

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer hosszútávú adatsorainak elemzése

Tudományos Diákköri Dolgozat

Hatvani István Gábor

ELTE TTK Környezettudomány szak, IV. évf.

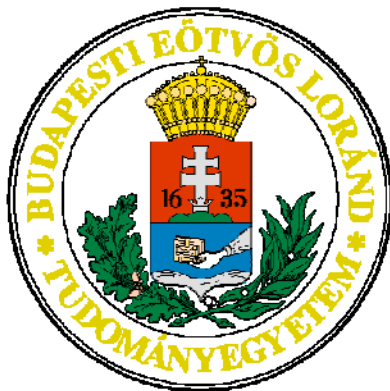
Témavezető: Kovács József, adjunktus

(ELTE TTK, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék)

Konzulens: Korponai János, főiskolai docens

(NYUDUKÖVIZIG, Kis-Balaton Üzemmnökség, Keszthely

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron)



Eötvös Lóránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Budapest, 2008

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék.....	2
1. Bevezetés.....	3
2. Limnológiai elméleti háttér.....	4
2.1. Tavak.....	4
2.2. Eutrofizáció.....	4
3. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer létrehozásának okai, megvalósítása és szerepe a Balaton vízminőségromlásának megakadályozásában.....	5
4. Az adatfeldolgozás matematikai alapja.....	6
4.1. Vizsgált adathalmaz ábrázolása négy dimenzióban.....	6
4.2. Klaszteranalízis.....	6
4.3. Wilk-féle lambda tesztstatisztika.....	11
4.4. Autokorreláció függvény.....	12
4.5. Box-and-whiskers plot.....	13
4.6. Wavelet spektrumfelbontás.....	13
4.7. Alkalmazott programok.....	15
5. Felhasznált adatok.....	16
5.1. Mintavételi helyek, vizsgált paraméterek és ezek szűrésének alapja és eredménye.....	16
6. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer mintavételi pontjai csoportosulásának vizsgálata többváltozós adatelemző módszerekkel.....	17
6.1. Célkitűzés.....	17
6.2. Csoportok kialakítása.....	17
6.3. Eredmények, következtetések.....	18
6.3.1. Mintavételi pontok csoportosulásai.....	18
6.3.2. Csoportok kialakulásáért felelős vízkémiai paraméterek csoportosítása.....	19
7. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer vízminőségi idősorainak vizsgálata három kardinális mintavételi pontra.....	20
7.1. Elsődleges vízminőségi paraméterek éves statisztikáinak vizsgálata.....	21
7.1.1. Elsődleges paraméterek éves statisztikai és értelmezésük.....	21
7.2. Elsődleges vízminőségi paraméterek havonkénti statisztikáinak vizsgálata és értelmezése.....	24
7.2.1. Célkitűzés, problémafelvetés.....	24
7.2.2. Havonkénti statisztikák vizsgálata és értelmezése.....	25
8. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer vízminőségi idősorainak emlékezet- és periodicitás vizsgálata három fő mintavételi pontra.....	28
8.1. Periodicitásvizsgálat.....	28
8.1.1. Wavelet spektrumfelbontással kapott eredmények bemutatása.....	28
8.1.2. Következtetések.....	32
8.2. Emlékezetvizsgálat autokorreláció függvénnyel.....	32
9. Összefoglalás, következtetések.....	35
10. Köszönetnyilvánítás.....	37
11. Irodalomjegyzék.....	38
12. Mellékletek.....	40
I. Melléklet.....	40
II. Melléklet.....	42

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a felszíni vizeink minősége fokozottan romlott. Ez elsősorban az antropogén tevékenységeknek tudható be. Az emberi népesség növekedésével rohamosan megnőtt a vízhasználat, így fokozott figyelmet kell szentelnünk vízkészleteink megőrzésének. A vízminőségromlás szempontjából az édesvizű sekély tavak a legveszélyeztetettebbek. A tavak vízminőségromlásának elsődleges forrása a szervesanyagok, amelyek eutrofizációt okoznak a víztestekben. Ez a folyamat lehet természetes és antropogén eredetű is. A természeteshez szemben az antropogén eredetű eutrofizációt kiváltó tényezők (bemosódó műtrágya, vízszennyezések, stb.) hirtelen és nagy volumennel hatnak az ökológiai rendszerekre, túlterhelik azokat, így haváriák következhetnek be.

Közép-Európa legnagyobb sekély vizű tava a Balaton, amelyben az ember környezet-átalakító tevékenysége nagy mértékű eutrofizációt okozott. A Balaton egyedi fekvése, természeti értékei és felbecsülhetetlen élővilága egész Európában egyedi, így elsődleges feladatunk e nemzeti kincsünk megőrzése. Erre a feladatra hivatott a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR), amely elsősorban a Zala vizében szállított szervesanyagokat szűri meg.

Jelen dolgozat célja, hogy az 1984-től rendelkezésre álló kémiai, biológiai és fizikai paraméterek adatelemző módszerekkel történő vizsgálatával mutassa be a Kis-Balatonban zajló, illetve már lezajlott folyamatokat. Tudomásom szerint a KBVR-ről nem készült vizsgálat, ami ilyen hosszú időtartamot ölelne fel. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer a mai napig befejezetlen, így nagyon fontos, hogy a szakmának minnél több információ és vizsgálati eredmény álljon rendelkezésére, amikor megtervezi és elkezdheti a II. ütem befejezését. Szerény eszközeivel ehhez kíván hozzájárulni ez a dolgozat.

2. Limnológiai elméleti háttér

2.1. Tavak

Tavak a szárazföld mélyedéseiben elhelyezkedő, minden oldalról zárt, többé-kevésbé álló víztömegek, melyek a tengerrel nincsenek közvetlen összeköttetésben. Nyílt vízfelület dominál bennük. Szegélynövényzet és hínárok csak a partmenti sávban találhatók. A tavakat a légköri vízciklus zsákutcájának is tekinthetjük, mivel a légkörből lejutó víz megreked bennük, nem kerül egyből a vízfolyásokba. A limnológia (limnosz görögül tavat jelent) az édesvizekkel (összes oldott sótartalom nem több mint 0,5‰) foglalkozó tudományág, melynek kialakulása Francois Alphonse Forel nevéhez fűződik. Az egybefüggő vízfelület mérete és a növényzet aránya alapján elkülöníthetünk: tavat, fertőt, mocsarat, átmeneti lápot, lápot és időszakos vizeket, mint például pocsolyákat, tócsákat, és telmákat (fák mélyedéseiben felgyülemelő kis vizeket).

2.2. Eutrofizáció

Az eutrofizálódás során a vizek szervesanyagban, elsősorban foszforban és nitrogénvegyületekben gazdagodnak. E vegyületek hatására megnövekszik a víz trofitása (algatermő képessége), és vízvirágzás következhet be. Ez a planktonikus eutrofizálódás. Ha az üledéket az eutrofizáció hatására vastag algaréteg borítja, akkor bentonikus eutrofizálódásról beszélünk. Az üledéken képződött algaréteg néha a felszínre kerülhet, és ott csomókat alkothat.

Legyen szó bentonikus vagy planktonikus eutrofizációról, a végeredmény ugyanaz: a víz oxigénben szegényebb lesz, így halpusztulás, korrózió és toxikus anyagok felszabadulása megy végbe (Vollenweider, 1989). Ki kell hangsúlyozni, hogy nem az eutrofizálódás jelent veszélyt vizeinkre nézve, hanem az általa kiváltott másodlagos folyamatok (Padisák, 2005). Manapság az eutrofizáció elsődleges kiváltója az ember. A fokozódó műtrágyázással és kommunális szennyvízzel egyre több nitrogén- és foszforvegyület juttatunk a vizekbe, így növeljük a vizekben végbemenő eutrofizáció fokát. A Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) 1982-ben adta ki a mai napig leginkább elterjedt, trofitási indexet tartalmazó skálát. A skála az eutrofizáció foka szerint megkülönböztet ultra-oligotróf, oligotróf, mezotróf, eutróf és hipertróf tavakat.

3. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer létrehozásának okai, megvalósítása és szerepe a Balaton vízminőségromlásának megakadályozásában

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) gondolata a XX. század második felében született meg, amikor a Balaton vízminőségromlása kritikus mértéket öltött. Első tanulmánytervét 1976-ban dolgozták ki (Lotz, 1986).

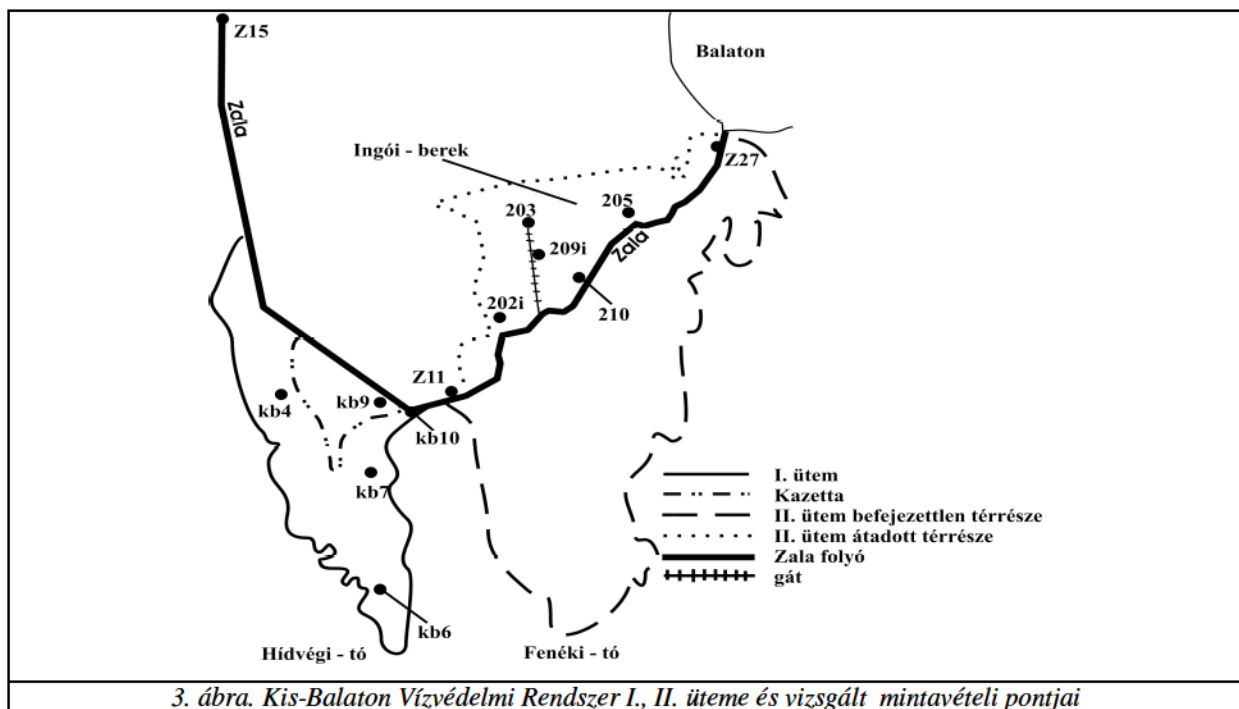
1869-ben a Déli Vasút Társaság megépíti a Budapest-Fiume vasútvonalat, melynek védelme érdekében lecsökkentették a Balaton vízszintjét 104,3 mBf¹-re (Szabó, 1999), hogy a tó 3-4 méteres vízjátéka ne veszélyeztesse az újonnan épült vasúti töltést. A mesterséges vízszintszabályozás hatására a Balaton térfogata csaknem a felére csökkent, így a környező mocsarak kiszáradtak éppen akkor, amikor a fokozódó urbanizáció, turizmus, ipari beruházások és mezőgazdasági termelés rohamos fejlődésnek indult, és ezzel még inkább veszélyeztették a Balatont. Ezen folyamatok hatására már a századfordulón megfigyelték a Balaton bentonikus eutrofizálódását (Borbás 1891, 1900). A vízszintcsökkentés következményeként végbemenő kiszáradást az akkoriban még természetes képződményként jelen lévő mocsaras Kis-Balaton sem kerülhette el a tó közvetlen környezetében lévő többi mocsárral együtt (Lotz, 1986, 1988). A Kis-Balaton kiszáradásával megszűnt az egyetlen forrás, ami megszűrte a Zala vizét, mielőtt az befolyt volna a Balatonba. A Balaton tápanyagterhelésének 35-40%-át és vízutánpótlásának 45%-át a Zala adja, továbbá évi 300t foszfort, 3000t nitrogént és 30.000t lebegőanyagot szállít a tóba (Lotz, 1988), ami jelentős terhelést jelent. Ezt a többletterhelést hivatott megszüntetni a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer.

A probléma felismerése után több lehetséges tervet alakítottak ki a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerre. Egy dologban mindegyik koncepció megegyezett: a Zala-völgy vízjárását vissza kell állítani az 1860-as évek előtti állapotra, hogy ismét el tudja látni az ott kialakított mesterséges tórendszer a hajdani Kis-Balaton szerepét. Szűrje meg a Zala által szállított szerves növényi tápanyagokat, az eutrofizációs folyamatokat a Keszthelyi öböl elé helyezze, növelje meg ott a víz tartózkodási idejét, és így akadályozza meg a Balaton további vízminőségromlását.

A végleges koncepció szerint két ütemben akarták megvalósítani (**3. ábra**) a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszert. Az első ütem, a Hídvégi tó építése 1981-ben kezdődött el és az öt lépcsős elárasztás után 1985 nyarán fejeződött be. A második ütemet, a Fenéki tavat az I-es ütem átadása után kezdték el építeni, de csak egy 16 km²-es területet tudtak átadni

¹ Méter Balti-tenger szintje felett

1992-ben, ez az Ingói-berek. A II. ütem a mai napig befejezetlen, és továbbra is vita tárgya, hogy hogyan alakítsák ki: nyílt vízterű, vagy makrofita vegetációval dúsan borított legyen.

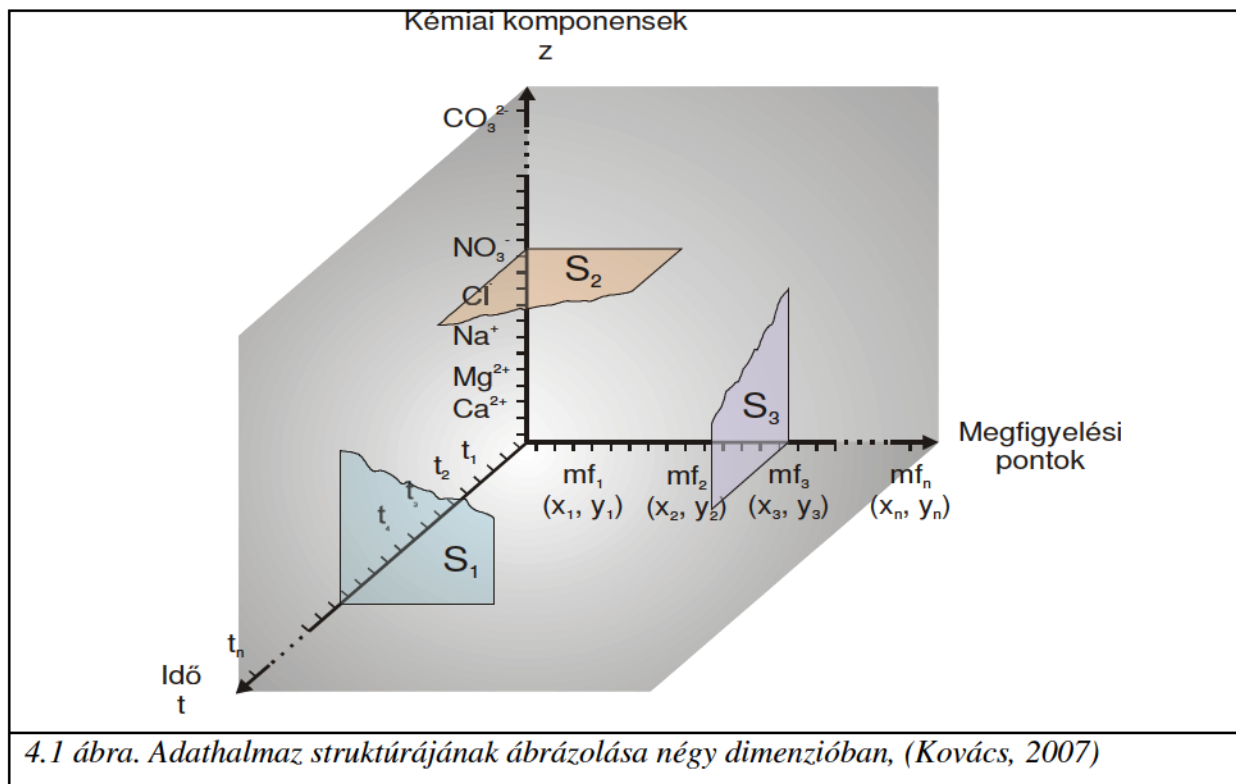


4. Az adatfeldolgozás matematikai alapja

4.1. Vizsgált adathalmaz ábrázolása négy dimenzióban

A rendelkezésre álló és vizsgált adathalmazt egy négydimenziós térben (**4.1. ábra**) kell elképzelni, ahol a tengelyeket az idő, a kémiai, fizikai és biológiai komponensek és a megfigyelési pontok adják. Utóbbi egy 'x' és egy 'y' koordináta, vagyis két dimenzió határozza meg (Kovács, 2007; Kovács et al, 2008). Annak függvényében, hogy melyik tengelyt metszem el egy arra merőleges síkkal, más-más vizsgálati módszert alkalmazhattam. A tengelyeket metsző síkokat nevezzük el S1, S2 és S3 síknak. S1 síkban többváltozós adatelemző módszerek alkalmazására van lehetőség. Én a mintavételi pontok hasonlóságát klaszteranalízissel vizsgáltam, továbbá alkalmaztam diszkriminanciaanalízist is, de más cél esetén használhattam volna egyéb többváltozós adatelemző módszereket is. S2 sík esetén az adott paraméter idősorát kaptam meg mintavételi helyenként. Itt nyilvánvalóan idősoros vizsgálatok elvégzése van lehetőség, ezek közül említhetőek a trend, periódus és zaj elemzésére vonatkozó módszerek. Sajnos az adatok nem tették lehetővé, hogy akár egy-egy paraméterre is dinamikus faktoranalízist végezhessenek. Végül S3 sík esetében egy kiválasztott mintavételi

helyen a paraméterek idősorai elemezhetőek idősoros vizsgálatokkal. Ezek közül részletesen vizsgáltam a paraméterekben rejlő periodikus elemeket és azok viselkedését, illetve becültem a paraméterek autókorrreláció függvényeit. Kutatómunkámat S1 és S3 síkban végeztem.



