

**VÍZI-MOCSÁRI  
FOSZFORCIKLUSRÓL  
BALATON, KIS-BALATON**

**(Biological phosphorus-cycle in wetlands, Balaton, Kis-Balaton)**

**Írta: Plósz Sándor**

Megjelent: **HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY** 84. ÉVF. 2. SZÁM. 2004. MÁRCIUS-ÁPRILIS  
SZÁMBAN

Lezárva: 2003-10-28  
Budapest,

**Köszönet Dr. Felföldy Lajosnak, a közös gondolatok és - gondok emlékével.**

## Összefoglalás

A Balaton eutrofizációs folyamatainak kutatása az elmúlt huszonöt évben alapvetően két szemlélet irányában haladt. Abban mindkét irányzat megegyezett, hogy a foszfor, a termelést meghatározó, alapvető limitáló tápelem. A két irányzat között, kezdetben a szennyezés eredete, - pontszerű vagy diffúz, - majd a tavat terhelő foszforformák biológiai hozzáférhetőségének kérdése, illetve a foszfor biológiai ciklusának működése volt a vita, a véleménykülönbségek középpontjában. A két szemlélet ütköztetésére eddig, nem volt mód. A végrehajtott fejlesztések – tápanyag-csökkentési stratégia, kotrások, Kis-Balaton kialakítása és felülvizsgálata, - többsége, azok „megalapozása” a zárt rendszer szerint történt. (l. \*\*\* közötti rész.)

A „diffúz és pontszerű” vitában Joó O. (1975-78)<sup>7</sup> és Plósz S. (1978-83)<sup>12</sup> kutatásai mutatták be a diffúz nagyságrendjét és alapvető szerepét a tó eutrofizációs folyamataiban, nem vitatva a partközeli, illetve a pontszerű szennyezések súlyos jelentőségét.<sup>11</sup>

A foszfor biológiai hozzáférhetőségének alapkutatási eredményeitől eltekintve, a Balaton, illetve a Kis-Balaton rendszeres mérésein alapuló mérlegeket vizsgálva, megállapítottuk, hogy a bejutó összes-foszfor több, mint 95%-a az eutrofizációs folyamatokban hozzáférhetővé válik, és a biológiai folyamatokban felhasználódik. Jelentős - számottevő, az üledékbe való tartós eltemetődés nem mutatható ki.<sup>14, 15, 22, 23, 24,</sup>

A „zárt” rendszer szerint működő vízi-mocsári foszfor-ciklus „feltörésének” kutatása, Felföldy L. Plósz S. Dévai I. Wittner I., kutatásaihoz kötődnek.<sup>1, 2,</sup> amikor felismerték és kimutatták a foszfátredukciót és annak jelentőségét a Badacsonytomaji Kísérleti Állomás, nádas-tó-mocsárban. A foszfát redukció jelentőségét, a foszfor-ciklus kutatási eredményeket azóta, a nemzetközi kutatások, sokszor megerősítették.<sup>3,</sup> Előzményként a korai megfigyelések<sup>5,</sup> és Felföldy L. et. al. kutatásai<sup>18,</sup> jelentették az alapokat.

\*\*\*

A Balaton fejlesztését meghatározó „hivatalos” kutatások, gyakorlati munkák az esetek nagy többségében a foszforkörforgalmat leegyszerűsítik, még akkor is, ha a különböző foszforformák egymásba való átalakulását vizsgálják a belső P körforgalomban, vagyis a leegyszerűsített sémát kicsit bonyolítják. Alapjaiban a következő "egyenletet" tekintik "mérlegnek":  
(az idézőjeleket azért tettük ki, mert a vizsgált esetekben, az egyenletben nincs egyenlőség, még +- 30-40% pontosságban sem, tehát a mérleg, nem mérleg.)

**ÖP<sub>BE</sub> ---> Energia befogás, Belső P- körforgalom, - P-ülepedés, eltemetődés ---> ÖP<sub>KI</sub>**

**P = foszfor, ÖP= Összes foszfor**

(Forrás: Dr. Somlyódy L. Kis-Balaton Felülvizsgálata)<sup>15,</sup>

(A foszformérlegnek az ilyen leegyszerűsített, illetve zárt formája a mély tavak korábbi kutatási adataiból adódhatnak. Bár ott is tévesnek tekinthető, mint később látni fogjuk.)

\*\*\*

**A "mérleg" ellenőrzésének, a jelentős és nem vizsgált hiányok, figyelmen kívül hagyása, az eutrofizálódás és az ellene való védekezés logikájának teljes deformációjához vezetett!**

## KESZTHELYI-MEDENCE FOSZFORMÉRLEGE

**Keszthelyi medence összes foszfor terhelése**

(Nádorné Vöröss Ibolya szerint)<sup>22,</sup>

A Zala összes foszfor terhelése a Fenékpusztai szelvényben 1976 - 1994 évek között, Összesen: 1301,9 tonna P.

Dr. Somlyódy L : A Balaton négy medencéjének tápanyag mérlege (szerint)<sup>15,</sup>

Biológiaiilag hozzáférhető foszfor

(Dr. Somlyódy szerint, a *nem hozzáférhető rész*, a szilárd részecskékhez kötött, és mind azonnal kiülepszik, a hozzáférhető foszfor oldott, maximum 50%, ezt mi elhanyagoljuk, mivel nincsenek adatok. Úgy tekintjük az ÖP-t, a tényeknek megfelelően, mintha az 92- 98%-ban hozzáférhető lenne, vagy azzá alakul. Elhanyagoljuk, a medencét érő egyéb terheléseket, ami szintén a mi kárunkra módosít. Tehát összes foszforban számolunk.)

**Dr. Somlyódy modell szerint:**

A Keszthelyi medencébe bejut 100% foszfor

33% Továbbmegy a Szigligeti medencébe

67% Üledékbe temetődik a Keszthelyi medencébe

100% = 1301,9 tonna (Nádorné, Vöröss Ibolya szerint)

67% = 872,273 tonna (Dr. Somlyódy modell szerint az üledékben) 872 273 000 g

Keszthelyi medence területe: 38 km<sup>2</sup> 38 000 000 m<sup>2</sup>

Fajlagos terhelés egyenletes eloszlás esetén: 17,103 g/m<sup>2</sup> P terhelés

Lebegőanyag terhelés: 6691 tonna/év átlag (Nádorné, Vöröss Ibolya szerint)

6691 x 19 év = 127129 tonna

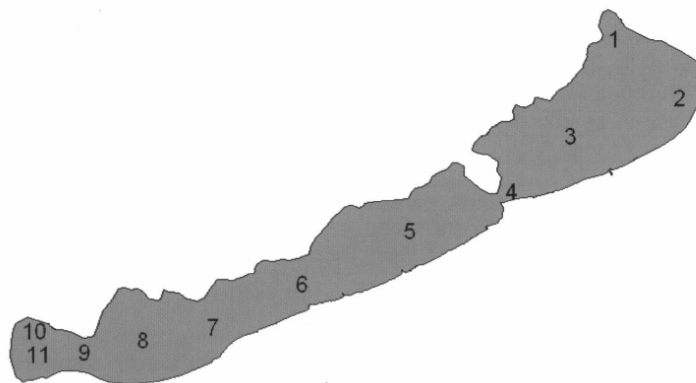
Fajlagos lebegőanyag, (üledék) terhelés egyenletes eloszlás esetén: 2,493 kg/m<sup>2</sup>

Fajlagos P tartalom a számítások szerint az üledékben: 6,860 g/kg.

