek a kis hibahatárok és a minimum és a maximumértékek szélsőségei azt mutatják,

hogy több mérésünk is a hibahatáron kívülre eshet, így kevés olyan nap van, amiről bizonyosan állíthatjuk, hogy a hibahatáron belül állapítja meg a hónapra jellemző átlagot egyes komponensek esetén.

Komponens	Átlag	Minimum	Maximum	2012.július 10. saját	2012. július 10. KDT- KTVF
<i>pH</i>	8,80	8,17	8,92	<b>8,88</b>	<b>8,88</b>
<i>Vezetőképesség (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</i>	2858	2745	3020	2810	<b>2890</b>
<i>NO<sub>2</sub>-N (mg/l)</i>	0,006	0,002	0,010	0,008	0,008
<i>NO<sub>3</sub>-N (mg/l)</i>	0,050	0,025	0,140	0,14	0,11
<i>NH<sub>4</sub>-N (mg/l)</i>	0,150	0,055	0,336	0,21	0,23
<i>Ásványi-N (mg/l)</i>	0,206	0,082	0,486	0,358	0,348
<i>ÖN (mg/l)</i>	1,65	1,44	1,75	1,72	1,7
<i>PO<sub>4</sub>-P (mg/l)</i>	0,007	0,001	0,012	0,009	0,016
<i>ÖP (mg/l)</i>	0,061	0,023	0,142	0,043	0,076
<i>a-klorofill (mg/l)</i>	0,016	0,010	0,027	<b>0,016</b>	0,021
<i>Lebegőanyag (mg/l)</i>	24,73	6	55	<b>22</b>	-
<i>KOI<sub>d</sub> (mg/l)</i>	63,5	59	69	67	61

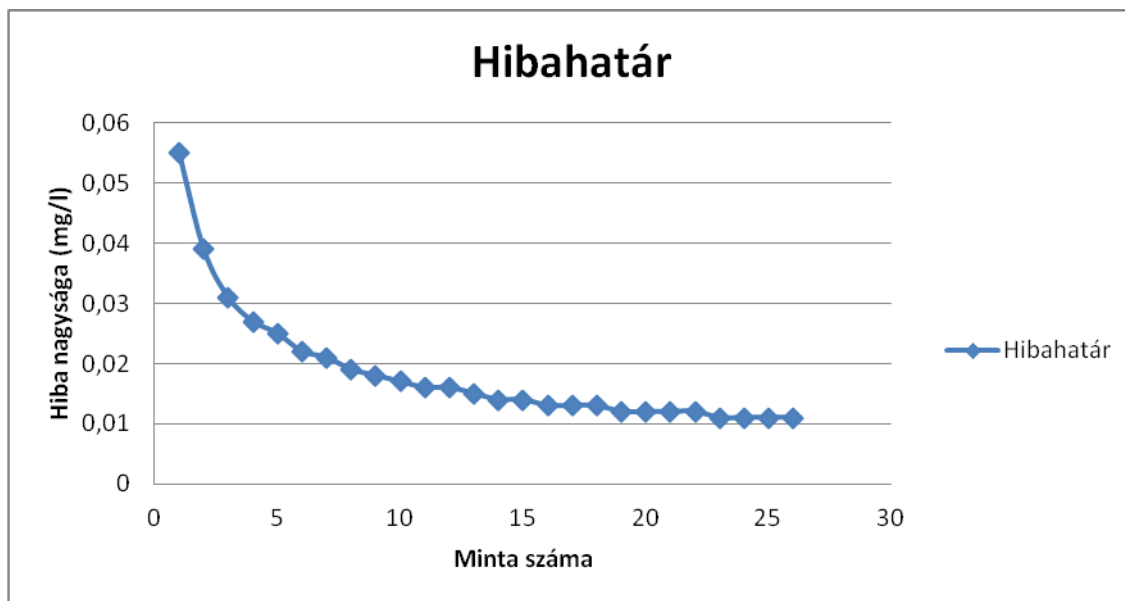
6. táblázat A saját és a KDT-KTVF által vizsgált minta összehasonlítása

A 6. táblázatban a saját, illetve a KDT-KTVF minták különbözőségét és hasonlóságát vetem össze. Saját mintáimat 2012. július 10-én 19:00-kor vettem, míg a KDT-KTVF a mintavételt 10:00-kor végezte. Mindkét minta a Hosszú-tisztáshoz tartozik. Saját mintám a Hosszú-tisztás, Agárdi Tófelügyelőségénél lévő részéről, míg a másik minta az Agárdi Mólóról származik. A két hely között nincs számottevő különbség.

Jól látszik, hogy az előbbieken vizsgált adatok követik az elvárásokat. Az általam vett minta pH értéke (8,88) századra kerekítve megegyezik a Felügyelőség által vett minta értékével. A KOI<sub>d</sub> érték mindkét esetben az 59-69 mg/l-es tartományban található. A vezetőképesség száz-as nagyságrendben jól mutatja a vezetőképesség értéket, 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ -nek vehető. A nitrogénformák egyezőség tekintetében összhangban vannak. A NO<sub>2</sub>-N ezredre kerekítve megegyezik a két esetben. A NO<sub>3</sub>-N és az NH<sub>4</sub>-N tizedre pontosan megegyeznek. Az összes nitrogén mindkét mintában 1,7 mg/l-nek vehető. A havi átlagot az összes nitrogén visszaadja

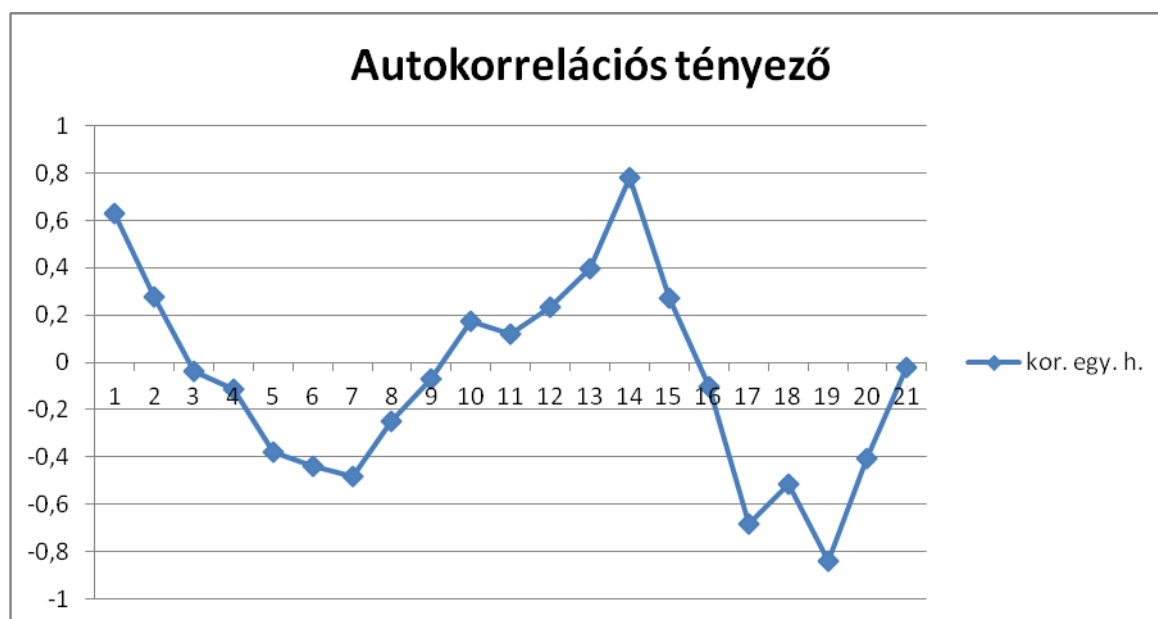
tizedes pontossággal. Azt mondhatjuk, hogy fél nappal később vett minták estén a nitrogénformák koncentrációja egészen hasonló. Az összes nitrogén követi az elvárásokat: egy napon belül se igazán változik, és értéke az átlagot is jól tükrözi. A foszforformák tekintetében már nem ilyen jó az egyezés. Az orto-foszfát és az összes foszfor is különböző mindkét alkalommal. Az orto-foszfát esetében századra kerekítve a két érték között 0,01 a különbség, ami viszonylag jónak mondható. Az összes foszfor mennyiségét tekintve viszont kétszeres különbségről beszélhetünk. A foszforformák átlagos értékei közül az orto-foszfát századosra kerekített értékét adják vissza a mintavételek, az összes foszfor átlagos értékétől mindkét mintavétel esetén jóval különbözőbb értéket mértünk. Az átlagos a-klorofill értéke a saját mintám eredményével egyezik meg, ami viszont torzított kép, hiszen az este 7 órás adatokat átlagoltam. A lebegőanyagot nem tudjuk összehasonlítani, mert a Felügyelőségtől erre a komponensre nincsenek adatok. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a napon belüli két mintavétel eredményei között nincs lényeges különbség. Ha az előző táblázat alapján vizsgáljuk az adatainkat, akkor meghatározhatjuk, hogy a mérési eredmények közül melyek azok, amik a 95%-os konfidencia-szint mellett jól mutatják az átlagot a hibahatáron belül. A 6. táblázatban félkövér számmal jelöltem azokat az adatokat, amelyek a konfidencia-intervallumon belül helyezkednek el. A pH adatok egyértelműen az intervallumon belül találhatóak. A lebegőanyagot csak én mértem, és a lebegőanyag mennyisége benne van az intervallumban. A fajlagos vezetőképességnél a Felügyelőség adata, míg az a-klorofillnál a saját mintám adata van benne a konfidencia-intervallumban. A legtöbb adat tehát az intervallumon kívül esik.

A komponens-kör vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az összes foszfor eredményeit elég nagy szórással kapjuk meg, így a mért adatok kevésbé reprezentálják a havi átlagot. Az összes foszfor esetén a fajlagos szórás 46%-os és 95%-os konfidencia-intervallum mellett 1 század eltérést engedélyez a hibahatár. A következő diagramon azt vizsgáltam, hogy az átlaghoz képest, 95%-os konfidencia-intervallum esetén mekkorák a hibaintervallumok egy hónapban vett különböző mennyiségű minták esetén. A szórást a 26 tagú mintaelemek alapján használtam. 5 századnál nagyobb a hibahatár, ha havonta vesszük a mintát, ha naponta, akkor 1 százados pontossággal kapjuk meg az eredményt. A hibahatár tehát a mintavételek gyakoriságával csökken. A hibahatár a hónapos mintákhoz képest akár felére is csökkenthető a kétheti minták esetén.



6. ábra Hibahatár nagysága

Természetesen a minta gyakoriságnál nem elhanyagolható tényező az sem, hogy egyes komponenseken belül a mért adatok összefügghetnek. Ennek az összefüggésnek jó jellemzője az autokorrelációs tényező, ami egy időszornak a korábbi és későbbi értékei közötti kapcsolat mértékét fejezi ki. A következő diagramon 1, 2, 3... stb. lépéses korrelációs vizsgálatokat ábrázoltam. Az x-tengelyen a lépések nagyságát ábrázoltam, az y-tengelyen az autokorrelációs tényezőt.



7. ábra Autokorrelációs függvény

Az összes foszfor autokorrelációs függvénye egy tipikus cosinusos, periodikus függvényre hasonlít. Nem teljesen zajmentesek a görbék. A 0 értékeket a 3, 9, 16 és a 21-es eltolás esetén veszi fel a görbe, azaz, ekkora távolságra lévő értékek függenek a legkevésbé egymástól. Azaz, ha a hónapon belül elsejéhez képest 3, 9, 16, 21 napra lévő napokon vizsgálnánk az összes foszfor koncentrációját, akkor kapnánk a legjobban független méréseket. Tehát július 4., 10., 17. és 22. lennének az ideálisan független mintavételi napok. A Felügyelőség éppen 10-én vett mintát, ami ebbe az elképzelésbe bele is illik. Egy mintavétel esetén a hibahatár viszont elég nagy: 0,055 mg/l. Ha mind a négy alkalommal vennék mintát, akkor ez a hibahatár a felére csökkenne 0,027 mg/l lenne. Ha a kétheti mintavételnél maradunk, azaz 2 minta/hónap, akkor a hibahatár nem csökkenne jelentősen: 0,039 mg/l értéket mutatna.

A természetes vizekben a foszfor mennyisége általában a limitáló érték. A nitrogén és foszfor ideális súlyaránya 7:1-hez. Ez az érték eltolódhat. A 7. táblázatban a nitrogén és a foszforformák arányát néztem meg az átlagos összes nitrogén és az átlagos összes foszfor alapján, illetve az átlagos ásványi-N és az orto-foszfát alapján.

Átlagos ÖN (mg/l)	Átlagos ÖP (mg/l)	N:P arány
1,65	0,061	27
Ásványi-N (mg/l)	PO <sub>4</sub> -P(mg/l)	
0,206	0,007	29

7. táblázat Nitrogén és foszfor aránya a Velencei-tóban

A 7. táblázat alapján látszik, hogy a nitrogén:foszfor arány a nitrogén arányába tolódott el. A 7:1 értékhez képest 27:1-hez, illetve 29:1-hez értéket kaptunk, vagyis összes nitrogén és ásványi nitrogén esetében is felesleg mutatkozik. Az összes nitrogén és foszfor nagy része valószínűleg nem hozzáférhető, különben a kékalgá dominancia nem lenne jellemző. Ennek több oka is lehet. Egyik ok a Velencei-tóban található *Microcystis* nitrogénkötő tulajdonságából fakad. Ez a mikroorganizmus nem jellemző olyan vízre, amelyben 7:1-nél (vagy 10:1 felett) nagyobb a nitrogén:foszfor arány. Az, hogy a tóban mégis jellemző faj, feltehető oka a a víz nagy szervesanyag tartalma (pl. lápi vizekben is gyakori ez a faj). Ez a nitrogénkötő tulajdonság a nitrogénkészletet növeli. A nitrogén a növényi szerves anyagok fő alkotója is. Több szerves anyag található a tóban, hisz mezőgazdasági termelés folyik a

vízgyűjtője nagy részén, ahonnan a nitrogénformák bemosódhatnak növelve a víz nitrogén szintjét.

A napi méréseim statisztikai vizsgálataim során azt tapasztaltam, hogy kevés komponensek alacsony a relatív szórása. A pH a legkisebb relatív szórású jellemző. 5% relatív szórás a fajlagos vezetőképességre és a  $KOI_d$  értékére jellemző. Az összes nitrogén is 5% alatti relatív szórással rendelkezik, de az összes nitrogén profilját alakító ásványi nitrogének relatív szórása magas, bár összegük szórása 10%-kal kisebb, mint a külön-külön vett szórásuk. Ha az összes nitrogén összetevőit is kisebb hibahatárral szeretnénk megismerni, akkor a mérések gyakoriságát növelni kell. A foszforformák esetén éppen fordított a kép: az orto-foszfát egy hónapon belül nem mutat nagy változásokat, de az összes foszfor elég széles határok között változik, így pontosabb koncentráció-adatok végett több mérésre lenne szükségünk az összes foszfor pontosabb eredményeihez.

