

# Mintavételezési gyakoriság optimalizálása variogram függvénnyel a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer példáján

Hatvani István Gábor<sup>1\*</sup>, Kovács József<sup>1</sup> és Korponai János<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék,  
H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C, e-mail: hatvaniig@gmail.com*

<sup>2</sup> *Nyugat-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság,*

*Kis-Balaton Üzemelnöksége, H-8360 Keszthely, Csík Ferenc sétány 1.*

**Összefoglaló:** Az alábbi tanulmányban mintavételezési gyakoriság becslésének gyakorlatát mutatjuk be a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) példáján, melynek kiemelt célja, hogy visszatartsa a Zala folyó által szállított növényi tápanyagokat a Balatontól, ezzel megóvva annak vízminőségét. Mivel itt nem pusztán egy élőhely helyreállításról van szó, elengedhetetlen a rendszer hatásfokának meghatározása a Balaton foszfor és nitrogén terhelés csökkentése céljából. Ahhoz, hogy a KBVR hatásfokát elvárható pontossággal meg lehessen határozni, megfelelő gyakoriságú mintavétel szükséges. Tanulmányunkban arra a két kérdésre keressük a választ, hogy időben kellő gyakorisággal vett minta áll-e rendelkezésre a KBVR élőhelyein; és amennyiben ez megfelelő, szakmai és gazdasági szempontokra alapozva van-e lehetőség ennek a mintavételezési gyakoriságnak a ritkítására a jövőben? A fenti kérdések megválaszolásához mintavételezési gyakoriság becslést végeztünk variogram függvény segítségével, a KBVR négy mintavételi pontján 1993 és 2007 között naponta mért három paraméterre. Végeredményként elmondhatjuk, hogy a vizsgált paraméterek közül az összes foszfort és összes nitrogént figyelembe véve és a rendszer egészét nézve átlagosan három napos mintavételezési gyakoriságot javasolunk, ennek értelmében tápanyagterhelés mérése céljából a napi mintavételezés ritkítható. Ez az érték paraméterenként, mintavételi helyenként és évszakonként változhat.

**Kulcsszavak:** Balaton, Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer, mintavételezési gyakoriság becslés, tápanyagterhelés, variogram.

## Bevezetés

Jelen kutatásban a mintavételezési gyakoriság becslésének gyakorlatát mutatjuk be a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) idősorain. A KBVR egy jó példája a vízi ökoszisztéma helyreállításnak, melynek kiemelt célja, hogy visszatartsa a Zala folyó által szállított növényi tápanyagokat a Balatontól, elsősorban annak nyugati medencéjétől a Keszthelyi-öböltől, ezzel védve annak vízminőségét (Pomogyi 1991). A Balaton vízutánpótlásának 45%-át és tápanyagter-

helésének 35-40%-át a Zala folyó szállítja (Lotz 1988, Kovács *et al.* 2010), ami így jelentős szereppel bír a Balaton vízminőségének alakításában.

A KBVR két konstrukciós ütemben készült el. 1985-ben az I. ütem, ami egy eutróf tó és 1992-ben, a leginkább wetlandként jellemezhető II. ütem, melynek mindösszesen egy 16 km<sup>2</sup>-es része üzemel. A KBVR így a mai napig befejezetlen, befejezése 2014-re várható. Mivel a KBVR nem pusztán élőhely helyreállítás céljából jött létre az egykori Kis-Balaton helyén, így feltétlen szükséges a rendszer hatásfokának mérése (foszfor és nitrogén terhelés csökkentése céljából (Tátrai *et al.* 2000). Ahhoz, hogy a KBVR hatásfokát elvárható pontossággal meg lehessen határozni megfelelő gyakoriságú mintavétel szükséges. Tapasztalataink szerint (Hatvani *et al.* 2011) a vízvédelmet szolgáló monitoring rendszerek mintavételezési gyakoriság szempontjából sokszor „szélsőségesen” működnek. Üzemeltetés során az illetékesek vagy a lehető legsűrűbb mintázást alkalmazzák, hogy „biztosan helyes eredményt” kapjanak, vagy csak annyi mintázás történik, amennyi kielégíti a jogszabályban előírtakat. A túl gyakori mintavételezés az emberi és anyagi erőforrások pazarlásához, míg a túl ritka környezeti problémák fel nem ismeréséhez vezethet.