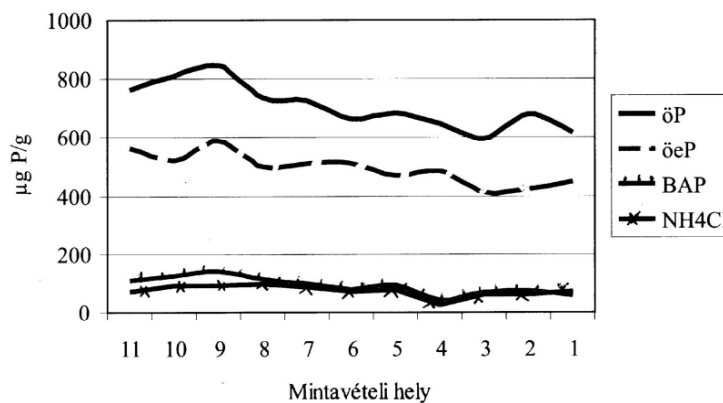
(Dr. Somlyódy modell szerint kellene lenni!)

**KESZTHELYI MEDENCE ÜLEDÉKÉBEN VAN: 55-850 µg/g P = 0,055-0,85 g/kg**  
**6,86 ≠ 0,055 - 0,850**

Balogi Zsolt és Ördög Vince kutatásai<sup>27</sup> a Balaton hossz tengelye mentén is, ezt az egyenlőtleniséget igazolja. 2002. évi kutatásaik szerint, a Keszthelyi medencében 0,75 – 0,8 g/kg összes foszfor, és 0,1 g/kg alatti értékekben, reaktív foszfor található!



1. ábra. Mederüledék mintavételi helyek



2. ábra. Az összes foszfor (öP), az összes extrahálható foszfor (öeP), a BAP és az ammónium-kloriddal extrahálható foszfor (NH4Cl) átlagértékei

1, 2, ábrák, Balogi Zs. És Ördög V. után.

Ha Balaton üledékterhelését a Keszthelyi medence 1/3-ának veszem a teljes 600 km<sup>2</sup> területre, 0,831kg/m<sup>2</sup>, az átlagos Öp terhelést 700µgP/g-nak, akkor megtalállok 349,2 t ÖP-t az üledékben! És ez csak 26,8%-a a Keszthelyi medencébe bejutott összes foszfornak. A tavat érő többi terhelést nem is számolva. Az alkalmazott zárt foszfor-ciklus, mérlege, nem zár! Ha az üledékterhelést az egész tóra, a Keszthelyi medencével azonosnak veszem, akkor sem! A Keszthelyi medencében közel 90%-os összes foszfor csökkenés, illetve az ÖP-ből a BHP kb. 99% csökkenést mutat. Tehát sem a „zárt ciklus”, sem a BHP (BAP) számítása, nem fedi a természetben lezajló, valóságot.

## Kis-Balaton (Felülvizsgálat) foszformérlegéről. <sup>15,</sup>

### Összefoglalás, és következtetések:

1. A foszformérlegből 1986-90 évekről a tározóban visszatartott foszforból az ellenőrző számítások szerint több mint 90% hiányzik, 1991-95 évi adatok alapján 57% a hiány, vagy egészen abszurd többlet van, „*mérés az anyagmérleg alapján becsülve*”.

**A foszformérleg így nem mérleg!**

2. A hibás foszformérlegre épített foszformodell nem alkalmas a tározó modellezésére. A modelltől származó eredmények és következtetések alkalmatlanok a tervezési alapok meghatározására. (A rovarok is legalább 8-10% foszfort kirepítenek, a halak is rögzítenek "némi" foszfor tömeget abban a populációban.

A hivatalos terv változatok szerinti továbbbépítést a „modellen” kívül az Ingói elárasztás tapasztalatai is cáfolják.

**Megjegyezzük:** Az eredeti tervek és a felülvizsgálati anyagban meghatározott terelőtöltéses vízkormányzás eloszlási és áramlási görbéi, nem fedik a valóságot. A számítógépes rajzok és szövegesen kimutatott egyenletes eloszlás és 1,5- maximum 5 cm/sec áramlások helyett 10-20 cm/sec sebességű, turbulens áramlások, csóvák, bontják a nádas-állományt. Először a sásos, sásos-nádasok, 40-50cm vízborítás nélküli nádasok pusztultak ki az elárasztástól, majd az áramló, és kékbaktériumos vízben, a "vízi" nádasok is kipusztultak!

*"Először a nádat kísérő hínárnövények tűnnek el, majd a nád babásodik, és kipusztul". /Kovács M. Tóth L. et. al. 1979. A Balaton nádas-állományának pusztulásáról./* <sup>19.</sup> A Kis-Balaton Növényinterpretációs térképei megkülönböztetnek közel harminc nádas- és ugyanannyi hínártársulást, de, hogy a nádasban a különböző vízterekben ez hogyan változik, - fajokban és területben, - azt nem. Pedig ez a jelzőrendszer!

Az adott, és a felülvizsgálati anyagban megerősített tározószabályozás, valamint az I. ütem, Hídvégi tó kialakítása, folyamatosan biztosítja a kékalgák dominanciájának környezeti feltételeit, bár kutatások már korábban (Dr. Borbély Gy. et. al.1996), bizonyították a kékalgák makrofitákra is toxikus hatását.

