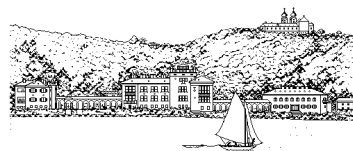


Ecology of Lake Balaton/ A Balaton ökológiája

MTA BLKI Elektronikus folyóirata
2011. 1(1): 76-84.



VÍZALATTI FÉNYVISZONYOK A BALATONBAN

Vörös Lajos*

MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3.

*vorosl@tres.blki.hu

Kulcsszavak: vízalatti fény, extinkció, algák, huminanyagok, lebegőanyagok, Secchi-átlátszóság

Kivonat: A Balaton vízalatti fényviszonyait a múlt század hetvenes éveiben tanulmányozták egész évre kiterjedő rendszerességgel. Ezeket a rendszeres méréseket több mint negyedszázados szünet után az ezredfordulót követően indítottuk el újra a tó legegtróbb területén a Keszthelyi-medencében, valamint a legtisztább vizű Siófoki-medencében a fényextinkciót meghatározó paraméterek (összes lebegőanyag, a-klorofill és oldott színes szerves anyagok) párhuzamos mérésével egyetemben, annak érdekében, hogy megállapítsuk utóbbiak hozzájárulását a fényvesztéshez és nyomon kövessük az eufotikus vízmélység változásait. A tisztább vizű Siófoki-medencében a vizsgálat öt éves (2007-2011) időtartama alatt a K_d értéke $0,38\text{ m}^{-1}$ és $5,64\text{ m}^{-1}$ között változott, átlagérték $1,31 \pm 0,82\text{ m}^{-1}$ volt. A Keszthelyi-medencében a K_d legkisebb értéke $0,54\text{ m}^{-1}$, a legnagyobb $6,01\text{ m}^{-1}$, átlagértéke $2,0 \pm 0,82\text{ m}^{-1}$ volt. A lebegőanyagok és a K_d közötti összefüggést felhasználva módosítottuk V.-BALOGH *et al.* (2009) sekély tavakra kidolgozott empirikus egyenletét, amely megbízható lehetőségét nyújtja a Balatonban a K_d érték becslésének egyszerű és olcsó laboratóriumi mérések (a-klorofill, Pt-szín, összes lebegőanyag) felhasználásával a fotoszintetikusan aktív sugárzás hullámhossztartományban. Megállapítottuk, hogy a Keszthelyi-medence kisebb átlátszóságát alapvetően a nyaranta nagyobb tömegben elszaporodó algák és a Kis-Balaton vízrendszerből bemosódó oldott színes szervesanyagok (huminanyagok) okozzák. Méréseink szerint a Balatonban szignifikáns összefüggés van a Secchi-átlátszóság (SD) és a fotoszintetikusan aktív sugárzás extinkciója (K_d) között, de ez az összefüggés nem túlságosan szoros, a K_d * SD szorzat tág határok (0,3-2,9) között változik, átlagértéke alig több mint fele (0,9) a klasszikus POOLE & ATKINS (1929)-féle (1,7) értéknek. Ez a jelentős eltérés a Balaton sekélységéből, és az üledék felkeveredése okozta turbiditásból ered. Ezért tekintjük a Secchi-átlátszóságot a Balatonban is egy önmagában értékes vízminőségi mutatónak, elfogadva azt, hogy annak elsődleges funkciója egy egyszerű mértékét adni a víz tisztaságának.

Bevezetés

A Balaton vízalatti fényviszonyainak megismerése a tó természettudományos tanulmányozásának kezdeteitől foglakoztatja a kutatókat. CHOLNOKY (1900) a 19. század végén Secchi-koronggal végzett átlátszóság mérések alapján megállapította, hogy a Balaton fényklímája sekélysege, nagy felülete és a gyakori intenzív hullámozás hatására nagyon változatos. A későbbi vízalatti fénymérések (LUDÁNY & PÁTER, 1929; ULLYOTT & KNIGHT, 1938; ENTZ, 1950) rámutattak, hogy a fénytani tulajdonságok a Balaton hullámjárta vizében nem állandóak és igen rövid idő alatt megváltozhatnak. A vízalatti fényviszonyok ismerete a sekély Balaton esetében is alapvető fontosságú, mert a planktonikus és bentikus algák valamint a szubmerz makrofitonok elterjedése és produkciója, ezáltal az egész vízi életközösség működésének megértése e nélkül nem lehetséges.