4.2. Klaszteranalízis

A fejezetet Dévényi D. és Gulyás O. (1988) munkája alapján készítettem.

A matematikai statisztika módszereivel lehetőség nyílik a bonyolult, nagyon sok változóval leírt rendszerek áttekintésére, így a mérési adatok tömegében rejlő összefüggések feltárására, az adatok rendezésére és csoportosítására. Ilyen statisztikai eljárás a klaszteranalízis is, amit a mintavételi pontok hasonlóságának meghatározására használtam. A talajvízszintekre történő alkalmazását Yakowitz mutatta be először 1976-ban a Vízgazdálkodási Intézet és az Arizonai Egyetem közös kutatási programja keretében. Hazánkban felszínalatti vizek vízszint- (Kovács, 2007), vízkémiai- (Kovács et al., 1997, 1998) és felszíni vizek paramétereinek idősoraira (Kovács, 2005; Kovács et al., 2008; Barcza et al. /publikációra benyújtva, 2008/) használták nagy hatékonysággal.

A klaszterezés felfogható egy kódolási műveletként, amely során a sok jellemzővel leírt bonyolult objektum egy számmal, csoportjának kódjával (klaszterének számával) jellemezhető.

Ez a kód a csoportba tartozó objektumok általános és közös tulajdonságait tükrözi, azaz az egy csoportba tartozók hasonlóak. Ezeket a csoportokat *klasztereknek* nevezzük.

A továbbiakban az objektumok összességét X -szel, az egyes osztályozandó objektumokat X_i -vel jelöljük, azaz $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, ahol n az objektumok száma. Feltételezzük, hogy az egyes objektumok N -dimenziós vektorok, $X_i \in \mathbf{R}^N$, $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}\}$, vagyis az objektumokat tulajdonságaik, jellegük valamilyen számszerűsíthető értékeinek sorozatával definiáljuk. X_i gyakran egy valószínűségi vektorváltozó mintájának i -edik eleme (vagy annak is felfogható). Azoknak az osztályoknak a számát, amelyekbe az $\{X_i\}$ objektumokat csoportosítani kívánjuk, M -mel jelöljük. Mindegyik C_i klaszter az objektumok egy részhalmazát tartalmazza:

$$C_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{i|C_i|}\}.$$

Itt és a továbbiakban $|C_i|$ jelöli az i -edik klaszterben lévő objektumok számát. Azt, hogy egy X_j objektum i -edik klaszterbe tartozik, $X_j \in C_i$ -vel jelöljük. Az osztályok (klaszterek) az X -be tartozó valamennyi objektumot tartalmazzák, azaz valamely objektum egy és csakis egy klaszterbe tartozhat. Vagyis $\{C_1, C_2, \dots, C_M\}$ klaszterek rendszere az X objektumösszesség egy felbontása;

$$C_i \cap C_j = \emptyset \text{ és } C_i C_j = 0, \text{ ha } i \neq j.$$

Rögtön észrevehető, hogy egy X objektumrendszerhez általában számtalan klasztercsoportot lehet rendelni. A hasonló objektumok egy klaszterbe tartoznak, a különböző tulajdonságúak pedig nem tartoznak ugyanabba a klaszterbe. A hasonlóság mérésére a metrikát alkalmazzuk. A ρ metrika (távolság) két objektumhoz (N -dimenziós vektorhoz) egy nemnegatív számot rendel, azaz

$$\rho: \mathbf{R}^N \times \mathbf{R}^N \rightarrow \mathbf{R}^+$$

úgy, hogy $\rho(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ szimmetrikus, nemnegatív függvény, és igaz rá a háromszögegyenlőtlenség.

Ha ρ kicsi, akkor azt mondjuk, hogy a két objektum hasonló, amennyiben zérus, akkor azonos is. Ha ρ nagy, akkor az tulajdonságaik eltérésére mutat, és az objektumok nem

hasonlók. A hasonlósági mérőszám (metrika) helyes megválasztása, a csoportosítás kulcskérdése, elsősorban attól függ, hogy milyen szempontok szerint csoportosítunk. Megválasztása nagy jártasságot és a klaszterezés befejezése után az eredmény gondos verifikálását igényli. A metrika kiválasztása a gyakorlatban úgy történik, hogy távolságregációk sokaságából választanak ki egyet, és azt – ha lehet – paraméterek beállításával tovább szabályozzák. Néhány, a klaszteranalízisben gyakrabban használt távolság az alábbiak szerint adható meg.

Legyen $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ és $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ két \mathbf{R}^N -beli vektor.

$$1. \rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2},$$

(Ez a hagyományos euklideszi metrika, kutatásom során is ezt használtam);

$$2. \rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \left[\sum_{i=1}^N |x_i - y_i|^L \right]^{\frac{1}{L}},$$

(ez a Minowsski-metrika, és $L=2$ esetén az euklideszi távolság);

$$3. \rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^N |x_i - y_i|$$

($L=1$ -re ez a Minowski-metrika);

$$4. \rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\mathbf{x} - \mathbf{y}}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{x} - \mathbf{y}$$

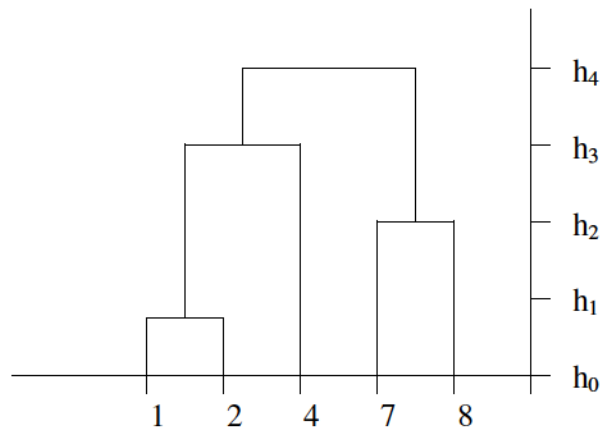
$$5. \rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \max \{ |x_i - y_i| \mid i = 1, 2, \dots, N \}.$$

Az osztályozandó objektumok \mathbf{R}^N -beli pontok. E pontok hasonlóságát (közelségét) a választott metrika határozza meg.

Munkám során a klaszterezés módszerei közül az úgynevezett hierarchikus osztályozást alkalmaztam, ami kezdetben minden elemet külön osztálynak tekint, majd az osztályok összevonásával lépésről lépésre újabb osztályozási szinteket alakít ki mindaddig, amíg az összes elem egyetlen osztályba nem kerül.

Az osztályozási algoritmus eredménye olyan fa-struktúrával jelenik meg, ahol a fa csomópontjaihoz $h \in [0, \max d(A, B)]$ értékek tartoznak.

Az elmondottakat egy egyszerű példán keresztül mutatom be, ahol az egész számok objektumokat reprezentálnak. Az S -nek egy adott partíciója a fa-struktúra egy h szintjéhez tartozik, a sorozat első eleme az izolált pontok halmaza, az utolsó pedig az összes objektumból álló halmaz. Az ilyen típusú fa-struktúrát dendrogramnak nevezzük (4.2. ábra).



4.2. ábra. Dendrogram

A különböző klasszifikáló módszerek minden esetben valamilyen osztályozást létesítenek az objektumok összességében. A kapott osztályozást többféle szempont szerint minősíthetjük.

1. Ahhoz, hogy két osztályozás összehasonlítható legyen, szükséges (de nem elégséges) feltétel, hogy az osztályok megfeleltethetők legyenek egymásnak, abban az értelemben, hogy a megfelelő osztályokba ugyanannyi objektum tartozzon.
2. A klasszifikációs módszerektől megköveteljük, hogy az eredmény független legyen a kiinduló osztályozástól. Egy további gyakori követelmény, hogy a módszer a lineáris transzformációkkal szemben invariáns legyen, azaz ha az x_1, \dots, x_n pontok helyett az ax_1+b, \dots, ax_n+b pontokra alkalmazzuk az eljárást, az eredmény ne változzon.

A hierarchikus csoportosító módszerek közül Ward csoportosító eljárását alkalmaztam, aki abból az információvesztésből indult ki, amely a megfigyelések csoportokba történő összevonásából ered. Ezt az információvesztéséget úgy definiálta, mint a megfigyelések csoportátlagoktól való eltérési négyzetének összegét.

Jelöljük T -vel a teljes mintaeltérés négyzetösszegét. Érvényes a következő felbontás:

$$T = B + K$$

$$\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 + \sum_{i=1}^g n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2, \text{ ahol}$$

B a csoporton belüli eltérések négyzetösszege,

K a csoportok közötti eltérések négyzetösszege,

g a csoportok száma,

n_i az i -edik csoport elemszáma,

x_{ij} az i -edik csoportba tartozó j -edik megfigyelés,

x_i az i -edik csoport átlaga,

x a teljes minta átlaga.

Adott mintánál a T egyértelműen meghatározott. A B és K a csoportosítástól függően változik. A cél olyan csoportosítás létrehozása, ahol B minimális.

Az algoritmus a következő lépésekre bontható:

- n számú csoporttal kezdjük, akkor minden csoport egyelemű, így $B = 0$;
- azt a két csoportot vonjuk össze, amely esetén B minimálisan növekszik;
- a második lépést mindaddig folytatjuk, amíg egyetlen csoportot nem kapunk.

A Ward-technika fogyatékosága, hogy nem adja minden esetben a B minimális értékét. Így előfordulhat, hogy a háromcsoportos felbontás minimális értéket adó változata a következő lépésben, két csoport esetén lesz optimális.

A klaszteranalízis által meghatározott csoportok létezéséről meg kell győződni. Hipotézisvizsgálatként diszkriminanciaanalízist használtam.

4.3. Wilk-féle lambda statisztika

Arra, hogy megállapíthassuk, hogy a klaszterezés eredményeként kapott csoportok alakulását mely változók befolyásolták a leginkább, a Wilks' λ hányados meghatározása a legalkalmasabb eszköz. Ezt a statisztikát a csoportátlagok azonosságának tesztelésére alkalmazzák. A λ számított értéke a csoportokon belüli és a teljes eltérések négyzetösszegeinek hányadosa:

$$\text{Wilks' } \lambda = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2}$$

Ha kapott λ érték egyenlő 1-el ($\lambda=1$) akkor a csoportok átlagai nem különböznek, tehát a vizsgált paraméter nem befolyásolta a csoportok alakulását. Ha a kapott λ érték egyenlő 0-val ($\lambda=0$) akkor a paraméter maximálisan befolyásolta a csoportok alakulását. Összegezve, a vizsgált paraméter λ értéke minél inkább egyhez közelebb az annál kevésbé befolyásolja a paraméter a csoportok alakulását, ámde minél inkább 0-hoz közelebb, annál nagyobb mértékben befolyásolja a csoportok alakulását.

4.4. Autokorreláció függvény

A környezetudományokban és más tudományágakban is gyakran találkozunk olyan jelenségekkel, folyamatokkal, amelyek megfelelő pontossággal valószínűségi változók végtelen sokaságával modellezhetők. Ezen folyamatokat nevezzük sztochasztikus folyamatoknak. Ilyen folyamat a Kis-Balaton vizének fizikai, kémiai és biológiai komponenseinek változásai is. Sztochasztikus folyamatok időbeli vizsgálatának, analízisének legfontosabb segédeszközei a kovariancia- és korrelációfüggvények. Az említett két függvény a kovariancia és a korreláció fogalmának közvetlen általánosítása. Az $\xi(s)$ és $\xi(t)$ valószínűségi változók kovarianciáját kovarianciafüggvénynek, korrelációjukat pedig korrelációfüggvénynek nevezzük.

A kovarianciafüggvény:

$$\text{cov}(s, t) = \text{cov}[\xi(s), \xi(t)] = M[(\xi(s) - m(s))(\xi(t) - m(t))] = M(\xi(s)\xi(t)) - m(s)m(t)$$

A korrelációfüggvény:

$$\text{cor}(s, t) = \frac{\text{cov}(s, t)}{[d(s)d(t)]}$$

ahol az M , illetve m a várható érték, a d pedig a szórás.

A kovariancia- és korrelációfüggvények a definíciójukból következően szimmetrikusak, azaz:

$$\text{cov}(s, t) = \text{cov}(t, s) \quad \text{és} \quad \text{cor}(s, t) = \text{cor}(t, s).$$

Ha speciálisan $t = s$, akkor definíció szerint:

$$\text{cov}(s, s) = \text{var}[\xi(s)] = d^2(s), \text{ illetve}$$

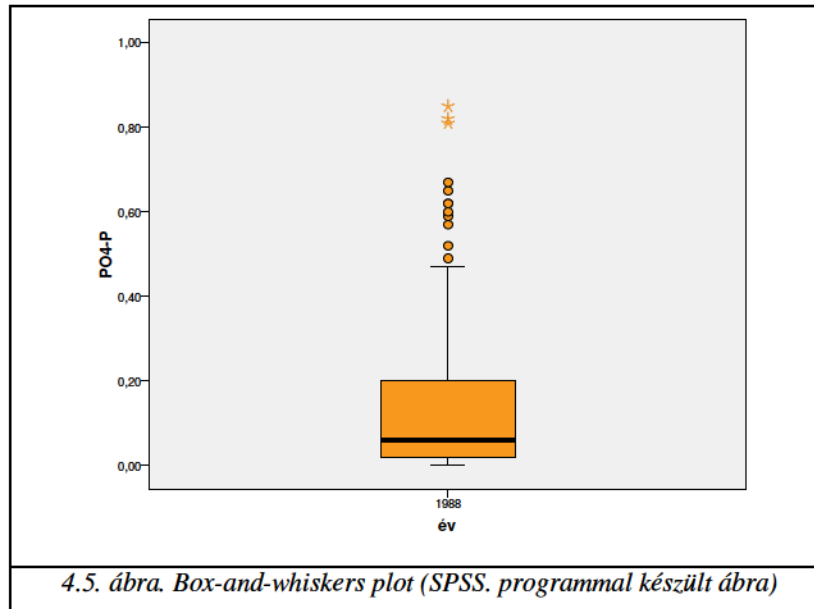
$$\text{cor}(s, s) = 1.$$

Autokovariancia- és autokorrelációfüggvényt akkor kapunk, ha ugyanazon sztochasztikus folyamat t illetve s paramétereirez tartozó valószínűségi változók kovarianciájáról, korrelációjáról van szó (Dévényi-Gulyás, 1988):

$$\text{cov}[\xi(s), \xi(t)] = \text{cov}(s, t) = \text{cov}_{\xi\xi}(s, t) \quad \text{és} \quad \text{cor}[\xi(s), \xi(t)] = \text{cor}(s, t) = \text{cor}_{\xi\xi}(s, t)$$

4.5. Box-and-whiskers plot

A Box-and-whiskers plot az adatok statisztikai megjelenítésének egyik eszköze. Segítségével valószínűségi változók több paraméterét ábrázolhatjuk egy ábrán, ezzel megkönnyítve az értelmezést (4.5. ábra)



A box-ok (dobozok) felső és alsó határa között az interkvartilis terjedelem található (felső és alsó kvartilis különbsége). A doboz felső határa a felső, alsó határa pedig az alsó kvartilist jelöli. A fekete vízszintes vonal a dobozon belül a medián¹. A doboz tetejéből és aljából kiálló függőleges vonal végpontjai a 1,5-szeres interkvartilis terjedelmet adják meg. Ha a kapott érték a 1,5-3-szoros interkvartilis terjedelmen belül van, akkor kiugró értéknek tekintjük (jele: °), míg ha a 3-szoros interkvartilis terjedelmen is kívül esik, akkor extrém értéknek vesszük (jele: *) (Sajtos és Mitev 2007).

4.6. Wavelet spektrumfelbontás

A fejezetet Kovács 2007 munkája alapján készítettem.

A wavelet-analízis, szemben a hagyományos Fourier-módszerrel, idő-frekvencia felbontást (time-frequency mapping) tesz lehetővé.