A hiányokra és a „konceptiótól” eltérő működésre többen felfigyeltek, de nem ellenőrizték a mérleget és a folyamatokat. (Istvánovits V. Heródek S.)<sup>22.</sup>

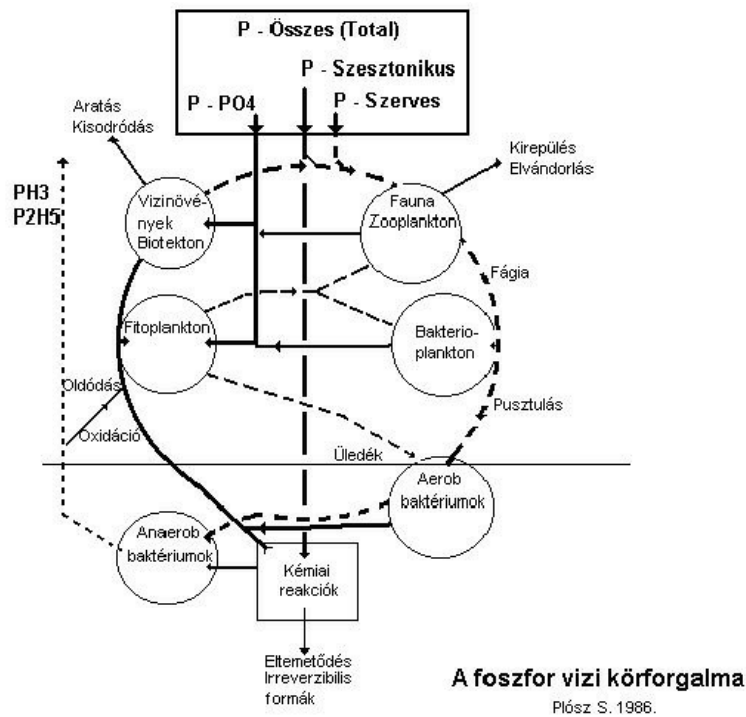
**A vízvédelmi rendszer e szellemben való továbbbépítése káros a vízminőség-, környezetvédelem szempontjából is, és a természetvédelmi célokkal is ellentétes.**

### 3. A vizsgálatokat végző kutatók eredményei azt mutatják, hogy:

- a. A felső tározó foszforeltávolítási hatásfoka a kezdeti években 50 % körüli értéket mutat és jelentős foszforhiányt, a tározóban visszatartott ÖP-ben. Még az eredeti talaj foszfortartalma is alig van meg. Nem is számolva a kipusztult, lebomló makrofiták foszfortartalmát. Tehát nagyon jó foszforeltávolítási hatásfoka volt a Hídvégi tónak! (Mindez alapjaiban megváltozott, miután zöldaratással kipusztították a nádasokat és gyékényeseket, valamint a sásos területekkel együtt, a vízszintszabályozás következtében befulladtak, nyíltvízű „algástó” alakult ki.)
- b. A denitrifikációhoz szükséges anoxia biztosított, aktív mikrobiális redukció zajlik az alzatban. Ez eredményezi a kékalga tömegszaporulat feltételeit, az időjárás és más tápanyagbőség, mellett.
- c. Az üledékben feltűnően negatív redox értékek találhatók tehát redukció zajlik a tóban.

## VÍZI-MOCSÁRI FOSZFORCIKLUSRÓL

Az ábrán csak az oldott ortofoszfát, szerves foszfor, amely lehet oldott és formált, valamint a döntően diffúz eredetű, az üledékrészecskékhez rögzült szesztionikus foszfort vizsgáljuk. Nagyobb részletességű felbontás esetén, elvesznénk az átalakulási folyamatokban. Gyakorlatilag ez a három csoport jelenti, az un. összes foszfor legnagyobb hányadát, több mint 95-98%-át.



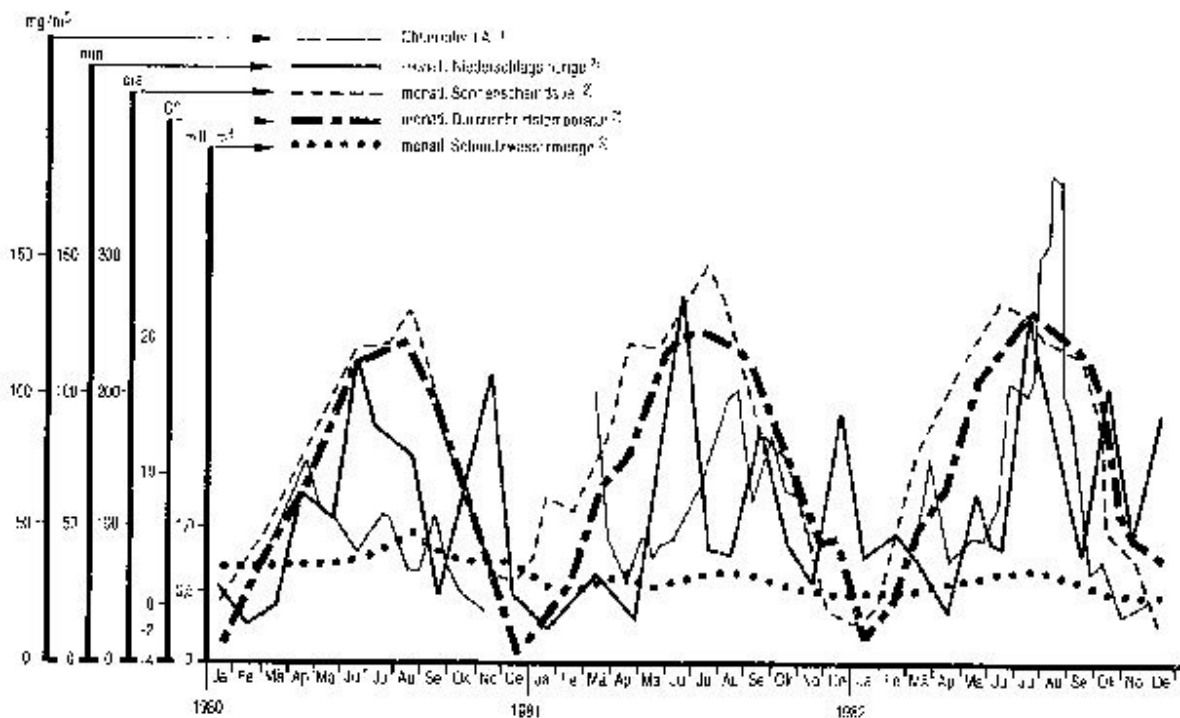
3. ábra (Ciklus)

A legfontosabb kicserélődési kapcsolatokat a ciklusban jelöltük.