A Balaton vízalatti fényviszonyait az elsődleges termeléssel összefüggésben először FELFÖLDY és KALKÓ (1958) tanulmányozták, 1957 nyarán párhuzamosan mérték a Secchi-átlátszóságot és a vízalatti fényintenzitás változásait vízhatlan tokba zárt szelén fényelemmel és melyből meghatározták meg a vertikális extinkciós koefficiens értékét és annak változásait. ENTZ (1964), összegezve a Balaton fényviszonyainak sajátosságait, kiemeli, hogy a más tavakkal való összevetésben az extrémnek mondható. Télen a jégfedettség idején a víz olyan átlátszó, mint az itáliai Maggiore tó vize, ezzel szemben nyáron viharos időben a víz extrém zavaros, hasonlatos a Fertő-höz vagy akár a fehérvízü szikes tavakhoz. A vízalatti fényviszonyokat és a Secchi-átlátszóságot egy teljes évre kiterjedően kétheti gyakorisággal először HERODEK és TAMÁS (1973, 1974) mérték a Siófoki-medencében majd ezt követően a Keszthelyi-medencében (HERODEK & TAMÁS, 1975).

A rendszeres vízalatti fényméréseket több mint negyedszázados szünet után az ezredfordulót követően indítottuk el újra a tó legegtróbb területén a Keszthelyi-medencében, valamint a legtisztább vizű Siófoki-medencében a fényextinkciót meghatározó paraméterek (összes lebegőanyag, a-klorofill és oldott színes szerves anyagok - huminanyagok) párhuzamos mérésével egyetemben, annak érdekében, hogy megállapítsuk utóbbiak hozzájárulását a fényvesztéshez és nyomon kövessük az eufotikus vízmélység változásait. Célunk volt továbbá empirikus függvénykapcsolat meghatározása a fő fényabszorbeáló komponensek és a vízoszlop vertikális extinkciós koefficiens között. Párhuzamos mérési adataink alapján vizsgáltuk továbbá a Secchi-átlátszóság és a vertikális extinkciós koefficiens közötti kapcsolatot a Balatonban.

Anyag és módszer

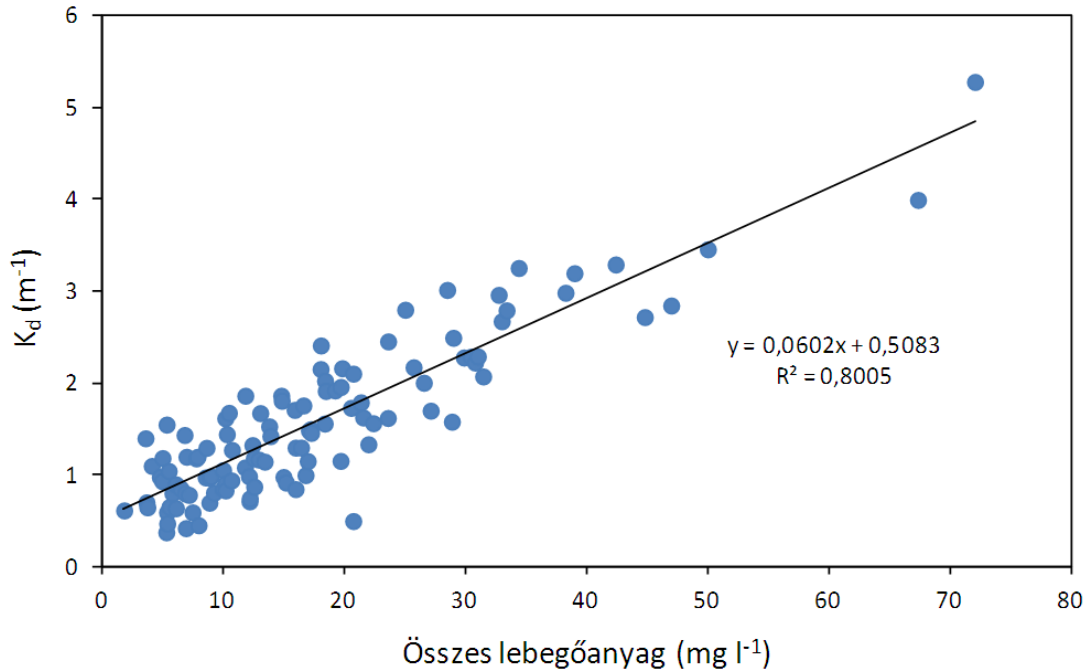
A Keszthelyi-medence közepén (46°44'05.8"N - 17°16'32.0"E) és a Siófoki-medencében Balatonfüred és Zamárdi között (Tihany előtt) tóközépen (46°55'19.0"N - 17°55'53.6"E) 2007 január 16 és 2001 december 5 között kétheti/havi gyakorisággal mértük összesen 188 alkalommal a fotoszintetikusan aktív sugárzás változásait a vízmélység függvényében LI-COR vízalatti radiométerrel síkfelületű 2π szenzorral. Egyidejűleg mértük a Secchi-átlátszóságot 20 cm átmérőjű fekete-fehér koronggal. Ezzel párhuzamosan vízmintát vettünk, a laboratóriumba szállított mintákból az a-klorofill koncentrációt spektrofotometriás módszerrel határoztuk meg forró metanolos extrakciót követően (NÉMETH, 1998). Az összes lebegőanyag mennyiségét gravimetriás módszerrel, az oldott színes szervesanyagok mennyiségét a víz színének (Pt-egység) spektrofotometriás mérésével határoztuk meg (CUTHBERT & del GIORGIO, 1992). A vízoszlop vertikális extinkciós koefficiensének (K_d) meghatározásához a műszer által mért fényin-