¹ A medián az az érték, ami "alatt" illetve "felett" helyezkedik el a mért értékek 50%-a. A kvartilisek ugyanezt jelentik azzal a különbséggel, hogy a 25%-os alsó kvartilis jelenti azt az értéket, ami "alatt" illetve "felett" helyezkedik el a mért értékek 25, illetve 75%-a. A felső kvartilis esetén pedig ez "alatt" illetve "felett" helyezkedik el a mért értékek 75, illetve 25%-a.

A teljesítményspektrum (power spectral density, PSD) Fourier-transzformációval történő becslése valójában egy dekomponálási eljárás: az analizálandó jelet trigonometrikus (szinusz és koszinusz) függvényekre bontja. Éppen emiatt a Fourier-módszer nem adekvát eljárás nemstacionárius vagy tranzienis jelek PSD függvényének becslésére. Az oszcilláló komponensek folyamatos átrendeződése csak valamely adaptív spektrumbecslő eljárással követhető megfelelően, például a wavelet-transzformáció segítségével. A wavelet-módszer alternatív megközelítést kínál a tradicionális Fourier-analízis helyett, mivel időben (térben) és skálában (frekvenciában) lokalizált. Ez a megközelítés idő-skála (idő-frekvencia) felbontást eredményez, így ezzel lehetővé válik, hogy a jelnek időben változó jellegzetességeit megragadja.

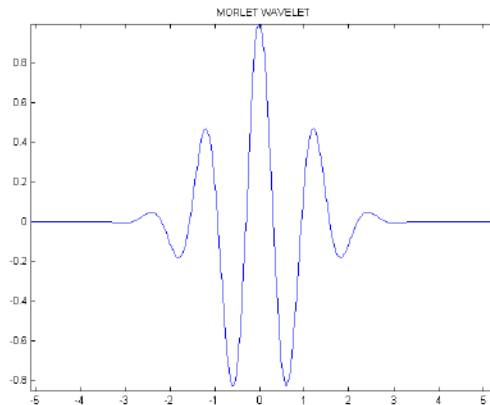
A wavelet-analízis az adaptivitásával kerekedik felül a non-stacionaritási problémán: a hosszú (szinusz) hullámok helyett rövid “wavelet”-ekre bontja a jelet. A $W_n(s)$ wavelet-transzformáció definiálható az adatoknak és a wavelet függvénynek a konvolúciójaként:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^n X_{n'} \psi^* \left[\frac{(n' - n) \delta t}{s} \right]$$

ahol a csillag (*) a komplex konjugáltat jelöli, x_n az eredeti idősor, s a skála, ψ a wavelet függvény és δt a felbontás mértéke.

Az adaptivitás a skálázási eljárásban jelenkezik: a fő wavelet-ből (“mother” wavelet) sorozatos skálázással, azaz nyújtással és összenyomással származtatja az eljárás (“daughter”) wavelet-eket. A transzformáció dilatációs függvényét felül- és aluláteresztő szűrők hierarchiájával reprezentálhatjuk. Ezeknek a szűréseknek a sorozatán keresztül a jel egyre nagyobb felbontású komponensekre bomlik. Eredetileg a wavelet-transzformáció éppen az ilyen többszörös felbontást szolgálta, vagyis a jeleknek a skálatartományban (“scaling space”) történő dekomponálását annak érdekében, hogy feltárható legyen a jelek esetleges önhasonló struktúrája (self-similarity structure). Ebben az esetben éppen a skálaegyütthetők szolgáltatják a felbontás végeredményét.

Annak érdekében, hogy PSD becslést lehessen végezni a wavelet-transzformációval, speciális **(4.6. ábra)** wavelet-et célszerű választani, és megfelelő transzformációkkal származtatni kell a skálából a frekvenciatengelyt. A Morlet-wavelet egyesíti a trigonometrikus függvényeknek azt az előnyét, hogy oszcillálnak az exponenciális függvény gyors lefutásával, ami a lokalizáltságot biztosítja.



4.6. ábra. A Morlet-wavelet függvény képe. (forrás: Wikipedia)

4.7. Alkalmazott programok

Az adatok előkészítését, rendszerezését és az alapstatisztikákat Microsoft Office Excel 2007 táblázatkezelő programmal végeztem.

Az adatelemzést, ezen belül a klaszteranalízist és a mintázatok „box-and-whiskers idősoron” történő ábrázolását SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programmal végeztem el. Felépítése és menürendszere sok tekintetben hasonlít a Microsoft Office programcsomag elemeinél megszokotthoz. Alkalmazásával kiválóan kezelhetők a klaszterelemzés és a diszkriminanciaanalízis segítségével megközelíthető problémátípusok (Székely és Barna, 2004).

A wavelet spektrumanalízist MATLAB programmal végeztem. A Mathworks programja lehetővé teszi algoritmusok programozását és lefuttatását. Egy ilyen kifejezetten a vizsgálathoz készített *.M kiterjesztésű programot alkalmaztam a vizsgálat elvégzéséhez. (A *.M programot Szilágyi Nóra, ELTE TTK programozta.)

A térképeket a NYUDUKÖVÖZIG Kis-Balatoni Üzemmnökségétől kapott dokumentáció alapján CoreIDraw rajzprogrammal készítettem.

5. Felhasznált adatok

5.1. Mintavételi helyek, vizsgált paraméterek és ezek szűrésének alapja és eredménye

A Nyugat-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság Kis-Balaton Üzemmnökségének laboratóriuma Keszthelyen, a KBVR üzembehelyezésétől kezdődően a növényi tápanyagformákra napi, az egyéb vízkémiai paraméterekre pedig heti gyakoriságú monitoring rendszert működtet. A vízügyi gyakorlatnak megfelelően vizsgálták a tápanyagforgalmat leíró és az ionháztartásra vonatkozó paramétereket. A kutatás szempontjából nagyon fontos volt, hogy a laboratóriumi vizsgálatok azonos laborhátterrel és módszerekkel történtek. Ennek következtében várható, hogy minden mérést azonos hiba terhel. Ez a tény fontos, mert biztosítja az adatok összehasonlíthatóságát mind térben, mind pedig időben.

A rendelkezésre álló idősorok az 1984-től 2006-ig terjedő időintervallum adatait tartalmazták, heti gyakorisággal. Az adatelemző módszerek alkalmazási feltételeinek a következő paraméterek (I. Melléklet) feleltek meg: Vízhozam (m^3/s), KOI-Ke (mg/l), BOI-5 (mg/l), oldott O_2 (mg/l), pH, Cl (mg/l), Fe^{2+} (mg/l), Mn^{2+} (mg/l), Ca^{2+} (mg/l), Na^+ (mg/l), K^+ (mg/l), SO_4^{2-} (mg/l), $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l), klorofill-a (mg/m^3), oldott foszfor (mg/l), Mg^{2+} (mg/l), HCO_3^- (mg/l), CO_3^{2-} (mg/l), lebegő anyag (mg/l), $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l), $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l), $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l), összes nitrogén (mg/l), összes foszfor (mg/l), vezetőképesség (uS/cm).

Nem képezték vizsgálataim tárgyát a számított vízkémiai paraméterek [KOI-Kp, KOI-Kp (%), oxigén-telítettség (%), KJN (mg/l), oldott KJN (mg/l), oldott organikus nitrogén (mg/l), partikulált nitrogén (mg/l), partikulált nitrogén (%) oldott nem reaktív foszfor (mg/l), partikulált foszfor (mg/l), partikulált foszfor (%)] és a rövid ideig, vagy nem megfelelő rendszerességgel mért paraméterek [oldott S^{2-} (mg/l), összes S^{2-} (mg/l)]. Csak az idősoros vizsgálatokra voltak alkalmazhatóak azok a változók, amelyek ugyanarra a paraméterre alkalmazott más-más módszer mérési eredményeiként jöttek létre, így nyilvánvalóan erősen korreláltak egymással [KOI-Ksz (mg/l), KOI-Mn (mg/l), összes oldottanyag-tartalom(mg/l)]. Továbbá nem vizsgáltam a levegő- és víz hőmérsékletet ($^\circ\text{C}$), az UV extinkciót, a lebegőanyag kalciumkarbonát-tartalmát (%), az m-lúgosságot (mmol/l) és a p-lúgosságot (mmol/l).

Bizonyos mért paraméterek csak a vizsgálatok egy szűkebb körének feltételeit teljesítették. Ezek vagy nem voltak megfelelő rendszerességgel mérve, vagy csak egy nagyon rövid idősor állt rendelkezésre, így nem lehetett volna minden általam alkalmazott módszerrel

reprezentatív a vizsgálat. Ilyen változók a DOC (mg/l), TOC (mg/l), összes oldott nitrogén (mg/l). A karbonát keménység (NK°) a vizsgálat teljes időtartama alatt a három fő mintavételi ponton (Z15, Z11 és Z27) 0,89 fölötti korrelációt mutatott a HCO₃⁻-al, az összes keménység (NK°) pedig 0,73 fölött korrelált a karbonát keménységgel, így ezeket a paramétereket csak az időbeli mintázatok vizsgálásánál vettem figyelembe.

A mintavételi pontok (II. Melléklet) közül többet [Kb8, Kb2 és Kb5] ki kellett hagynom vizsgálataimból, mivel az ott mért változók sokkal ritkábban voltak mintavételezve, mint a többi mintavételi ponton, így az itt kapott eredményeket nem lehetett a többi mintavételi ponton kapottakkal összevetni.

6. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer mintavételi pontjai csoportosulásának vizsgálata többváltozós adatelemző módszerekkel

6.1. Célkitűzés

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer mintavételi pontjainak csoportosítását klaszteranalízissel végeztem el. Azzal tisztában voltam, hogy a Kis-Balaton két üteme különbözik, de ezek időbeli változását és a mintavételi pontok csoportosítását eddig nem végezte el ilyen hosszú időintervallumra senki. Kíváncsi voltam, hogy 1996-2006-ig, hogyan változik a Kis-Balaton mintavételi pontjainak csoportosulása, és ez a változás mivel magyarázható.

Annak megállapítására, hogy mely paraméterek befolyásolták leginkább a csoportok alakulását Wilks' lambda tesztstatisztikát készítettem el.

Úgy véltem, ezen kérdések vizsgálatával és a kapott eredmények közzétételével a többváltozós adatelemző módszerek szemszögéből egy; a bevett módszerektől különböző képet kaphat a szakma a Kis-Balatonban végbemenő folyamatokról, ami elősegítheti a meglapozott döntést a még be nem fejezett ütem kapcsán.

6.2. Csoportok kialakítása

A vizsgálati módszerek kiválasztásának nehézségei abból adódtak, hogy a rendelkezésre álló adatok több ponton több paraméter idősoraiból álltak. Ennek megfelelően különböző

időpontokban nyílt lehetőség a térben lévő mintavételi pontok hasonlóságának meghatározására (**4.1. ábra**). Erre a kalszteranalízis tűnt a legcélszerűbbnek, ahol minden paramétert azonos súlytényezővel vettem figyelembe. Ward módszerét alkalmaztam, négyzetes euklideszi távolsággal, 1996-tól 2006-ig évenként, a paraméterek éves átlagaira, 13 mintavételi pontra. A klaszteranalízis eredményét dendrogrammokon (**4.2. ábra**) kaptam meg, és szemléltetés képpen térképen ábrázoltam (**6.3.1./1. és 6.3.1./2. ábra**). A mintavételi pontok helyei a **3.** míg a vizsgálatba bevont 23 paraméter a **6.3.2. ábrán** látható.

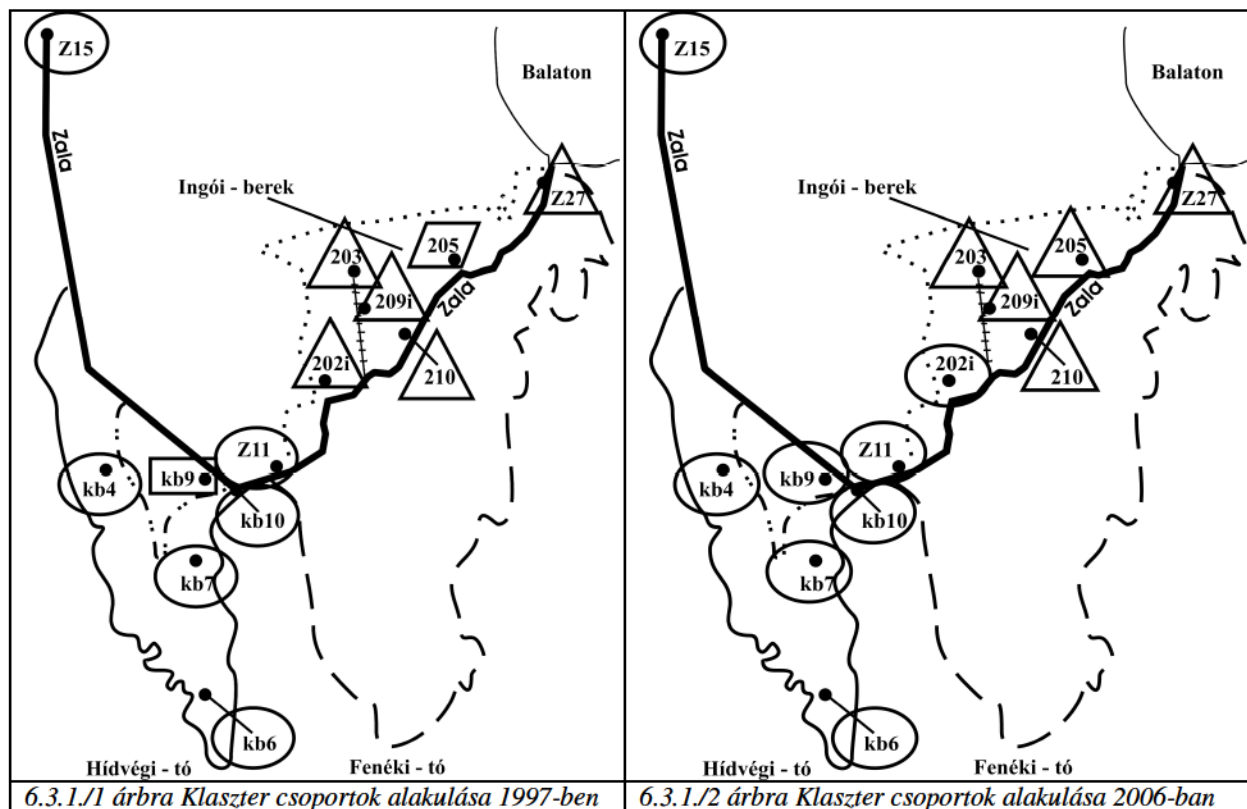
6.3. Eredmények, következtetések

6.3.1. Mintavételi pontok csoportosulásai

A mintavételi pontok a vizsgált 10 esztendőben (1996-tól 2006-ig) alapvetően két nagy csoportot alkottak. Térbélieg ezek közelítően lefedték az I-es és a II-es ütem területét. Kutatásomból két eredményt mutatok be, amelyeken jól látszik, milyen változások történtek a Kis-Balatonban a vizsgált időszak alatt. Az azonos csoporthoz tartozó mintavételi pontokat azonos geometriai alakzattal jelöltem. A 13 mintavételi pont közül kiemelt jelentőséggel bír a *202i* pont, ami 1997 (**6.3.1./1ábra**) és 1998 (**6.3.1./2 ábra**) között a vízi növényzet pusztulása után áttér a makrofita vegetációval dúsan borított II-es ütemet lefedő csoportból az I-es ütemet lefedő csoporthoz. Ezt a kapcsolatot megőrzi a vizsgálat teljes további időtartamára. A *202i* áttérésének oka, hogy az is az I-es ütemhez hasonlóan nyílt vízterűvé alakult, s az I. ütemre jellemző folyamatok váltak uralkodóvá (erőteljes eutrofizációs folyamatok, magas klorofilltartalom 235 mg/m^3). 2006-ban ez a helyzet már stabilizálódott, amit a 2007-es kontroll év is alátámaszt.

Megfigyelhető a **6.3.1./1 és 6.3.1./2 ábrán** a *205*-ös mintavételi pont elütő viselkedése is. A *205*-ös pont 1996 és 1997-ben a dendrogramok alapján markánsan önálló csoportba tartozott. Ez a különállás az Egyesített övcsatorna hatásának tulajdonítható, ugyanis ezen keresztül érkezik a Hévízi tó elfolyó és a keszthelyi szennyvíztelep tisztított szennyvize. A *205*-ös mintavételi ponton az összes keménység, ammónium-nitrogén, oldott foszfor, összes foszfor, magnézium és kalciumion mutatott kiugróan magas értékeket.

A *kb9*-es mintavételi pont különállása csak 1997-ben és 1999-ben (**6.3.1./1-es ábra**) jött létre. Ez azzal magarázható, hogy egy különálló víztérben foglal helyet, a kazettában.