A holt szerves-anyagok lebontása két fő úton zajlik, az aerob és az anaerob baktériumok révén. Az aerob bomlás során keletkező foszfátok visszajutnak az anyagforgalomba. A nádasokban és a taviüledék 4-8 cm-es zónájában az anaerobok "működése" dominál, amit a redoxpotenciállal mérhetünk. Az itt zajló mikrobiológiai folyamatokban, megfelelő szénforrás mellett, zajlik a denitrifikáció, kén- és foszfor redukció és metánképződés. A bomlás során keletkezik a mocsárgáz, amely a buborék nagysága, légnyomási viszonyok, az üledék ellenállása alapján felszáll. A felszálló buborék anyagai, gázai részben visszaoldódnak, részben vissza-oxidálódhatnak, és/vagy a légkörbe távoznak. A kipattanó buborék foszfintartalma a 100% páratartalommal és/vagy difoszfén jelenlétében oxidálódik - lidércfény-, majd foszfát aeroszol formájában a légkörbe jut.

A reakció idők nem teljes ismerete, még egy félreértést, vagy rossz szóhasználatot kell, hogy tisztázzon, ez a **"belső terhelés"**. (Minden, ami a tóban bent van az kívülről jutott be, kivétel a tó, vagy tározó keletkezése időpontjában, a talajban, vagy az ott élt növényzetben lévő tápanyag.) Belső terhelés, a „zárt rendszer” szerinti sémában, - üledékbe való eltemetődés, majd felszabadulás - esetén a tó reakciói a külső terhelés változására lassabban reagálnának, kiegyenlítettebbé válna. I. 4. ábra. Adott esetekben azt tapasztaljuk, hogy a tó, mocsár, vagy nádas üledéke, mintha jelentős mennyiségű foszfort adna le. Ez csak egyet jelenthet, hogy megváltoztak a környezeti viszonyok az adott reakció sorozathoz, a biociklusban más út, válik dominánssá. Jellemző példának lehet tekinteni azt az esetet, L. 3. ábra) amikor a redukált foszfor gáz az oxigén telített vízben felfelé áramolva oxidálódik, beoldódik és visszakerül a "reaktív" ciklusba. Ez nem belső terhelés, csak azt jelenti, hogy **megváltoztak azok a környezeti feltételek, amelyek a redukált gázok kiáramlását biztosítják.**

Wirkung diffuser Nährstoffbeiträge in Zusammenhang mit der Wetterlage auf die Wasserqualität des Plattensees in der Nähe von Keszthely



- 1) monatliche Messung Dunstschmelzwasser
- 2) Durchschnittswert für Keszthely (OMMZ)
- 3) H. Danmuth (für Wassergleichheit)

4. ábra (Keszthelyi medence, csapadék, klorofil)

Különös és tanulmányozandó esetnek kell tekintenünk, a tavi üledék felső rétegében, az intersticiális vízben lévő oldott ortofoszfát tartalom állandó változását. Ez érkezhét a vízfázisból, - oxidatív holt szerves-anyag bomlástermék, és érkezhét az alsóbb anaerob rétegekből is, amikor a redukált vegyületek a felsőbb oxidatív rétegben oxidálódnak és növelik az intersticiális foszfáttartalmát. De mint azt Dobolyi E. 1995.<sup>24</sup> évi kutatásában is jelzi, hogy **a pórusvíz foszforkoncentrációja változó, de növekedést nem mutat. Az üledékben a felhalmozódás nem mutatható ki.** Ezek a folyamatok rétegeződő mély tavaknál sokkal lassúbbak, itt valószínű, hogy a visszaoldódási folyamatok dominálnak és csak a sekély partközeli részeken, a nádasokban van valódi eltávozás.

A folyamatok természetesen nem külön-külön működnek, hanem a víz biológiai tulajdonságai, a tó, a mocsár geokémiai környezete, az élővilág, az üledék és az áramlási viszonyok együttese, határozza meg a hatékony foszforeltávolítást, a tó a mocsár ökológiai stabilitását, diverzitását és tűrőképességét.

## AMIT TUDUNK A FOSZFORRÓL, ÖSSZEFOGLALÁS:

1. Környezettanilag a foszfor a legfontosabb limitáló tápeleme a szervesanyag termelésnek.
2. A felszíni vizekben többnyire csak nyomokban található biológiailag hozzáférhető szabad foszfor.
3. A foszfor a bioszférában szinte kizárólag teljesen oxidált formában van. A redukálódott formák, környezeti lehetőségektől függően azonnal oxidálódnak.
4. A korábbi elképzelésekkel ellentétben nem tudunk olyan foszformérlegről, amelyben, az üledékben történő felhalmozódás kiadná a mérleg hiányzó részét  $\pm 20-30\%$  pontossággal. Ez azt jelenti, hogy **a foszfor nem felhalmozódik az üledékben, hanem a belső forgalom bizonyos körülmények között dúsul, majd átalakul, és valamilyen úton távozik.**

5. Foszfór kilépés a vízi anyagforgalomból mai ismereteink szerint négy úton zajlik:
  - a. Növényzet aratása és kisodródása.
  - b. Az állatvilág útján, kirepülés, elvándorlás, halászat.
  - c. Redukált foszforgázok kibuborékolása.
  - d. Üledékben való eltemetődés.

Ez utóbbi két pontnak a szerepét, nagyságrendjét kell részletesebben vizsgálnunk.

Ugyanúgy tudjuk, hogy még messze nem ismerjük eléggé azokat a foszfór-formákat, amelyek valóban teljes mértékben kiléptek az anyagforgalomból. A **biológiai hozzáférhetőség és azok átalakulásának ideje és feltételei még sok alapkutatást kívánnak.**

A mai tapasztalatunk azt mutatja, hogy extrém foszforszennyezések-, formák kivételével, az **összes foszfór az egyetlen reális mérőszám**, ami a tavak terhelésénél számításba lehet venni. (Ne adjunk meg mérőszámot, határértéket, (BHP, (vagy BAP) "biológiailag hozzáférhető foszfór") ismeretlen mértékegységre! Bár lehet, hogy még törvényekben, rendeletekben is szerepel az MTA ajánlására!)

Ismerünk, elkülönítettünk baktérium törzseket, amelyek a foszfátot laboratóriumi körülmények között is redukálják. (Wittner M. 1985.)<sup>1</sup>

Terepmunkával, mintavételek szisztematikus rendszerezettségével juthatunk csak közelebb a megismeréshez. Ma már nem teljesen sötétben kell kutatnunk, hiszen több kutatás is bizonyította a természetben lejárol foszfátredukciót. Ha mérlegeket átgondoljuk, más út nem létezhet. Környezettanilag, nagyon zárt szabályok szerint zajlik a folyamat. **A természet takarékos avval az anyaggal, aminek nincs bőségben.** Tehát bizonyos rövidre zárások, megtéveszthetik a kutatót. Vagy rákérdezzünk a lényeges folyamatokra, és azt kutatjuk, meghagyva egyes területeket "fekete doboznak", nem mintha lényegtelen lenne, de a mérleghiány alapkérdésére nem válaszolnak.