tenzitás értékek ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$) természetes alapú logaritmusát a vízmélység (m) függvényében ábrázoltuk, ekkor a mérési pontokra illesztett egyenes meredeksége a K_d értékével azonos. Ebből az eufotikus vízmélység (m) -az a mélység, ahová a beeső fény 1%-a lejut- a következőképpen számítható: $Z_{eu} = 4,6/K_d$.

Eredmények

A tisztább vízű Siófoki-medencében a vizsgálat öt éves időtartama alatt a K_d értéke $0,38 \text{ m}^{-1}$ és $5,64 \text{ m}^{-1}$ között változott, átlagértéke $1,31 \pm 0,82 \text{ m}^{-1}$ volt. A Keszthelyi-medencében a K_d legkisebb értéke $0,54 \text{ m}^{-1}$, a legnagyobb $6,01 \text{ m}^{-1}$, átlagértéke $2,0 \pm 0,82 \text{ m}^{-1}$ volt ugyanebben az időszakban. Az eufotikus mélység a Siófoki-medencében ennek megfelelően $0,81 \text{ m}$ és $12,18 \text{ m}$ között mozgott (a mért értékek a meder fizikai mélységét gyakran meghaladták), átlagos értéke $4,48 \pm 2,16 \text{ m}$ volt. A Keszthelyi-medencében az eufotikus mélység minimuma $0,76 \text{ m}$, maximuma $8,51 \text{ m}$, átlagértéke pedig $2,84 \pm 1,47 \text{ m}$ volt. Az eufotikus mélység szezonálisan változott, télen rendszerint nagyobb, az év többi időszakában kisebb volt. A Siófoki-medencében télen $4,8 \text{ m}$, az év többi időszakában $3,5 \text{ m}$ volt az átlagos eufotikus mélység. A Keszthelyi-medencében ugyanez $3,72 \text{ m}$ és $2,14 \text{ m}$ volt.

A lebegőanyagok legkisebb mért koncentrációja a vizsgált időpontokban 2 mg l^{-1} , maximuma 95 mg l^{-1} volt, a Siófoki-medencében és a Keszthelyi-medencében a lebegőanyagok koncentrációja nem mutatott értékelhető eltérést. Az összes mérési adat alapján szoros összefüggés van a vertikális extinkciós koefficiens és az összes lebegőanyag koncentráció értékek között, a magas tengelymetszet érték jelzi, hogy a lebegőanyagok mellett más tényezők is szerepet játszanak a fénykioltásban (**1. ábra**).