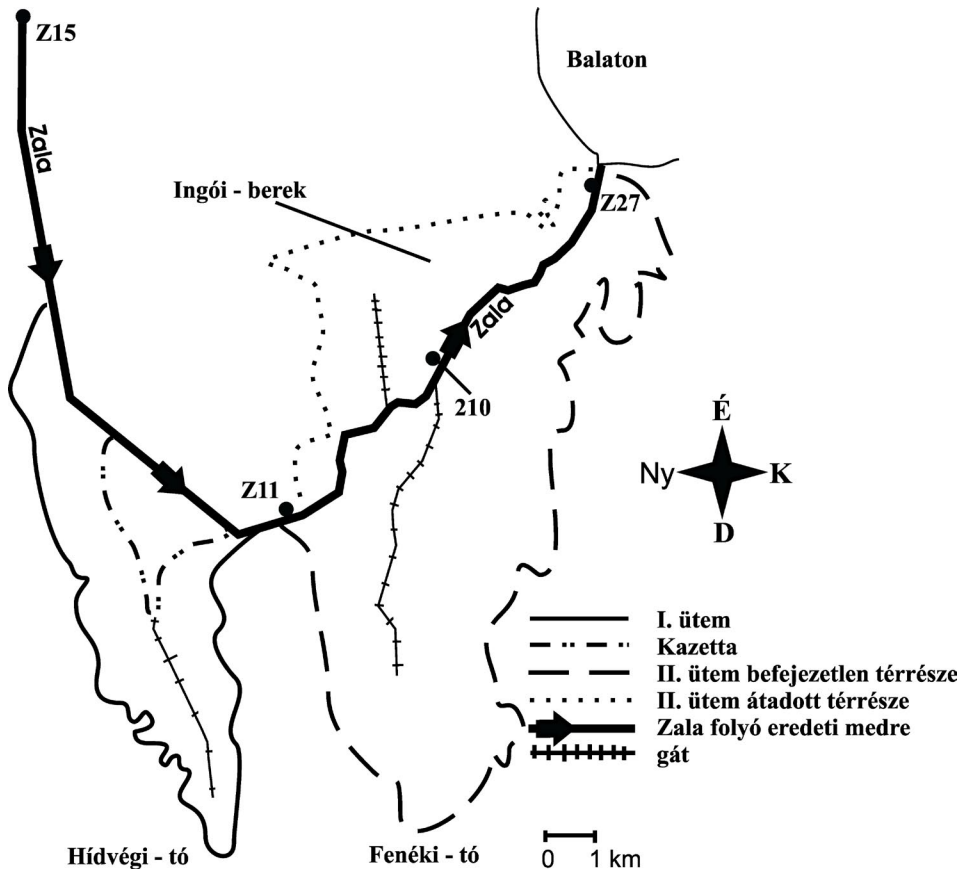
Mintavételezési gyakoriság becslésével arra a két kérdésre keressük a választ, hogy időben kellő gyakorisággal vett minta áll-e rendelkezésre a KBVR élőhelyein, és amennyiben ez megfelelő, szakmai és gazdasági szempontokra alapozva van-e lehetőség ennek ritkítására?

## Módszerek

A fenti kérdések megválaszolásához variogram vizsgálatot végeztünk a KBVR négy mintavételi pontján (Z15, Z11, Kb210 és Z27) (1. ábra) három, 1993 és 2007 között naponta vizsgált paraméterre [összes nitrogén (ÖN), összes foszfor (ÖP, mg l<sup>-1</sup>) és vízhozam (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)].<sup>1</sup> A teljes vizsgált adathalmaz több mint 61.000 adatot tartalmazott.

Az adatok előkészítése során a paraméterek rendelkezésre álló adatait szétválasztottuk téli és nyári adatokra. Azon adatokat, melyekhez tartozó víz hőmérséklet meghaladta a 15 °C-t nyári, melyekhez pedig 10 °C alatti hőmérséklet tartozott téli adatoknak tekintettük. A 10 és 15 °C közötti víz hőmérséklethez tartozó adatokat elhagytuk, mivel ezek egy átmeneti időszakot jellemeztek (Van Straten & Herodek 1982).

<sup>1</sup> A vízhozam az eredmények validálása során került felhasználásra, a Keszthelyi-öböl tápanyagterhelésének meghatározásakor.