## Anyagforgalmi vizsgálatok a Kis-Balatonon <sup>4</sup>

### Módszerekről és eredményekről:

A modern módszerekről több szerző értekezik. <sup>2, 3</sup> Gyakorlati terepmunkához, vagy egyszerűbb felszereltségű laboratóriumban, régebbi módszerekhez kell visszanyúlni.

A kitűzött feladat elvégzéséhez a STANDARD METHOD 1947. Kiadásában találtunk adaptálható módszert.

2347. old. Detection And Determination Of The Varius Gases.

GrupII. KOH 1,3 sp.gr.: Többek között H<sub>2</sub>S

Grup III. Gases Soluble In AgNO<sub>3</sub>, Solution Phosphine PH<sub>3</sub>

**Tehát a kénhidrogén elkülöníthető a foszfintól.** A gázkromatográfiás-tömegspekrometriás módszernél ez volt a legnehezebb feladat, mivel tömegük csak a harmadik tizedesben tér el.

2367. old. Quantitative Determination (Lemoult, Compt. Rend. 139.478 (1904)

Metodika lényege:

A foszfín lekötésére ezüstnitrátot alkalmazunk.

PH<sub>3</sub> + 3AgNO<sub>3</sub> > Ag<sub>3</sub>P (ülededik) + 3 HNO<sub>3</sub>, a pH savanyodik.

Interferencia: Arzén

Minőségi teszt a foszfínrá: Semleges KI + HgI<sub>2</sub> + PH<sub>3</sub> > sárgás precipitátum.

Arzén fekete kicsapódás.

Ha a mocsárból kiáramló gáz, feketére festi az ezüstnitrátot akkor sok a kénhidrogén, akkor káliumhidroxidos előtét feltéttel kell a kénhidrogént leválasztani.

Az ezüstnitráttal leválasztott ezüst-foszfítot vagy 0,45 µm szűrőpapíron szűrjük, vagy centrifugáljuk (pontosabb), majd hidrogénperoxiddal a következő egyenlet szerint oxidáljuk:

Ag<sub>3</sub>P + 3HNO<sub>3</sub> + 4H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> > 3AgNO<sub>3</sub> + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 4H<sub>2</sub>O, majd foszfát meghatározást végzünk, savas molibdát reagenssel.

A Kis-Balaton anyagforgalmára érvényes méréssorozatra jelen kutatás keretében eddig nem volt mód, a két befolyó (Zala, Egyesített-övcatorna) kisbalatoni vízterének anyagforgalmi tulajdonságainak jellemzését kívántuk csak meghatározni.

A kutatás elvégzéséhez szükséges nyújtott alakú gázelnyelő feltételeket üvegtechnikai laboratóriumban készítettünk el.

A 25 cm átmérőjű, 4 liter térfogatú gázfelfogó tölcserhez teflon csővel csapot, illetve az elnyelő feltétet csatlakoztattuk.

A víz alá merített tölcserből először a levegőt lassan kiengedtük, majd az alzatból a gázokat felszabadítottuk.

Az ismert térfogatú tölcserben összegyűlt gázt lassan átbuborékolgatva az ezüstnitráton, ezt az adott vízterben többször megismételtük.

Az adott vízterből vett és lekötött gázmintát laboratóriumban dolgoztuk fel a metodika szerint.

A Zala vízterét és az Egyesített-övcatorna vízterét a Biológiai vízminősítés módszerével határoztuk meg. A „holt terek” és az eltávozott gázok vizsgálatát, detektálását, külön program keretében kívántuk (kívánjuk) elvégezni.

A Zala vízter mintavételi helyét az I. terelőtöltés csúcsánál a nádasban, az Egyesített övcatorna vízteréből a Gurgulói árok mentén a nádasból vettük a mintákat, mindenkor ellenőrizve a vezetőképességet, jellemzően 750-800  $\mu\text{S/cm}$ , Zala vízterében 550-600  $\mu\text{S/cm}$ .

**Eredmények:** (1 liter  $\text{PH}_3 = 1,53\text{g}$ )

Oldott oxigén adatok: 1-3cm, 5-10cm, 60cm mélységben mérve

Mintavételi hely	Dátum	Dátum	Dátum
<b>Gurgulói árok</b>	<b>06.22</b>	<b>07.05.</b>	<b>07.21</b>
<b>Minta liter</b>		<b><math>\text{PH}_3</math> Pmg</b>	
20 liter	11,21	18,034	13,861
12 liter	6,573	8,215	5,692
8 liter	4,441	5,848	4,231
Összesen 40 liter	22,224	32,097	28,015
<b>Átlag <math>\text{PH}_3</math> Pmg/l</b>	<b>0,556</b>	<b>0,80</b>	<b>0,70</b>
Oldott oxigén mg/l	8,32; 6,41;2,11; 7,89; 4,21; 1,56; 6,92; 2,39; 0,18;		
Hőmérséklet	23,6	25,2	26,5

Mintavételi hely	Dátum	Dátum	Dátum
<b>I. Terelő mellett</b>	<b>06.22</b>	<b>07.05.</b>	<b>07.21</b>
<b>Minta liter</b>		<b><math>\text{PH}_3</math> Pmg</b>	
20 liter	4,614	3,327	4,756
12 liter	2,345	1,191	2,455
8 liter	1,241	1,125	1,693
Összesen 40 liter	8,200	5,643	8,904
<b>Átlag <math>\text{PH}_3</math> Pmg/l</b>	<b>0,205</b>	<b>0,141</b>	<b>0,223</b>
Oldott oxigén mg/l	5,42; 5,20;2,89; 6,23; 4,89; 3,28; 3,20; 2,67; 1,86;		
Hőmérséklet	23,2	26,1	26,7

Az adatokból látszik, hogy a Gurgulói árok térségében a mocsárgáz foszfin tartalma lényegesen magasabb, ami nagyobb mikrobiológiai aktivitásra utal. A két területen az oxigéntartalom szintén jelentős eltérést mutat. Míg a Gurgulói ároknál a nádasban, minden esetben nagyon jelentős az oxigéntartalom rétegezettsége, addig a Terelő mellett az adatok keveredésre mutatnak. (Nevezhetjük, eltérő „foszfinproduktív potenciál”-nak is. Dévai Gy.)

Ha a foszfin felszabadulást vizsgálom, minden messzemenő következtetés levonása nélkül, akkor megállapítható, hogy a gurgulói árok menti nádasban három, ötszörös foszfor elimináció tapasztalható.

Ha a Badacsonytomaji tapasztalatokkal összevetem az adatokat, akkor a napi 3-7 liter gázkiáramlással négyzetméterenként a Gurgulói részen ez 3,427  $\text{mg/m}^2 \times \text{nap}$  foszforeltávolítást jelenthet.