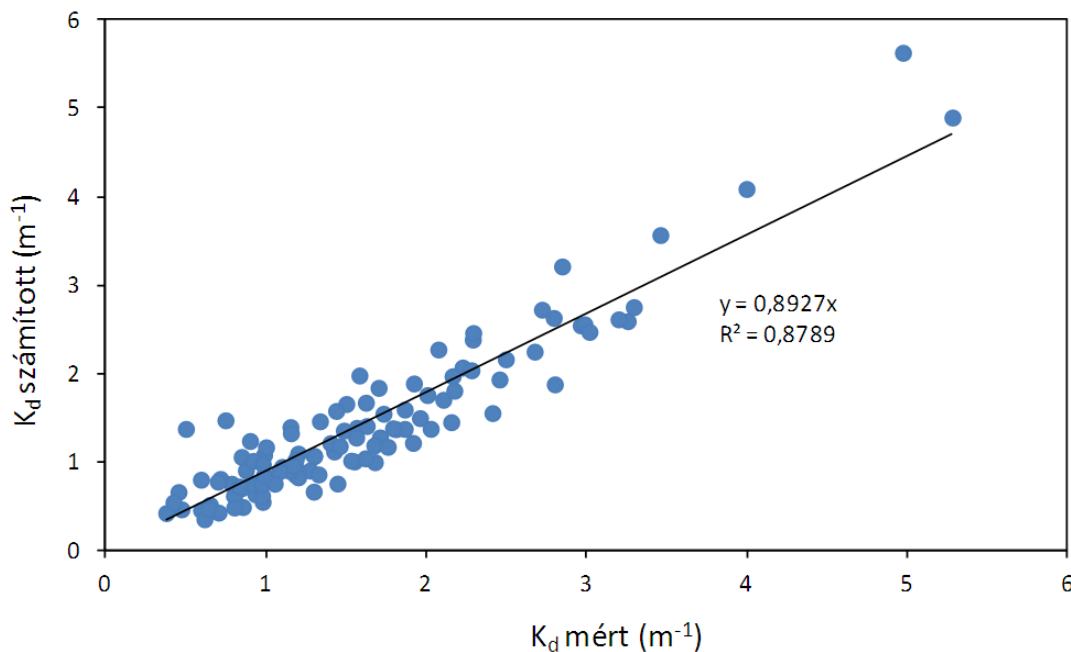
1. ábra. Összefüggés a balatonvíz összes lebegőanyag koncentrációja és a vízoszlop vertikális extinkciós koefficiens értéke között.

A kapott összefüggés felhasználásával módosítottam V.-BALOGH *et al.* (2009) sekély tavakra, a fotoszintetikusan aktív sugárzásra kidolgozott empirikus egyenletét a lebegőanyagok specifikus extinkciós koefficiensére vonatkozóan, amely a Balatonra adaptálva a következőképpen írható le:

$$K_d = -0,0255 + 0,0141 * KL + 0,0172 * Pt + 0,060 * LA \quad (1)$$

Ahol: K_d = vertikális extinkciós koefficiens (m^{-1})
 KL = a-klorofill ($\mu g \text{ l}^{-1}$)
 Pt = víz szín ($mg \text{ Pt l}^{-1}$)
 LA = összes lebegőanyag ($mg \text{ l}^{-1}$)

A fenti empirikus összefüggés alapján a klorofillmérés, a Pt-szín meghatározás és az összes lebegőanyag mérési adatokból becsülhető a vízoszlop vertikális extinkciós koefficiense, a mért és az ily módon becsült (számított) adatok között szoros és szignifikáns összefüggést kaptunk (**2. ábra**).



2. ábra. Összefüggés a balatonvízben mért vertikális extinkciós koefficiens és az empirikus egyenlet alapján becsült fényextinkció értékek között.

A mért algabiomassza (a-klorofill), Pt-szín és összes lebegőanyag ismeretében kiszámítható, hogy egy adott időpontban mely tényezők milyen mértékben járulnak hozzá a fénykioltáshoz a vízoszlopban. Eredményeink szerint 2010-ben és 2011-ben a Siófoki-medencében az algák és az oldott huminanyagok együttes hozzájárulása a vízalatti fényviszonyokhoz 5 és 68% között változott, átlagosan 21% volt (**3. ábra**). A Keszthelyi-medencében hozzájárulásuk nagyobb (14-83%), átlagosan 40 %, és gyakran jutnak domináns szerephez (**4. ábra**).

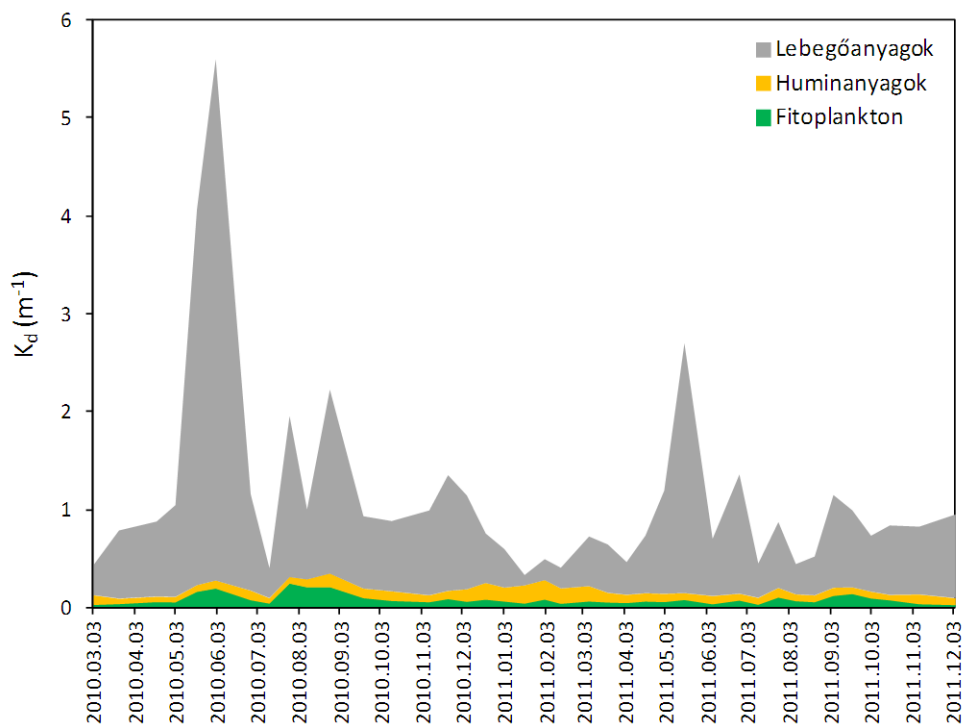
A Secchi-átlátszóság értéke a Balatonban 0,15m és 1,70 m közötti, átlagosan $0,66 \pm 0,34$ m volt. A Secchi-átlátszóság és a vízoszlop vertikális extinkciós koefficiense között szignifikáns, nemlineáris összefüggést kaptunk (**5. ábra**).