1. ábra. A Kis-Balaton Vízüdelmi Rendszer és a vizsgálat tárgyát képező négy mintavételi pont (Kovács *et al.* 2012 alapján).

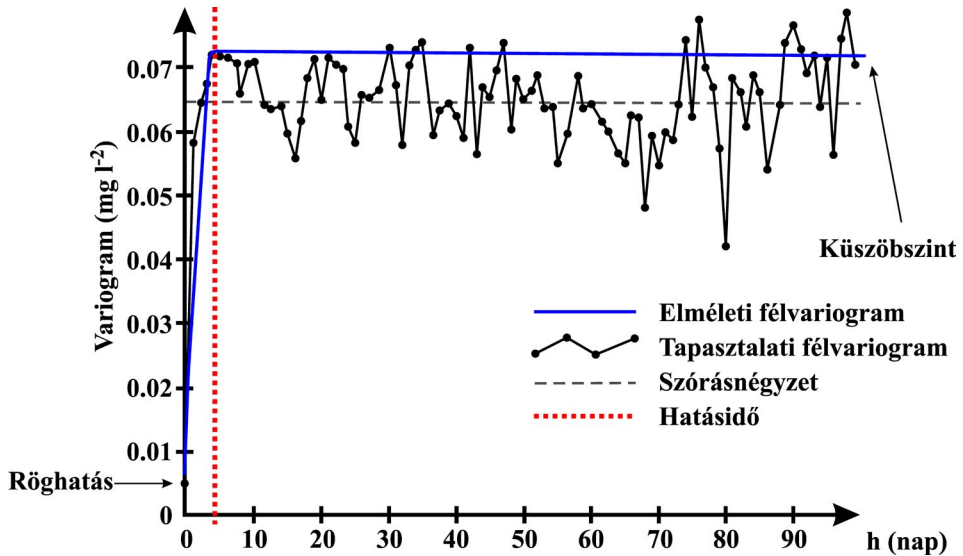
Szemlélet alapján is belátható, hogy minél nagyobb egy adott paraméter  $h$  idő (vagy tér) távolságon belül bekövetkező változása, annál sűrűbb mintavételezés szükséges. A  $h$  tér- vagy időbeli távolságon bekövetkező változékonyság leírására számos függvény ismert. A tanulmányban a félvariogram függvényt használtuk, ami belső hipotézissel is rendelkező gyenge stacionaritású tér és időbeli folyamatok esetében is létezik, szemben az autokorreláció függvényvel. A tapasztalati félvariogramot Matheron-féle algoritmussal számítottuk. Az eredményül kapott függvénynek alapvetően a következő három típusa különíthető el. Az első, amikor a vizsgált idő vagy tér távolságon a félvariogram folyamatosan

nő. Ekkor az adott folyamat nem stacionárius, trend eltávolítása szükséges. A második fontos típus az, amelynél a tapasztalati félvariogram függvény értékei a kezdeti emelkedés után konstanssá válnak. Ez az az érték, amelynél ez bekövetkezik az ordinátán nézve a küszöbszint, az abszcisszán nézve a hatástávolság (idő esetén hatásidő). A cél a hatástávolság meghatározása, mert ez az a távolság vagy idő, ahol a minták már egymástól függetlenek (Oliver 2010). Ahhoz hogy a minták egymástól való távolsága ne legyen túl nagy, hogy megismerhessük a vizsgált folyamatok belső struktúráját, hatástávolságon belül kell végrehajtani a mintavételezést. Gyakori eset, hogy a tapasztalati félvariogram függvény az ordinátán nem az origóból indul (rögthatás). Ennek oka lehet mérési hiba is, de a  $\partial$  h távolságon belül bekövetkező hirtelen változás is. A harmadik nagy csoport, amikor az említett felszálló ág hiányzik, ezért a félvariogram pontjai a szórásnégyzet körül ingadoznak. Ekkor rögthatás típusú félvariogramról beszélünk. Ez akkor jöhet létre, ha a mintavételezés nem megfelelő, adataink függetlenek; ekkor alkalmazható a matematikai statisztika. A tapasztalati félvariogramot az elméleti félvariogram modellekkel szokás közelíteni. Ennek számos típusa ismert. Esetünkben az úgynevezett szférikus modell alkalmazása volt a leginkább megfelelő és a leggyakoribb. További és részletesebb leírás Füst (1997, 2004), Molnár és Füst (2002), Molnár *et al.* (2010) és Füst & Geiger 2010-es munkáiban olvasható.