Ugyanez a Zala vízterének nádasában 1,20  $\text{mg/m}^2 \times \text{nap}$  eltávolítást jelent.

A különbség tehát több mint kétszeres.

A kevés adat miatt teljesértékű anyagforgalmi következtetéseket nem lehet levonni, de ha a Gurgulói eliminációt extrapolálom a 16  $\text{km}^2$  területre, akkor ez évi több mint 20 tonna foszforeltávolítást jelent. A Badacsonytomaji mérések ennek az értéknek közel a dupláját mutatták, (a több mint 84,5  $\text{kg/év}$  terhelésből 50-55  $\text{kg/ha} \times \text{év}$ ). De itt a Kis-Balatonon, nem ismerem a pontos terhelést, a vízeloszlást, kedvező és kedvezőtlen környezeti feltételek területét stb. (mintegy 1600 ha az Ingói berek területe)

Az összehasonlító adatok mindenképpen azt indokolják, hogy az elosztott, egyirányú, kvázilamináris áramlásban a foszfor elimináció lényegesen jobb, mint a sodorvonalban terjedő víz esetében.



## Összefoglalás, Ajánlás:

Eutróf tavak vizsgálatából arra következtetünk, hogy az eutrofizálódás kezdeti stádiumában inkább a vas III, Ca, foszforcsapdázás, az üledékből felszabaduló foszfor- visszaoxidálódási és felhalmozódási, termelési folyamatok dominálnak, majd a folyamat előrehaladtával, a vas redukálódik, a foszfát felszabadul, az anaerob mikroorganizmusok a foszfátot is redukálják. Amikor a légzés és holt szervesanyag oxigénfogyasztása éjszakai anaerobiához vezet, megkezdődik a foszfin-foszfor kipumpálása és a mindenkori szintnek megfelelő egyensúlyi állapot alakul ki. Az anaerob mikrobiális folyamatok lesznek a dominánsak. A termelés csökkenésével, az időszakos, napszakos oxigénhiány megszűnésével újra domináns lesz a visszaoxidálódás, amit korábban, "foszfor felszabadulásnak" neveztek, ekkor nő meg a nádasok szerepe! Ezek a folyamatok rétegződő mély tavaknál sokkal lassúbbak, itt valószínű, hogy a visszaoldódási folyamatok dominálnak és csak a sekély partközeli részeken, a nádasokban van valódi eltávozás.

### **Itt hívjuk fel a figyelmet a természetes parti tájék, nádasok kiemeltebb védelmére!**

Az anaerob mikrobiális foszforeltávolítási folyamatok jelenségeinek ismerete régi keletű. (L.Révai nagy lexikon, Bolygó tűz, lidércfény, foszfin, címszavakat, Marpmann, 1897.)

Az eutrofizálódás foszfor eltávolítási mechanizmusában Felföldy, Dévai, Wittner, Plósz és munkatársai bizonyították a redukció kiemelkedő szerepét, 1983-86 években végzett kutatásaikkal. **Víznövény állománnyal történő víztisztítás technológiájának kidolgozása és paramétereinek kimérése. OKKFT, 1982-86.** Plósz Sándor témafelelős, Dr Felföldy Lajos tudományos témavezető.

A kutatás bebizonyította, hogy megfelelő körülmények között, az adott technológiával, vízi-mocsári vegetációra, rajta egyirányból átáramló vízből eltávolíthatók a növényi tápanyagok. A vízi növényzettel benőtt mocsár ugyanakkor a lebegőanyagot is visszatartja. A lebegőanyag szerves részét az élővilág táplálékul hasznosítja, szervesetlen része az üledékben temetődik. A kutatás bizonyította ennek a foszforeltávolítási mechanizmusnak a jelentőségét, nagyságrendjét és feltételeit.

**Felföldy L., Dévai I. kémiai módszerrel, Wittner I. bakteriológiai módszerrel, Preczner Zs. Indukált sötét redukció módszerrel bizonyították a foszfát redukciót, és nagyságrendjét.**<sup>1,2</sup>

Az eltávolító mechanizmusok ismeretében körvonalazhatók azok a feltételek, amelyek mellett a nádas-mocsarak a felszíni vizek eutrofizálódását okozó szervesetlen növényi tápanyagokat eltávolítani, vagy legalább a kritikus szint alá szorítani képesek.

Egyik ilyen követelmény, hogy a tisztítandó víz, **megfelelően egyenletes elosztása a mocsár medencében csóva, rövidzár, pangó részek kialakulása nélkül.** Hasonlóan fontos, hogy a **mocsár vízében kialakuljon az oxigén-szegény (esetleg teljesen anaerob) alsó réteg.** Ezt csak sűrű növényzet képes biztosítani, ami részben évente megtermeli a baktériumok oxigénelvonó működéséhez szükséges szerves szénvegyületeket, elsősorban lassan bomló rost anyagokat (cellulóz), másrészt árnyékolja a víz fenekét, megakadályozva a felmelegedést, és oxigénellátást fotoszintézis útján. **A vízhozamnál figyelembe kell venni, hogy a vizek és rétegek, turbulens áramlással ne keveredjenek.** Tudnunk kell többek között, hogy turbulensen áramló víz, folyó, nem élőhelye a nádasnak! Végül, de nem utolsón sorban a sűrű növényzet nem teszi lehetővé a víz felkeveredését hullámzással és szélkeltezte áramlás kialakulásával.

A jó működés műszaki feltétele az is, hogy a **tisztított víz bukóélen áthagyja el a nádast,** mert így a felső, oxigéntartalmú, lebegőanyagtól és az anaeróbikus fenék redukált vegyületeitől mentes víz távozik, másrészt a bukóél megakadályozza az alsó réteg aktív iszapjának megszökését, a mocsár kiszáradását.

**A folyamatok természetesen nem külön-külön működnek, hanem a víz biológiai tulajdonságai, a tó, a mocsár geokémiai környezete, az élővilág, az üledék és az áramlási viszonyok együttese, határozza meg a hatékony foszforeltávolítást, a tó a mocsár ökológiai stabilitását, diverzitását és tűrőképességét.**

**Ezeket kell tudomásul vennünk, amikor a Kis-Balatonnál keressük, hogyan tovább kérdésre, a választ.**

**Számtalan meg egy nyitott kérdés van még,** példaként említhetők a teljes körű igény nélkül: oxidáció buborékból, beoldódás különböző mélységű és oxigén tartalmú vizekben, oldódás a buborékból, a rétegeztséget fenntartó maximális áramlási sebesség, az időjárás, hőmérséklet és a légnyomás szerepe, "légszennyezés"-i folyamatok meghatározása, stb.