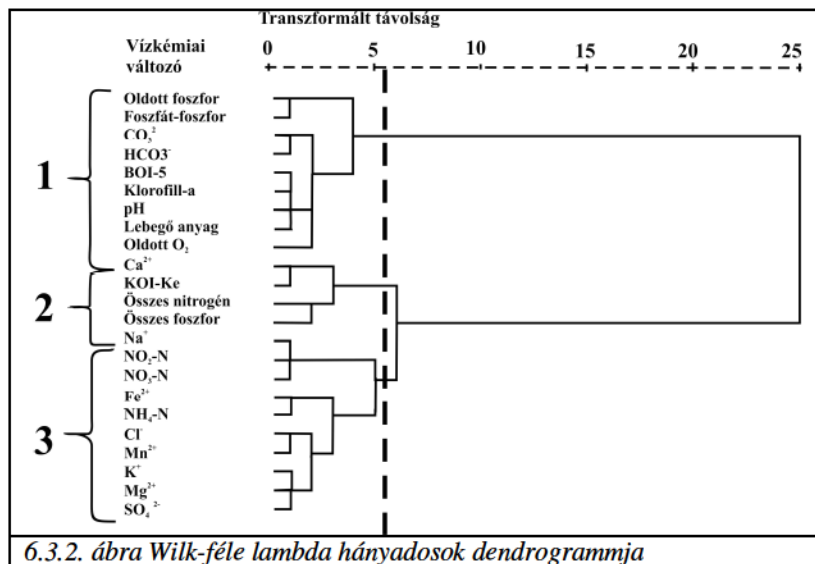
6.3.2. Csoportok kialakulásáért felelős vízkémiai paraméterek csoportosítása

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerben lezajlott folyamatokból következik, hogy vannak olyan paraméterek, amelyek nagyobb mértékben, és vannak, amelyek kevésbé befolyásolják a benne lezajló változásokat. Azt kívántam megtudni, mely paraméterek hogyan határozták meg a mintavételi pontok csoportba tartozását. 1996-2006-ig minden évre meghatároztam a klaszteranalízisnél figyelembe vett minden változó Wilks' lambda hányadosát, majd az így kapott adatokat megklasztereztem. Az újabb klaszteranalízis eredményként a vizsgált monitoring pontokat három csoportra tudtam osztani (6.3.2. ábra).

Az 1-es csoportban a Wilks' lambda hányadosok a legkisebbek és leginkább felelnek a mintavételezési pontok csoportba sorolásáért. Itt az eutrofizáció mutatói [oldott foszfor (mg/l), klorofill-a (mg/m³), lebegő anyag (mg/l)] található, továbbá az ezek által befolyásolt vízkémiai paraméterek [pH, CO₃²⁻ (mg/l), HCO₃⁻ (mg/l), oldott O₂ (mg/l)]. Ezek felelősek az I-es ütem különállásáért.

A 2-es csoportba az eutrofizációs folyamatokkal szoros kapcsolatba hozható változók kerültek [Ca²⁺ (mg/l), KOI-Ke (mg/l), összes nitrogén (mg/l), összes foszfor (mg/l)]. A két víztér e paraméterek alapján kevésbé különbözik, mivel a gradientalitás nem oly nagy mértékű, mint az előző csoport mutatói esetében, de ezek is felelősek az I-es ütem különállásáért.

A 3-as csoport változói, [NH₄-N (mg/l), NO₂-N (mg/l), NO₃-N (mg/l), Mg²⁺ (mg/l), SO₄²⁻ (mg/l), Cl⁻ (mg/l), Fe²⁺ (mg/l), Mn²⁺ (mg/l), Na⁺ (mg/l), K⁺ (mg/l)] a II-es ütem elválásában játszottak szerepet, értékeik a II. ütemen magasabbak voltak ugyan, de a csoportok kialakulásáért a legkevésbé feleltek.



7. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer vízminőségi idősorainak vizsgálata három kardinális mintavételi pontra

Idősoros vizsgálataimat három kardinális mintavételi pontra végeztem el. Z15 „befolyó”, Z11 „átfolyó” és Z27 „kifolyó” (6.3.1./1 ábra, II. Melléklet) mintavételi pontokra. Azért erre a három pontra esett a választás, mert a Z15 reprezentálja a Zala vizét, ami befolyik a Kis-Balatonba, a Z11-es pont az I-es ütemen megtermelődött illetve megszűrt anyagokról ad információt, a Z27 pedig a II. ütemben lezajló folyamatokat és a Balatonba befolyó vizet írja le. Ezek az országos vízügyi-környezetvédelmi adatbázis részét képezik, úgynevezett törzshálózati pontok.

Az idősoros vizsgálat első lépésében az egyes mintavételi pontok éves adatai statisztikáinak időben történő változását határoztam meg az alábbi vízkémiai paraméterekre: vízhozam (m³/s), KOI-Ke (mg/l), KOI-Mn (mg/l), KOI-Ksz (mg/l) BOI-5 (mg/l), oldott O₂ (mg/l), pH, Cl⁻ (mg/l), Fe²⁺ (mg/l), Mn²⁺ (mg/l), Ö.old.a (mg/l) Ca²⁺ (mg/l), Na⁺ (mg/l), K⁺ (mg/l), SO₄²⁻ (mg/l), NH₄-N (mg/l), klorofill-a (mg/m³), oldott foszfor (mg/l), Mg²⁺ (mg/l), HCO₃⁻ (mg/l), CO₃²⁻ (mg/l), lebegő anyag (mg/l), NO₂-N (mg/l), NO₃-N (mg/l), foszfát-foszfor (mg/l), összes nitrogén (mg/l), összes foszfor (mg/l), vezetőképesség (μS/cm), karbonát keménység (NK°), összes keménység (NK°), TOC (mg/l). Még a részlegesen hiányos

adatsorok esetén is volt értelme elvégezni az idősorok vizsgálatát, hiszen az évenkénti statisztikák becsléséhez nem feltétel az adathiánymentes idősor, bár jobb ha minél több mért értékből számolhatunk.

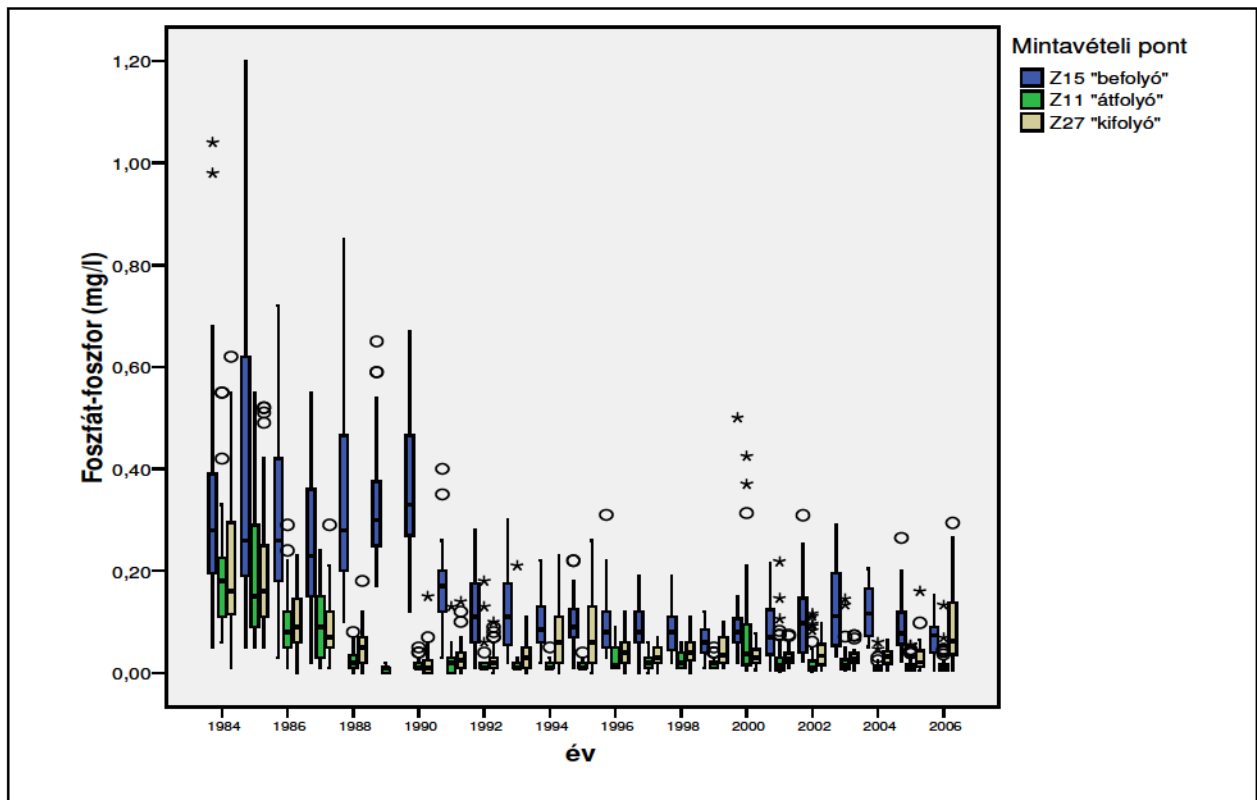
7.1. Elsődleges vízminőségi paraméterek éves statisztikáinak vizsgálata

Az eutrofizáció mértékét a rendelkezésre álló növényi tápanyagformák, elsősorban a foszfor, nitrogén és a megtermelt szervesanyag (klorofill-a) tartalommal határozhatjuk meg. (Vollenweider és Kerekes, 1980; Istvánovics és mtsai., 1996). Ebből következik, hogy ezek a paraméterek bírtak a legnagyobb jelentőséggel vizsgálataim során. A foszfor, klorofill-a és a nitrogén formák éves alakulásán keresztül pontosan be lehet mutatni a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerben bekövetkezett változásokat.

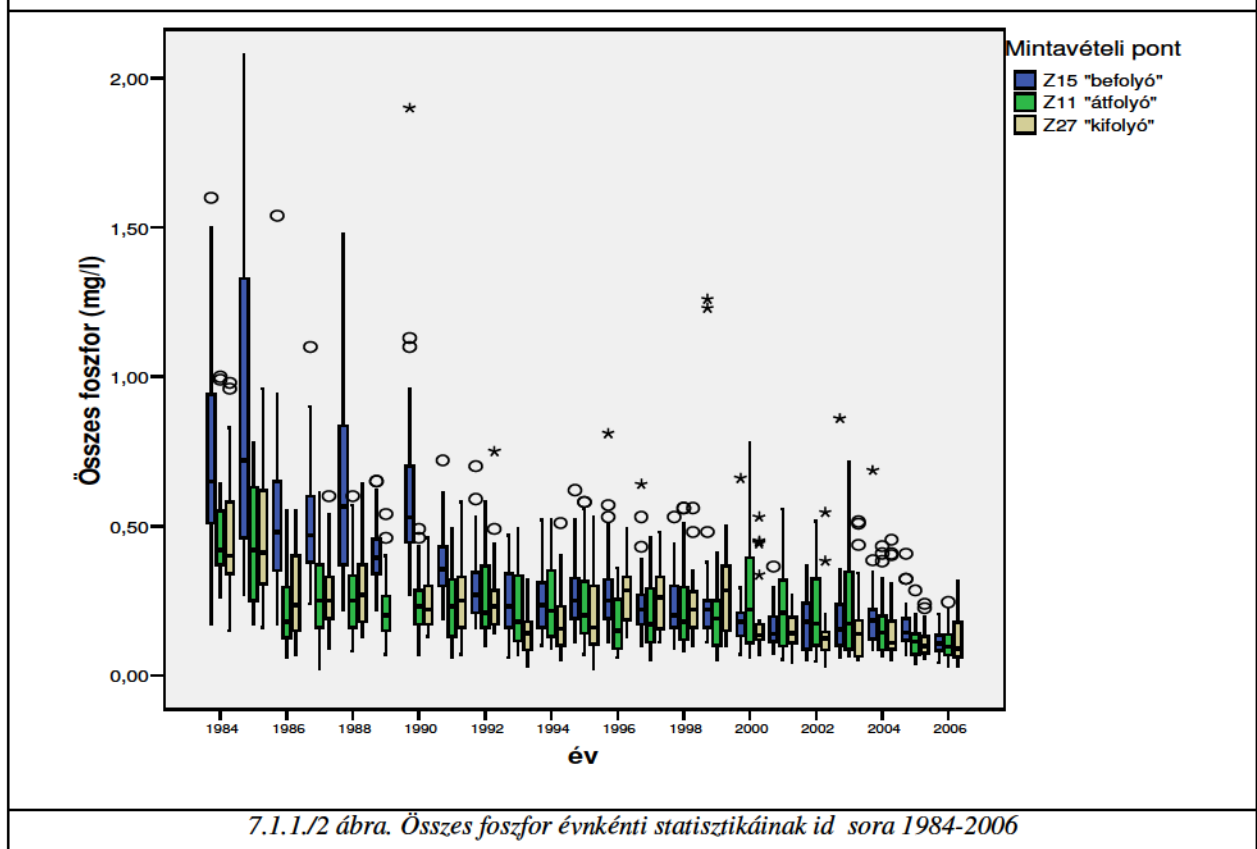
7.1.1 Elsődleges paraméterek éves statisztikái és értelmezésük

Mind a foszfát-foszfor, mind, pedig az összes foszfor éves alakulását bemutató grafikonokon (7.1.1/1. és 7.1.1/2 ábra) jól látszik, hogy az I-es ütem megépüléséig (1985) a Z15 ponton befolyó foszfor mennyiség jelentős hányada átjut a Z11 „átfolyón” és a Z27 „kifolyón” a Balatonba, ezzel növelve a Keszthelyi-öböl terhelését. Amikor 1985-ben elkészült az I-es ütem, lecsökken a Z11 és Z27-en mért foszforterhelés, mert az I-es ütem nyílt vízterében elszaporodott algák, és az üledék veszi fel azt. 1991-ben üzembe helyezik Zalaegerszegen a foszfortalanító üzem, ahol kémiai kicsapatással eltávolítják a foszfort, melynek hatására ettől kezdve már a Z15-ön is alacsonyabb foszforértékeket mérhettünk.

Megfigyelhető volt, hogy a foszfortalanító üzem üzembe helyezésétől kezdve csökken az I-es ütem foszforeltávolítási hatásfoka, mert már kisebb a víztér foszforterheltsége és egy kisebb terheltségű rendszer arányaiban kisebb hányadát tudja az őt terhelő anyagnak eltávolítani. 1992-ben részlegesen átdják a II. ütem 16 km²-es részét. Az átadást követő években a II. ütemben lezajló folyamatok miatt az elárasztott területen a foszfát-foszfor mennyisége megnőtt. Azokban az években (2003-2005) amikor a Zala által több foszfát-foszfor érkezett a rendszerbe, akkor a Z11 ponton mérhető foszfát-foszfor koncentráció alacsonyabb volt, a foszfát az organizmusok testébe épültbe illetve az üledékbe csapdázódott. Az összes foszfor kérdésében 2000 és 2003 között eltolódnak az arányok a Z11 és Z15 között, ami mutatja, hogy a foszfát partikulált formában távozott az I. ütem területéről.