A nem stacionárius idősorok esetén a stacionaritást trend eltávolításával lehet biztosítani, amit a „hagyományos” (polinomiális, harmonikus stb.) függvényekkel nem lehetett elég pontosan megvalósítani, ezért szükségessé vált egy, a trendszerű változásokhoz minden esetben illeszkedő módszer alkalmazása. Ezt esetünkben egy helyileg súlyozott mozgóátlag simítás (LOESS)<sup>2</sup> használatával (Cleveland 1979, Cleveland & Devlin 1988) értük el.

A variogram vizsgálatból kapott eredményeket tápanyagterhelés becsléssel ellenőriztük. Az eredményeink helyességét az határozta meg, hogy a rendelkezésre álló napi adatokból számított éves tápanyagterhelés és a napi adatok meszterségesen 3, 4, 5, 6, 7, 10 és 14 napra ritkített adatsorából számított éves tápanyagterhelés hány százalékban különbözik egymástól, ha a napi adatokból számított éves nitrogén, illetve foszforterhelést tekintjük 100%-nak. Amennyiben a ritkített és a napi adatokból számított tápanyagterhelések közötti különbség meghaladta az 5%-ot, az adott ritkítésű mintavétel nem volt megfelelő (Raisin *et al.* 1997).

<sup>2</sup> Locally estimated scatterplot smoothing



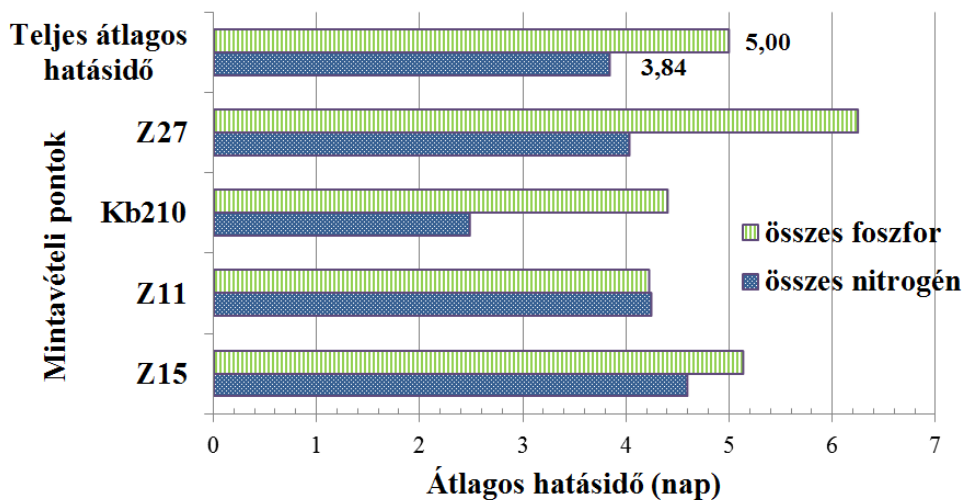
2. ábra. ÖN variogramja Z11 mintavételi ponton 1999 telén;  $h$  jelöli az eltolás mértékét, hatásidő négy nap.

### Eredmények

Hatásidő becslés eredményeként kapott  $\sim 450$  variogramról meghatároztuk azt a legnagyobb mintavételezési gyakoriságot, ami tápanyagterhelés becsléséhez még elfogadható. A variogram számításokra egy példát a 2. ábra mutat be. Itt az ÖN 2005 telén 4 napos hatásidővel volt jellemezhető; mintavételezési gyakoriságának ennél sűrűbbnek kell lennie, ami ekkor teljesült is a napi mintavétellel. Az összegzett eredmények a 3. ábrán a láthatóak. Itt az ÖN mutatott nagyobb változékonyságot, ezért ezt tekintettük mértékadónak, ehhez alkalmazkodva biztonsági tényező<sup>3</sup> figyelembevételével mindkét paraméterre és a rendszer egészére vonatkoztatva 3 napos mintavételezési gyakoriság javasolt. Ez az érték évszakonként változhat, ami esetünkben nem volt jelentős.