A **Badacsonytomaji kutatás** eredményét elsősorban abban a felismerésben /megállapításban/ lehet megjelölni, hogy **"nem a növényzet tisztít, de növények nélkül nincs tisztulás"** és abban, hogy **a mocsári üledéknek funkcionálisan aktív fakultatív vagy obligát anaerob iszapnak kell lenni, valamint alapvetők az áramlási feltételek, amelyek a nádasvíz rétegeztségét fenntartják. A fentebb leírt körülmények között a foszforeltávozás alapvető útja a redukció.**

A **Kis-Balatonra,** a Természetvédelmi Hivatal felkérésére, ökológus, biológus, tájrendező és hidrológus szakértők meghatározták a beavatkozási és kutatási feladatokat, az ajánlott terv, rendelkezésre áll, (2001-04-15), az „építés menetrendje” azonban, eddig, nem változott!

A nádasok pusztulása halad előre!

**További kutatásokkal kell a jelenségeket, folyamatokat meghatározni, pontosítani!**

## Ajánlás:

Az utóbbi évek, évtizedek ökológiai kutatásai, az eutrofizálódás és ellene való védekezés bizonyította, a vízparti mocsári növényzet, a nádasok, gyékényesek, stb. szerepét és alapvető jelentőségét a foszforeltávolítás, foszfátredukció folyamataiban. Az 1982.-es Biológiai Víztisztítás témában tartott konferencián ajánlottakat itt megismételjük!

**A biológiai vízminőség négy alaptényezői közé (halobitás, szaprobitás, trofitás, toxicitás), a parti tájék, vízi-mocsári növényzet minőségét vegyük fel ötödik tényezőnek! Dolgozzuk ki annak tartalmát, minősítési rendszerét! Biztosítsuk fejlesztő jellegű megőrzését!**<sup>26</sup>  
**Biztosítsuk-, és fogadjuk el-, állítsuk helyre, a tavak, folyók természetes vízjárását, az önző érdekekkel szemben.**<sup>21</sup>

## Irodalom:

1. EUTROSTOP jelentés a Badacsonytomaji kutatásokról, Szerk. Plósz Sándor, 1986. Dr.Felföldy Lajos, dr.Dévai István, dr. Deák Zsuzsanna, dr.Dinya Zoltán, dr.Gulyás Ferenc, Muszkalay László, Plósz Sándor, dr.Pretzner Zsófia, dr.Szalay Marzsó László, Tóth László, Dr. Wittner Ilona kutatási jelentései alapján.
2. I. Dévai, L. Felföldy, I. Wittner, S. Plósz. Detection of phosphine: new aspects of the phosphorus cycle in the hydrosphere, NATURE, No. 6171, 1988. 343-345.
3. A NATURE cikke, 102 idéző cikk, hasonló eredményekkel, mocsarakban, wetland-okban. (igény esetén a címlistát is mellékelem) 2013.
4. Plósz S. Természetvédelmi és foszfor-anyagforgalmi kutatások a Kis-Balatonon, Témafelelős: Plósz S. 1999-2001.
5. Révay Nagy Lexikon: Foszfén, Bolygó tűz, Lidércfény címszavak.
6. Plósz S. Még egyszer a foszforciklusról, Biotechnológia és Környezetvédelem IX. évf. 2. 55-56.
7. BALATON vízminőség-védelmi tanulmány, Zala vízgyűjtő. 1976. NYUDUVIZIG
8. Plósz S. Balaton eutrofizálódás elleni védelme, 1977. VÁTI.
9. Plósz S. és munkatársai: Kis-Balaton Technológiai koncepció terv, 1979. VÁTI.
10. A KIS-BALATON VÉDŐRENDSZER KONCEPCIÓ TERVE. 1979. VIZITERV
11. ÁTTEKINTÉS, a BALATON vízminőségével összefüggő, a HOSSZÚ TÁVÚ FEJLESZTÉSI PROGRAM-ot érintő, fontosabb kérdésekről, 1982. ÉVM (készült az MTA részére, Összeállította: Farkas T. Plósz S.)
12. S. Plósz, Der Schutz der Wasserqualität den Seen vor Eutrophierung, Bonn 1987.
13. Plósz S. Természetvédelmi és foszfor anyagforgalmi kutatások a Kis-Balatonon, KAC 1999-2000.
14. Plósz S. Szakértői jelentések a KÖM részére, átadott tanulmányok, 1999-2000. (kéziratok)
15. Dr. Somlyódy L. Dr. Herodek S. (témafelelősök) A Kis-Balaton alsó tározó felülvizsgálata, Szintézisjelentés, kapcsolódó kutatási jelentések és mellékletei. 1997.
16. VIZITERV Kis-Balaton Védőrendszer II. ütem átalakítása, Módosított vízkormányzás tanulmányterve, Tsz:885, 2000. október,
17. Plósz S. Eljárás és műszaki megoldás a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer II. ütem átalakítására, MSZH, 2000.
18. Dr. Felföldy Lajos, A vizek környezete, 1981. MgK.
19. Plósz S. Nádas rehabilitációs program kidolgozása a Balaton parti sávjában. 2000. (Kutatási jelentés)
20. Futó E. Kis-Balaton tanulmányok. (kéziratok, szóbeli közlések)
21. Szerk.: Somlyódy László, 2000. MTA A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései.
22. Istvánovics Vera, 2001. Összefoglaló a Kis-Balaton foszfor forgalmáról, (kézirat), - A KBVR foszforforgalmi részfolyamatai (kutatás, 2000. Összefoglalása)
23. Nádorné Vörös I. 1996. A Keszthelyi-öböl tápanyagterhelésének összefüggései az 1990-es években a Zala vízgyűjtőjén bekövetkezett változásokkal
24. VITUKI Consult Rt. 2000. (Tf. Puskás Erika) A szennyezés és tápanyag-kibocsátás speciális balatoni kritériumainak meghatározása, javaslat a szabályozásra.
25. Dobolyi E. (1995.): A Balaton mederüledékének vizsgálata – Kutatási jelentés, KDT-KÖFE
26. Plósz S. Tavak, kis-vízfolyások, csatornák, védendő parti övezetének (tájékanak) meghatározása, a litorális-, ripális régió szabványosításának előkészítése, Tanulmány. 2003.
27. Balogi Zsolt, Ördög V. Mederüledék monitoring a Balatonon. 2000-2002.