$$K_d = 0,923 * SD^{-0,859} \quad (2)$$

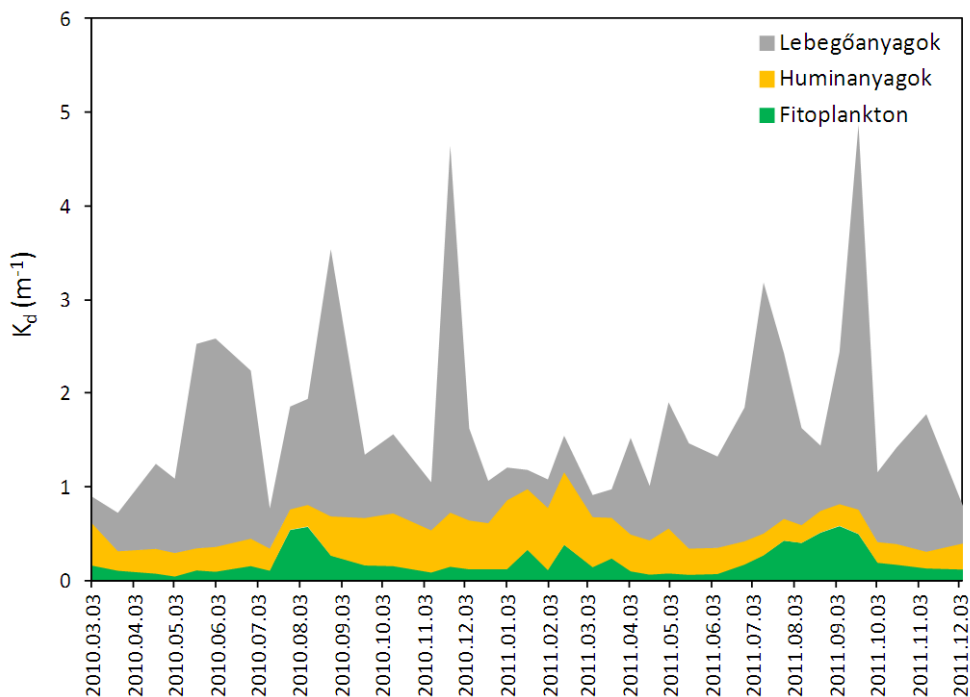
Ahol:
 K_d = vertikális extinkciós koefficiens (m^{-1})
 SD = Secchi-átlátszóság (m)

