

## Tápanyag-visszatartás és eltávolítás vizsgálata egy integrált tavi rendszerben

Gál Dénes<sup>1</sup> – Szabó Pál<sup>2</sup> – Pekár Ferenc<sup>2</sup> –  
Kerepeczki Éva<sup>2</sup> – Váradi László<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,  
Mezőgazdaságtudományi Kar,

Állattenyésztés- és Takarmányozástani Tanszék, Debrecen

<sup>2</sup>Halászati és Öntözési Kutatóintézet, Szarvas  
gald@haki.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az intenzív haltermelésből származó elfolyóvíz kezelésére és a kibocsátott víz újrahasznosítására kifejlesztett kombinált intenzív-  
extenzív tavi haltermelő rendszert hároméves kísérlet során vizsgáltuk. A vizsgált tórendszer öt kisméretű, összesen 1 ha területű és 1,5 m vízmélységű intenzív termelő tóból és egy 20 ha területű, 1 m vízmélységű extenzív művelésű tóból állt. A vizet visszaforgattuk az intenzív tavak és extenzív tó között, az extenzív tóban hozzávetőlegesen 60 nap volt a víz tartózkodási ideje.

A szén-, a nitrogén- és a foszformérleget és a víztisztítási kapacitást jellemeztük és számítottuk ki a víz és az üledék tápanyagtartalmának átlagos koncentráció-értékei alapján. A hároméves működés során az összes bekerült szerves szén 81,5%-át, a nitrogén 54,7%-át és a foszfor 72,2%-át tartotta vissza a rendszer. Az összes nitrogén jelentős része került ki a lehalászott hallal, mely sokkal magasabb volt, mint a hagyományos halastavakban vagy az intenzív haltermelő rendszerekben. A tápanyag-eltávolítás hatékonyságát jól jellemzi a 27,3%-os haltermelés általi nitrogén asszimiláció.

Az összes tápanyagbevitelnek csak kis hányadát került kibocsátásra a környezetbe a lehalászás és a tavak lecsapolása során: a szerves szén 9,0%-a, a nitrogén 13,2%-a és a foszfor 12,1%-a. Az intenzív és extenzív halastavak összekapcsolása a víz visszaforgatással jelentősen csökkentette a tápanyag-kibocsátást a természetes vizekbe, elsősorban az extenzív halastó magas tápanyag-feldolgozási és visszatartási képességének köszönhetően.

**Kulcsszavak:** tápanyag-visszatartás, szervesanyag, nitrogén, foszfor, kombinált intenzív-extenzív rendszer

### SUMMARY

A combined intensive-extensive fishpond system developed for the purification and re-use of intensive fishpond effluent water was studied during a three-year experimental period. The investigated pond system consists of five small-size intensive culture ponds of 1 ha total water surface area with 1.5 m water depth and a 20 ha extensive culture pond with 1.0 m average water depth. The water was recirculated between the intensive and extensive ponds with around 60 days retention time in the extensive treatment pond.

Carbon, nitrogen and phosphorus budget and water purifying capacity were described and evaluated by means of regular measurements of nutrient concentrations in the water and sediment. During the three-year test period, 81.5% of organic carbon, 54.7% of nitrogen and 72.2% of phosphorus were retained by the system as a percentage of the total input of each nutrient. A significant amount of the total nitrogen input was removed by the harvested fish, which was much higher than in traditional fishponds or intensive fish culture systems. The efficiency of nutrient removal is clearly indicated by the 27.3% nitrogen assimilation.

Only a small percentage of the total nutrient input was discharged into the environment during fish harvest, which was 9.0% for organic carbon, 13.2% for nitrogen and 12.1% for phosphorus. The combination of intensive and extensive fishponds with water recirculation resulted in significant reduction of nutrient discharge into the surrounding aquatic environment, primarily due to the high nutrient processing and retention capacity of the extensive fishpond ecosystem.