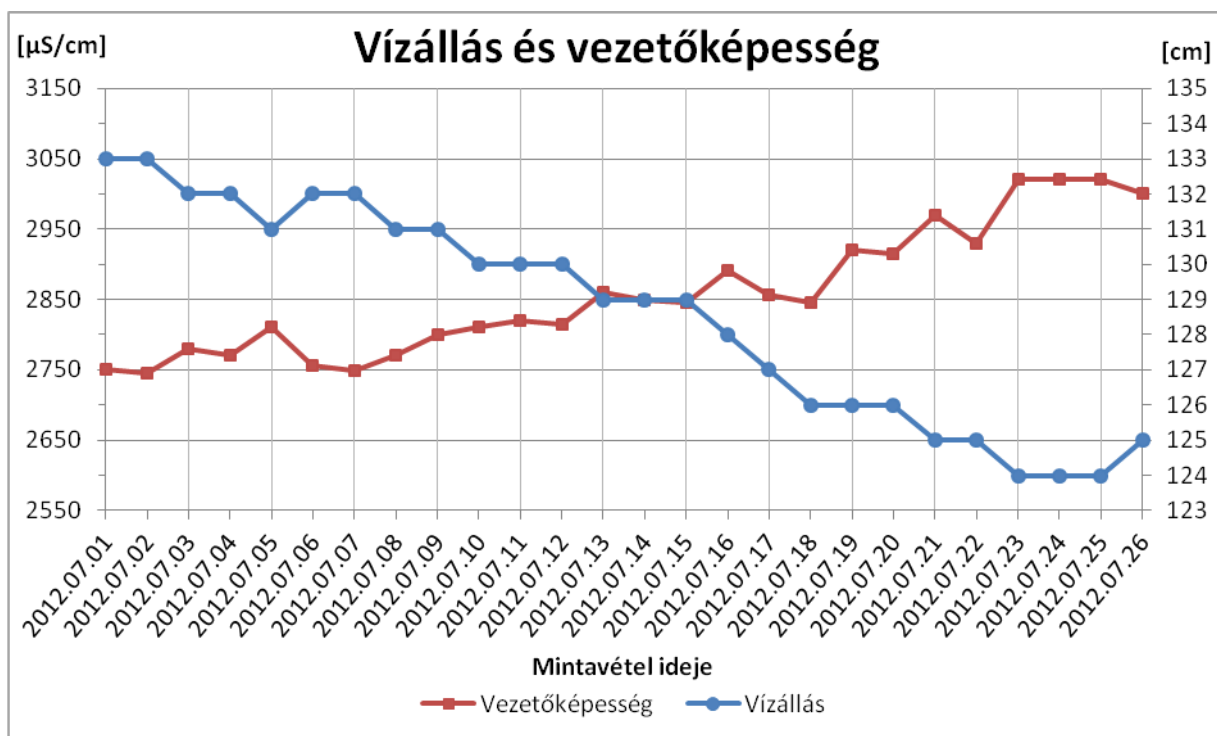
Saját mintavételeim idején egy, teljes komponens-körű mintavételt végeztem a KDT-KTVF 2012. július 10-én. A mintavétel a Velencei-tó ugyanazon egységéről származik, mint a saját mintavételelem, de a Felügyelőség délelőtti mintavételt végeztem, míg én esti mintavételt végeztem. Az eredményeink összehasonlítása során azt tapasztaltam, hogy lényegében minden komponens koncentrációértéke megegyezik, kivéve az összes foszfor és az a-klorofill értékeket. Az a-klorofill egy napon belül is ciklikusan változhat (pl. egyes algafajok „liftezése” révén), illetve a sekély víz elkeveredhet, így mérhetünk különböző értékeket. Az összes foszfor koncentrációja naponként is nagy változásokat mutatott, fél napok esetén is hasonló a helyzet. Tehát, a napon belüli változás nem lehet nagy. A komponensekre 95%-os konfidenciaszint mellett meghatároztam hibahatárokat. Ez alapján a július 10-i minta értékei közül csak a pH értéke esett a hibahatáron belülre. Az a-klorofill a saját mintavételemlésemkor, míg a fajlagos vezetőképesség a felügyelőség mintavételekor esett bele a konfidencia-intervallumba.

A számításaim bizonyítják, hogy a hibahatár a mintavétel gyakoriságával csökkenthető. Az időszoron belüli összefüggéseket az autokorrelációs tényező segítségével vizsgáltam. Az autokorrelációs függvény pontjai alapján 4 időpont esetén volt 0 az autokorreláció. Ha ebben a 4 időpontban vizsgálnánk a mintavételi helyen az összes foszfor mennyiségét, akkor feleakkora hibahatár mellett kapnánk meg a jellemző összes foszfor értékünket.

A tó N:P arányát is megvizsgáltam, ami azt mutatta, hogy a tóban túl sok a nitrogén. A jelenlévő foszfor mennyiségéhez sokkal kevesebb is elegendő lenne, mind az összes nitrogén, mind az ásványi nitrogén esetén. Ennek nagy része valószínűleg nem hozzáférhető, különben a kékalgá dominancia nem lenne jellemző. Az arány eltorzulását egyrészt a *Microcystis* nitrogénkötő tulajdonságából is fakadhat, másrészt a mezőgazdaságból származó növényi szerves anyagok nitrogéntartalma növelheti a nitrogén mennyiségét.

## 4.2. Eredményeim változása az egy hónapos időszakban

Eredményeim grafikusán is ábrázoltam. A legnagyobb változást a fajlagos vezetőképesség növekedése mutatta. A 8. ábrán jól látszik, hogy július elején 2700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  volt a fajlagos vezetőképesség értéke. Ez az érték körülbelül 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  értékre nőtt, szinte folyamatos emelkedéssel. Ezek az értékek nagynak tekinthetők. Ezzel párhuzamosan a vízállás csökkent: 134 cm-ről 125 cm-re [KDT-VIZIG 2012]. Tehát a víz koncentráltabb ásványi anyagokban, amik a víz fajlagos vezetőképességét okozzák, azaz a vezetőképesség nőtt.

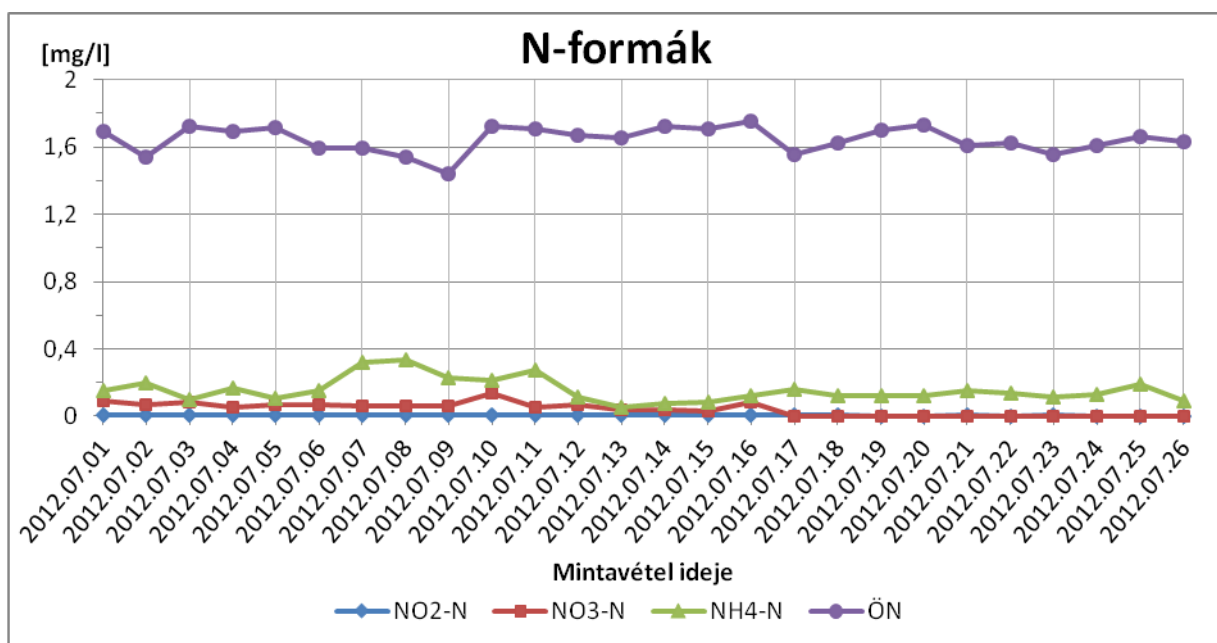


8. ábra A fajlagos vezetőképesség változása

A nitrogénformákban lényegi változások nem történtek (9. ábra), de az jól látszik, hogy az összes nitrogénnek a legnagyobb részét nem a szerves nitrogénformák teszik ki. A  $\text{NO}_2\text{-N}$

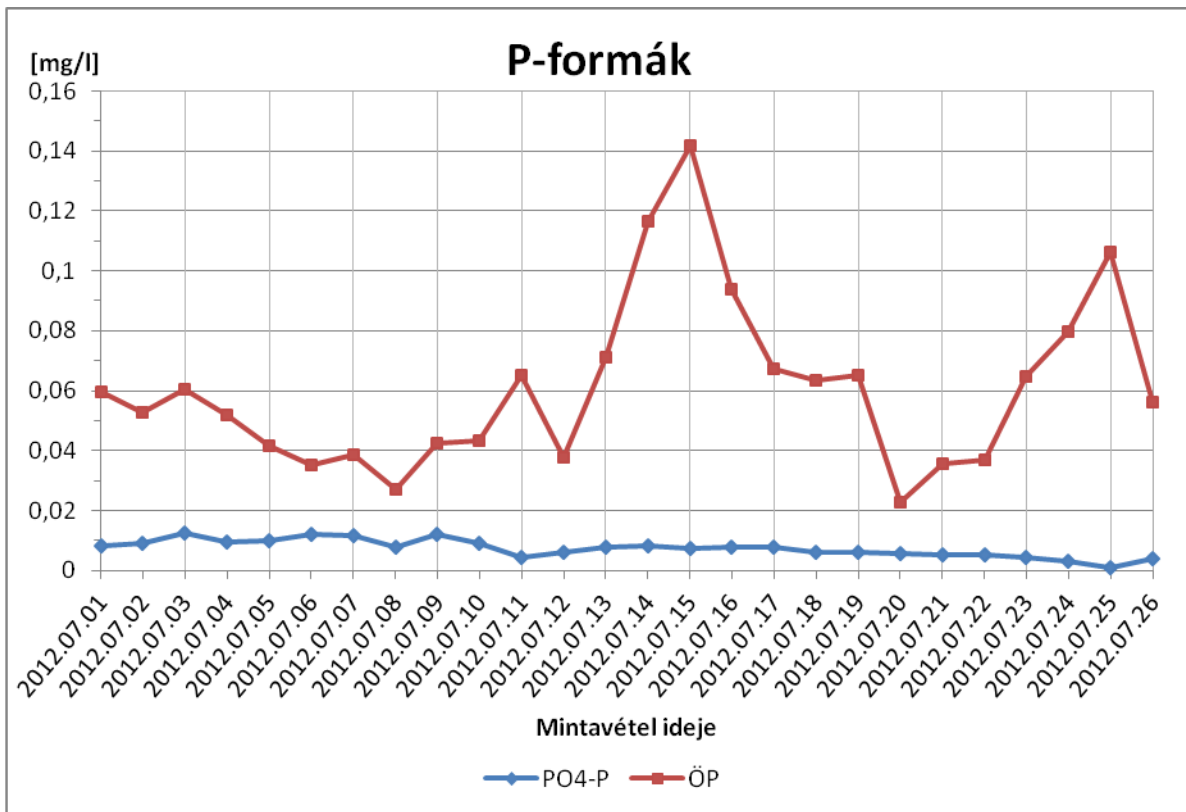


és a  $\text{NO}_3\text{-N}$  az összes nitrogén mennyiségnek kis részét alkotja. Az irodalmi bevezető 2.1.2.1. fejezetében említettem, hogy a nitrifikáció során a különböző folyamatokkal keletkező ammóniát ( $\text{NH}_3$ ) a nitrifikáló baktériumok először nitrit-ionná ( $\text{NO}_2^-$ ), majd nitrát-ionná ( $\text{NO}_3^-$ ) oxidálják és a szerves szénből szervesanyagot szintetizálnak. Tehát a nitrifikáció során a nitrit-N kellőképpen elfogyhatott, hisz ebből a nitrogénformából van a legkisebb mennyiségben a vízben. A nitrát-ion stabilabb, hisz mennyisége nitrit-nitrogénhez képest többnek mutatkozik. A  $\text{NH}_4\text{-N}$  az előbbiekhöz képest viszont nagyobb hányaddal vesz részt az összes nitrogén alakulásában. A két nagyobb kiemelkedő rész egy napos hétvégén mért adatokat jellemzi. Jól látszik, hogy az összes nitrogén értéke az 1,65 mg/l-es érték körül ingadozik.



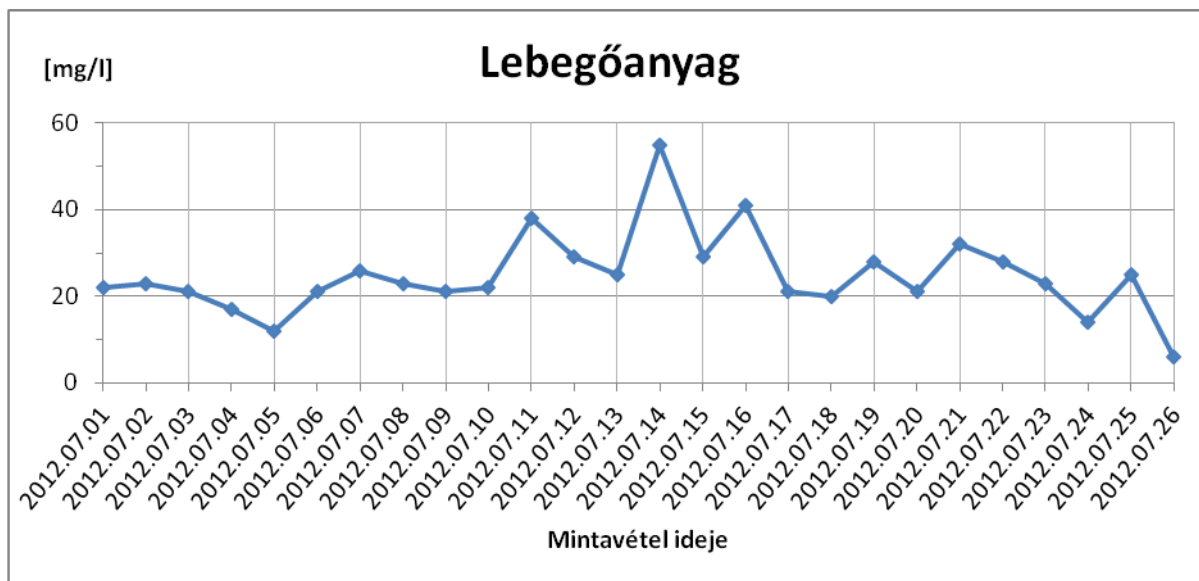
9. ábra N-formák változása

A foszforformák három nagyságrenddel kisebb mennyiségben találhatóak a vizekben, mint a nitrogénformák. Az ortofoszfát-P ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) jelenléte az összes foszforhoz képest elenyésző, szinte konstans jelleggel, pár  $\mu\text{g/l}$ -es nagyságban fordul elő a Velencei-tóban. (10. ábra). Az összes foszfor az egy hónap során kis nagyságrendjéhez képest is nagy változásokat mutatott.