Vízalatti fényviszonyok a Balatonban

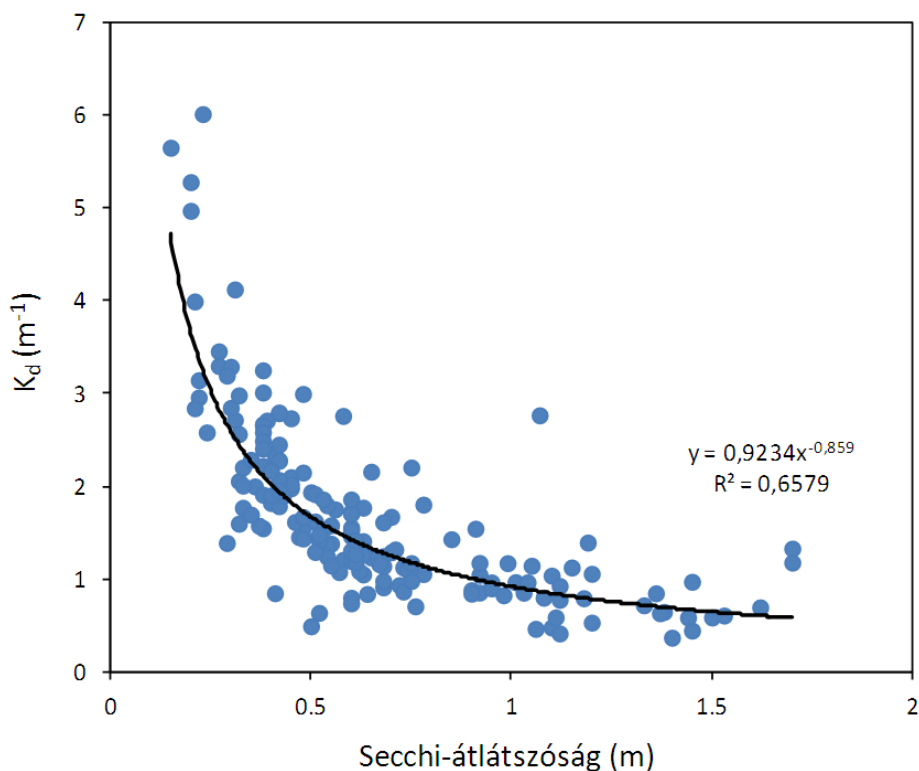
A K_d és az SD szorzat értéke 0,33 és 2,96 között változott, átlagosan $0,90 \pm 0,32$ -nak adódott.



3. ábra. A lebegőanyagok, az oldott huminanyagok és a fitoplankton fényextinkciója a Siófoki-medencében 2010-2011-ben.



4. ábra. A lebegőanyagok, az oldott huminanyagok és a fitoplankton fényextinkciója a Keszthelyi-medencében 2010-2011-ben.



5. ábra. Összefüggés a Secchi-átlátszóság és a vertikális extinkciós koefficiens között a Balatonban.

Megbeszélés

A kapott eredmények szerint jelentős különbség van a Siófoki-medence és a Keszthelyi-medence között a vízalatti fényviszonyok tekintetében. Ezt mutatják a K_d értékek átlagértékei ($1,3 \text{ m}^{-1}$ vs $2,0 \text{ m}^{-1}$), de még szemléletesebb a különbség az eufotikus mélységek tekintetében. Télen mindkét medencében lejut a fény a mederfenékre, hiszen a Siófoki-medencében az átlagos eufotikus mélység ilyenkor 4,8 m, Keszthelynél pedig 3,5 m, ezért a tó egész területén lehetőség van az üledékfelszínen a fitobentosz fotoszintézisére és szaporodására. Nyáron korántsem ilyen kedvező a helyzet, különösen igaz ez a sekélyebb Keszthelyi-medencére, ahol az eufotikus mélység 2 méter körüli, ebből következően a medence nagy nyíltvízi területein a fényhiány miatt nem tud fitobentosz kialakulni, amit korábbi algavizsgálataink is kimutattak (BÁNYÁSZ *et al.*, 2005). Tekintettel arra, hogy a lebegőanyagok koncentrációja a Keszthelyi-medencében kissé nagyobb, mint a tó többi területein (átlagérték: Keszthely - $21,4 \text{ mg l}^{-1}$; Tihany - $17,4 \text{ mg l}^{-1}$), az átlátszóságbeli különbségekért részben, de csak részben a sekélyebb Keszthelyi-medencében nagyobb mértékben felkeveredő üledék is okolható.

Az 1. számú empirikus egyenlet felhasználásával kiszámíthatóvá vált, hogy a lebegőanyagoknak tulajdonítható átlagos fényextinkció mértéke Keszthelynél $1,27 \pm 0,89 \text{ m}^{-1}$, Tihanyánál $1,0 \pm 1,04 \text{ m}^{-1}$. Azonban az is egyértelművé vált, hogy a Keszthelyi-medence kisebb átlátszóságát alapvetően a nyaranta nagyobb tömegben elszaporodó algák és a Kis-Balaton vízrendszerből bemosódó oldott színes szerves anyagok – huminanyagok (V.-BALOGH & VÖRÖS, 1995; V.-BALOGH *et al.*, 2006) okozzák (**3.**, **4. ábra**). A mérési adatokból az is látszik, hogy a Keszthelyi-medencében az átlátszóságot, ezen keresztül a víz küllemét a Kis-Balatonban keletkező oldott huminanyagok nagyobb mértékben rontják, mint a lebegő mikroszkópikus algák. A huminanyagoknak tulajdo-

nítható átlagos K_d értéke itt $0,27 \pm 0,15 \text{ m}^{-1}$, az algák okozta átlagos K_d érték pedig csak $0,21 \pm 0,15 \text{ m}^{-1}$.