# Vízi-mocsári foszforciklusról, Balaton, Kis-Balaton

## ÖSSZEFOGLALÁS

Plósz Sándor

PLÓSZ Környezetmérnöki Iroda Bt. 1121 Budapest, Ózike út 27. e-mail: [plosz@axelero.hu](mailto:plosz@axelero.hu)

### Kivonat:

A Balaton eutrofizációs folyamatainak kutatása az elmúlt huszonöt évben alapvetően két szemlélet irányában haladt. Abban mindkét irányzat megegyezett, hogy a foszfor, a termelést meghatározó, alapvető limitáló tápelem. A két irányzat között, kezdetben a szennyezés eredete, - pontszerű vagy diffúz, - majd a tavat terhelő foszforformák biológiai hozzáférhetőségének kérdése, illetve a foszfor biológiai ciklusának működése volt a vita, a véleménykülönbségek középpontjában. A foszfor biológiai hozzáférhetőségének alapvető kutatási eredményeitől eltekintve, a Balaton, illetve a Kis-Balaton rendszeres mérésein alapuló mérlegeket vizsgálva, megállapítottuk, hogy a bejutó összes-foszfor több, mint 95%-a az eutrofizációs folyamatokban hozzáférhetővé válik, és a biológiai folyamatokban felhasználódik. Jelentős - számottevő, az üledékbe való tartós eltemetődés nem mutatható ki. A „zárt” rendszer szerint működő vízi-mocsári foszfor-ciklus „feltörésének” kutatása, Felföldy L. Plósz S. Dévai I. Wittner I. (1983-86. kutatásaihoz kötődnek. amikor felismerték és kimutatták a foszfátredukciót és annak jelentőségét a Badacsonytomaji Kísérleti Állomás, nádastó-mocsárban, majd 2000-ben Plósz S. 2002-ben Dévai Gy. a Kis-Balatonon. A foszfát redukció jelentőségét, a „nyílt” foszfor-ciklus kutatási eredményeket azóta, a nemzetközi kutatás is, sokszor megerősítették.

**Kulcsszavak:** foszfor, foszforciklus, foszfin, foszfinprodukciónak a potenciál, Balaton, Kis-Balaton

### Biological phosphorus-cycle in wetlands, Balaton, Kis-Balaton

Abstract

The research of eutrophication processes in the Lake Balaton, as a typical shallow lake, has been separated into two major schools with different approaches in the last 25 years. The one thing in common was that phosphorus is a growth-limiting nutrient for plants. At the beginning the major differences were on the one hand, the origin of the pollution, e.g. local or diffuse and on the other hand, the availability of the different phosphorus compounds discharged into the lake. The two groups have also approached the mechanism of the biological phosphorus cycle a different way, and thus it was in the center of the discussions too. Beyond the basic research of the biological phosphorus availability and its results, based on the phosphorus mass balances calculated for the Lake Balaton and Kis-Balaton we stated, that approximately the 95% of the total phosphorus entering the lake was available and therefore consumed through biological processes. We did not detect significant accumulation of phosphorus compounds in the sediment either. The scope of the research carried out by Felföldy L. Plósz S. Dévai I. Wittner I. in (1983-86.) was to study the closed biological phosphorus cycle in shallow lakes and swamps. They had recognized and stated the importance of the significance of phosphate reduction. The experiments were carried out both at Badacsonytomaj Research Station in the 80's and at Lake Balaton and at Kis-Balaton by S. Plósz (2000) and by Gy. Dévai (2002). Both the importance of the phosphorus reduction and results of the open phosphorus cycle were confirmed by several international scientific researches.

**Keywords:** phosphorus, phosphorus cycle, phosphine, phosphine production potential, Lake Balaton, Kis-Balaton.

### PLÓSZ SÁNDOR

Tájrendező, ökológus, a PLÓSZ Környezetmérnöki Iroda Bt. vezetője, a Magyar Hidrológiai Társaság Hidrobiológia Szakosztályának tagja.

**Fontosabbnak tartott munkái:** ("Az első - mai értelemben is és a nemzetközi gyakorlatnak is megfelelő - tájrendezési tervek a VÁTI-ban a 70-es évek elején készültek (Misley Károly és Plósz Sándor)"

Csemez Attila, **TÁJTERVEZÉS - TÁJRENDEZÉS**, 1996. egyetemi tankönyv, (80)

**VÁTI:** 1969-1989

Tihany Tájrendezési Terve 1973. Badacsony Tájrendezési Terv, 1975.

Badacsonytomaj Kísérleti Víz tisztító Állomás terve és beruházása. 1978.

Balaton, Eutrofizálódás elleni védelme, terv a Balatonba torkolló összes vízfolyás rendezésére. 1977-1978.

Kis-Balaton technológiai koncepció terve, 1979.

Balaton Hosszú-távú Fejlesztési program, Vízminőségvédelem, 1979.

Áttekintés a Balaton vízminőségével összefüggő feladatokról. Farkas T. - Plósz S. ÉVM 1982.

Vízminőségi kutatások, Vízinövény állomány víz tisztító hatásainak és paramétereinek meghatározása. 1982-1986.

Badacsonytomaj. Témafelelős: Plósz S. Tudományos témavezető: Dr. Felföldy L. (4 szabadalom)

Biotechnológia, alkalmazott algológiai kutatások és technológiai fejlesztések. 1986-89. Irányított, algatenyésztési eljárás kidolgozása. (6 szabadalom)

**ECOTECH S.A.** Argentína, 1990-1998. Műszaki Igazgató

**PLÓSZ Bt.:** 1999-

KöM Természetvédelmi Hivatal, Szakértői, tanácsadási tevékenység a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer megvalósításához. 1999-2000.

Természetvédelmi és foszfor anyagforgalmi kutatások a Kis-Balatonon. KAC támogatással végzett kutatás. Környezetvédelmi Minisztérium, 1999-2000.

Balaton nádas rehabilitációs program kidolgozása, Balaton-felvidéki Nemzeti Park, (BfNP) 2000.

KöM Természetvédelmi Hivatal, Szakértői, tanácsadási tevékenység a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer megvalósításához. 1999-2000.

Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer átalakítása, T.sz. 1977/2000 (a KöM-KÁT, TvH Szakértői Bizottság munkájához) 2000. (szabadalmaztatott)

Kis-Balaton, döntés előkészítő tanulmány és határozati javaslat, KöM-Közigazgatási Államtitkárság, 2001.

Hévíz-Keszthely-Sármellék környéki lápterületűek természetvédelmi kezelését, rekonstrukcióját megalapozó kutatások, 2001. BfNP.

Nagyberek-Balaton helyreállítása, mint a Balaton vízpótló rendszere, és új üdülési övezete, Konceptió. 2003.

A Balaton déli parti strandjainak átalakítására vonatkozó javaslat, ütemezés és a kísérleti megvalósítás területei, meder-deformációk megszüntetése, fejlesztési javaslat a kísérleti szakaszra, MEH-NTfH 2003.

\*\*\*