**Keywords:** nutrient retention, organic carbon, nitrogen, phosphorus, combined intensive-extensive system

### BEVEZETÉS

A vízi erőforrások kimerülése világszerte elősegítette a haltenyésztés fejlődését. Következésképpen a vízi környezet védelme és a haltenyésztés kedvezőtlen hatásainak csökkentése kiemelt fontosságú napjainkban. A halgazdaságok elfolyóvize veszélyt jelent a természeti környezetre, melyet különösen az intenzív telepek esetében ismertek fel (Muir, 1982; Alabaster, 1982; Kestemont, 1995). A kibocsátott táp és a halak által kiválasztott anyagcseretermékek lebontása jelentősen csökkenti a víz oldott oxigéntartalmát és növeli a befogadó vízterek tápanyag koncentrációját, mely eutrofizációhoz vezet. Kestemont (1995) szerint a halgazdaságok elfolyóvizét a befogadó vízfolyásokhoz képest viszonylag nagy térfogatúak, és általában alacsony a potenciális szennyezőanyagok koncentrációja. A fő és gyakran egyedüli tápanyagfelhalmozódást a környezetben a haltáp maradványok okozzák, a szén-, a foszfor- és a nitrogén vegyületek a legfontosabb vízszennyező anyagok (Mires, 1995).

Figyelemreméltó erőfeszítések történtek a haltermelés elfolyóvize által okozott negatív környezeti hatások csökkentése érdekében, mint a recirkulációs üzemekben a biofilterek használata, vizes élőhelyek és ülepítő tavak alkalmazása és speciális elfolyóvíz kezelő berendezések beépítése. Az intenzív haltenyésztés elfolyóvize extenzív halastavakban is kezelhető, ahol a felesleges tápanyagok eltávolítása biológiai folyamatok segítségével zajlik és a tápanyagok egy része halhússá alakul át. Az ilyen típusú kombinált intenzív-extenzív haltermelő rendszerek gyakorlati alkalmazhatóságát Izraelben és Magyarországon is bizonyították (Diab és mtsai, 1992; Váradi és mtsai, 2001).

Kutatásunk célja az volt, hogy kiszámítsuk és leírjuk a kombinált intenzív-extenzív rendszer extenzív tavának víz tisztító kapacitását, a teljes tórendszer szerves szén, nitrogén és foszfor mérlegeinek elemzésével. Az intenzív és extenzív vízkezelő tó üledékének szerves szén, a nitrogén és a foszfor forgalmát párhuzamosan vizsgáltuk, és értékeltük az üledék szerepét a tápanyag-eltávolításban.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérleti tórendszer intenzív része hat, 1,6 ha összterületű, 1,5 m vízmélységű intenzív tóból, valamint egy 20 ha területű, 1 m vízmélységű vízkezelő, extenzív tóból állt (1. ábra). Az intenzív tavak és az extenzív vízkezelő tó térfogat aránya 1999-ben 1:18, 2000-ben és 2001-ben 1:13,5 volt. A tavak mindegyike függetlenül tölthető és üríthető barátságos keretben. A szivárgási és párolgási vízvesztéseket rendszeresen pótoltuk a tenyészidőszak folyamán. A rendszer zártan üzemelt, vízcsere nem történt, kizárólag az őszi lehalászási időszak alatt került lecsapolásra a tórendszer. Az intenzív tavakból elfolyó szerves anyagban gazdag vizet egy a tavak fenékszintje alatt elhelyezkedő földmedrű lecsapoló csatorna gyűjtötte össze, ahonnan a vizet szivattyúzással juttattuk az extenzív tóba. A kezelt víz az extenzív tó oldalához csatlakozó műtárgyba folyik, ahonnan szintén szivattyú segítségével került átmenetileg a magas vezetőségű földmedrű tápláló csatornába, ami az intenzív tavak tápláló műtárgyához szállította vissza. A vízforgató szivattyúk napi 4-12 órát üzemeltek az intenzív tavak vízigénye szerint. A napi vízcsere mértéke az intenzív tavak esetében 10-35% között változott a tenyészidőszakban. Az extenzív vízkezelő tó víztömegének átlagos tartózkodási ideje 60 nap volt. Az extenzív tó népesítésekor ponty domináns polikultúrát alkalmaztunk. A népesítési szerkezeten belül a ponty (*Cyprinus carpio*) aránya 90% volt, míg mindössze 10%-ot tett ki a fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*), pettyes busa (*Aristichthys nobilis*) és amur (*Ctenopharyngodon idella*) aránya. Az intenzív tavakban afrikai harcsát (*Clarias gariepinus*), nilusi tilápiát (*Oreochromis niloticus*) és pontyot neveltünk intenzív monokultúrában (Gál és mtsai, 2001; Váradí és mtsai, 2001). Az extenzív tó takarmányozása kiegészítő gabona etetésre korlátozódott, míg az intenzív tavak esetében tápetetést alkalmaztunk. A tavi rendszer működésének a paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A rendszer működése során mértük a bevezetett friss víz és a recirkuláltatott víz, illetve a lehalászáskor távozó víz mennyiségét. Az elpárolgó és az elszivárgó vízvesztéseket számítással határozzuk meg. A vízhozam vizsgálatok eredményei alapján határoztuk meg a tápanyagforgalom értékeléséhez szükséges anyagáramokat is. A kísérleti tavak árasztásakor meghatároztuk a feltöltő vizet, lehalászáskor pedig az elfolyó víz tápanyagtartalmát, valamint a tenyészidőszak alatt a