A validálás megerősítette eredményeinket, miszerint a három napos mintavételezési gyakoriság kritikus a tápanyagterhelés számításának pontossága szempontjából. Példaként említhető, hogy az 5%-nál nagyobb foszfor terhelések átlaga a Z15 mintavételi ponton a háromról négy napra történő ritkítás esetén

<sup>3</sup> A hatásidő egy statisztika, ezért valószínűség elméleti szempontból valószínűségi változóként tekintendő, így a kapott eredmények csökkentése szükséges (lefele kerekítés)



**3. ábra.** közel~450 variogramról leolvasott hatásidők átlaga, paraméterenként, mintavételi pontonként. A teljes átlagos hatásidő a négy mintavételi ponton kapott összes hatásidő átlaga paraméterenként (Kovács et al. 2012 alapján).

5,4%-ról 8,43%-ra nő. Ez a növekedés általánosan jellemző (néhány kivételtől eltekintve) a többi paraméterre és mintavételi helyre is.

### Értékelés

Több kutatás is foglalkozott már a Balatont érő külső terhelések mintavételezésének kérdéskörével, Pintér és Somlyódy 1986-ban publikált munkájában lineáris programozáson alapuló modellel vizsgálja többek között a jelen kutatás által is felvetett problémákat. A kapott eredmények verifikáláshoz alkalmazott elgondoláshoz hasonlóan használt Clement (2004). Az általunk alkalmazott módszerrel ellentétben ő nem közvetlenül a mért változók értékeivel, hanem egy ezekből számított (a Rendszer hatékonyságát leíró) paraméterrel dolgozik (tápanyagterhelés). Buonaccorsi (2010) könyvében pedig több egyéb módszer használatára is kitékint.

Összegzésként elmondható, hogy a rendszer egészét nézve átlagosan három napos mintavételezési gyakoriságot javasolunk. Ez az érték paraméterenként, mintavételi helyenként és évszakonként is változhat. Ezen eredmények ismere-

tében kijelenthető, hogy a jelenlegi napi mintavételezési gyakoriság a tápanyagterhelés mérése céljából elegendő, sőt ritkítható és kiterjeszhető a KBVR II. ütemének befejezetlen részére is. Itt fél éves napi mintavételezés javasolt meg erősítő számítások céljából, hiszen jelentős élőhelyi különbségek állhatnak fenn a KBVR vizsgált és még üzembe nem helyezett térrésze között.

Megfigyelési rendszerek esetleges időbeli ritkítása csakis ilyen és ehhez hasonló tanulmányok után javasolt. Ezek hiányában ugyanis a ritkított mintavételezésből kapott adatok annyira pontatlan eredményeket szolgáltathatnak, melyek jelentős károkhoz, vagy azok fel nem ismeréséhez vezethetnek.

### Irodalomjegyzék

- Buonaccorsi, J. P. (2010): *Measurement error: models, methods, and applications*. - Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, USA 451 p.
- Clement, A. (2004): *A foszforterhelés meghatározása és csökkentésének hatása sekély tavak foszforforgalmára*. Ph.D. disszertáció (kézirat)
- Cleveland, W. S. & Devlin, S. J. (1988): "Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting," – *Journal of the American Statistical Association* **83**: 596–610.
- Cleveland, W. S. (1979): "Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots," – *Journal of the American Statistical Association* **74**: 829–836.
- Füst, A. (1997): *Geostatistika*. - Eötvös Kiadó, Budapest 232 p.
- Füst, A. & Geiger, J. (2010): Monitoring tervezés és értékelés geostatisztikai módszerekkel -1.: Szakértői véleményen alapuló, ún. I hazoló mintázás geostatisztikai támogatása. – *Földtani Közöny* **140**(3): 303–312.
- Füst, A. (2004): *Short Course of Geostatistics (kézirat)*. - Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Informatika Tanszék, Gödöllő, 56 p.
- Hatvani, I. G., Kovács, J., Barcza, M., Kovácsné, Sz. I., Jakusch, P. & Bernáth, Gy. (2011): Adatelemző módszerek alkalmazásának feltételei és lehetőségei a felszíni és felszín alatti víz védelmében. In: Bunyevác, J., ifj. Csonka, P., Fodor, I. & Gálosi-Kovács, B. (szerk.): *A fenntartható fejlődés, valamint a környezet-és természetvédelem összefüggései a Kárpát-medencében*; e-könyv. MTA Pécsi Akadémiai Bizottság, Pécs. (ISBN: 978-963-7068-10-2)
- Kovács, J., Hatvani, I.G., Korponai, J. & Kovácsné, Sz. I. (2010): Morlet wavelet and autocorrelation analysis of long term data series of the Kis-Balaton Water Protection System (KBWPS). – *Ecological Engineering* **36**: 1469–1477.
- Kovács, J., Korponai, J., Kovácsné, Sz.I. & Hatvani, I.G. (2012): Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). – *Ecological Engineering* **42**: 237–243.
- Lotz, Gy. (1988): A Kis-Balaton Vízügyi Rendszer. Hidrológiai Tájékoztató Október 20 – 22
- Matheron, G. (1965): *Les Variables Regionalisées et leur Estimation*. Masson at Cie. Éditeurs, Paris, 305 p.