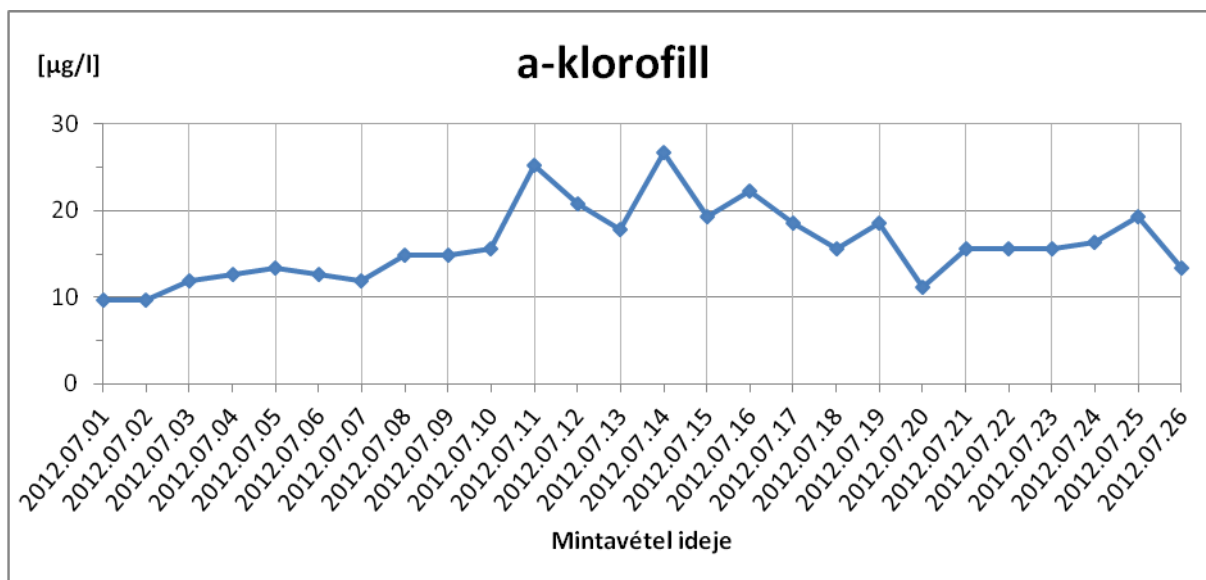
10. ábra Foszforformák változása

Az összes foszfor mennyisége egy elég tág skálán, 0,023-0,142 mg/l-es tartományban mozgott. A nagyobb csúcsot egy szeles időszak kísérte, ami alatt a Velencei-tó elég zavaros volt, így a mintavétel során a felkeveredett iszaptól is több került a mintába. Az iszapban több elhalt algafaj lehet, illetve itt raktározódik a detritusz, az elhalt növényi részek nagy hányada, ami szintén magas foszfor-tartalmú anyag.(2.1.2.2.) Az összes foszfor változását a lebegőanyag változása (11. ábra) is jól követi, hiszen a felkeveredés hatására a lebegőanyag nagy részét az iszaptól felkeveredett növényi részek is alkotják. Július 13-17-ig terjedő időszakban a lebegőanyag változásában is csúcsokat figyelhetünk meg.



11. ábra Lebegőanyag változása

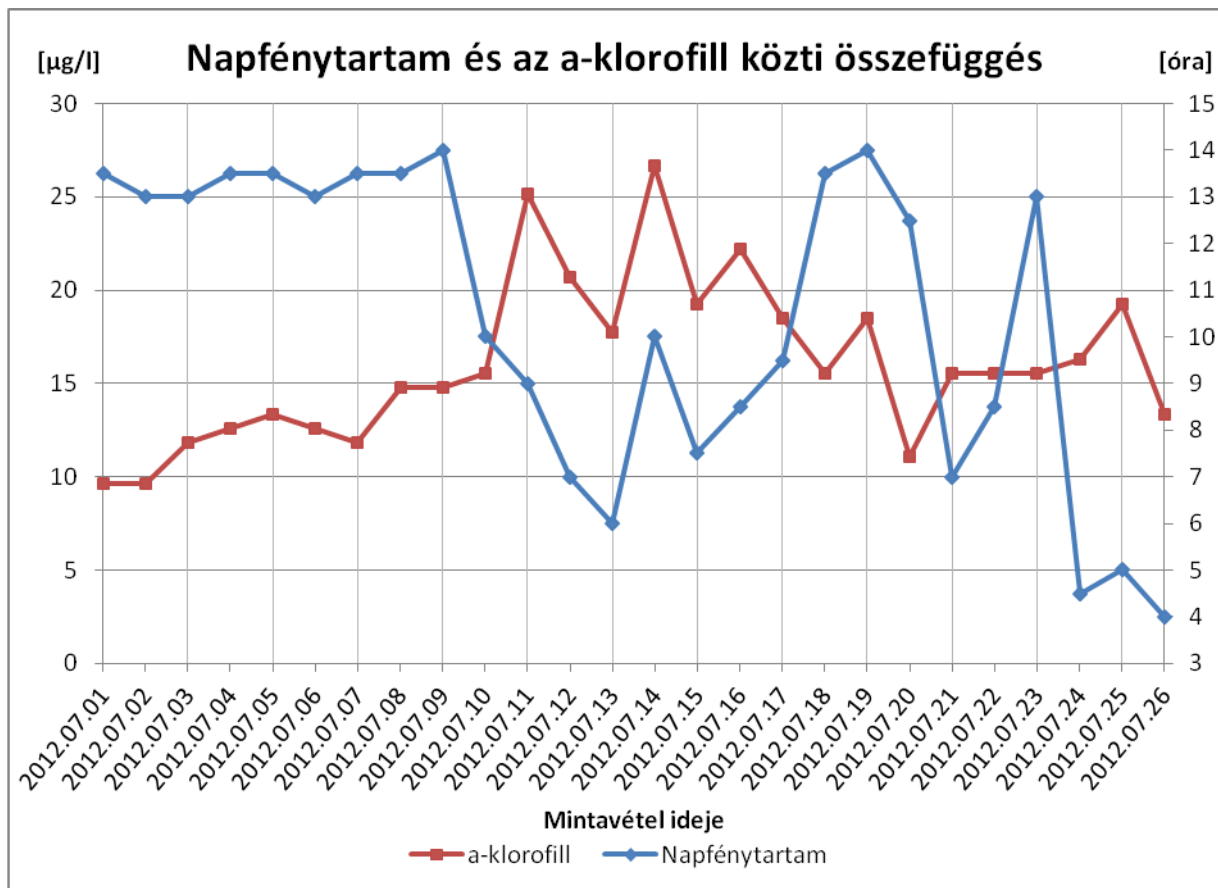
Az a-klorofill formák változása (12. ábra) egy felfelé ívelő hullámgörbe mentén történt meg, ami a ciklikusságot mutatja. Az a-klorofill a lebegőanyag csúcsaira is elég hasonlóan reagált, ami jelentheti azt, hogy a felkeveredés miatt a *Microcystis* belekerült a víz mélyebb rétegeibe is, így nagyobb részben vett részt a mintában is. Az algák változását a sekély tavakra jellemző teljes felkeveredések, áramlások változása is okozhatta. Valószínűleg nem az algamennyiség nőtt, hanem a felkeveredés hatására egy helyen több alga koncentráldott.



12. ábra a-klorofill változása

Az a-klorofill érzékeny a fényre, így a napfényes időszakok hatással vannak a változására (13. ábra). Azokban az időszakokban, amikor az időjárás kiegyenlített, ugyanolyan mértékben söt

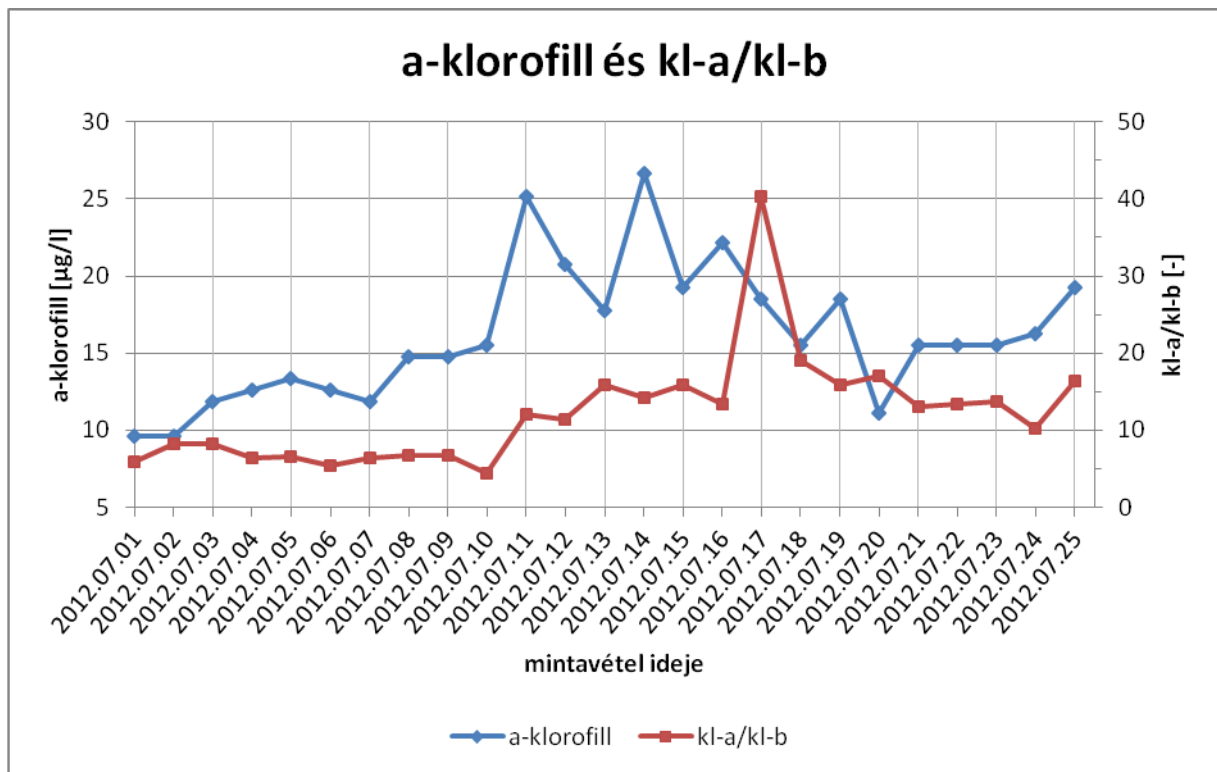
a nap, nem keveri fel a vizet egy erős szeles időszak és az eső sem esik, akkor az a-klorofill növekedését számottevően csak az algaszaporodás befolyásolja, így nagy változásokat sem tapasztalhatunk (az algák duplázódási ideje kb. 3-4 nap a természetben). A hónap vége felé tapasztalható szeles napok és esőzések miatt az összefüggések már nem látszódnak ilyen jól a napfénytartam és az a-klorofill között. Az a-klorofill átlagosan 0,016 mg/l értéket mutatott, ami 16 mg/m<sup>3</sup> értéknek felel meg. Ez alapján az adat alapján 1. táblázatban található értékelést használva azt mondhatjuk, hogy a Velencei-tó mezotrófikus állapotú. Az adatsor minimuma (10 mg/m<sup>3</sup>) alapján is a mezotrófikus állapot alsó határát éri el a víz. A maximum érték (27 mg/m<sup>3</sup>) viszont már a következő trofitási szintet, a mezo-eutrófikus szintet jellemzi. A trofitási skálán ezek a szintek középen találhatók, tehát az eutrofizálódási folyamat közepén tart a Velencei-tó.



13. ábra Napfénytartam és az a-klorofill összefüggése

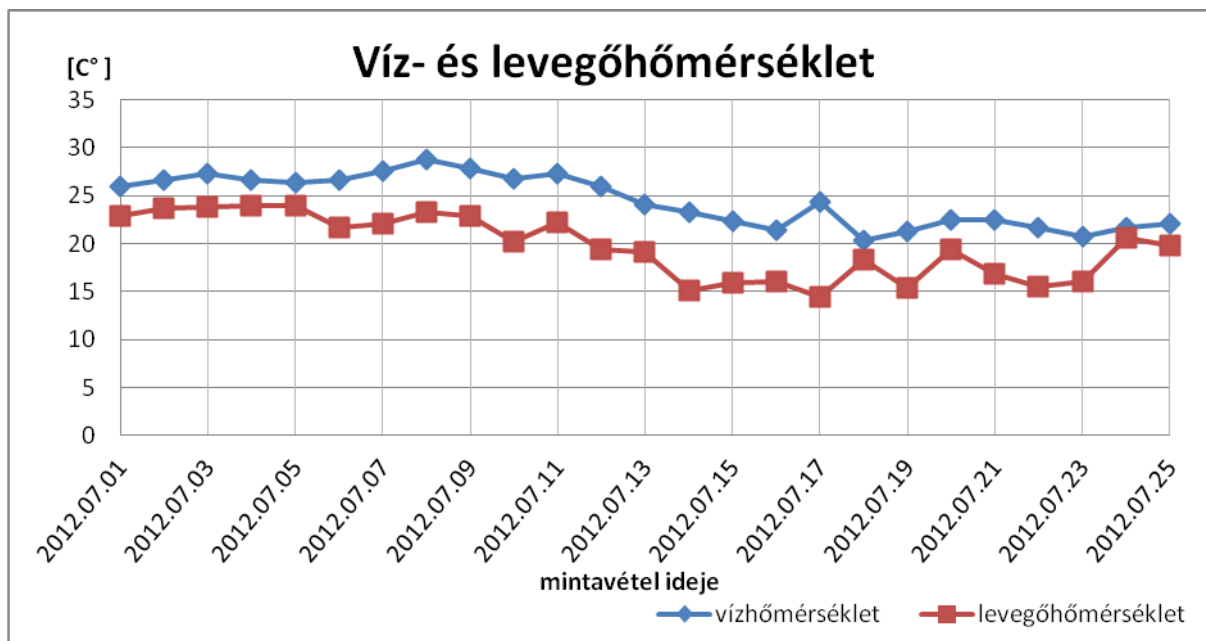
Az a-klorofill méréséből a b-klorofill koncentrációjára is következtethetünk a megfelelő hullámhosszon vizsgált értékeink alapján. A kl-a/kl-b aránytényező, melynek számlálójában az a-klorofill mennyisége, nevezőjében a b-klorofill mennyisége található. Az a-klorofill változását a 14. ábrán lévő diagramon vizsgáltam a kl-a/kl-b aránytényezővel. A diagramon jól látszik, hogy az első másfél hétben az a-klorofill mennyisége nem nagyon változott, így az

aránytényező sem változott. Július 10-12 közötti változást az arányszám is jól leköveti. Július 18-20 között az arányszámban egy kiugró érték jelenik meg, miközben az a-klorofill értéke csökkent. Ez azt jelenti, hogy ezzel párhuzamosan az b-klorofill értéke is csökkent, így nagyobb értéket kapunk. A b-klorofill az a-klorofill kiegészítő pigmentje, így mennyiségük változása elég jól összefügg. Arányuk mindig 5 fölötti volt, ami azt jelenti, hogy a vízben lévő biomassza nagy részét cianobaktériumok adják (GORZÓ, KISS 1985).



14. ábra a-klorofill és kl-a/kl-b összevetése

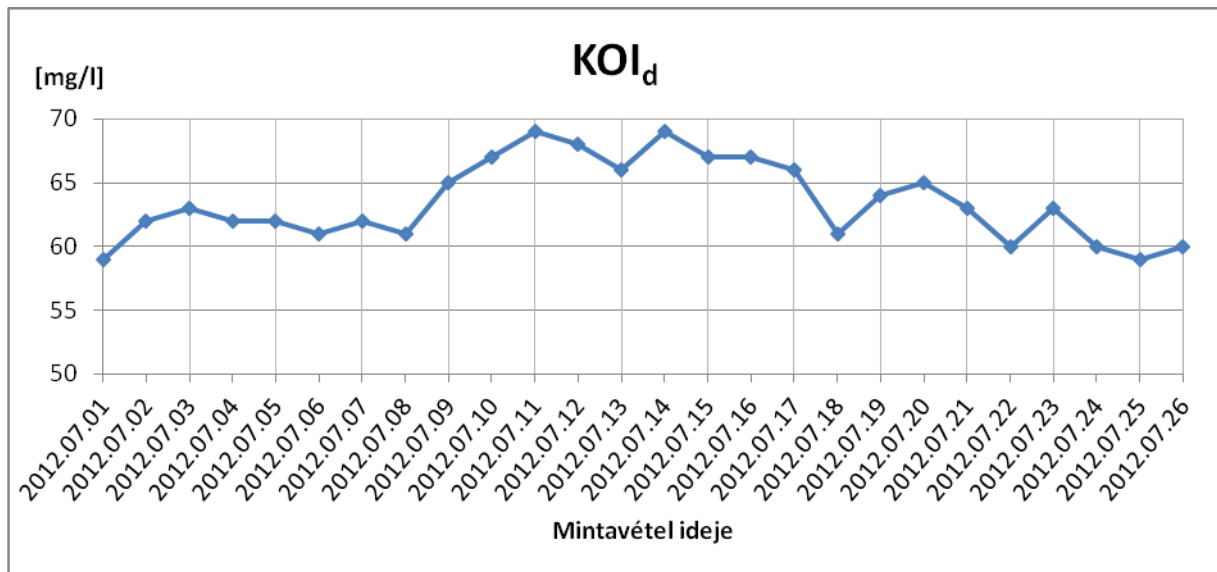
Az algák jól reagálnak a hőmérséklet-viszonyokra is. Előre jelezhetik a hőmérsékletingadozásokat, egyes vélekedések szerint jól jelzik a frontokat. A következő ábra a levegő és a víz hőmérséklete közti különbséget mutatja. A két érték közti különbség-csökkenések okai lehűlések, szeles időjárások lehetnek.