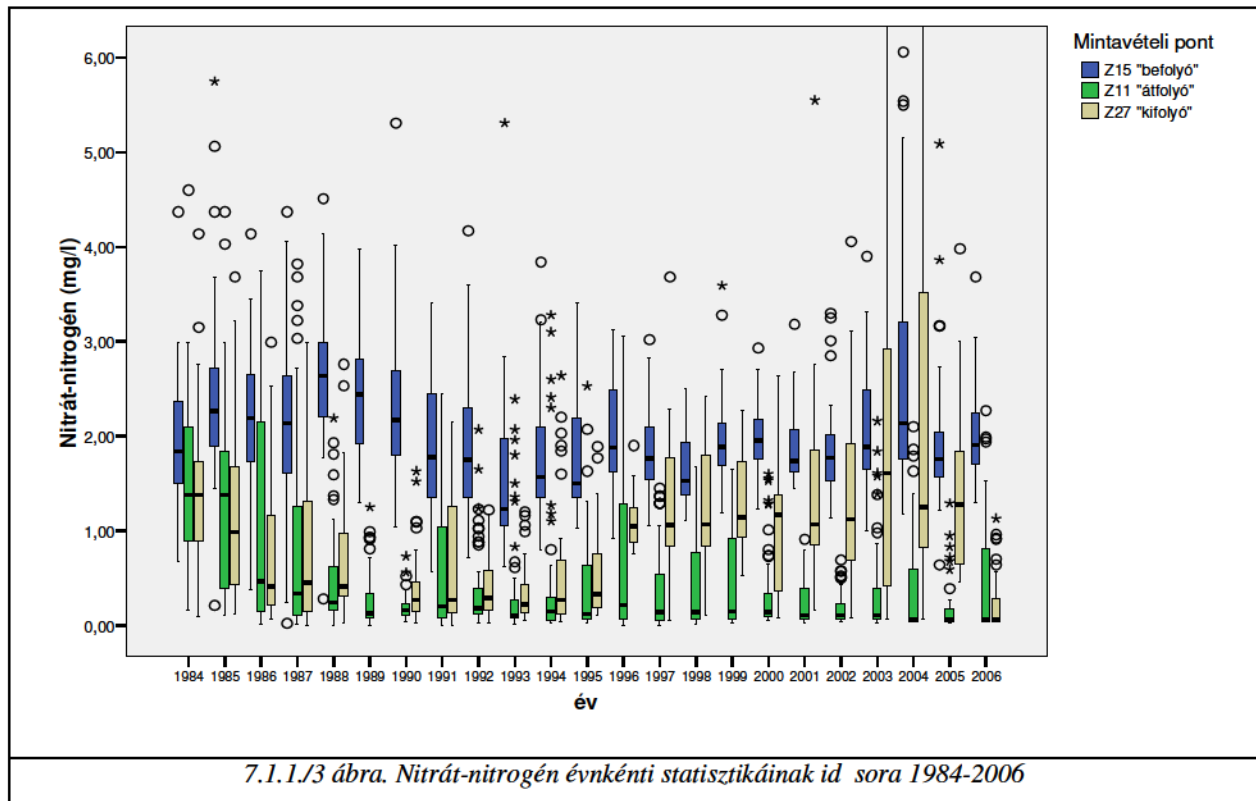
7.1.1/1 ábra. Foszfát foszfor évnkénti statisztikáinak id sora 1984-2006



7.1.1/2 ábra. Összes foszfor évnkénti statisztikáinak id sora 1984-2006

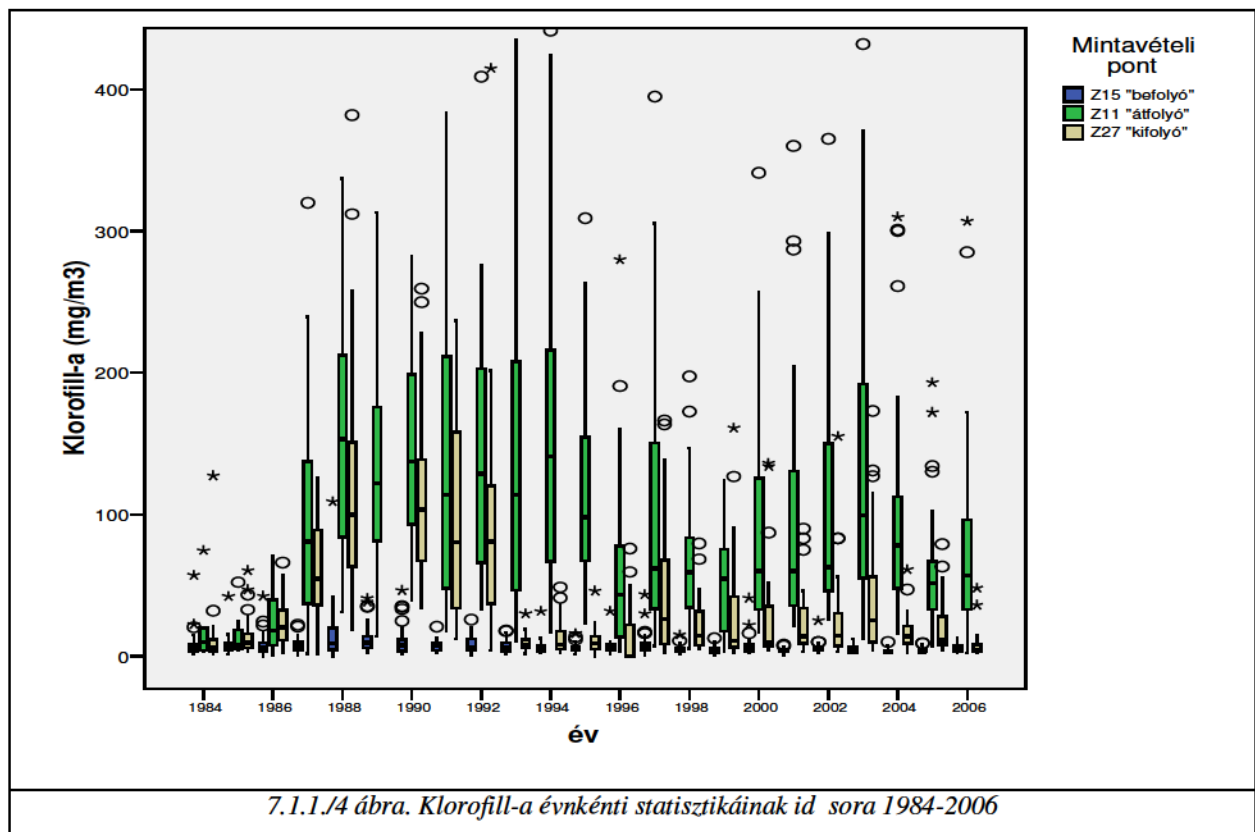
Akárcsak a foszfát-foszfor és az összes foszfor esetében, a nitrát-nitrogén mennyiségében is (7.1.1/3 ábra) egy jelentős csökkenést tapasztalhattunk az I. ütem

elkészülését követően (1985). Mikor a II. ütemet részlegesen átadják 1992-ben, a nitrát mennyisége lassú növekedésnek indul a lebontó folyamatok dominanciájáa következtében.



A Kis-Balatonban termelődött fitoplankton-mennyiség (klorofill-a) évenkénti statisztikáit bemutató ábrán (7.1.1./4 ábra) megfigyelhető, hogy az I-es ütem elkészültekor (1985) elkezdi nőni a klorofill-a mind a Z11, mind, pedig a Z27-es mintavételi pontokon, miközben a vizsgálat teljes időtartama alatt a Z15-ös mintavételi ponton a Zalából algában szegény víz érkezik a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerbe. Az 1985-től tapasztalt klorofill-a-emelkedés a Z11 és Z27-es mintavételi pontokon azzal magyarázható, hogy az üzembehelyezést követően az I-es ütemen egy nyílt víztér alakul ki, ami megfelelő körülményeket biztosít az algáknak a szaporodásra. A Z27 ponton csak akkor csökkent le a klorofill-a mennyisége, amikor 1992-ben részlegesen átadták a makrofita vegetációval dúsan borított II-es ütemet, ami jelentősen visszatartja a Z11 „átfolyón”, az I-es ütemből érkező víz klorofill-a-tartalmát. Ennek következtében 1992-ben és 1996-ban eddig nem tapasztalt klorofill-a-ban szegény víz jutott a Balatonba. 1996-ra a II. ütem Ingói részén (202i pont) nagy felületű nyíltvízes élőhely alakult ki, mivel a mocsári növényzet jelentős része kipusztult. A kialakult nyílt víztérben az eutrofizációs folyamatok tovább folytatódnak. Ezt tükrözi a 202i pont áttérése az I-es ütem mintavételi pontjaihoz (6.3.1./1 és 6.3.1./2 ábra). Leolvasható

(7.1.1./4 ábra), hogy amíg nem készült el a részlegesen befejezett II. ütem, addig az I-es ütemen megtermelt klorofill-a jelentős része befolyt a Balatonba, míg a II. ütem átadása után ez a mennyiség drasztikusan lecsökkent. A Balatonba algában szegény, oldott foszforban gazdagabb víz folyik, de a folyamatok eredőjeként a Balaton eutrofizációja csökkent (Kovács, J és mtsai. 2008, Istvánovics, Somlyódi 2001).



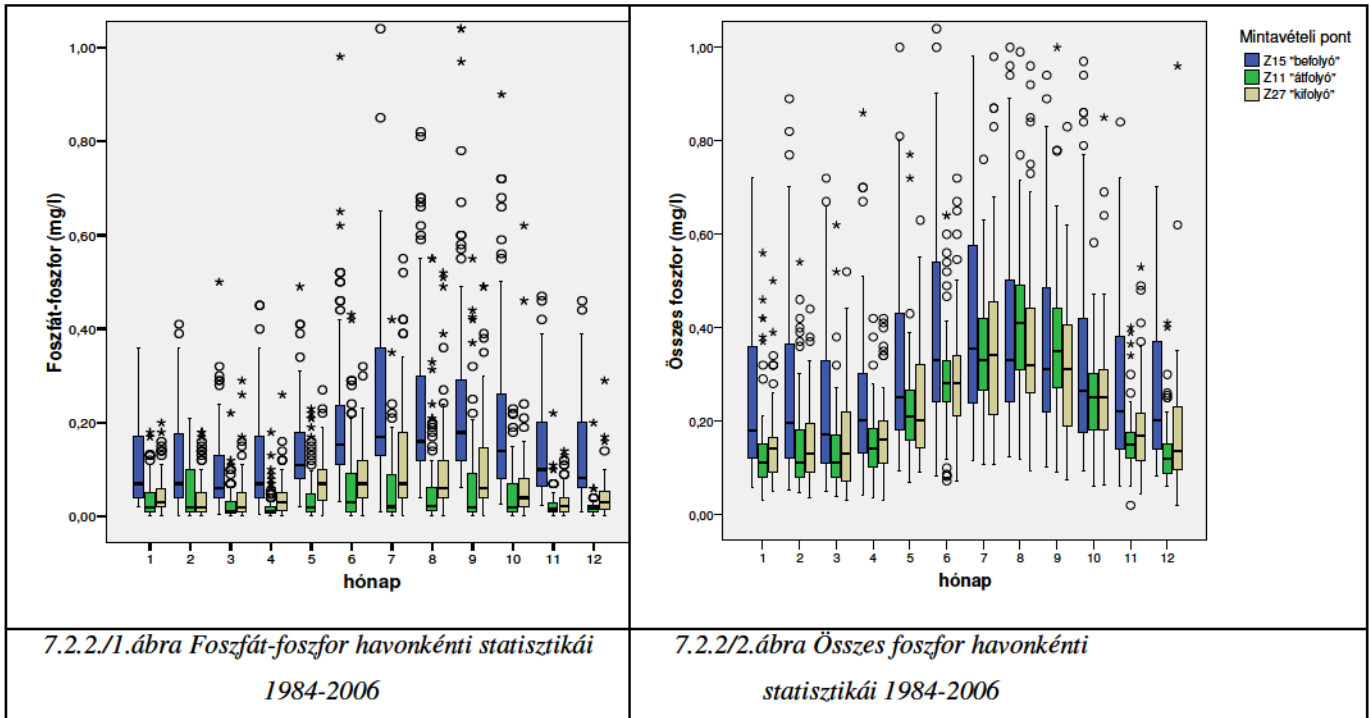
7.2. Elsődleges vízminőségi paraméterek havonkénti statisztikáinak vizsgálata és értelmezése

7.2.1. Célkitűzés, problémafelvetés

Nem elegendő a paraméterek évenkénti alakulását vizsgálni, meg kell vizsgálni az éven belüli havi lefutásukat is, mivel a természetben lejátszódó folyamatok sebessége hőmérsékletfüggő. Továbbá a vízkémiai változók évszakonkénti változása meghatározza az üzemeltetési stratégiát is, melynek célja a lehető legtöbb növényi tápanyag visszatartása, a Balatontól. Az alábbiakban 1984-2006-ig az összes januári, februári, márciusi stb. mért adat statisztikáit mutatom be egy-egy box-and-whiskers plot-on.

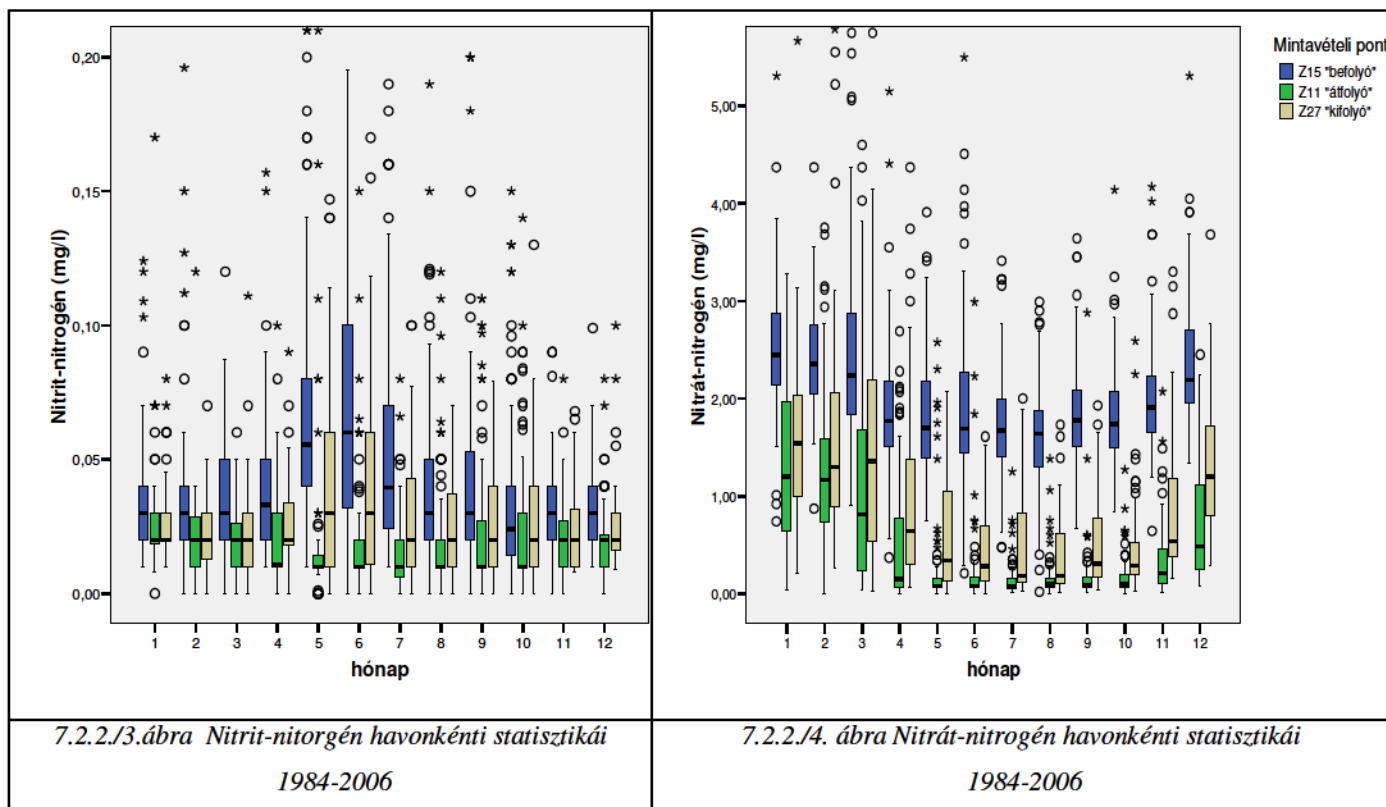
7.2.2 Havonkénti statisztikák vizsgálata és értelmezése

Az összes foszfor és foszfát-foszfor havi alakulása (7.2.2/1 és 7.2.2/2 ábra) alátámasztja azt a modellt, miszerint április környékén a víz hőmérsékletének emelkedésével a foszfor elkezd kioldódni az üledékből, ennek eredményeképpen megnő mind a foszfát-foszfor, mind pedig az összes foszfor mennyisége a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszeren (Süle György, 1991).



A nitrogén formák tekintetében (7.2.2/3 és 7.2.2/4 ábra) megfigyelhető az I-es ütem és a II-es ütem közötti jelentős különbség. Míg az I-es ütem egy algában gazdag víztér, ahol oxidatív környezet uralkodik, addig a II. ütemen a redukzív viszonyok és makrofita növényzet dominál.

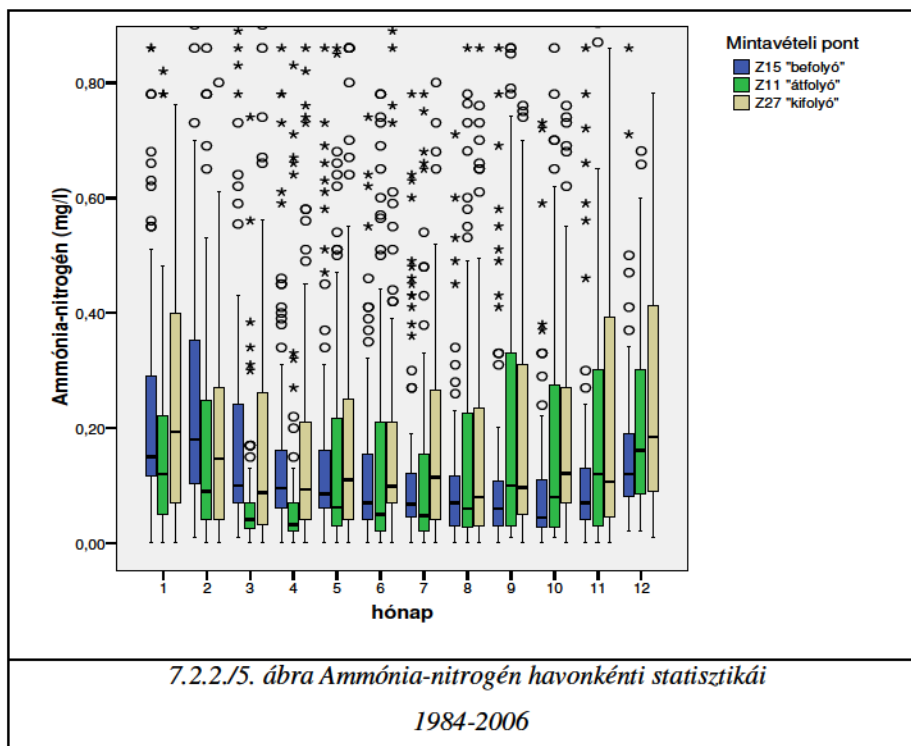
Az I-es ütem oxidatív, nyílt vizes környezetében a nitrifikáció révén az ammónia nitritté, majd nitráttá alakul, de a nagy megtermelt alga mennyiség felszívja a nitrátot (Gorzó Gy, 1991). Ez a folyamat figyelhető meg a 7.2.2/4-es ábrán, ahol a Z11 mintavételi pont reprezentálja az I-es ütemet. Nyáron a víztér nitrogén limitálttá válik, ami azt mutatja, hogy a fitoplanktonban megjelennek a nitrogén-kötő kék algák s vízvirágzást okoznak. Sas (1989) megállapítása szerint akkor nincs nitrogén limitáció egy adott víztérben, ha a nitrogénformák összes koncentrációja nagyobb, mint 100 µg/l. Vizsgálataim kimutatták, hogy a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerben messze nem beszélhetünk abszolút nitrogén limitáltságról, mert a három kardinális mintavételi ponton a vizsgálatok 6,73%-ában esett a nitrogénformák összes mennyisége 100 µg/l alá.