- Molnár, S. & Füst, A. (2002): *Környezet-informatikai modellek I.* - Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Informatika Tanszék, Gödöllő, 81 p.
- Molnár, S., Füst, A., Szidarovszky, F. & Molnár, M. (2010): *Környezetinformatikai modellek II.* - Szent István Egyetem, Gödöllő, 191 p.
- Oliver, M. A. (2010): *An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture.* In: Oliver, M. A. (szerk.): *Geostatistical Applications for Precision Agriculture.* Springer, London, pp. 1–34.
- Pintér, J. & Somlyódy L. (1986): Water quality monitoring in lakes and tributaries. – *Integrated design of Hydrological Networks* (Proceedings of the Budapest Symposium Hungary, 2-10. July 1986). **IAHS Publ. no. 158.**
- Pomogyi, P. (szerk.) (1991): *A Kis-Balaton Védőrendszer kémiai, biológiai, anyagforgalmi vizsgálatai, Összefoglaló jelentés az 1985-1990 közötti kutatásokról.* – Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Szombathely-Keszthely, 258 p.
- Raisin, G. W., Mitchell, D. S. & Croome, R. L. (1997): The effectiveness of a small constructed wetland in ameliorating diffuse nutrient loadings from an Australian rural catchment. – *Ecological Engineering* **9**(1-2): 19–35.
- Tátrai, I., Matyás, K., Korponai, J., Paulovits, G. & Pomogyi, P. (2000): The role of the Kis-Balaton Water Protection System in the control of water quality of Lake Balaton. – *Ecological Engineering* **16**: 73–78.
- Van Straten, G. & Herodek, S. (1982): Estimation of algal growth parameters from vertical primary production profiles – *Ecological Modelling* **15**(4): 287–311.



## Optimizing sampling frequency using variograms on the example of the Kis-Balaton Water Protection System

István Gábor Hatvani<sup>1\*</sup>, József Kovács<sup>1</sup> and János Korponai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Eötvös Loránd University, Department of Physical and Applied Geology,  
H-1117 Budapest, Pázmány P. stny 1/C., Hungary; kevesolt@geology.elte.hu;  
\*e-mail: hatvaniig@gmail.com*

<sup>2</sup> *West Transdanubian Water Authority, Department Kis-Balaton,  
H-8360 Keszthely, Csík Ferenc sétány. 1., Hungary; e-mail: Korponai.janos@nyuduvizig.hu*

In every case when an environmental system is monitored an optimal temporal sampling frequency must be determined, to avoid wasting environmental, financial and human resources. In course of the study the aim was to suggest an optimal sampling frequency for the Kis-Balaton Water Protection System (KBWPS). It is a mitigation wetland with the main purpose to protect the water quality of Lake Balaton (the largest shallow freshwater lake in Central Europe) by retaining its nutrient loads arriving through the River Zala. As a first step trend removal was performed on time series of the KBWPS concerning four sampling sites and three daily sampled parameters for the years 1993-2007, then using variogram analysis the optimal temporal sampling frequency was determined. Nutrient load estimation was used as a verification tool. The verified result of the variogram analysis pointed towards a three day sampling frequency for the whole KBWPS in case of total phosphorous and total nitrogen parameters. This means that the actual sampling could be rarefied if the aim of the monitoring is nutrient load estimation.

Keywords: Kis-Balaton Water Protection System, Lake Balaton, nutrient load, sampling frequency estimation, variogram.