15. ábra Víz és levegőhőmérséklet közti különbség (KDT-VIZIG 2012.)

Július 10-18. között a tó hőmérséklete csökkent. Ezen időszak során az algák mennyisége kiugró értékeket mutatott. A víz hőmérséklet csökkenésével a szelesebb időjárás is beköszöntött, azaz a szél a sekély tóvizet is felkeverte, így a tó más részeiről a vizsgált területre keveredhettek az algák.

Az algák tárgyalása után a kémiai oxigén igényre is fordítsunk pár szót! A  $KOI_d$  a kémiai oxigén igényt jellemzi, azaz azt az oxigén mennyiséget jelöli, amely a vízben lévő szerves anyag kémiai lebontásához kellene. Amint már láttuk, ez az érték egy szűk skálán változott július hónapban: 59-69 mg/l. A 16. ábrán látszik, hogy a  $KOI_d$  értéke igaz kis mértékben, de változott.



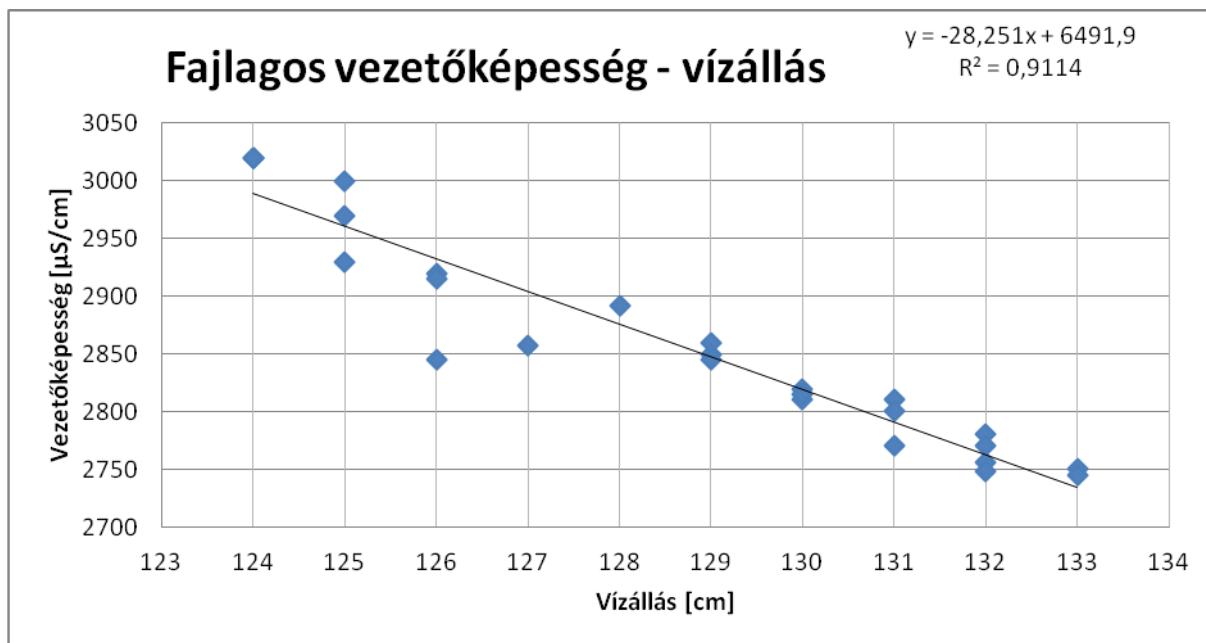
16. ábra  $KOI_d$  napi változása 2012. júliusban

A  $KOI_d$  a hónap közepén dombszerűen kiemelkedett. A növekedés azt jelenti, hogy több szerves anyag keveredhetett a tó adott részére, amely több oxigént igényelne a lebontásához. Ez a csúcs az a-klorofillal is összhangban van, azaz valószínűsíthető, hogy a  $KOI$  a növényi szerves anyagok növekedését is mutatja.

A napi mérések havi trendjeinek vizsgálata során a fajlagos vezetőképesség nőtt, mert a vízállás folyamatosan csökkent. Az ásványi nitrogénformák nem mutattak jelentős változásokat. Az összes nitrogén is szűk sávban mozgott, lényegében alig változott. Az összes nitrogén nagyobb hányadát a szerves nitrogén tette ki. A foszforformák trendjeiből az látszik, hogy az összes foszfor mennyisége napról-napra sokat változott, de az orto-foszfát mennyisége ezzel párhuzamosan szinte nem változott semmit. Az összes foszforhoz hasonlóan a lebegőanyag és az a-klorofill változása is hasonló volt. Mind a lebegőanyag, mind az a-klorofill foszfor tartalma az összes foszfor koncentrációját is növeli. A lebegőanyag és az a-klorofill változásai a szeles időszakokkal korrelálnak. Az a-klorofill a napsütéses órák számával is többé-kevésbé összhangba hozható.

### 4.3. A különböző komponensek összefüggés-vizsgálata

A vizsgált komponenseim között összefüggéseket fedezhetünk fel. Mint azt korábban láthattuk a vezetőképesség az idő előre haladtával nőtt, miközben a vízállás csökkent. A következő ábrán a fajlagos vezetőképesség és a vízállás összefüggését fogom vizsgálni.

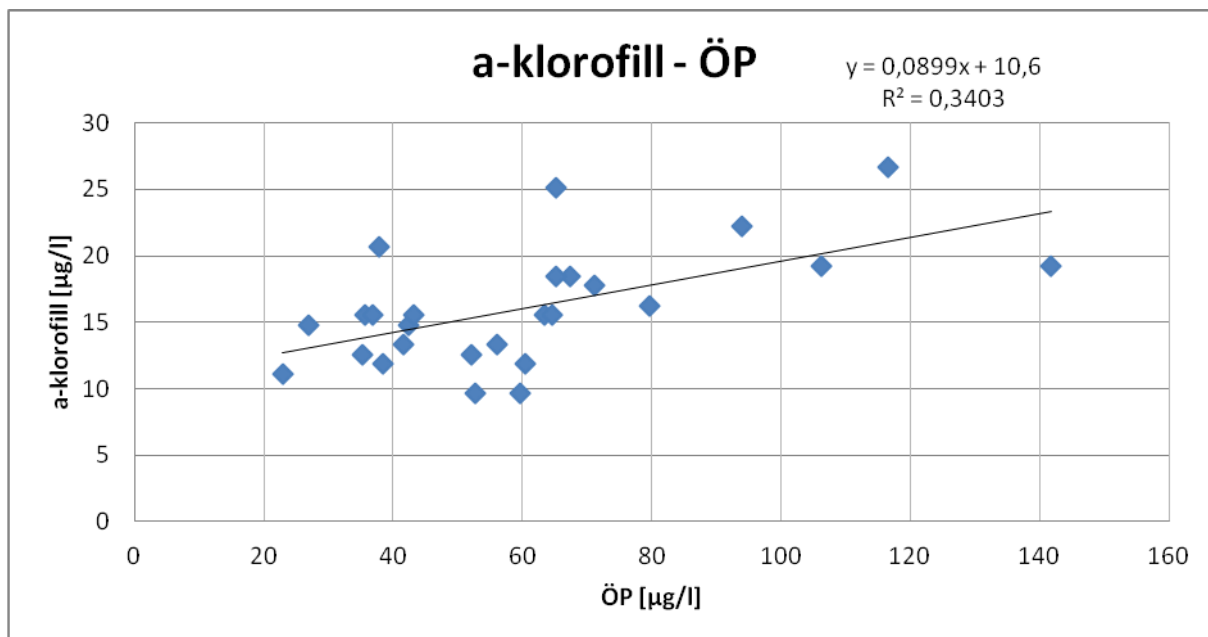


*17. ábra Vízállás és a fajlagos vezetőképesség kapcsolata*

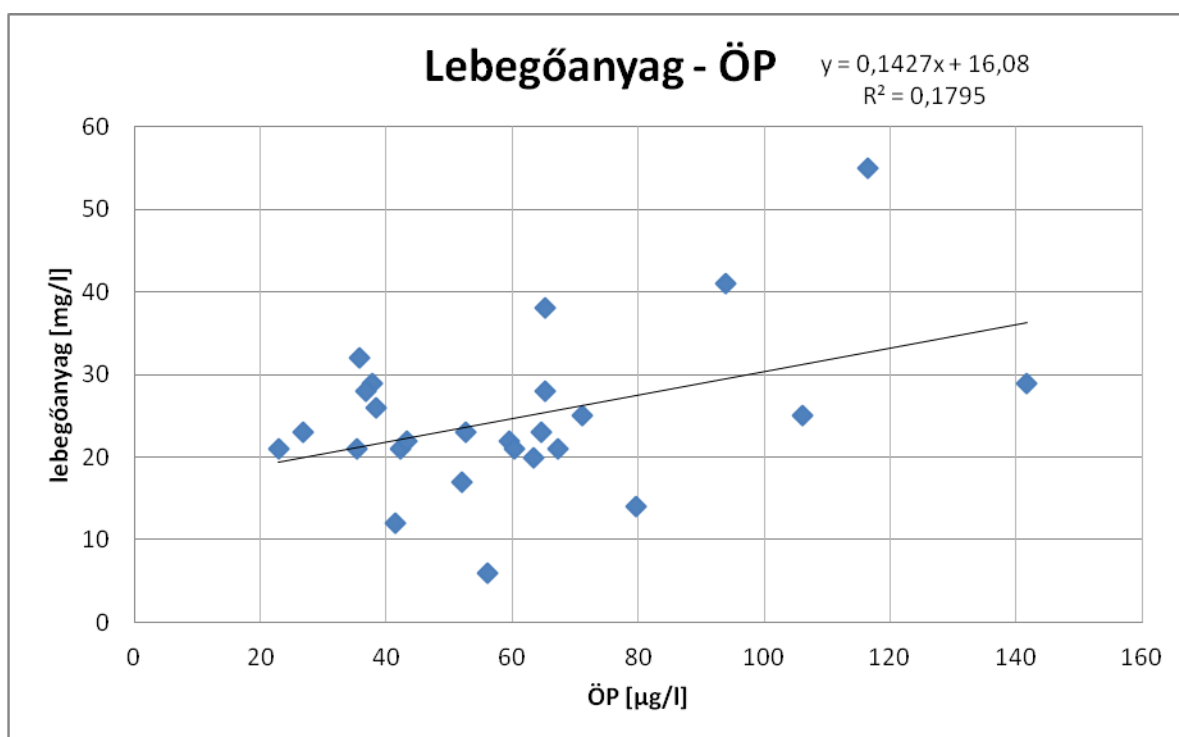
Az ábrán jól látszik, hogy adott vízállás adatokhoz elég pontosan meghatározott fajlagos vezetőképesség értékek tartoznak. Az összefüggés a két jellemző között lineáris. A mért adatok alapján a lineáris összefüggés jósága  $R^2=0,9114$ , ami egy nagyon jó értéknek felel meg. Azt jelenti, hogy a mérés pontatlanságából vagy esetleges más tényezőktől is eltekintve a lineáris összefüggés valóban létezik.

Az eddigi vizsgálatok során észrevettük, hogy az a-klorofill, a lebegőanyag és az összes foszfor (ÖP) csúcsai korrelációt mutatnak. Mint tudjuk, az összes foszfortartalmat mind az a-klorofillban raktározott foszfortartalom, mind az iszaptól felkeveredett, detritusból származó lebegőanyag tartalom is növelheti. (2.1.2.2.) Kíváncsiak vagyunk, hogy az összes foszfor mennyiségi értékei milyen mértékben függenek az a-klorofill változásától, illetve milyen mértékben függenek a lebegőanyag koncentrációjának növekedésétől. A kívánt összefüggések megismeréséhez két külön diagrammon ábrázoltam az összes foszfor a-klorofillal, illetve lebegőanyaggal való viszonyát.