szivattyúk által forgatott víz mennyiségét tavanként. Minden egyes tóba befolyó és az onnan távozó víz minőségét és tápanyagtartalmát vizsgáltuk. A vízminőségét a tavak teljes vízoszlopából történt, amelyet a minta feldolgozása előtt homogenizáltunk. Lehalászás során az elfolyó víz tápanyagtartalmának meghatározásához három részmintát vettünk, a lehalászott tó 80, 50 és 30 cm-es vízszintjénél. Minden egyes tó esetében a részminták homogenizálásával képeztünk egy reprezentatív mintát. A vízmintákat vizsgálata ammónia-, nitrit-, nitrát-nitrogén, összes szerves nitrogén, összes nitrogén, ortofoszfát, összes foszfor, kémiai oxigén igény, illetve összes és szerves lebegőanyag tartalomra terjedt ki. A vízminták feldolgozása a standard módszer szerint történt (APHA, 1989). Az elsődleges termelés és a társulás légzés in situ mérése hárompontos oldott oxigénméréseken alapult (McConnel, 1962).

A három éves megfigyeléseink alatt, a tavi rendszer minden tavának üledékét évente három időpontban vizsgáltuk: kora tavasszal, közvetlenül vízfeltöltést követően, nyáron, a tenyészidőszak közepén, illetve ősszel a lehalászást követően. A mintákat az üledékrétegek bolygatása nélkül egy 5 cm átmérőjű PVC csövet tartalmazó módosított ún. oszlop mintavevő használatával nyertük. Az üledék vizsgálata a felső 7,5 cm-es rétegre terjedt ki. A mintavételek során három részmintát vettünk minden egyes tóból, amelyből homogenizálást követően 5-10 g nedves üledéket különítettünk el, amiből 105 °C hőmérsékleten 48 órás szárítást követően határoztuk meg a minta szárazanyag tartalmát. A szervesanyag meghatározás a szárított minta 500 °C-on 24 órás izzításával történt. A szerves szén tartalmát a szervesanyag tartalomról kalkuláltuk, úgy hogy a szerves szén tartalmát a szervesanyag tartalom 50%-ának vettük. Az üledékminta összes nitrogén és foszfor tartalmának meghatározása kénsavas extrakcióval történt Felföldy (1987) nyomán.

1. ábra: A tavi recirkulációs rendszer működésének vázlata

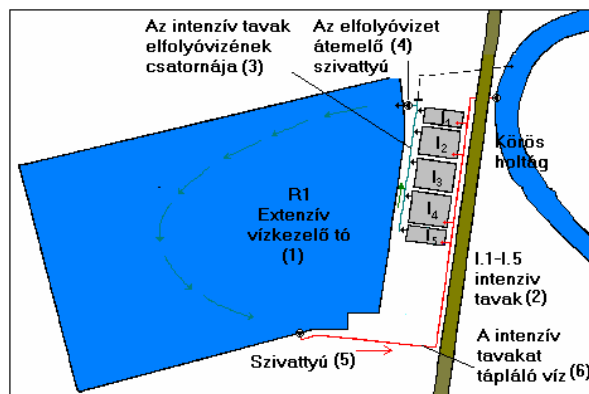


Figure 1: Scheme of the combined intensive-extensive experimental pond system

Extensive fish pond for water treatment(1), Intensive ponds(2), Canal of effluent water from intensive ponds(3), Pump(4), Pump(5), Canal of inflow water into intensive ponds(6)