A Keszthelyi-medencében a múlt század hetvenes éveiben végzett mérések szerint (HERODEK & TAMÁS, 1975) a víz kevésbé volt átlátszó, a K_d átlaga 1973-1974-ben $2,47 \pm 0,54 \text{ m}^{-1}$ volt, szemben az utóbbi évek $2,0 \pm 0,82 \text{ m}^{-1}$ átlagával. Ezt a különbséget az akkoriban nagy tömegben elszaporodott algák okozhatták, de az ásványi lebegőanyagok mennyisége is nagyobb lehetett, amikor a hetvenes években a Zala közvetlenül ömlött tóba, és huminanyagok még kevésbé színezték a Keszthelyi-medence vizét. A Siófoki-medencében, Tihanynál 1972-1973-ban a K_d átlagértéke $1,53 \pm 0,87 \text{ m}^{-1}$ volt (HERODEK & TAMÁS 1973, 1974), ami nem különbözik szignifikánsan az általunk mért értékektől ($1,31 \pm 0,82 \text{ m}^{-1}$). A korábbi tihanyi mérések (FELFÖLDY & KALKÓ, 1958; ENTZ & FILLINGER, 1961) csak viszonylag rövid nyári időszakot ölelnek át, ezért összehasonlításra kevésbé alkalmasak.

Annak ellenére, hogy a vízalatti fénymérés, ezen belül a fotoszintetikusan aktív sugárzás mérése napjainkban megbízható műszerekkel könnyen végrehajtható, a Secchi-koronggal való mérés egyszerűsége miatt mindmáig sztenderd eszköze a limnológiának. Még napjainkban is széleskörűen elterjedt gyakorlat, hogy a biológusok a Secchi-átlátszóság alapján becsülik meg az eufotikus réteg vastagságát. E becslés alapjául POLE és ATKINS (1929) klasszikus munkája szolgál, akik empirikus összefüggést közöltek tengeri méréseik alapján a vízoszlop vertikális extinkciós koefficiense és a Secchi-átlátszóság között, amely szerint a K_d (m^{-1}) és SD (m) szorzata egyenlő 1,7-tel. Ezt az összefüggést változatlan formában még ma is sokan használják, annak ellenére, hogy azt számos kritika érte. WALKER (1982) 200 óceáni (Észak-kelet Ausztrália) mérés alapján szoros szignifikáns összefüggést állapított meg a Secchi-átlátszóság és a vertikális extinkciós koefficiens között ($r=0,985$), ahol a $K_d * SD$ szorzat 0,89 és 2,66 között változott, átlagos értéke 1,5-nek adódott. E változatosság hátterében nemcsak a víz optikai tulajdonságainak változása állt, hanem a Secchi-átlátszóság mérési hibájával is összefüggött. FRENCH *et al.* (1982) 66 párhuzamos mérés alapján két USA-beli víztározón eltérő, de szoros szignifikáns összefüggést talált az SD és a K_d között.

Méréseink szerint a Balatonban is van összefüggés a két változó között, de az összefüggés nem túlságosan szoros (**5. ábra**), a $K_d * SD$ szorzat is tág határok (0,3-2,9) között változik, átlagértéke alig több mint fele (0,9) a klasszikus (1,7) értéknek. Ez a jelentős eltérés a Balaton sekélységéből, és az üledék felkeveredése okozta turbiditásból ered, ahogy azt már korábban alaszakai tavakon igazolták. KOENINGS és EDMUNDSON (1991) 58 alaszakai tavon végzett 88 párhuzamos mérést Secchi-koronggal és vízalatti radiométerrel. Eredményeik szerint a $K_d * SD$ szorzat értékei 0,52 és 3,83 közöttinek adódtak. A szorzat medián értéke tiszta vizekben 1,86 (1,13-3,26) volt, amely huminos vizekben 2,7 (1,81-3,83)-re nőtt, ezzel szemben zavaros (turbid) vizekben a balatonival gyakorlatilag megegyező 0,93 (0,52-2,56) értékre csökkent. Mindebből az is következik, hogy a Secchi-átlátszóság értékéből csak meglehetősen nagy bizonytalansággal lehet az eufotikus réteg mélységére következtetni a Balatonban, de így van ez más vizekben is.