18. ábra Az a-klorofill és az összes foszfor regressziója

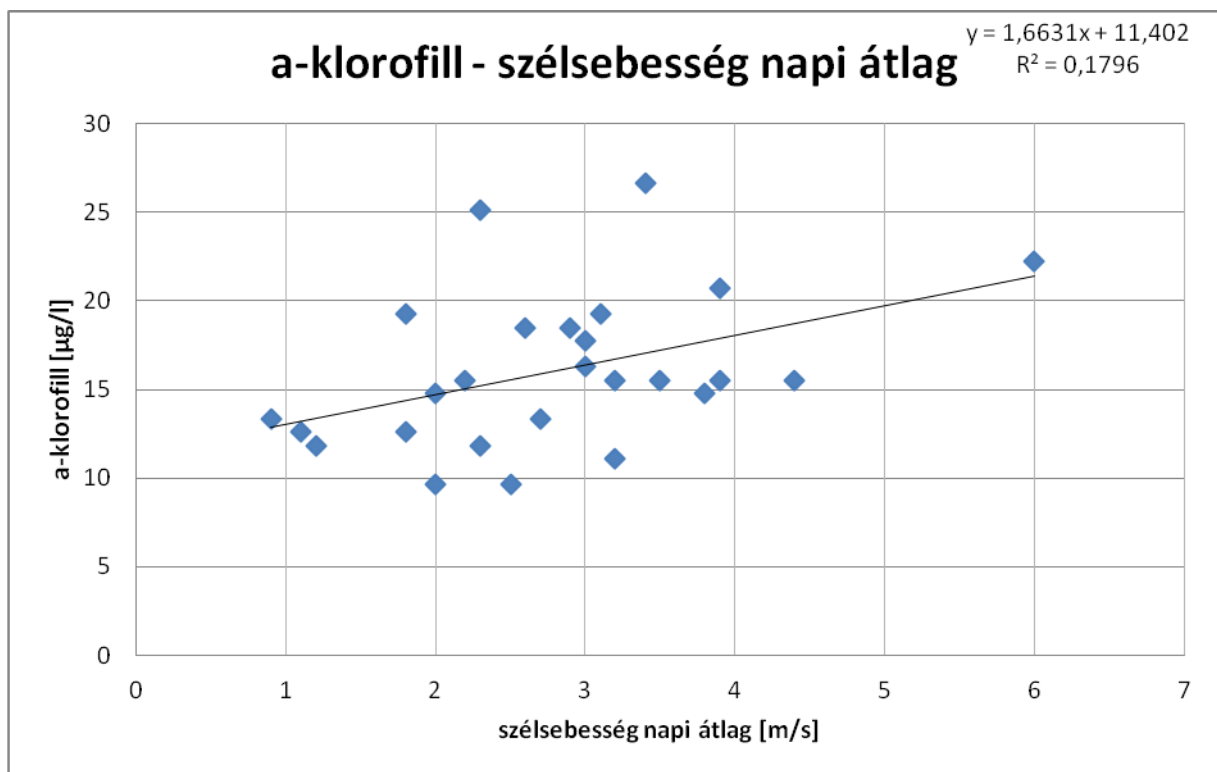


19. ábra Lebegőanyag és összes foszfor regressziója

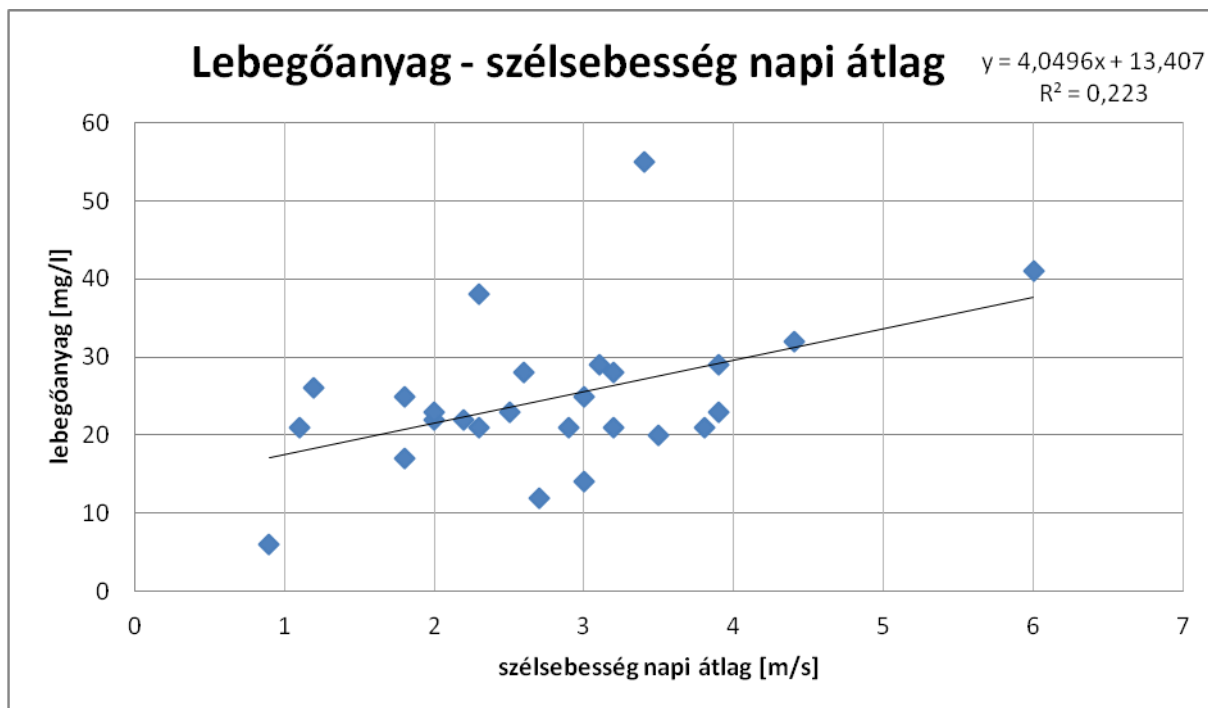
A két ábrából látszik, hogy a lebegőanyag egy összes foszfor értékhez vonatkozóan több különböző értéket mutat, míg az a-klorofill értékek egy adott összes foszfor értéknél jól csoportosulnak, azaz kevésbé szórtnak helyezkednek el. Emiatt az a-klorofill és az összes foszfor között szorosabb a kapcsolat, hiszen a köztük lévő lineáris összefüggés a méréseink hibáival és különböző zavarásokkal együtt is  $R^2=0,3403$  értékű lett. Az R értékek jelzik, hogy

az összefüggés mindkét esetben laza, vagy nem szignifikáns. Valószínűleg mindkét tényező együtt jobban meghatározza az ÖP koncentrációját.

A lebegőanyag és az a-klorofill is partikulált, nem oldott állapotban található a vizekben, így a szél átkeverő hatása jelentős változással bír az adott helyeken tapasztalható lebegőanyag és az a-klorofill koncentráció változásaira. A szél erős hatása a tó sekély jellege miatt is érzékelhető. Kisebb szelek is teljesen át tudják keverni a tó vizét az aljától a tetejéig (2.1.2.2.). Emiatt célszerűnek tűnt a napi átlagos szélességeket a lebegőanyag és az a-klorofill változásokkal összevetni. Az alábbi két ábrán ezeket az összefüggéseket láthatjuk.



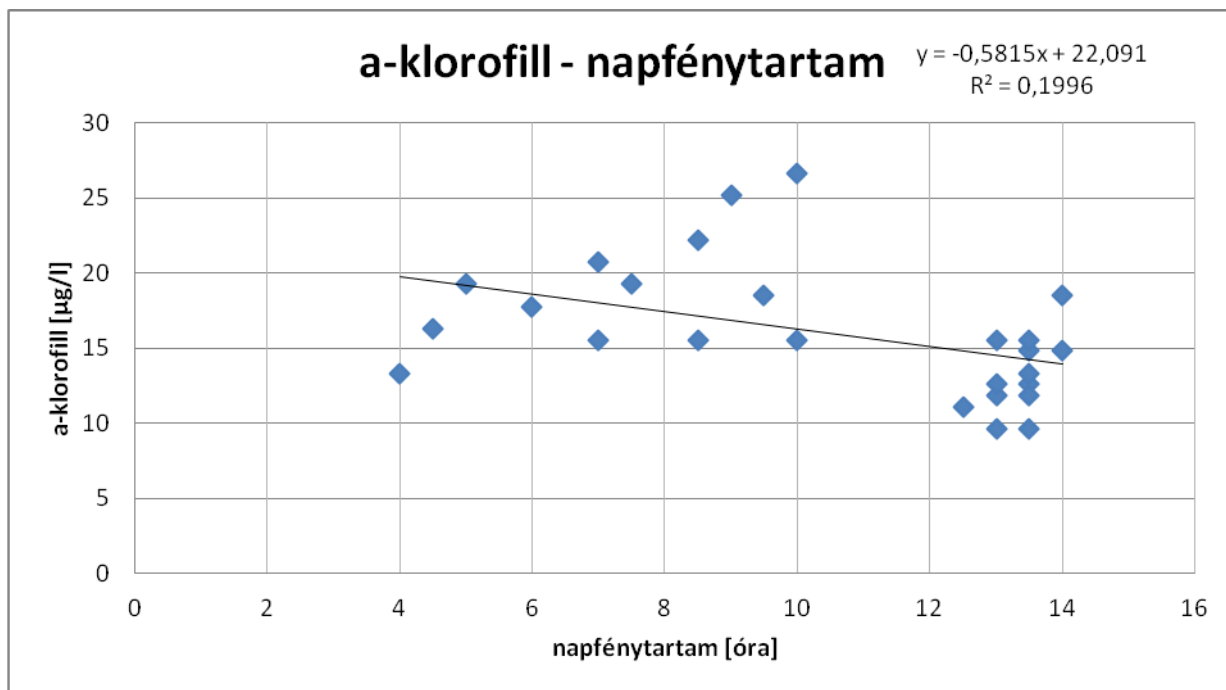
20. ábra Az a-klorofill és a szélesség napi átlaga (KDT-VIZIG 2012)



21. ábra Lebegőanyag- szélesség napi átlaga (KDT-VIZIG 2012)

A két diagram alapján azt tapasztaljuk, hogy a szélesség növekedése a lebegőanyag és az a-klorofill változására is hat, de egyik komponens tekintetében sincs szignifikáns kapcsolat a 2-2 érték között. A tó alján lévő laza, milliányi szemcséből álló iszap egy erősebb, de egy gyengébb szél hatására is a víz felsőbb rétegeibe kerülhet, így növelve ezzel a lebegőanyag-tartalmat. Az iszap részecskéi éppen annyival nagyobbak, hogy szabad szemmel is jól láthatóak, így az áramlat könnyebben el tudja ragadni őket. Az algakoncentrációt jelző a-klorofill és a szélesség összefüggése azt jeleznél, hogy a szélcsendes időszakokban az üledékre kiülepedett algák felkeveredhetnek a tóvízbe. Ugyanakkor ezt a kétváltozós regresszió nem mutatja. A jellemzők széllal szembeni viselkedésének leírására egy összetettebb modell lenne alkalmas.

Az a-klorofill mennyisége a napsugárzással is összefügghet. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy napsütésesebb időszakokban több alga van jelen a vizekben. Ezzel a feltételezéssel a következő diagram kissé ellentmond, bár az összefüggés nem szignifikáns.



22. ábra Az a-klorofill és a napsütötte órák számának összefüggése (KDT-VIZIG 2012)

Az ellentmondást feloldja az a feltételezés, hogy az algák koncentrációját nem csak a napsugárzás befolyásolja, hanem a szélviszonyok, a víz hőmérséklete, tápanyagok jelenléte. Vagyis, az összefüggés, amely az a-klorofill változását leírja, nem egyváltozós, javasolható a többváltozós összefüggések, esetleg algamodellek kipróbálása erre a tóra is. A legtöbb olyan napon, amikor a napsugárzás 13-14 óra között ingadozott, a tó hőmérséklete közelítette a 30°C körüli értéket, ami természetes vizek hőmérsékletei között magasnak mondható. Emellé a magas hőmérséklet mellé magas légnyomás értékek is társulhattak, amik az algák jelenlétének nem kedveztek. Tehát előfordulhat, hogy a többi hatás jobban hatott az algák életére, mint a napfény. A másik feloldó feltételezés az, hogy hiába sütött 13-14 órát a nap, a magas hőmérséklet és energia mennyiség már sok volt az „algák” életének. Ha jobban megnézzük az ábrát, 4-10 óra napfényes időtartam során az algák koncentrációja növekedett. Tehát azt mondhatjuk, hogy a napfény pozitívan hat az algák növekedésére, de csak egy bizonyos tartományban.

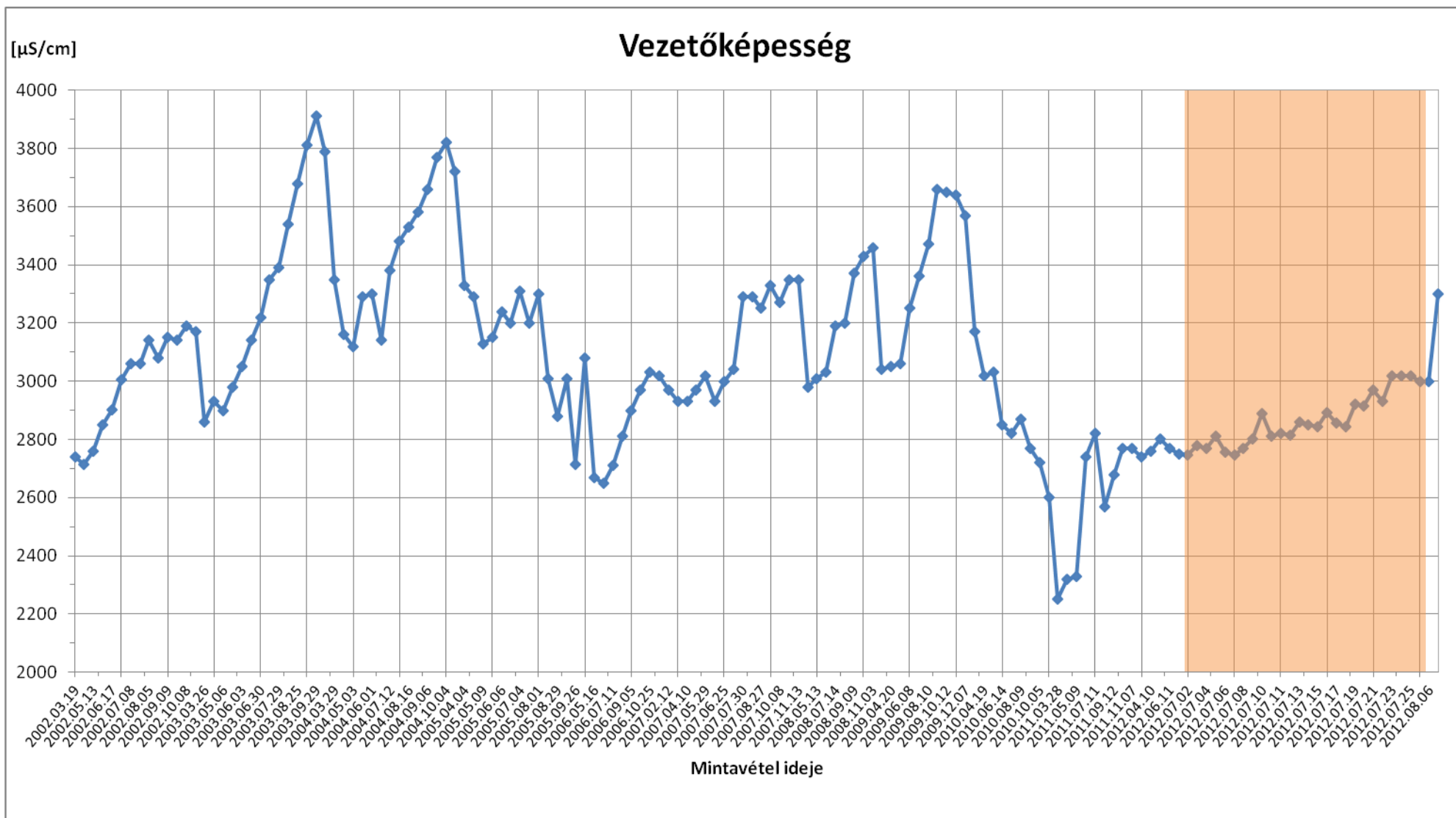
Az összefüggés-vizsgálatok során azt az eredményt kaptuk, hogy a fajlagos vezetőképesség és a vízállás közti összefüggés egy lineáris kapcsolat. Ezen két jellemző közti kapcsolat a legszorosabb. A köztük lévő lineáris egyenes jósága a legjobb. Az a-klorofill, a lebegőanyag és az összes foszfor (ÖP) közti összefüggések elég lazák. Az R értékek jelzik, hogy az

összefüggés mindkét esetben laza, vagy nem szignifikáns. Valószínűleg mindkét tényező együtt jobban meghatározza az ÖP koncentrációját. Az a-klorofill, illetve a lebegőanyag koncentrációjának változásának a napi átlagos szélesség adatokkal való összefüggését is vizsgáltam. A 2-2 jellemző közti összefüggést egy összetettebb modell jobban leírná. Az a-klorofill koncentrációjának a napsugárzással való összefüggését is vizsgáltam. A diagram pontjaira illesztett egyenes a napsugárzás időtartamának növekedése irányában negatív meredekségű lett annak ellenére, hogy a napsugárzás az algák növekedésére elvileg pozitív hatással van. A diagram közelebbi szemügyre vétele során észrevehetjük, hogy csak az extrém magas 13-14 óra napfénytartamok esetén lesz alacsonyabb az algák mennyisége, alacsonyabb tartományban az egyenes pozitív meredekségű. Tehát a napsugárzás az algák növekedésére pozitív hatással van, de csak egy bizonyos napsugárzás mennyiségig.