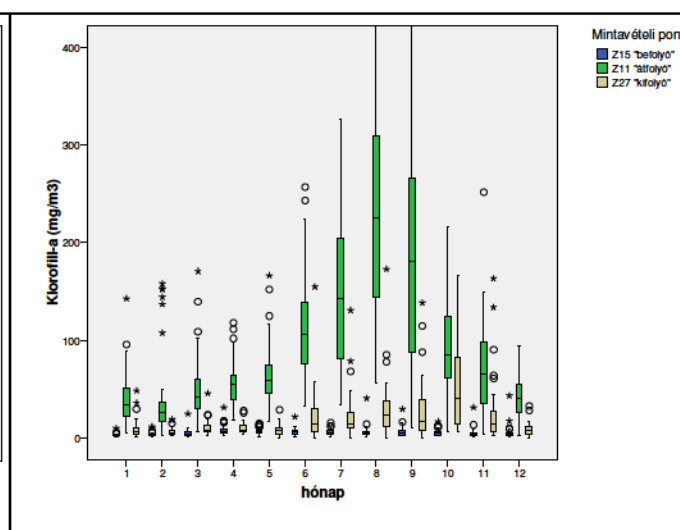
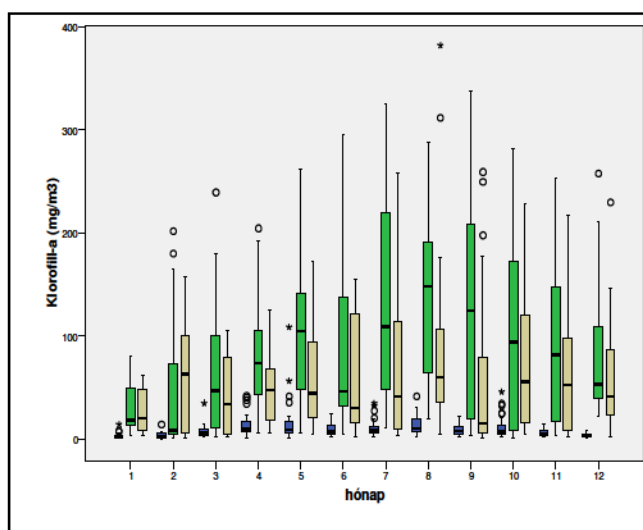
A II. ütem oxigénben szegény vizében, és főként a szervesanyagban gazdag üledékében nyáron denitrifikáció zajlik, melynek eredménye többnyire nitrogéngáz. Ez látszódik a 7.2.2./4-es ábrán is, ahol a Z27 ponton (ami a II-es ütem vizét reprezentálja) a nyári hónapokban lecsökken a nitrát mennyisége, a nitrité ezzel szemben megnő (7.2.2./3. ábra), de ez a növekedés arányaiban sokkal kisebb. A II. ütem dús emerz makrofita vegetációval borított részén a mikrobiális hurok dominál, ebből kifolyólag sokkal több nitrát keletkezik, mint amennyit a növények fel tudnak venni.

A nitrit és nitrát formák mennyisége nem csak térben, hanem az évszakok tekintetében is különbözik. A nitrifikáló baktériumok hőigénye eltérő. Míg a nitrifikáció a nitritképzők hőigénye miatt hideg vízben leáll, az ammonifikáció ilyenkor is zajlik. Ezért hideg vízben a szervesetlen nitrogénformák aránya az ammónia felé tolódik el, mind a Z15, mind pedig a Z27 mintavételi pontokon (7.2.2./5. ábra).

Összegezve, az I-es ütem szervesetlen nitrogénformákban szegény, mivel a nyári hónapokban az algák felszaporodása miatt a víztest fajlagos nitrogénkötése megnő. A II. ütem, ahol a lebontó folyamatok uralkodnak, pedig jelentősen több szervesetlen és szerves nitrogénformát tartalmaz egész évben.



A klorofill-a havi statisztikáit szétválasztottam a II. ütem üzembe helyezése előtti (1984-1991 jan. 1.) és utáni (1993-2006) időszakra. A szétválasztással markánsan láthatóvá vált a II. ütem szerepe a klorofill-a visszatartásban. A **7.2.2./6-os** ábráról leolvasható, hogy a II. ütem megépülése előtt az I. ütemen megtermelődött algának (mennyiségét a Z11 mintavételi pont reprezentálja) jelentős hányada átfolyt a Z27 „kifolyón” a Balatonba, míg 1992 után (**7.2.2./7. ábra**) a II. ütem dús makrofita vegetációja megszüri azt, ahogyan ez az ábrákon is látható. A diagrammokról az is megállapítható, hogy a mintavétel teljes időtartamában a Z15 „befolyó”) egy klorofill-a-ban szegény víz érkezik a Kis-Balatonba.



8. Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer vízminőségi idősorainak emlékezet- és periodicitás vizsgálata három fő mintavételi pontra

8.1. Periodicitás vizsgálat

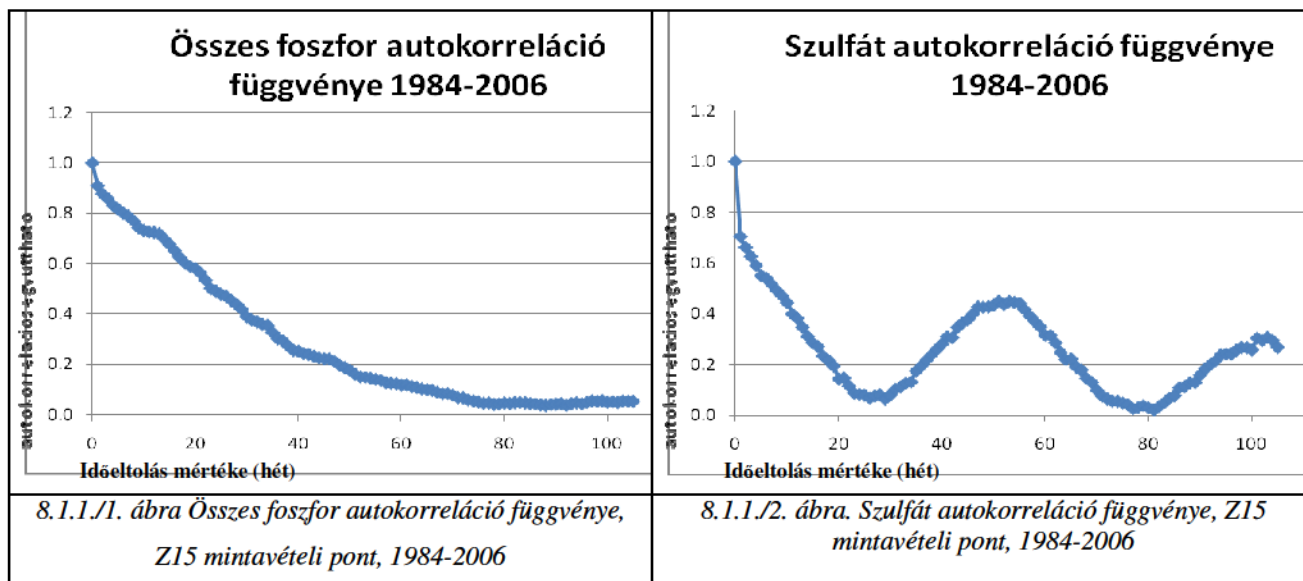
Periodicitásvizsgálataim célja, hogy megállapítsam: a vizsgált paraméterek esetén mikor volt meg, illetve mikor hiányzott a periódus, és a három fő mintavételi pont között milyen hasonlóságok és különbségek fedezhetők fel periodicitás tekintetében. A meteorológiai és egyéb gyakorlatból ismerjük, hogy a magyarországi klimatikus időjárásviszonyok jelentősen befolyásolják a felszíni vizeket jellemző kémiai paraméterek periódusát. Mivel az évszakváltozások periódust követnek, így azt várnánk, hogy az éghajlat által közvetlenül befolyásolt paraméterek is periodikusak legyenek a vizsgált időtartam alatt. Ilyennek tűnik pl. a Z15 mintavételi pont klorofill-a paramétere (7.2.2./7. ábra). Ezzel szemben rendelkezünk olyan tapasztalatokkal, hogy a vizsgált paraméter éves periódusa egyes időintervallumokban kimarad, erre szolgálnak példaként, a klimatikus viszonyoktól jelentősen függő talajvízszintek idősorai. (Kovács et al., 2004; Kovács, 2007).

8.1.1. Wavelet spektrumfelbontással kapott eredmények bemutatása

Ha megvizsgáljuk az összes foszfor havonkénti statisztikáját bemutató 7.2.2./2. ábrát azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az összes foszfor mennyisége periodikusan változik 21 év időtartamára. Ha az autokorreláció¹ függvénnyel (8.1.1./1. ábra) vizsgáljuk meg ugyanezt a változót, azt az eredményt kapjuk, hogy az összes foszfor semmilyen periodicitást nem mutat. Ezt a mért adatok nagy szórásával, az évenkénti széles interkvartilis tartománnyal és a felső kvartilis felett lévő nagyszámú kiugró és extrém értékkel magyarázhatjuk. (A kiugró és extrém értékek közül több nem látható az ábrán, az 'y' tengely skálájának beállítása miatt.)

A szulfát autokorreláció függvénye (8.1.1./2. ábra) alapján megállapíthatjuk, hogy 1984-2006-ig a szulfát periodikus viselkedést mutat, noha a későbbiekben látni fogjuk (8.1.2. fejezet), hogy ez nem igaz a teljes vizsgált időtartamra.

¹ „Stabil” periodikus folyamatok autokorreláció függvénye is periodikus

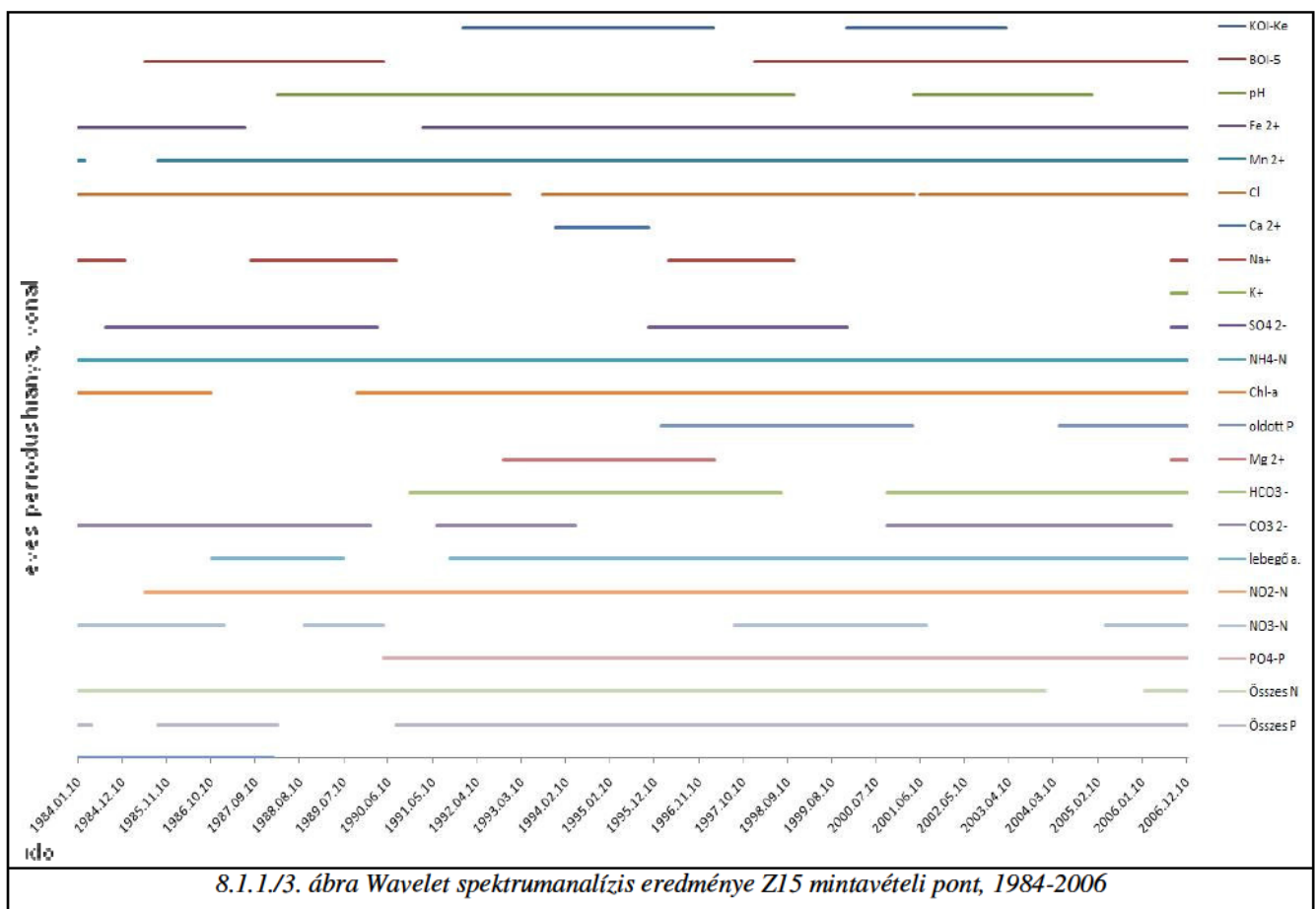


Pontosan ezek az ellentmondó megállapítások azok, amiért egy sokkal érzékenyebb és precízebb módszert alkalmaztam a periódusok megállapítására. Ez a módszer a Wavelet spektrumfelbontás volt.

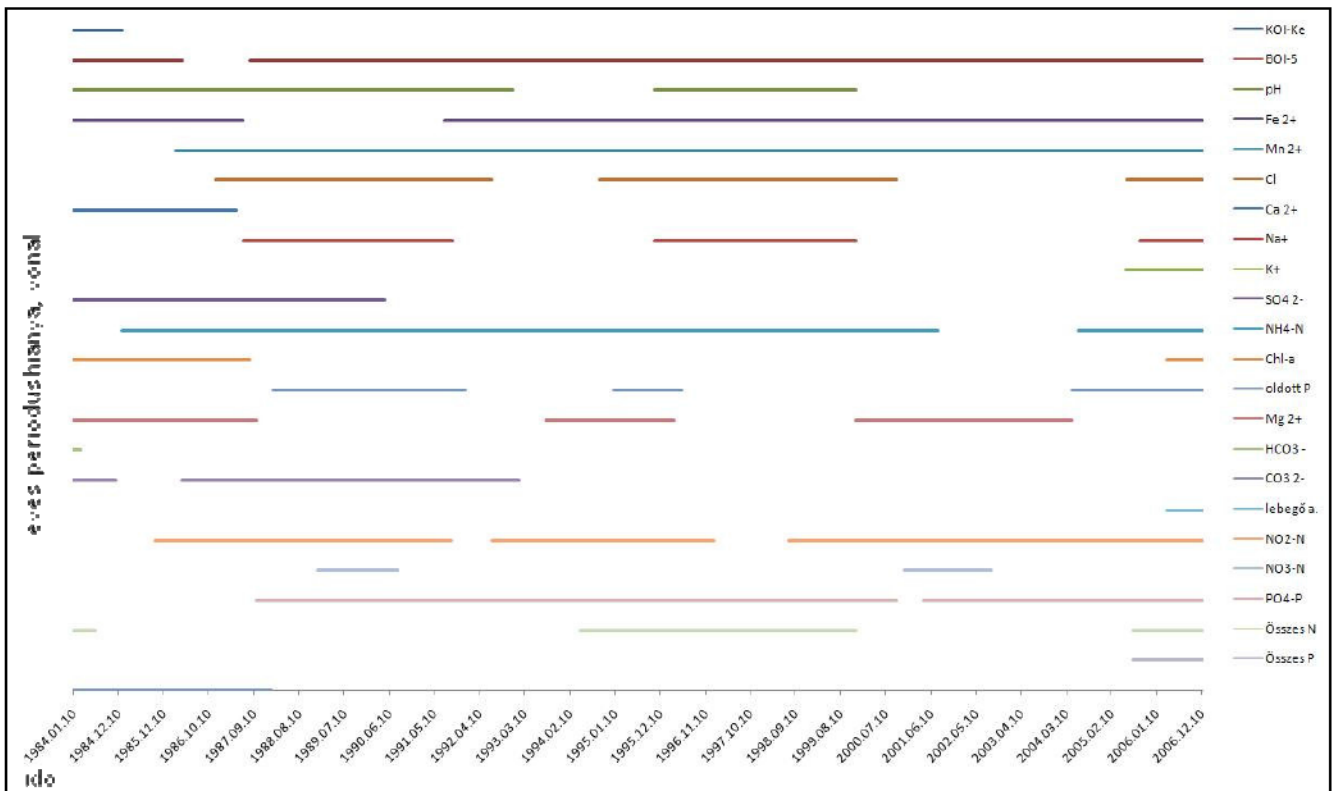
Sztocasztikus folyamatok, mint amilyen például a foszfor vagy akár a szulfát idősor, nagyon sok tényező által befolyásoltak, így bekövetkezhetnek olyan állapotok és időszakok, amikor az általánosnak monható periodikus modell nem valósul meg, vagy az autokorreláció függvény által kapott eredmény nem képes megjeleníteni a periodicitást. A Wavelet spektrális felbontással pontosan meg lehet határozni, hogy egy adott mintavételi ponton, mely időszakokban volt periodikus egy paraméter viselkedése, és mikor nem. A vizsgálatot az 1 éves periódusidőre végeztem el. A **8.1.1./3-5-ös ábrákon** vonallal vannak jelölve azok az időszakok, amikor egy változó nem mutatott éves periodikus viselkedést, és a vonalak hiánya jelzi, ha az adott paraméter periodikusan viselkedett. (A **8.1.1./3-5-ös ábrákon**, az 'x' tengelyen látható világoskék vonal az oldott foszfor mintavételezésének hiányát jelzi).