Ezzel szemben a V.-BALOGH *et al.* (2009)-féle módosított empirikus összefüggés (1. egyenlet) viszont nagyon megbízható lehetőséget nyújt a Balatonban a K_d érték becslésének, egyszerű és olcsó laboratóriumi mérések alapján. Ezért, a Balaton esetében is be kell érniünk azzal, hogy a Secchi-átlátszóságot önmagában értékes vízminőségi mutatónak tekintjük, elfogadva azt, hogy annak elsődleges funkciója egy egyszerű méréstét adni a víz tisztaságának (PREISENDORFER, 1986).

Köszönetnyilvánítás

A munkát az OTKA-NKTH CNK 80140 és az OTKA K 73369 projektek támogatták.

Irodalom

- BÁNYÁSZ D., NÉMETH B. & VÖRÖS L., 2005. A balatoni fitobentosz mélység szerinti változásai. *Hidrológiai Közöny* **85**: 18-20.
- CHOLNOKY J., 1900. A Balaton szintüneményei. A Balaton Tudományos Tanulmányozásának Eredményei I. 5. II.: 1-58.
- CUTHBERT, I. D. & P. DEL GIORGIO, 1992. Toward a standard method of measuring color in freshwater. *Limnology and Oceanography* **37**: 1319-1326.
- FELFÖLDY L. & F. KALKÓ Zs., 1958. A vízalatti fényviszonyok és a fotoszintézis összefüggése a Balatonban, 1957 nyarán. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* **25**: 303 -329.
- ENTZ, B., 1950. Some physical and chemical conditions of the water of Lake Balaton, investigated from September 1948, to April 1949. (Temperature, transparency, dissolved oxygen, pH and organic substances). *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* **19**: 69 -81.
- ENTZ, B., 1964. Light conditions of Lake Balaton, a shallow lake in Hungary. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* **15**: 260-264.
- ENTZ B. & FILLINGER M., 1961. Adatok a Balaton fényklímájának ismeretéhez. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* **28**: 49-89.
- FRENCH, R. H. J. J. COOPER & S. VIGG, 1982. Secchi disc relationships. *Water Resources Bulletin* **18**: 121-123.
- HERODEK, S. & G. TAMÁS, 1973. The primary production of phytoplankton in Lake Balaton April–September 1972. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* **40**:207-218.
- HERODEK, S. & G. TAMÁS, 1974. The primary production of phytoplankton in Lake Balaton October 1972 –March 1973. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* **41**:205-216.
- HERODEK, S. & G. TAMÁS, 1975. The primary production of phytoplankton in the Keszthely basin of Lake Balaton in 1973-1974. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* **42**:175-190.
- KOENINGS, J. P. & J. A. EDMUNDSON, 1991. Secchi disk and photometer estimates of light regimes in Alaskan lakes: Effects of yellow color and turbidity. *Limnology and Oceanography* **36**: 91-105.
- LUDÁNY GY. & PÁTER J., 1929. Fotometriás mérések a Balaton vizében. *A Magyar Biológiai Kutatóintézet Munkái* **2**: 174-179.
- NÉMETH J., 1998. A biológiai vízminősítés módszerei. *Vízi természet- és környezetvédelem* 7. KGI Budapest pp. 303.
- POOLE, H. H. & W. R. G. ATKINS, 1929. Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **16**: 297-324.
- PREISENDORFER, R. W., 1986. Secchi disk science: Visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography* **31**: 909-926.
- ULLYOTT, P. & F. C. E. KNIGHT, 1938. Light penetration into Lake Balaton. *A Magyar Biológiai Kutatóintézet Munkái* **10**: 254-268.

- V.-BALOGH K. & VÖRÖS L., 1995. Huminanyagok hatása a Keszthelyi-öböl vizének optikai tulajdonságaira. XXXVII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 1995. szeptember 20-22. (Szerk. Bíró P.) Biomonitorozás- Biodiverzitás. Innopress Kft. 45-48.
- V.-BALOGH, K., M. PRÉSING, L. VÖRÖS, & N. TÓTH, 2006. A study of the decomposition of reed (*Phragmites australis*) as a possible source of aquatic humic substances by measuring the natural abundance of stable carbon isotopes. International Review of Hydrobiology. **91**: 15-28.
- V.-BALOGH, K., B. NÉMETH. & L. VÖRÖS, 2009. Specific attenuation coefficients of optically active substances and their contribution to the underwater ultraviolet and visible light climate in shallow lakes and ponds. Hydrobiologia **632**: 91-105.
- WALKER, T. A., 1982. Use of a secchi disc to measure attenuation of underwater light for photosynthesis. Journal of Applied Ecology **19**: 539-544.

Érkezett: 2011. szeptember 23

Javítva: 2011. november 11

Elfogadva: 2011. november 17