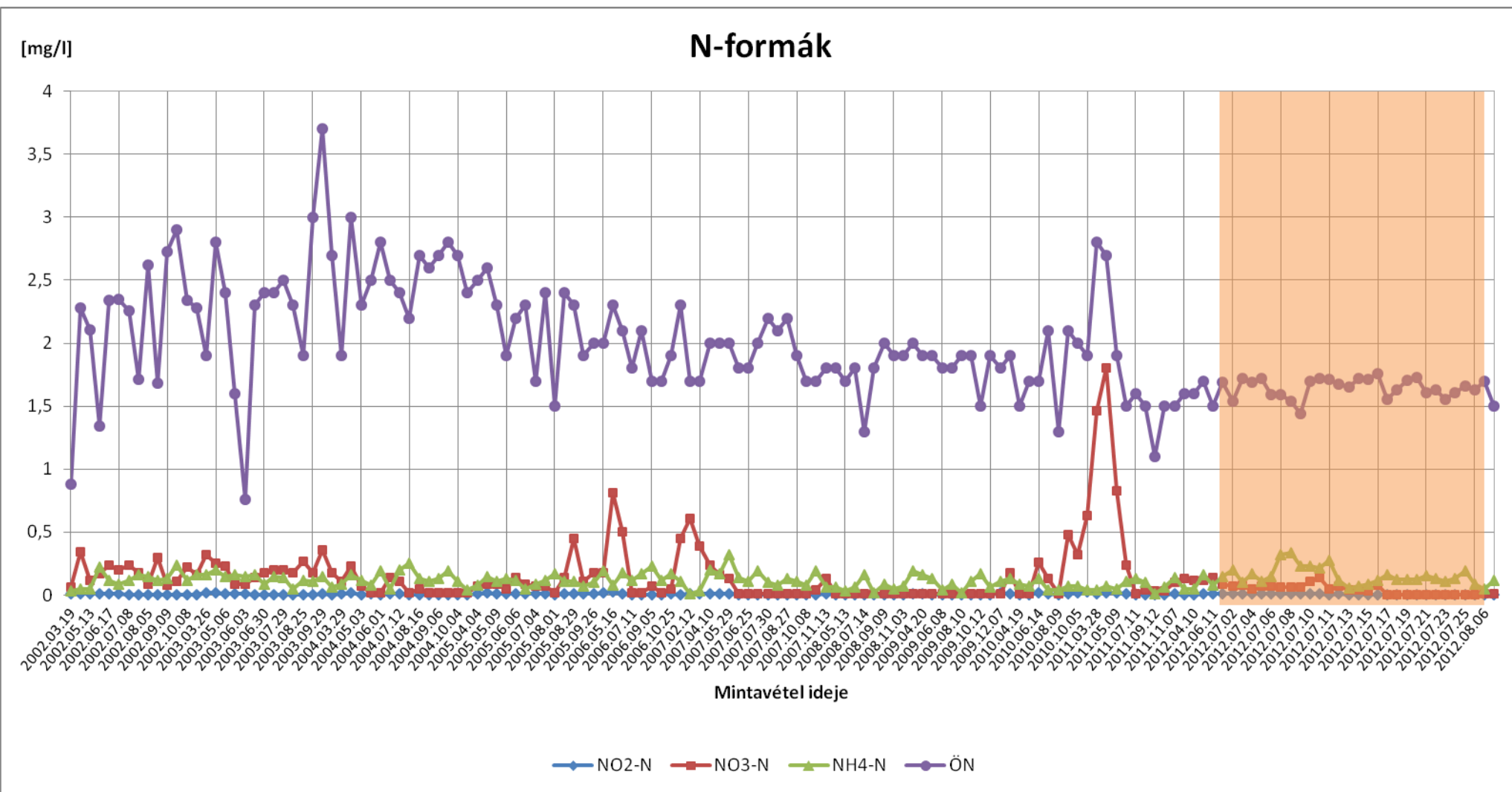
#### **4.4. Saját adataim és a tíz éves adatsor viszonya**

Az egy hónapon át naponta vizsgált komponenseket 2002-2012-es havonta vizsgált komponensek közé illesztettem. Vizsgáltam, hogy a havi értékek egy tízéves ciklusban mennyire jelentős változásokat mutatnak.

A vezetőképesség vizsgálata azt a tapasztalatot támasztotta alá, hogy a vízszint csökkenéssel a Velencei-tó fajlagos vezetőképessége növekszik. Ha megnézzük a 23. ábrán a trendvonalban az emelkedő részeket, azt látjuk, hogy általában tavasz elejétől ősz eleje-közepéig a vezetőképesség nő, hiszen száraz meleg az időjárás, csapadék nem tapasztalható. A köztes időszakban a vezetőképesség csökken, hiszen a késő őszi-téli hónapok több csapadékot hoznak, ami a tó vízszintjét is növeli. Ez alól a trend alól 2005. és 2007 tavasza-nyara a kivétel. Feltételezéseim szerint, ott egy csapadékosabb nyárhoz volt szerencsénk, ami a vezetőképességet inkább csökkentette, mint növelte. A hosszú távú mérésekben tehát a fajlagos vezetőképesség változása szintén jól látszik, és a napi mérések nem tesznek „hozzá többet”, csak a változás meredeksége kisebb, csökken a növekedés üteme. Inkább arról van szó, hogy a múltbeli változások voltak sokkal nagyobbak is, mint a havon belüliek, jóllehet a változás nem tendencia jellegű. Szikes sztepp tavak így viselkednek.



23. ábra Fajlagos vezetőképesség változása 2002-2012



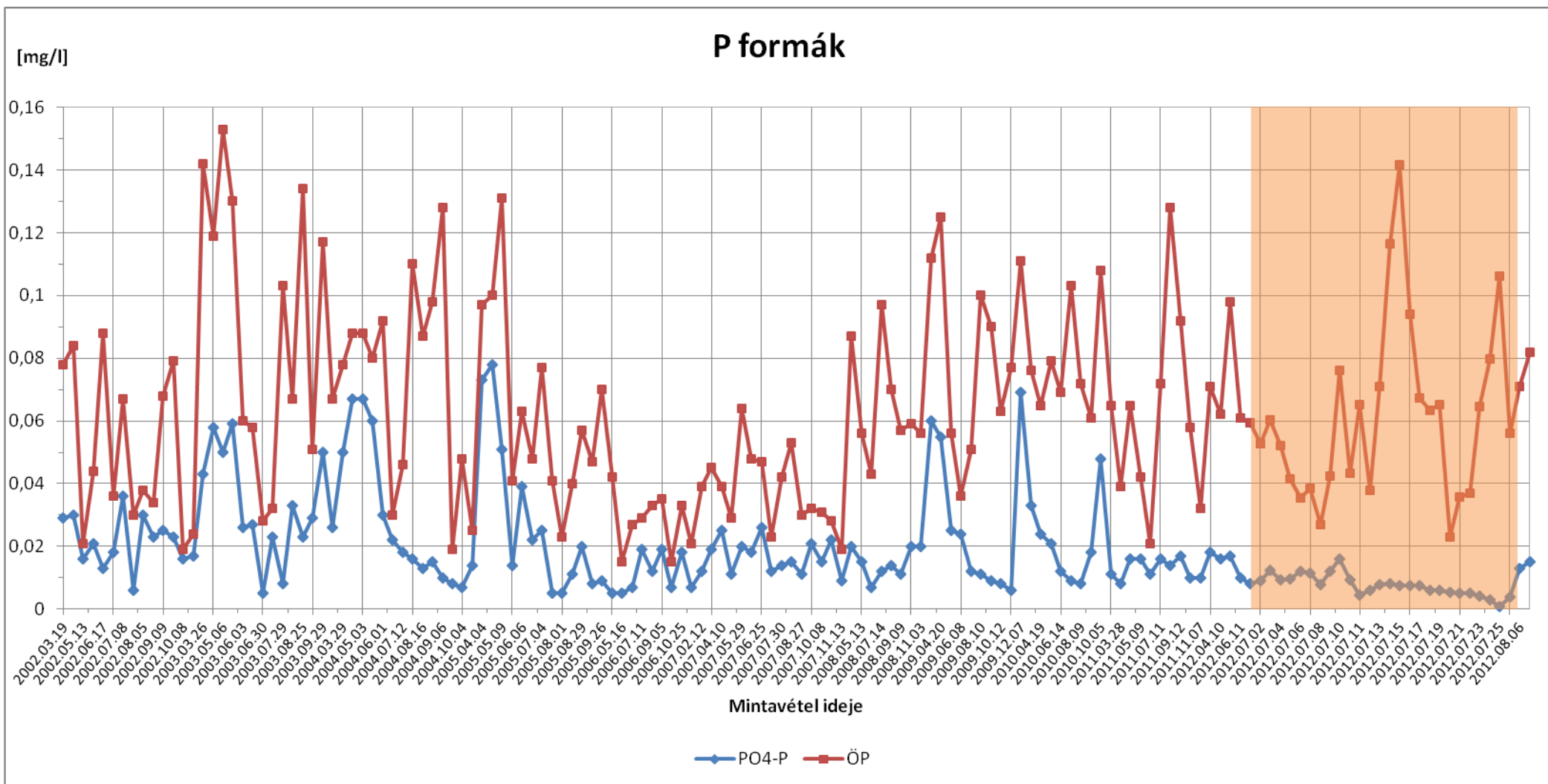
24. ábra N-formák változása 2002-2012.

A nitrogénformákkal is hasonlóak a tapasztalatok (24. ábra), azzal a különbséggel, hogy a napi változások nem érzékelhetők nagy változásnak a havi adatokat összefoglaló éves trendek között. A  $\text{NO}_3\text{-N}$  és a  $\text{NO}_2\text{-N}$  olyan kicsi intervallumban változik, és olyan kis koncentrációban, hogy a változások szinte semmisnek vehetők. Az  $\text{NH}_4\text{-N}$  napi változásai kicsit kiemelkednek az adatok között, míg a havi változásokban nem igazán tapasztalhatók eltérések. Az összes nitrogén jelenléte inkább mutat nagyobb változásokat havi adatok alapján, mint napi adatok alapján. A napi méréseim a tíz éves adatsorban inkább változatlanoknak tűnnek, tehát az összes nitrogén havi mérései reálisabbak. Az összes nitrogén növekedést mutató változását a  $\text{NO}_3\text{-N}$  változása jól leköveti, a többi nitrogénforma nem korrelál az összes nitrogén változásával. Az összes nitrogén hirtelen csökkenő változást mutató adatai nyári hónapokban, míg hirtelen növekedést mutató adatai őszi, illetve tavaszi hónapokban mutatkoztak. Ez a nyári nitrogén felvétellel és az őszi nitrogén leadással függ össze, természetes ciklikus változás. Télen a legtöbb nitrogénforgalmi folyamat intenzitása minimális, vagy nincs.

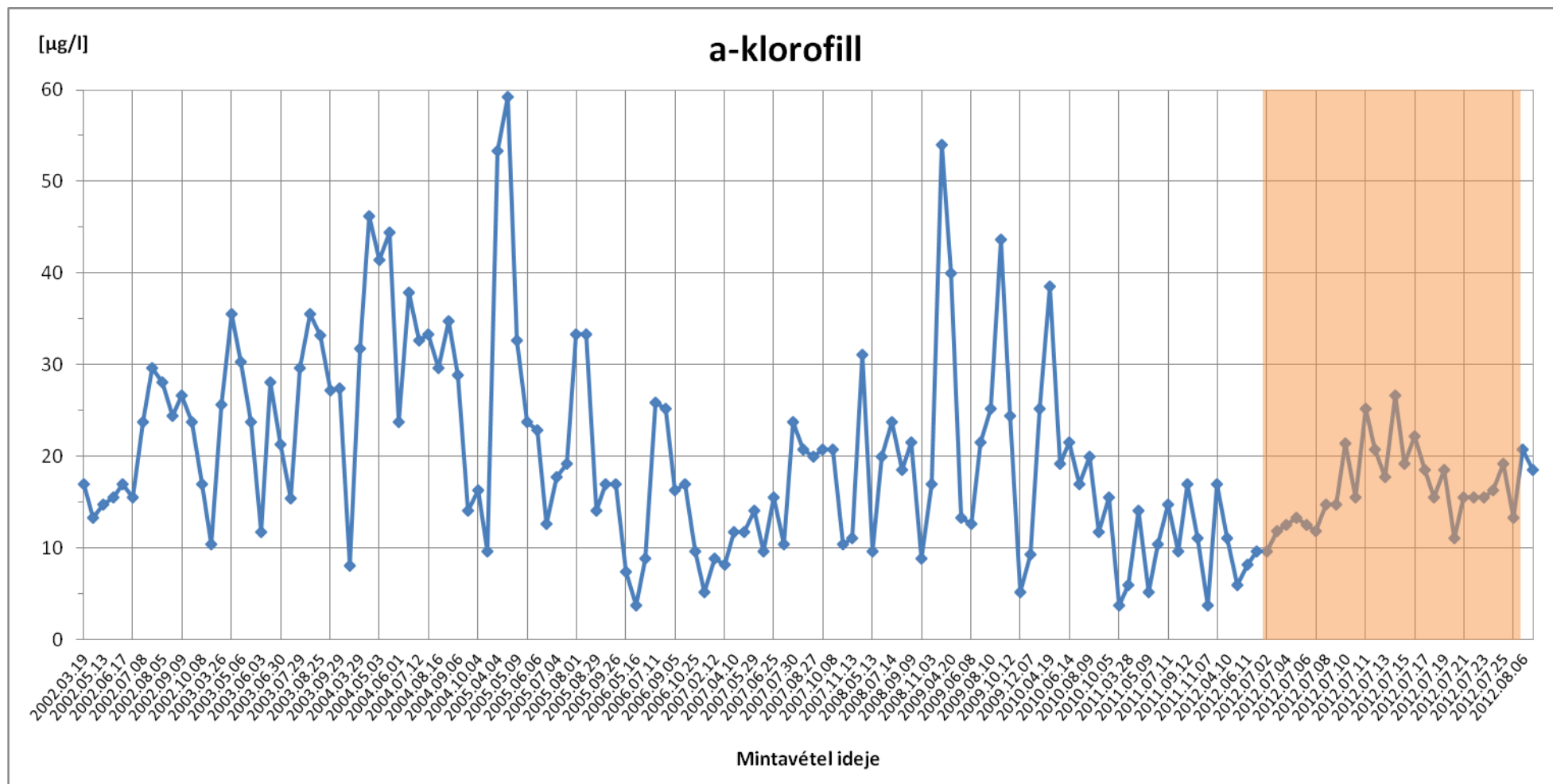
A foszforformáknál már más a helyzet (25. ábra). Mivel az összes foszfor inkább a  $\mu\text{g/l}$ -es nagyságrendben van jelen a Velencei-tóban, ezért a kis koncentráció-változást is nagyobb változásnak értékelhetjük. Emiatt az összes foszfor napi kis változásai, kilengései a napi adatok között is már jól megfigyelhetőek a havi mérések kilengéseivel összhangban. Ha a július eleji mérést a július végi méréssel gondolatban összekötjük, akkor láthatjuk, hogy mind a vonal alatt, mind a vonal fölött jócskán helyezkednek el adatok. A havi mérésekben is azt látjuk, hogy a hónapról hónapra követett változásokban számos meredek lépés található, ami azt engedi sejtetni, hogy azok alatt a hónapok alatt is voltak kisebb nagyobb kilengések. Az összes foszfor mennyiségét tehát havi mérések esetén csak nagy hibával tudjuk megadni. A mérések gyakoriságával ez a hiba kisebbé tehető.

A havi mérések tehát durva változásokat jeleznek, úgy, hogy közben nem is tudjuk, hogy milyen maximum és milyen minimum értékeket mutatott az összes foszfor mennyisége egy hónap alatt. Ezzel szemben az orto-foszfát napi mérései között nem mutatkozik számottevő különbség, akkor sem, ha a tíz éves adatsorba beillesztjük az adatainkat és akkor sem, ha csak a havi adatokat vizsgáljuk. Viszont a havi összes foszfor kilengéseket az orto-foszfát csúcsai is nyomon követik. Ez a jelenség a napi mérések esetében nem figyelhető meg.





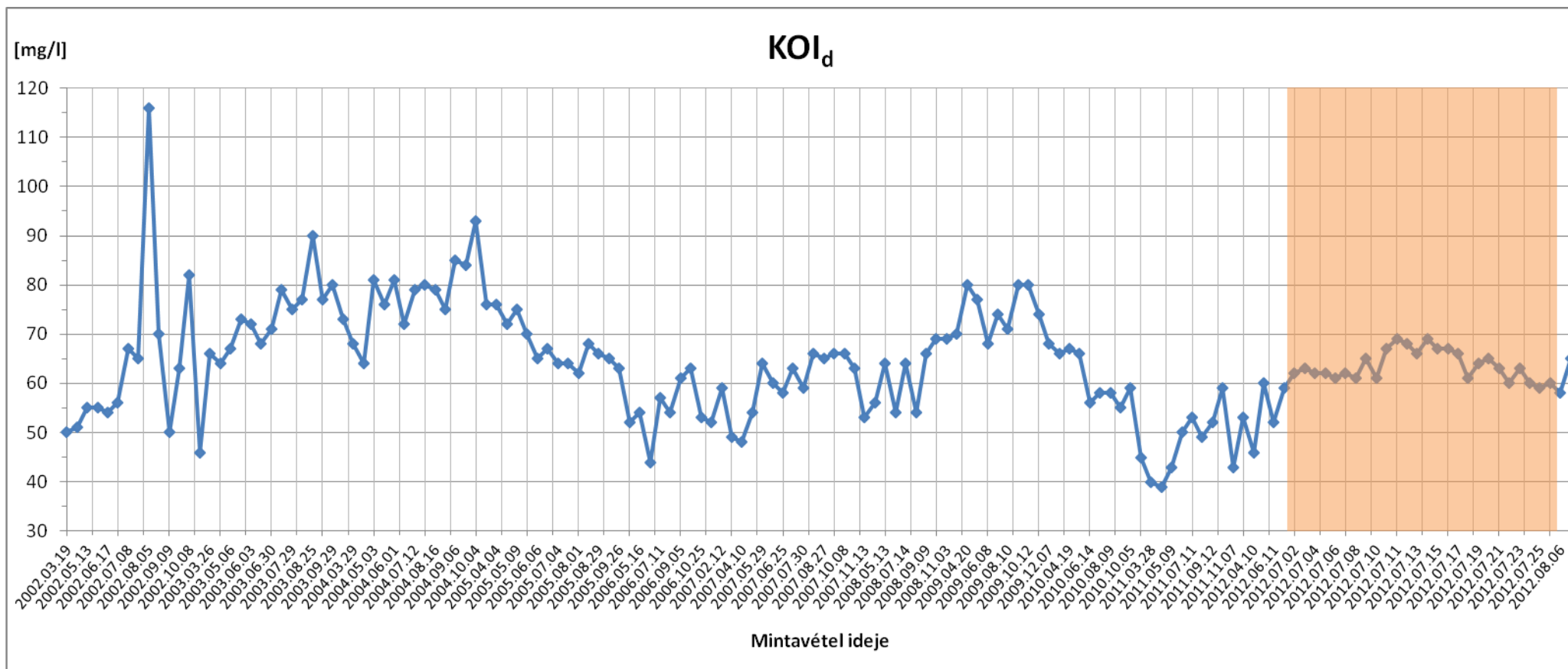
25. ábra P-formák változása 2002-2012.