Értelmezve az eddig elmondottakat a **8.1.1./3-as ábrán** jól látható, hogy az összes foszfor a vizsgálat időtartama alatt kétszer mutatott éves periodikus viselkedést 1984 májusától 1985 szeptemberéig és 1988 januárjától 1990 júniusáig. A szulfát pedig annak ellenére, hogy az autokorreláció függvénye periodikus viselkedést mutat, csak 1990 júniustól 1995 augusztusáig és 2000 februárjától 2006 októberéig viselkedett periodikusan.

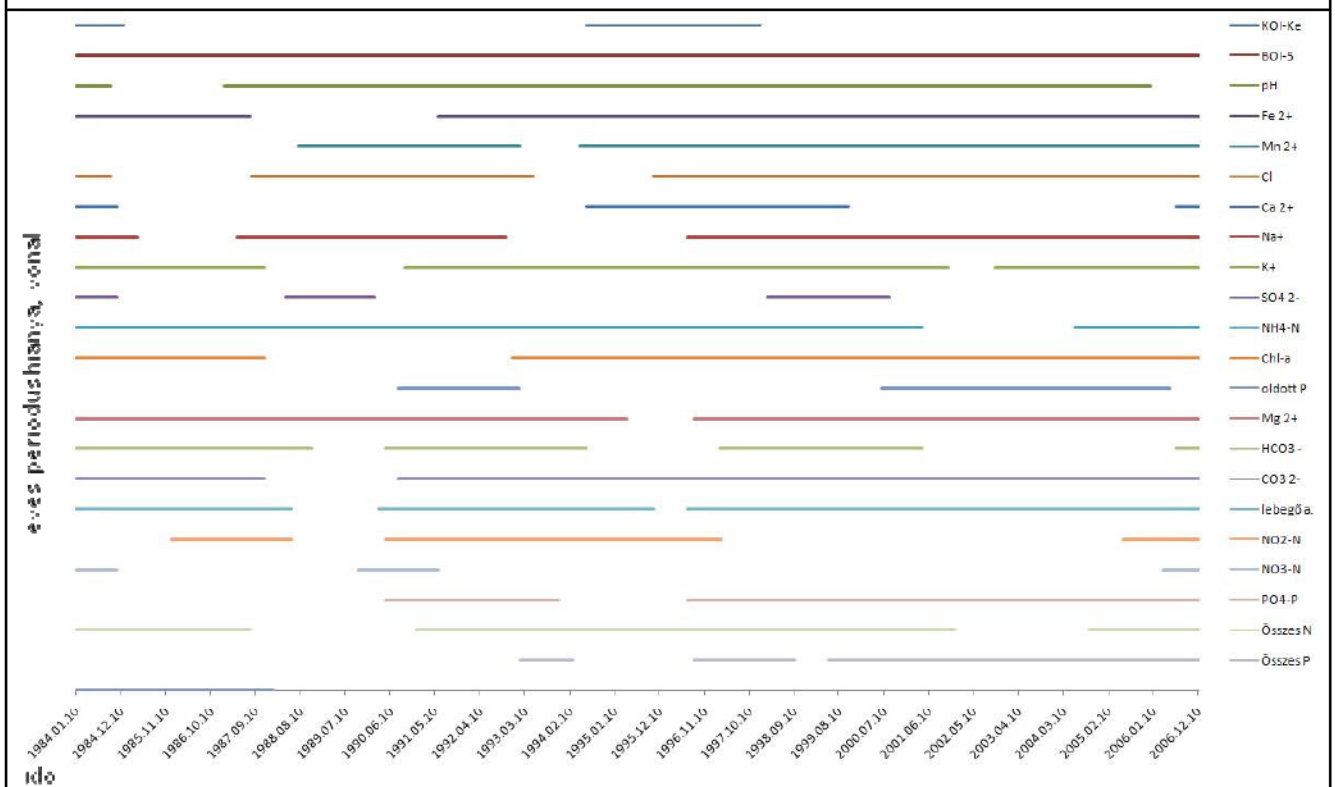
A három kardinális mintavételi pont Wavelet spektrumelemzése a hasonlóság szempontjából rendkívül érdekes eredményt hozott. Egyértelműen megfigyelhető, hogy a Z15-ös „befolyón” (ami a Zala vizét reprezentálja, Zalaapátinál) mért paraméterek a vizsgált időintervallum jelentős hányadában (61,8%-ban) nem mutatnak periodikus viselkedést (8.1.1/3. ábra). Ezzel szemben a Z11 „átfolyó” (ami az I-es ütem vizét reprezentálja Balatonhídvégnél) mintavételi ponton mért paraméterek, csak 41,9%-ban nem mutatják az éves periodicitást (8.1.1/4. ábra). Ugyanakkor a Z27 „kifolyón” (a II. ütem vizét reprezentálja, Fenékpusztánál) 65,2%-ban nincs meg a vizsgált paraméter éves periodusa.¹ (8.1.1/5. ábra). Ezen megállapításokat a következő (8.1.2-es) fejezetben fejtem ki részletesen.



¹ A számítást úgy végeztem, hogy a 22 paraméter teljes vizsgált időtartamát tekintetem 100%-nak 23 évre.



8.1.1/4. ábra Wavelet spektrumanalízis eredménye Z11 mintavételi pont, 1984-2006



8.1.1/5. ábra Wavelet spektrumanalízis eredménye Z27 mintavételi pont, 1984-2006

8.1.2. Következtetések

A **8.1.1./3-5. ábra** eredményét módszertani jelentősége mellett azért tartjuk lényegesnek, mert jól láthatóan bemutatja, hogy számos paraméter, amitől periodikus viselkedést várnánk, bizonyos időszakokban megváltozik, és nem mutat periodicitást. Ez még akkor is így van, ha a vizsgált változó éves menete vagy az autokorreláció függvénye periodikus modellt indikál.

Az éves periódus hiánya a Z15 „befolyón” és a Z27 „kifolyón” a vizsgált időtartam átlagosan 2/3-ában valósul meg. Ezzel szemben a Z11 „átfolyón” ez az érték 41,9 %-ra csökken. A jelenség okát abban látom, hogy a Zala folyó egy folytonosan áramló és egyúttal változó rendszer. Viselkedése kevésbé tartalmaz periodikus elemeket, ugyanakkor a Z11 „átfolyó” egy limnológiai értelemben beállt, stabil szerveződés, ami az évszakos változásokat is jobban visszatükrözi. Ellentmondásnak tűnhet, hogy a Z27 „kifolyónak” hasonlóan kellene viselkednie periodicitás tekintetében, mint a Z11 „átfolyónak”, hiszen az előbbi a Kis-Balaton utolsó „megcsapolási pontja”, mielőtt becsatlakozna a Balatonba. Ez az ellentmondás magyarázható és feloldható, hiszen a II. ütembe számos csatorna és kisebb vízfolyás torkollik (Egyesített-övcatorna (ezen érkezik a Hévízi tó elfolyó és a keszthelyi szennyvíztelep tisztított szennyvize), halastavak leeresztő csatornái, stb.). Ezek a többletterhelések nem hagyják, hogy egy olyan stabilizált állapot álljon be, mint amit az I. ütemnél megfigyelhettünk. Ezért is lenne fontos megnövelni a II. ütem területét, hogy megnőjön a pufferkapacitása.

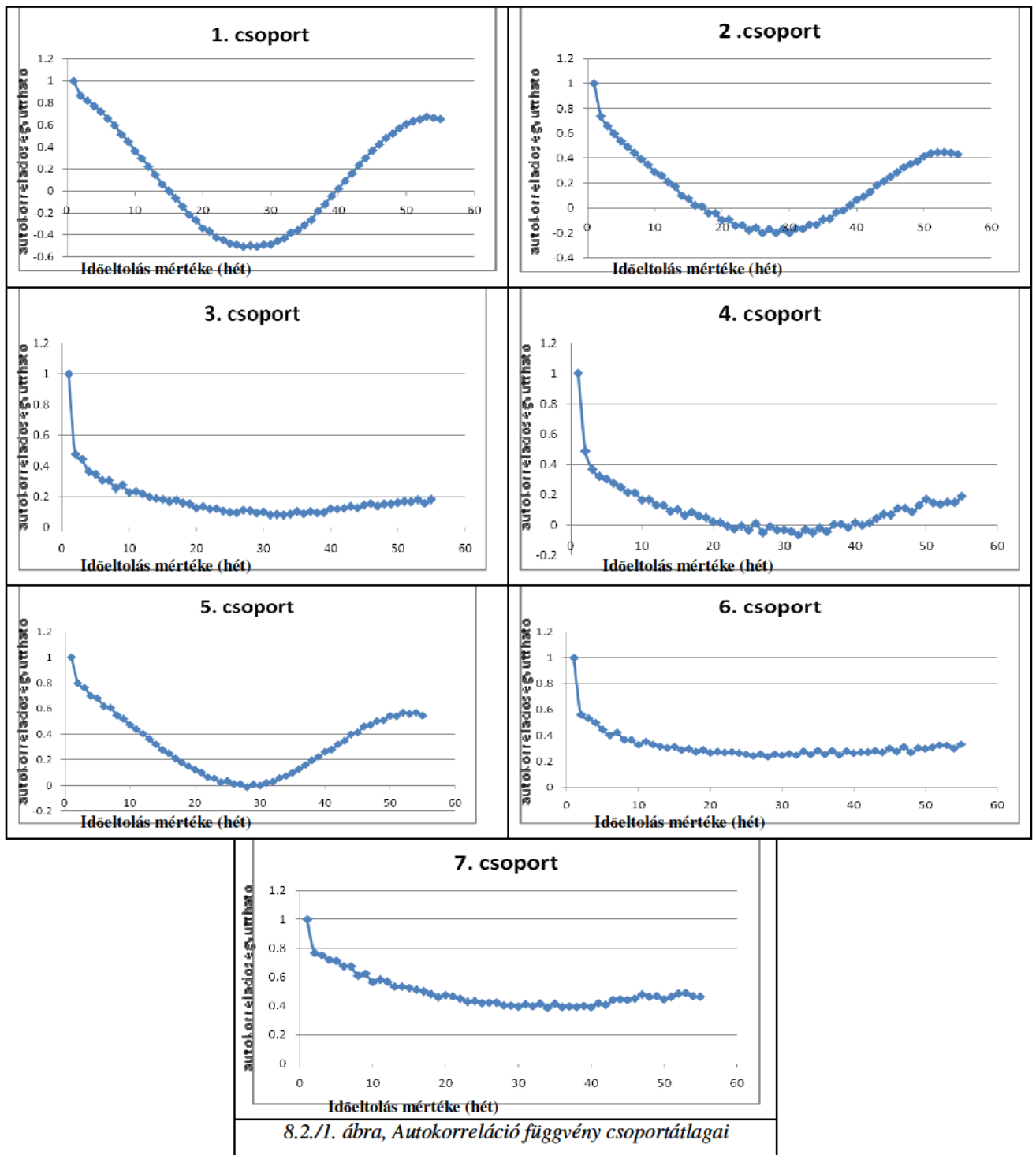
8.2. Emlékezetvizsgálat autokorreláció függvénnyel

Egy adott időszori folyamatnak az emlékezetét az autokorreláció függvénnyel lehet becsülni (lásd **4.4. fejezet**). Ez időben változó, így az eredményt az autokorreláció függvény időbeli ábrázolásával mutatom be. Az autokorreláció függvény a mintavételi idő függvényében (esetünkben hetenként) adott pillanattól viszonyított úgynevezett lépéskülönbségenként¹ az idősorok önmaguktól vett lineáris függését adja meg.

A három kardinális mintavételi pont (Z15, Z11, Z27) vízkémiai, vízbiológiai és fizikai paramétereinek becsültem az autokorreláció függvényeit. Ezeket klaszteranalízis segítségével

¹ hetenkénti lépéskülönbséget alkalmaztam

csoportosítottam, a különböző típusok meghatározása végett. Hét csoportot különítettem el, melyek csoportátlagait a **8.2./1 ábra** mutatja be.



Az autokorreláció függvény lépéstávolságának maximumát 52 hétben választottam meg, hogy láthatóvá váljon, az éves periódus a jelben – feltéve ha megvan benne-. Ebből a szempontból az 1., 2. és 5. csoport hasonló egymáshoz.

Megfigyelhető, hogy az 1. csoport kivételével egy lépés (egy hét) eltolás esetén az autokorreláció függvény értéke különböző mértékben lecsökken.

Ennek a legkirívóbb példája a 3. csoport, ahol egy hetes eltolás után a lineáris függés átlagos mértéke mindössze 22%. A periodikus jellegeket hordozó csoportoknál ez az érték 53 és 74%¹ között mozog.

Figyelemre méltó eredmény, hogy az egyes csoportokban lévő paraméterek hány százaléka származik a három kardinális minavételi pont valamelyikéről. Ezt mutatja be a **8.2/2. táblázat**.

	Z15	Z11	Z27
1. csoport	0%	89%	11%
2. csoport	6,6%	46,8%	46,6%
3. csoport	62,5%	12,5%	25%
4. csoport	47,6%	14,3%	38,1%
5. csoport	20,1%	46,6%	33,3%
6. csoport	40%	40%	20%
7. csoport	40%	10%	50%
<i>8.2./2. táblázat, Autokorreláció függvény paramétereinek csoportonkénti mintavételi pontokhoz tartozása</i>			

Az adatokból már sejteni lehet azt a tény, hogy a Z11 „átfolyó” paramétereinek többsége a leghosszabb emlékezetű csoportokban fog helyet foglalni. Abban az esetben, ha azt kívánjuk vizsgálni, hogy a mintavételi pontokon mért paraméterek hány százaléka található a leghosszabb emlékezetű csoportokban, megállapítható, hogy a Z15 paramétereinek 12,1%, a Z11-nek 68,8%, míg a Z27-nek 41,9%-a foglal helyet a három leghosszabb emlékezetű csoportban (1., 2. és 5. csoport).

Az 1., 2. és 5. csoport közül az 1. csoportba tartozó változóknak a legnagyobb az emlékezete. Ezek egy kivételével mind a Z11 „átfolyó” mintavételi ponton mért paraméterek: kémiai oxigén igény, kalciumion, összes keménység, összes foszfor, összes szerves szén, oldott szerves szén és a Z27 „kifolyón” mért szulfátion-mennyiség. Érdekes tény azonban, hogy ezekben a hosszú emlékezetű csoportokban, a vizsgált ionok mindössze 33,3%-a található meg, és ezek 50%-a a Z11-es mintavételi pontról származik.

¹ Ezek a determinációs együtthatók

A legrövidebb emlékezetű csoportok a 3., a 4. és a 6.. Az ezekben található változók 62,5%, 47,6% és 40%-a a Z15 „befolyó” mintavételi pontról származik. Általánosságban a Z15-ön mért összes változónak 78,12%-a a három legrövidebb emlékezetű csoportban található.

A vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a Z15 mintavételi ponton a legrövidebb a változók emlékezte egy hét vonatkozásában, tehát az ott mért paraméterek nagyon gyorsan változnak. Ezzel szemben a Z11 egy kiegyensúlyozott tavi rendszer jellegzetességeit mutatja. A Z27-es pont adatairól, pedig azt feltételezhetjük, hogy a beérkező csatornák terhelésükkel megzavarják az általa reprezentált II. ütemet, így az ott vizsgált változók jóval rövidebb emlékezettel fognak rendelkezni, mint az I-es ütem azonos paraméterei. Ez az eredmény mondanivalóját tekintve egybevág a Wavelet spektrumelemzés eredményeivel.