26. ábra A-klorofill változása 2002-2012.

Az a-klorofill tíz éves vizsgálata során is jól látszik, hogy az algák változása elég gyakori és elég tág skálán mozog (26. ábra). Tíz év alatt az algákat jellemző a-klorofill értékének minimuma 0,0032 mg/l, míg a maximuma 0,059 mg/l volt. A maximum érték már az eutrófikus trofitási szakaszba is belelógott, míg a minimum érték oligo-mezotrofikus állapotot jelzett. Tehát az a-klorofill koncentráció szerint a tó a trofitási szintek középső részén, egy négy szintet átölelő szakaszon keresztül mozgott. Az a-klorofill értéke hónapról hónapra nagy változásokat mutat. A júliusi egy hónapon belül is egy S-görbe mentén mozgott. A hónap eleji és végi adatot összevetve, ez egy kicsi elmozdulást jelentett növekvő irányban. A havi mozgások között elég nagy lépéseket találhatunk, de nem tudjuk, hogy a két lépés között milyen irányú változások voltak, illetve, hogy az egy hónapos időszak során mi volt a maximum érték, pedig előfordulhat, hogy akár kétszerese volt annak, amit hónap végén mértek a laboratóriumban. Az algák jelenlétének nyomon követése elengedhetetlen egy tó esetében, hisz túlzott jelenlétük akár előrehaladó eutrofizációt is okozhat. Tehát az algamérések gyakoriságának előütemezése nem lenne hiábavaló gondolat, hiszen az algák mennyisége jó képet ad a tó minőségéről, állapotáról.

A  $KOI_d$  2002-2012. közötti változásait a 27. ábra szemlélteti. 2002. tájékán több kiugró értéket mértek a tavon. Ezek szennyezések és az eutrofizációs hatásaik együttes következményei lehettek. Több szerves anyag került a tóba, és termelődött meg ott, amit a  $KOI_d$  mérésével ki tudtak mutatni. Az éves időszakok trendjeiben az is jól látszik, hogy mindig szűk sávban mozgott a kémiai oxigén igény mértéke, de ez a sáv az évek során egyre lejjebb tolódott. 2008-2009. táján a szerves anyag csökkenés ellentétes irányt vett, de mostanra megint a csökkenő tendencia mutatkozik a sávok helyzetében. Ez azt mutatja, hogy a Velencei-tó gazdálkodásánál a szervesanyag csökkentése megint jó hatékonysággal működik: a tószabályzásnál használt tározók vizéből kevesebb szerves anyag távozik, a víz bevezetésénél lévő nádasok hatékony szűrő munkát végeznek, illetve más hatások is fontosak lehetnek.



27. ábra  $KOI_d$  változása 2002-2012.

A tíz éves vizsgálatok során több komponensre vizsgáltam az éves trendeket, illetve a napi mérések illeszkedését az éves változásokba. A múltban lényegesen nagyobb változásokat tapasztalhattunk, mint az egy hónap alatt, de ez nem meglepő, hisz a múlt adatai a szezonális változásokat is mutatják. Ebben az időszakban a tó életébe nem volt jelentős beavatkozás, de a tó életében az egyes évek jellemzői is okozhatnak különbségeket. Bizonyos komponenseknél a napi változások is jelentősek voltak. A fajlagos vezetőképesség vizsgálatánál azt tapasztaltam, hogy általában tavasz elejétől ősz eleje-közepéig a vezetőképesség nő. Száraz meleg az időjárás, csapadék nem tapasztalható, a vízszint csökken, és mint a napi mérések diagramjaiból is látszik a fajlagos vezetőképesség a vízszint csökkenésével nő. A jelenség fizikai oka, hogy a vízben oldott sók - amelyek pozitív ionként vezetőképességgel rendelkeznek- koncentrációja nő, ami a vezetőképesség növekedését okozza. A nitrogénformák estén a napi változások nem érzékelhetők nagy változásnak a havi adatokat összefoglaló éves trendek között. Az összes nitrogén változásai a havi mérések esetén jobban értékelhetőek. Az összes foszfor változásai mind a napi, mind a havi mérések között nagy ugrásokat mutatnak. Az összes foszfor napi kis változásai, kilengései a napi adatok között is már jól megfigyelhetőek, a tíz éves adatok között a havi mérések kilengéseivel összhangban vannak. Nagy kilengéseik miatt a gyakoribb mérések indokoltak lennének. Az a-klorofill tíz éves vizsgálatából szintén az látszik, hogy az algák változása is elég gyakori és elég tág skálán mozog. Tíz év alatt az algákat jellemző a-klorofill értékének minimuma és maximuma alapján a tó az oligo-mezotrófikus és az eutrófikus állapot között ingadozott. Az algák a legjobb indikátorai az eutrofikáció jellemzésének, így gyakoribb mérésekkel pontosabb eredményt kapnánk a trofítási szint állapotáról és az eutrofizáció mértékéről. A tíz éves adatsorok között a kémiai oxigén igényt vizsgáltam, ami alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a tó szervesanyag-eltávolítása elég hatékony. A 2002-es kiugró értékek után további kiugró értékek nem tapasztalhatóak. A  $KOI_d$  mindig egy szűk sávban mozog és ez a sáv egyre kisebb koncentráció értékeknél valósul meg, tehát a tó szervesanyag eltávolítása jó hatékonyságú.

## 5. Következtetés

A napi méréseim statisztikai vizsgálataim során azt tapasztaltam, hogy kevés komponensnek alacsony a relatív szórása. A pH a legkisebb relatív szórású jellemző. 5% relatív szórás a fajlagos vezetőképességre és a  $KOI_d$  értékére jellemző. Az összes nitrogén is 5% alatti relatív

szórással rendelkezik, de az összes nitrogén profilját alakító ásványi nitrogének relatív szórása magas, bár összegük szórása 10%-kal kisebb, mint a külön-külön vett szórásuk. Ha az összes nitrogén összetevőit is kisebb hibahatárral szeretnénk megismerni, akkor a mérések gyakoriságát növelni kell, viszont az összes nitrogén koncentrációját kevésbé gyakori mérések esetén is visszkapjuk. A foszforformák esetén éppen fordított a kép: az orto-foszfát egy hónapon belül nem mutat nagy változásokat, de az összes foszfor elég széles határok között változik. A mérések gyakoriságával csökken a hibahatár mértéke, és méréseinkkel egyre közelebb kerülünk az átlaghoz. A vizsgálatok során arra jutottam, hogy az összes nitrogén koncentrációját elég kis szórással visszkapjuk, de az összes foszfor méréseink szórása túl nagy, így a kapott eredmények nem teljesen tükrözik az átlagot. Az összes foszfor esetében vizsgáltam az autokorrelációt, ami az egy időszoron belüli, előbbi és későbbi adatok közti összefüggést vizsgálja. Az összes foszfor esetében a függvény periodikus jelleget mutatott. Négy esetben volt az autokorrelációs tényező nulla. 3, 9, 16 és 21 lépéses adatsor eltolás esetén. Azaz az ekkora távolságra lévő mérések függenek egymástól a legkevésbé. Ha adott hónap 4., 10., 17. és 22. napján vennék mintát, akkor ezek értékei lennének a legfüggetlenebbek. A havi 4 mintavétel feleakkora hibahatárral állapítaná meg az átlagot. A 2 mintavétel nem okozna elég nagy hibahatár csökkenést. Így tehát az összes foszfor esetében heti mérések javasoltak.

Saját mintavételeim idején egy, teljes komponenskörű mintavételt végzett a KDT-KTVF 2012.július 10-én. A mintavétel a Velencei-tó ugyanazon egységéről származik, mint a saját mintavételem, de a Felügyelőség délelőtti mintavételt végzett, míg én esti mintavételt végeztem. Az eredményeink összehasonlítása során azt tapasztaltam, hogy lényegében minden komponens koncentrációértéke megegyezik, kivéve az összes foszfor és az a-klorofill értékeket. Az a-klorofill egy napon belül is ciklikusan változhat, illetve a sekély víz elkeveredhet, így mérhetünk különböző értékeket. Az összes foszfor koncentrációja naponként is nagy változásokat mutatott, fél napok esetén is hasonló a helyzet. A komponensekre 95%-os konfidenciaszint mellett meghatároztam hibahatárokat. Ez alapján a július 10-i minta értékei közül csak a pH értéke esett a hibahatáron belülre. Az a-klorofill a saját mintavételemkor, míg a fajlagos vezetőképesség a Felügyelőség mintavételekor esett bele a konfidencia-intervallumba.

A tó N:P arányát is megvizsgáltam, ami azt mutatta, hogy a tóban túl sok a nitrogén a foszforhoz képest. A jelenlévő foszfor mennyiségéhez sokkal kevesebb is elegendő lenne,

mind az összes nitrogén, mind az ásványi nitrogén esetén. Ennek nagy része valószínűleg nem hozzáférhető, különben a kékalgá dominancia nem lenne jellemző. Az arány eltorzulását egyrészt a *Microcystis* nitrogénkötő tulajdonságából is fakadhat, másrészt a mezőgazdaságból származó növényi szerves anyagok nitrogéntartalma növelheti a nitrogén mennyiségét.

A napi mérések havi trendjeinek vizsgálata során a fajlagos vezetőképesség nőtt, mert a vízállás folyamatosan csökkent. Az ásványi nitrogénformák nem mutattak jelentős változásokat. Az összes nitrogén is szűk sávban mozgott, lényegében alig változott. Az összes nitrogén nagyobb hányadát a szerves nitrogén tette ki. A foszforformák trendjeiből az látszik, hogy az összes foszfor mennyisége napról-napra sokat változott, de az orto-foszfát mennyisége ezzel párhuzamosan szinte nem változott semmit: Azt hosszú távon feltehetően az üledék-víz kölcsönhatás alakítja. Az összes foszforhoz hasonlóan a lebegőanyag és az a-klorofill változása is hasonló volt. Mind a lebegőanyag, mind az a-klorofill foszfor tartalma az összes foszfor koncentrációját is növeli. A lebegőanyag és az a-klorofill változásai a szeles időszakokkal korrelálnak. Az a-klorofill a napsütéses órák számával is összhangba hozható.

Az összefüggés-vizsgálatok során azt az eredményt kaptuk, hogy a fajlagos vezetőképesség és a vízállás közti összefüggés egy lineáris kapcsolatot. Ezen két jellemző közti kapcsolat a legszorosabb. A köztük lévő lineáris egyenes jósága a legjobb. Az a-klorofill, a lebegőanyag és az összes foszfor (ÖP) közti összefüggések elég lazák. Az R értékek jelzik, hogy az összefüggés mindkét esetben laza, vagy nem szignifikáns. Valószínűleg mindkét tényező együtt jobban meghatározza az ÖP koncentrációját. Az a-klorofill, illetve a lebegőanyag koncentrációjának változásának a napi átlagos szélesség adatokkal való összefüggését is vizsgáltam. A 2-2 jellemző közti összefüggést egy összetettebb modell jobban leírná. Az a-klorofill koncentrációjának a napsugárzással való összefüggését is vizsgáltam. A diagram pontjaira illesztett egyenes a napsugárzás időtartamának növekedése irányában negatív meredekségű lett annak ellenére, hogy a napsugárzás az algák növekedésére elvileg pozitív hatással van. A diagram közelebbi szemügyre vétele során észrevehetjük, hogy csak az extrém magas 13-14 óra napfénytartamok esetén lesz alacsonyabb az algák mennyisége, alacsonyabb tartományban az egyenes pozitív meredekségű. Tehát a napsugárzás az algák növekedésére pozitív hatással van, de csak egy bizonyos napsugárzás mennyiségig.

A tíz éves vizsgálatok során több komponensre vizsgáltam az éves trendeket, illetve a napi mérések illeszkedését az éves változásokba. A múltban lényegesen nagyobb változásokat tapasztalhattunk, mint az egy hónap alatt, de ez nem meglepő, hisz a múlt adatai a szezonális

változásokat is mutatják. Ebben az időszakban a tó életébe nem volt jelentős beavatkozás, de a tó életében az egyes évek jellemzői is okozhatnak különbségeket. Bizonyos komponenseknél a napi változások is jelentősek voltak. A fajlagos vezetőképesség vizsgálatánál azt tapasztaltam, hogy általában tavasz elejétől őszi eleje-közepéig a vezetőképesség nő. Száraz meleg az időjárás, csapadék nem tapasztalható, a vízszint csökken, és mint a napi mérések diagramjaiból is látszik a fajlagos vezetőképesség a vízszint csökkenésével nő. A jelenség fizikai oka, hogy a vízben oldott sók - amelyek pozitív ionként vezetőképességgel rendelkeznek - koncentrációja nő, ami a vezetőképesség növekedését okozza. A nitrogénformák estén a napi változások nem érzékelhetők nagy változásnak a havi adatokat összefoglaló éves trendek között. Az összes nitrogén változásai a havi mérések esetén jobban értékelhetőek. Az összes foszfor változásai mind a napi, mind a havi mérések között nagy ugrásokat mutatnak. Az összes foszfor napi kis változásai, kilengései a napi adatok között is már jól megfigyelhetőek, a tíz éves adatok között a havi mérések kilengéseivel összhangban vannak. Nagy kilengéseik miatt a gyakoribb mérések indokoltak lennének. Az a-klorofill tíz éves vizsgálatából szintén az látszik, hogy az algák változása is elég gyakori és elég tág skálán mozog. Tíz év alatt az algákat jellemző a-klorofill értékének minimuma és maximuma alapján a tó az oligo-mezotrófikus és az eutrófikus állapot között ingadozott. Az algák a legjobb indikátorai az eutrofikáció jellemzésének, így gyakoribb méréssel pontosabb eredményt kapnánk a trofitási szint állapotáról és az eutrofikáció mértékéről. A tíz éves adatsorok között a kémiai oxigén igényt vizsgáltam, ami alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a tó szervesanyag-eltávolítása elég hatékony. A 2002-es kiugró értékek után további kiugró értékek nem tapasztalhatóak. A  $KOI_d$  mindig egy szűk sávban mozog és ez a sáv egyre kisebb koncentráció értékeknél valósul meg, tehát a tó szervesanyag-eltávolítása jó hatékonyságú.

## 6. Összefoglaló

A Velencei-tó hazánk második legnagyobb természetes tava. Az illetékes Felügyelőség rendszeresen végez mintavételeket a tavon. A Felügyelőség rendszeres vízminőségi vizsgálatokat végez a tavon. A mérések gyakorisága általában két hét, de előfordulnak havi mérések is. Dolgozatom célja, hogy a rendszeresen végzett vízmintavételek reprezentativitását vizsgáljam. Munkám során, nyáron, egy hónapon keresztül, minden nap azonos időpontban vettem vízmintát a Velencei-tó Hosszú-tisztásnak nevezett területéről. A vízmintát több



komponensre vizsgáltam. Célom volt, hogy a mért komponensek alakulását elemezzem és összefüggéseket keressek más tényezőkkel. Az általam vizsgált egy hónap napi adatait egy tágabb idősorba is beillesztettem, hogy jól látható legyen a komponensek múltbeli havi változása.

Saját mintavételeim statisztikai jellemzői alapján kiderült, hogy vannak olyan komponensek, amelyek esetén a havi mintavételek elegendőnek bizonyulnak, ilyen a pH, a fajlagos vezetőképesség és a  $KOI_d$ . Ezek mellett több komponens, például a nitrogénformák, az a-klorofill esetében gyakoribb mintavételre lenne szükség a havi átlagok alakulásának jellemzésére. A nitrogénformák esetében az egyes formák szórása nagy, így koncentrációértékeik nem olyan jól adják vissza az átlagot, de az összes nitrogén szórása ezzel szemben kicsi, így összes nitrogénre akár havi mérések is elegendőek. A foszfor esetében az orto-foszfát mutat kisebb változásokat, míg az összes foszfor szórása túl nagy. Az összes foszfor példáján vizsgáltam a mintavételek gyakoriságának meghatározását. Az jól látszik, hogy a mintavételek gyakoriságával a havi átlag hibahatárai egyre kisebbek. Az összes foszfor esetében az autokorrelációs függvény azt mutatja, hogy hetenkénti minták között jó a függetlenség. Megfelelően választott 4 nap-hetente 1 mérés- esetén a havi mintákhoz képest a hibahatár felére csökkenthető. A vizsgált napokat úgy kell kiválasztani, hogy a kapott eredmények egymástól függetlenek legyenek.

A napi mérések havi trendjeinek vizsgálata során a fajlagos vezetőképesség nőtt, mert a vízállás folyamatosan csökkent. Az ásványi nitrogénformák és az összes nitrogén sem mutatott jelentős változást. A foszforformák trendjeiből az látszik, hogy az összes foszfor mennyisége napról-napra sokat változott, de az orto-foszfát mennyisége ezzel párhuzamosan szinte nem változott semmit. Azt hosszú távon feltehetően az üledék-víz kölcsönhatás alakítja. Az összes foszforhoz hasonlóan a lebegőanyag és az a-klorofill változása is hasonló volt. Mind a lebegőanyag, mind az a-klorofill foszfor tartalma az összes foszfor koncentrációját is növelte. A lebegőanyag és az a-klorofill változásai a szeles időszakokkal korrelálnak. Az a-klorofill a napsütéses órák számával is összhangba hozható.

Az összefüggés-vizsgálatok során azt az eredményt kaptam, hogy a fajlagos vezetőképesség és a vízállás közti összefüggés egy jól jellemezhető, lineáris kapcsolat. Ezen két jellemző közti kapcsolat a legszorosabb. Az a-klorofill, a lebegőanyag és az összes foszfor (ÖP) közti összefüggések elég lazák. A köztük lévő kapcsolatot egy összetettebb modellel tudnánk jól

jellemezni. Az a-klorofill a napsütéses órák számával egy szűk tartományban mutat összefüggéseket, elsősorban alganövekedést mutat. A túlzott napsugárzás az algák növekedését nem pozitívan befolyásolja.

A tíz éves vizsgálatok során több komponensre vizsgáltam az éves trendeket, illetve a napi mérések illeszkedését az éves változásokba. A múltban lényegesen nagyobb változásokat tapasztalhattunk, mint az egy hónap alatt, de ez nem meglepő, hisz a múlt adatai a szezonális változásokat is mutatják. Ebben az időszakban a tó életébe nem volt jelentős beavatkozás, de a tó életében az egyes évek jellemzői is okozhatnak különbségeket. Bizonyos komponenseknél a napi változások is jelentősek voltak. Az összes nitrogén változásai a havi mérések esetén jobban értékelhetőek. Az összes foszfor változásai mind a napi, mind a havi mérések között nagy ugrásokat mutatnak. A sűrű változások miatt indokoltak lennének a gyakoribb mintavételek. Tíz év alatt az algákat jellemző a-klorofill értékének minimuma és maximuma alapján a tó az oligo-mezotrófikus és az eutrófikus állapot között ingadozott. Az algák a legjobb indikátorai az eutrofikáció jellemzésének, így gyakoribb méréssel pontosabb eredményt kapnánk a trofitási szint állapotáról és az eutrofizáció mértékéről.

A vizsgálatok azt bizonyították, hogy a havi mintavételek bizonyos, kevésbé változó komponensekre elégnak bizonyulnak, de például a tavat jellemző összes foszfor vagy az a-klorofill sűrűbb mintavételeket igényelnének ahhoz, hogy a havi átlagokat jól visszkapjuk. Ezek a jellemzők a tó trofitás szintjét is jellemzik, tehát kézben tartásuk gondolata nem szükségtelen intézkedés lenne.

## 7. Irodalomjegyzék

Ahlgren, G., (1985): Growth of *Microcystis wesenbergii* in batch and chemostat cultures. - Verh. Internat. Verein. Limnol. 22:2813-2820.

Bendefy L. (1972): A Velencei-tó kialakulása, fejlődéstörténete. - Tájékoztató az állóvizek hidrológiai feltárásáról 1970, pp. 62-64.

Hermann Bothe, Stuart J. Ferguson and William E. Newton (2007): Biology of the Nitrogen Cycle

Cserny T. (2001): A Velencei-tó negyedidőszaki üledékeinek jellemzése, archív eredmények áttekintése újabb limnogeológiai adatok alapján. – Hidrológiai Közlöny 81: 349-352.

Dulovics D., Juhász E., Kárpáti Á., Némedi L., Orbán V., Szilágyi F. (2006): Alkalmazott hidrobiológia,

Felföldy, L., (1972): A kéalgák (cyanophyta) kishatározója; vízügyi hidrobiológia 1. füzet,

Felföldy L.(1974) A biológiai vízminősítés Bp.

Gitelson dr., Abramovics, Szilágyi dr, Garbucov (1990): Felszíni vizek a-klorofill töménységének becslése távérzékeléssel Vízügyi Közlemények LXXII. évfolyam

Gorzó Gy.-Kiss G. (1985): Néhány heterocisztás cianobaktérium populációja a Balatonban, Hidrológiai Közlöny 1985/3.

Járainé Komlódy M. (1972): A Velencei-tó iszaprétegeinek pollenstatisztikai vizsgálata. – Tájékoztató az állóvizek hidrológiai feltárásáról 1970, pp. 64-67.

Kappers, F.I., (1985) Growth kinetics of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. Verh. Internat. Verein. Limnol. 22:2821-2824.

Karászi K. (1984): A Velencei-tó rekreációja. – VMGT 149., VIZDOK, Budapest, ISBN 0324-2501, pp. 145

KDT-KTVF(2004) A Velencei-tó –Vértességi kiemelt üdülőkörzet környezetállapot felmérése és feladatterv a környezetállapot javítására

KDT-VIZIG-KÖFE (2003) A Velencei-tó vízgyűjtőjén 2002. évben végzett vízgazdálkodási, környezetvédelmi tevékenységről szóló Jelentés

KDT-VIZIG (1997) A Velencei-tavi kéalga (*Microcystis*) tömegprodukciók okainak komplex vizsgálata, Kutatási jelentés

KDT-VIZIG (2012.) Adatszolgáltatás

KOMÁREK, J. , (1991) A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan; *Algol. Stud.* 64: 115-127

Heinrich, D. és Herrgt, M. (1994): *Ökológia. – SH atlasz*, Springer Verlag Budapest, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, 1994, pp. 284.

ÖKOTECH (2005): A Velencei-tó – Vértes kiemelt üdülőkörzetre vonatkozó középtávú kutatási program kidolgozása, valamint az 1980-tól készített környezetvédelmi, természetvédelmi és vízügyi kutatások szintetizáló értékelésének összeállítása, Részjelentés

Somlyódy & Banczerowski, J. (eds.) *Results of Lake Balaton Research in 1999* Hungarian Academy of Sciences, Budapest, pp. 71-79. (In Hungarian)

Szabó K. (1933): A Velencei-tó. – *Vízügyi Közl.* 1933/1. 224-236.

Szabó M. (1997): A Velencei-tó vízháztartása. - *Vízügyi Közlemények* 79: 173-190

Szilágyi F., Szabó Sz., Mándoki M.(1989): Restoration of Lake Velence, Hungary, *Symp. Biol.Hung.* 38 Akadémiai Kiadó, Bp

VKKI-KÖVIZIG (2010): A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása, Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv, 1-14. jelű, Velencei-tó vízgyűjtő

Zender és Gorham (1960): Factors influencing the growth of *Microcystis aeruginosa* Kutz, emend, *Elenkin* 645-60

## **8. Köszönetnyilvánítás**

Dolgozatom dr. Szilágyi Ferenc Tanár Úr szakmai és emberi támogatása nélkül nem jöhetett volna létre. Köszönöm a türelmet és a rengeteg segítséget, amit Tőle kaptam. A mintavételeim sikerességét és megvalósulását a Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és

Vízügyi Felügyelőségnek köszönöm. A labor dolgozóinak támogatása és segítsége a minden napos mintaelemzésekben nagy segítség volt. Balogi Zsolt szakmai támogatása és minden számomra szükséges vagy esetlegesen szükséges adatsor felkutatása dolgozatom színvonalát növelte. A Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság adatszolgáltatását is köszönöm. A mintavételeim helyszínét az Agárdi Tófelügyelőség készséges hozzájárulásának köszönhetem.

## 9. Mellékletek

Júliusi mintavételek eredményei

időpont	szám	pH	vezetőképesség	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N&NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
mértékegység			μS/cm	μg/l	mg/l	mg/l	μg/l
2012.07.01	1285	8,832	2750	10,253	0,034	0,09	95,596
2012.07.02	1310	8,85	2745	9,024	0,03	0,07	75,121
2012.07.03	1325	8,827	2780	10,096	0,033	0,08	85,932
2012.07.04	1334	8,83	2770	7,857	0,026	0,05	52,961
2012.07.05	1335	8,853	2810	8,982	0,029	0,07	78,177
2012.07.06	1336	8,763	2756	8,391	0,028	0,07	81,027
2012.07.07	1337	8,778	2748	8,296	0,027	0,06	71,291
2012.07.08	1338	8,783	2770	7,598	0,025	0,06	64,355
2012.07.09	1349	8,8	2800	7,397	0,024	0,06	66,26
2012.07.10	1363	8,876	2810	8,505	0,028	0,14	147,721
2012.07.11	1373	8,82	2820	5,984	0,02	0,05	51,651
2012.07.12	1375	8,91	2815	7,993	0,026	0,07	78,112
2012.07.13	1376	8,888	2860	4,963	0,016	0,04	47,342
2012.07.14	1377	8,876	2850	5,259	0,017	0,04	44,331
2012.07.15	1378	8,886	2845	5,404	0,018	0,03	25,98
2012.07.16	1396	8,867	2892	4,473	0,015	0,08	22,008
2012.07.17	1403	8,861	2857	3,082	0,01	<0,025	10,991
2012.07.18	1409	8,917	2845	2,982	<0,010	<0,025	7,281
2012.07.19	1417	8,589	2920	2,758	<0,010	<0,025	8,691
2012.07.20	1418	8,781	2915	2,847	<0,010	<0,025	6,922
2012.07.21	1419	8,906	2970	3,81	0,012	<0,025	18,315
2012.07.22	1420	8,916	2930	1,89	<0,010	<0,025	6,864
2012.07.23	1424	8,868	3020	4,101	0,013	<0,025	27,35
2012.07.24	1430	8,692	3020	2,77	<0,010	<0,025	5,818
2012.07.25	1435	8,691	3020	2,173	<0,010	<0,025	7,985
2012.07.26	1444	8,17	3000	1,723	<0,010	<0,025	4,922

időpont	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ÖN	PO <sub>4</sub> -P	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ÖP	a- klorofill
mértékegység	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
2012.07.01	0,4	0,149	0,192	1,692	8,1606	25,0246	59,559	9,62
2012.07.02	0,3	0,196	0,252	1,539	9,0735	27,8238	52,712	9,62
2012.07.03	0,3	0,102	0,131	1,724	12,4482	38,1725	60,413	11,84
2012.07.04	0,2	0,167	0,215	1,693	9,3721	28,7396	52,029	12,58
2012.07.05	0,3	0,107	0,138	1,719	9,7738	29,9713	41,531	13,32
2012.07.06	0,3	0,15	0,193	1,593	12,1141	37,1477	35,303	12,58
2012.07.07	0,3	0,319	0,411	1,593	11,5508	35,4205	38,468	11,84
2012.07.08	0,3	0,336	0,432	1,54	7,87	24,1333	26,878	14,8
2012.07.09	0,3	0,228	0,294	1,444	12,1884	37,3757	42,31	14,8
2012.07.10	0,6	0,212	0,273	1,72	9,1774	28,1424	43,274	15,54
2012.07.11	0,2	0,277	0,357	1,712	4,5072	13,8214	65,178	25,16
2012.07.12	0,3	0,116	0,149	1,672	5,9595	18,2747	37,77	20,72
2012.07.13	0,2	0,055	0,071	1,655	7,659	23,4865	71,056	17,76
2012.07.14	0,2	0,074	0,095	1,724	8,2196	25,2055	116,524	26,64
2012.07.15	0,1	0,084	0,108	1,711	7,4066	22,7123	141,76	19,24
2012.07.16	0,3	0,119	0,153	1,755	7,5326	23,0986	93,914	22,2
2012.07.17	<0,1	0,161	0,207	1,554	7,5761	23,2321	67,344	18,5
2012.07.18	<0,1	0,121	0,156	1,626	5,9431	18,2246	63,404	15,54
2012.07.19	<0,1	0,123	0,158	1,704	6,0968	18,6959	65,142	18,5
2012.07.20	<0,1	0,121	0,155	1,731	5,4307	16,6532	22,898	11,1
2012.07.21	<0,1	0,152	0,196	1,609	5,1183	15,6953	35,654	15,54
2012.07.22	0,1	0,135	0,175	1,626	5,1348	15,7457	36,806	15,54
2012.07.23	0,1	0,11	0,141	1,556	4,1545	12,7398	64,526	15,54
2012.07.24	<0,1	0,132	0,171	1,608	2,9636	9,088	79,602	16,28
2012.07.25	<0,1	0,192	0,248	1,662	0,9512	2,9163	106,134	19,24
2012.07.26	<0,1	0,089	0,115	1,629	3,751	11,5024	56,042	13,32

időpont	lebegőanyag	KOI	kl-a/kl-b	PER
mértékegység	mg/l	mg/l		"480/666"
2012.07.01	22	59	5,96	1,38
2012.07.02	23	62	8,17	1,44
2012.07.03	21	63	8,17	1,38
2012.07.04	17	62	6,47	1,49
2012.07.05	12	62	6,54	1,4
2012.07.06	21	61	5,48	1,36
2012.07.07	26	62	6,47	1,44
2012.07.08	23	61	6,75	1,37
2012.07.09	21	65	6,79	1,36
2012.07.10	22	67	4,44	1,37
2012.07.11	38	69	12,11	1,27
2012.07.12	29	68	11,42	1,18
2012.07.13	25	66	15,81	1,4
2012.07.14	55	69	14,28	1,39
2012.07.15	29	67	15,81	1,42
2012.07.16	41	67	13,37	1,35
2012.07.17	21	66	40,3	1,43
2012.07.18	20	61	18,97	1,35
2012.07.19	28	64	15,81	1,48
2012.07.20	21	65	17,12	1,58
2012.07.21	32	63	13,07	1,39
2012.07.22	28	60	13,37	1,39
2012.07.23	23	63	13,7	1,33
2012.07.24	14	60	10,2	1,36
2012.07.25	25	59	16,32	1,21
2012.07.26	6	60	-33,25	1,27