9. Összefoglalás, következtetések

A Kis-Balaton 13 mintavételi pontjára több mint 25 kémiai, biológiai és fizikai paraméterre, 1984-2006-os időintervallumra alkalmaztam adatelemző módszereket. Vizsgáltam a változók havi és éves menetét három kardinális mintavételi ponton. A három kardinális mintavételi ponton kívül további 11 mintavételi pont paramétereinek éves átlagadataira klaszteranalízist végeztem, majd Wilks' lambda statisztika alkalmazásával meghatároztam, hogy mely vízkémiai paraméterek milyen mértékben felelősek a klaszteranalízis eredményeként kapott csoportok alakulásáért. Végül autokorreláció függvényvel és Wavelet spektrumfelbontással periodicitás- és emlékezetvizsgálatot hajtottam végre a három kardinális mintavételi pont paramétereire.

Klaszteranalízis során a mintavételi pontokat 10 évre (1996-2006) évenként csoportosítottam. Az egy klaszter csoportba tartozó pontok területi elterjedésének változása bemutatta, hogyan módosult a Kis-Balaton területei közötti határ, amikor a makrofita vegetációval jellemezhető pontok nyílt vízterűvé alakultak.

Wilk-féle lambda statisztika segítségével meghatározhatóvá vált, hogy a mintavételezési pontok csoportba sorolásáért leginkább az eutrofizáció mutatói felelnek. Ezeket az eutrofizációs folyamatokkal szoros kapcsolatba hozható változók követik. A csoportosítást legkevésbé a szerves kémiai komponensek befolyásolták.

Eredményeim bemutatták, hogyan alakult a Zala által szállított szerves kémiai komponensek visszatartása az évek folyamán. Egyértelműen látszik a bemutatott komponensek

éves statisztikáinak mindegyikén az I. ütem teljes (1985) és a II. ütem részleges (1992) átadásának jótékony hatása. A vizsgált paraméterek mindegyike jelentős csökkenést mutatott az üzembehelyezést követően. Így nem lehet tovább kérdés, hogy a Kis-Balatonnak igenis van létjogosultsága; jótékony hatása a Keszthelyi öböl, így a Balaton oligotrofizációjára megkérdőjelezhetetlen.

A növényzet kipusztulása a 202i mintavételi ponton a klorofill-a-visszatartás csökkenését eredményezte. Ez a kérdés azért létfontosságú, mert a II. ütem befejezetlen térrésze még tervezés alatt áll, és nem eldöntött a kérdés, hogy az I. ütemhez hasonlóan nyílt vízteret alakítanak ki, vagy egy mocsaras területet, mint a II. ütem ingói része. Vizsgálataim szemléltették, hogy milyen következményekkel jár a nyílt víztér átterjedése az alapvetően makrofita II. ütemre. A klorofill-a-visszatartás lecsökken, ami az eutrofizáció fokozódását eredményezi. Ezért elengedhetetlen feltennünk a kérdést, hogy egy nyílt vízterű, vagy egy makrofita növényzettel dúsan borított II. ütemet kívánunk megvalósítani.

Az éves periódus létét, vagy kimaradását wavelet spektrumfelbontással, míg az egyes paraméterek emlékezetét autokorreláció függvényvel vizsgáltam a három kardinális mintavételi pontra (Z15 „befolyó” Zalaapáti; Z11 „átfolyó” Balatonhidvég; Z27 „kifolyó” Fenékpusztá).

Az autokorreláció függvények hét típusba voltak besorolhatók. Közülük három az adott paraméterre vonatkozóan éves periódust mutatott, és egyúttal ezek foglalták magukba azokat az idősorokat is, amelyeknek egy hetes időeltolásnál a leghosszabb volt az emlékezetük. A Z15 mintavételi pont paramétereinek 12,1%-a, a Z11-nek 68,8%-a, míg a Z27-nek 41,9%-a foglal helyet ezekben a hosszú emlékezetű csoportokban. Ez az eredmény azt mutatja, hogy a Z15 mintavételi ponton a paraméterek mért értékei gyorsan váltznak az időben. Ezzel szemben a befejezett I. ütem végén lévő Z11 egy kiegyensúlyozott tavai rendszer jellegzetességeit tükrözi. Mivel a Z27 pont által leírt II. ütem vizébe jelentős mennyiségben szállítanak vizet Somogy-felől csatornák, sőt Keszthely város szennyviz elvezető csatornája is ide torkollik be (205-ös pont), ezért a Z27 pont emlékezet szempontjából kiegyensúlyozott viselkedése felborul.

A wavelet spektrumfelbontásból kapott eredmények megerősítik az autokorreláció függvényből kapottakat. Az éves periódus a „befolyó” Z15 ponton, a vizsgált időtartam 2/3-ában hiányzik. A Z27-en az egyéb vízbefolyások többletterhelése miatt az éves periódus kimaradásának időtartama jelentősen megnő, így a Kis-Balaton és a Zala torkolatánál lévő Z15-höz hasonlóvá válik.

A periodicitás és emlékezet vizsgálata módszertani különlegességükön túl, bemutatta a három fő mintavételi pont egymáshoz viszonyított viselkedését. Ez megkérdőjelezhetlenül rámutat arra a tényre, hogy az I-es ütem egy beállt, és periodicitás és emlékezet szempontjából

stabil rendszer. Az itt mért változók 68,8%-a hosszú emlékezetű, így az itt zajló folyamatok retenciós ideje megnő. Ezzel az I. ütem teljesíti azt a feladatot, amit az elképzelések és a tervezés során neki szántak.

Eredményeimmel úgy vélem, a szakma egy átfogóbb képet kaphat a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszerben zajló folyamatokról, így remélem, érdemben hozzá tudok járulni a Kis-Balaton befejezésének munkálataihoz.

10. Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt köszönöm Kovács József adjunktusnak, témavezetőmnek az inspirációt, a támogatást, a bizalmat és példamutató segítőkészségét. Páratlan oktató, és nagyon sokan tanulhatnak diákjaihoz való hozzáállásából.

Szintén köszönöm Korponai János főiskolai docensnek a folyamatos támogatást, és azt, hogy minden kérdéssel hozzá fordulhattam.

Köszönöm továbbá a Nyugat-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, keszthelyi Kis-Balaton Üzemmnökség igazgatójának, Nádor Istvánnak, hogy engedélyezte számomra az Igazgatóság adataihoz való hozzáférést.



11. Irodalomjegyzék

- Barcza Márton Kovács József Kovácsné Székely Ilona, 2008: *Mintázatok és autokorreláció a Tisza-folyó vízkémiai és biológiai paramétereinek id sorain, /Publikációra benyújtva/*
- Bártfai Barnabás, 2007: *Office 2007 (Word, Excel, Access, Outlook, Powerpoint)*
- Borbás V., 1891: *Tanulmányok a Balaton hínárjáról. Földrajzi Közlöny. 19. 467.*
- Borbás V., 1900: *A Balaton tavának és partmellékének növényföldrajza és edényes növényzete. BTTE Bp. 2. 1-430*
- Dévényi, D., Gulyás, O., 1988: *Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest.*
- István Tátrai, Vera Istvánovics, László-G. Tóth¹ and István Kóbor, June 2008: *Management measures and long-term water quality changes in Lake Balaton (Hungary). Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie, Vol. 172/1: 1–11, June 2008*
- Istvánovics Vera, Kovács Attila, Herodek Sándor, 1996: *A Kis-Balaton foszfor forgalma, Kis-Baltoni Ankét, 1996. (Összefoglaló értékelés a KBVR 1991-1995 közötti kutatás eredményeir l) 515-529*
- Istvánovics, V. & L. Somlyódi, 2001: *Factors influencing lake recovery from eutrophication - the case of Basin 1 of Lake Balaton.. Water Research 35, 729–735*
- Kiss, G., Dévai, Gy., Tóthmérész, B., Szabó, A., Reskóné Nagy, M., 2005: *A vízmin ségi állapot hosszú távú változásainak többváltozós elemzése a Balaton példáján. Hidrológiai Közlöny, 6, pp. 57-59.*
- Kovács J., 2007: *Modern geomatematikai módszerek alkalmazása hidrogeológiai feladatok megoldására, PhD értekezés, pp 112*
- Kovács J., Szabó P., Szalai J. 2004: *Talajvízállás adatok id soros vizsgálatai a Duna – Tisza közén, Vízügyi Közlemények, Vol: LXXXVI., 3.-4., pp.:607-624.*
- Kovács, J., 2005: *A Balatonon végzett vízmin ség vizsgálatok eredményeinek matematikai-statisztikai kiértékelése, értelmezése az EU VKI szempontjai figyelembe vételével. Kézirat, pp. 12 és mellékletek.*
- Kovács, J., Czauner, B., Kovácsné Sz. I., Borsodi, A., Reskóné N. M., 2008: *A Balaton eltér vízmin ség térségeinek változásai és a mért vízmin ségi id sorok mintázatai 1985 és 2004 között, Hidrol Közl (6)*

- Kovács, J., Koroknai, Zs., Futó, I., Kovácsné Székely, I., 2006: *Period estimation and using multivariable data analysis methods in Lake Balaton time-series. Acta Geod. et Geoph. Hung, 41/1, pp. 45–5.*
- Kovács, J., Székely, I., 1998: *Analysis of short time series; an application to chemical composition data of thermal water sources of Budapest. VII. International Congress of Ecology, Firenze, abstract, pp. 236.*
- Kovács, J., Székely, I., 2006: *A földtani adatok adatelemzésének nehézségei. Karsztfajl és XI., pp.15–24.*
- Kovács, L., Márkus, L., Csepregi, A., 1997: *Principal Component and Cluster Analysis of Groundwater Levels and Chemical Data. International Simposium on Contemporary Multivariate Analysis and its Applications, Hongkong, 1997, abstract, pp. 64.*
- K halmi Éva, K halmi Mariann Tünde, 2003: *CorelDraw 11*
- Lotz Gy. 1986: *A Kis-Balaton Véd rendszer. MHT VI. Orsz. Vándorgy. Hévíz június 17-19. I. 350-358*
- Lotz Gy., 1988: *A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer. Hidrol. Tájékoztató. Október 20-22.*
- Padisák, J., 2005: *Általános limnológia. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, pp., 38, 228-230, 236-239.*
- Pomogyi Piroska, 1991: *A Kis-Balaton Véd rendszer kémiai, biológiai, anyagforgalmi vizsgálatai, Összefoglaló jelentés az 1985-1990 közötti kutatásokról, Szombathely-Keszthely*
- Sajtos, L., Mitev, A., 2007: *SPSS Kutatási és Adatelemzési Kézikönyv. Alinea Kiadó, Budapest, pp. 113.*
- Stoyan Gisbert, 2008: *Matlab-Frissített kiadás*
- Süle György, 1996: *A rendszeres vízmin ségvizsgálatok eredményei 1991-1995 között, Kis-Baltoni Ankét, (Összefoglaló értékelés a KBVR 1991-1995 közötti kutatás eredményeir l) 59-69*
- Szabó, M., 1999: *A Balaton vízgazdálkodási fejlesztési programja. Hidrológiai Közlöny, 1, pp. 2-10.*
- Székelyi, M., Barna, I., 2004: *Túlél készlet az SPSS-hez. Typotex Kiadó, Budapest.*
- Vollenweider, R. A. & J. Kerekes, 1980: *The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. Prigress in Water Sci. Technol. 23: 5-38*

Vollenweider, R.A., 1989: *Global problems of eutrophication and its control*. In: Sánki, J. & S. Herodek (szerk.) *Conversation and management of lakes 19-41*, Akadémiai Kiadó, Budapest.

<http://www.nyuduvizig.hu/> (fotók)

12.Melékletek:

I. Melléklet

Összes mért paraméter		Megjegyzés	Mely módszernél volt alkalmazható
Név	Rövidítés (mértékegység)		
Vízhozam	Vízhozam (m ³ /s)	Nem vizsgált	Trend
Víz hőmérséklet	T-viz. (°C)	Nem vizsgált	Nem vizsgált
Levegő hőmérséklet	T-lev (°C)	Nem vizsgált	Nem vizsgált
Kémiai oxigén igény kromátos eredeti	KOI-Ke (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
	KOI-P (mg/l)	KOI-Ke-vel erősen korrelál	Nem vizsgált
Kémiai oxigén igény kromátos szűrt	KOI-Ksz (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Kémiai oxigén igény kromátos partikulált	KOI-Kp (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
	KOI-Kp (%)	Számított paraméter	Nem vizsgált
5 napos biológiai oxigén igény	BOI-5 (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Oldott oxigén	Old.ox. (mg/l)		Klaszter analízis
Oxigén telítettség	Oxtel (%)	Számított paraméter	Nem vizsgált
pH	pH		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Vezetőképesség vagy konduktivitás	Vez.kép. vagy cond. (µS/cm)		Ttrend, periodicitás, emlékezet
m-lúgosság	m-lug. (mmol/l)		Nem vizsgált
p-lúgosság	p-lug. (mmol/l)		Nem vizsgált
Összes keménység	Össz.kem. vagy ökem (CaOmg/l, NK°)		Klaszter analízis, trend, emlékezet
Karbonát keménység	Karb.kem (CaOmg/l, NK°)		Klaszter analízis, trend, emlékezet

Kalciumion	Ca ²⁺ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Magnéziumion	Mg ²⁺ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Nátriumion	Na ⁺ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Káliumion	K ⁺ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Kloridion	Cl ⁻ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Szulfácion	SO ₄ ²⁻ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Hidrokarbonát ion	HCO ₃ ⁻ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Karbonácion	CO ₃ ²⁻ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Vas (II) ion	Fe ²⁺ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Mangán ion	Mn ²⁺ (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Ammónium-nitrogén	NH ₄ -N (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Nitrit-nitrogén	NO ₂ -N (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Nitrát-nitrogén	NO ₃ -N (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Kjeldálos nitrogén	KJN (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Oldott kjeldálos nitrogén	Old. KJN (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Összes nitrogén	ÖN (mg/l)		Klaszter analízis, trend, Periodicitás, emlékezet
Oldott szerves nitrogén	o.org.N (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Összes oldott nitrogén	Össz.old.N (mg/l)		Trend
Partikulát nitrogén	PN (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
	PN (%)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Foszfát-foszfor	PO ₄ -P (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Összes oldott foszfor	ÖOP (mg/l), old.P (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet

Összes foszfor	ÖP (mg/l)		Klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Oldott nem reaktív foszfor	Old.nr.P (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Partikulát foszfor	PP (mg/l)	Számított paraméter	Nem vizsgált
	PP (%)	Számított paraméter	Nem vizsgált
Összes oldott anyag	Ö.old.a. (mg/l)		Klaszter analízis, trend,
Lebegő anyag	Leb.a. (mg/l)		Klaszter analízis, periodicitás, emlékezet
Klorofil-a	a-klorofill vagy chl-a (mg/m ³)		klaszter analízis, trend, periodicitás, emlékezet
Ultra-viola sugárzás extinkció	UV-ext		Nem vizsgált
Lebegőanyag kalciumkarbonát-tartalma	La.CaCO ₃ (%)		Nem vizsgált
Összes szerves szén	TOC (mg/l)	1999-től mért	Ttrend, emlékezet
Összes oldott szén	DOC (mg/l)	2002-től mért	Trend, emlékezet
Oldott kén ion	Old.S ²⁻ (mg/l)	2006-tól mért	Nem vizsgált
Összes kén ion	Össz.S ²⁻ (mg/l)	2006-tól mért	Nem vizsgált
<i>5.1. táblázat. Az összes, és a különböző vizsgálati módszerekben alkalmazott adat</i>			

II. Melléklet

Összes mintavételi pont		Ütem	Megjegyzés
Név, hely	Rövidítés		
Zala-folyó-KisBalaton torkolat „befolyó”, Zalaapáti	Z15	Zala folyó	Zala vizét reprezentálja
Zalavári közúti áteresztő	Kb2	I. ütem	Hiányos idősorok miatt kimaradt a vizsgálatokból
Pogányvári víz	Kb4	I. ütem	
Radai víz	Kb5	I. ütem	Hiányos idősorok miatt kimaradt a vizsgálatokból
Terelőtöltés vége	Kb6	I. ütem	
Kányavári víz	Kb7	I. ütem	

2T- műtárgy	Kb8	I. ütem	Nem vizsgált
3T- műtárgy	Kb9	I. ütem	Kazetta
4T- műtárgy	Kb10	I. ütem	
Kazetta közepe	Kb12	I. ütem	
Zala-folyó „átfolyó”, Balatonhídvég	Z11	Zala folyó	I-es ütem vizét reprezentálja
Kis-Balaton-Balaton torkolat „kifolyó”, Fenekpuszta	Z27	Zala folyó	II-es ütem vizét reprezentálja
I. Terelőtöltés-nyugat	201	II. ütem	Nem vizsgált
Nyugati zárótöltés	202i	II. ütem	
I. Terelőtöltés északi vége	203	II. ütem	
Déli vízzáró töltés, vízmérce	204	II. ütem	Nem vizsgált
Egyesített övcsatorna- nyugat	205	II. ütem	
Zalavári víz	206	II. ütem	Nem vizsgált
Magyaros sziget	207	II. ütem	Nem vizsgált
II. Terelőtöltés a Zala- Somogyi határároknál	208	II. ütem	Nem vizsgált
I. Terelőtöltés-kelet	209i	II. ütem	
Bukóél	210	II. ütem	
Diás sziget-stég	211	Zala folyó	Nem vizsgált
<i>Nem vizsgált mintavételi pontokon rövid és hiányos volt az adatsor bármilyen vizsgálathoz</i>			