A kombinált intenzív-extenzív tavi rendszer technológiai adatai

Halastó No.(1)	Intenzív 1	Intenzív 2	Intenzív 3	Intenzív 4	Intenzív 5	Extenzív tó
Terület (m <sup>2</sup> )(2)	1.320	2.475	2.365	2.585	1.265	200.000
<b>1999</b>						
Halfaj(3)	-	Ponty(7)	Ponty(7)	Ponty(7)	-	Ponty(7)
Népesítési sűrűség (db ha <sup>-1</sup> )(4)		10.222	14.165	15.938		5.605
Egyedsúly (g)(5)		25	25	25		25
Nettó hozam (t ha <sup>-1</sup> )(6)		2,72	2,62	3,08		1,45
<b>2000</b>						
Halfaj(3)	Afrikai harcsa(8)	Ponty(7)	Ponty(7)	Ponty(7)	Nílusi tilápia(9)	Ponty(7)
Népesítési sűrűség (db ha <sup>-1</sup> )(4)	58.378	242.424	23.256	5.803	66.930	6.000
Egyedsúly (g)(5)	340	Ivadék(10)	25	240	30	32
Nettó hozam (t ha <sup>-1</sup> )(6)	37,80	3,34	4,88	4,36	7,74	1,48
<b>2001</b>						
Halfaj(3)	Afrikai harcsa(8)	Afrikai harcsa(8)	Ponty(7)	Ponty(7)	Afrikai harcsa(8)	Ponty(7)/ busa/amur(11)
Népesítési sűrűség (db ha <sup>-1</sup> )(4)	53.030	12.626	12.685	77.369	24.704	6.000/250
Egyedsúly (g)(5)	500	800	25	Ivadék(10)	800	30/85
Nettó hozam (t ha <sup>-1</sup> )(6)	25,98	6,59	2,14	0,00	12,02	1,35

Table 1: Production parameters of the combined intensive-extensive pond recirculation system  
 Pond No(1), Pond area (m<sup>2</sup>)(2), Fish species(3), Stocking rate (fish ha<sup>-1</sup>)(4), Individual weight (g)(5), Net yield (t ha<sup>-1</sup>)(6), Common carp(7), African catfish(8), Nile tilapia(9), Fry(10), Silver carp/grass carp(11)

A tavi recirkulációs tórendszer tápanyag-forgalmát három évig vizsgáltuk. A rendszer működésének tápanyagforgalmi szempontból való leírásához meghatároztuk a tórendszerbe kerülő összes szerves anyag, összes nitrogén és összes foszfor terhelést. Megállapítottuk az éves tápanyagmérlegeket, illetve kiszámítottuk a tápanyag-visszatartó képességet (retenció) is, amely a befolyó vízzel, telepítéssel, trágyával és takarmánnyal bekerülő mennyiség és a kifolyó vízzel, valamint a lehalászott hal tömeggel kikerülő anyagmennyiség különbségéből határoztunk meg. A tórendszerbe gabona takarmánnyal, szerves trágyával és népesített hallal bekerülő szervesanyag, nitrogén és foszfor tartalmat irodalmi adatok felhasználásával kalkuláltuk (Fekete és Gippert, 1988; Bocz, 1992; Scherz és Senser, 1994).

**EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK**

A teljes tórendszerbe bekerülő (népesített haltömeggel, vízfeltöltéssel és vízpótlással, takarmánnyal, szerves trágyával) és az onnan távozó (lehalászott haltömeggel és az őszi lehalászáskor elfolyó vízzel) tápanyagtartalomra vonatkozó adatok a 2. táblázatban találhatóak. A bekerült tápanyagok fő forrása a takarmány volt, ami szerves szén esetében 80-82%-át, nitrogén esetében 52-72%-át, foszfor esetében 51-67%-át tette ki az összes bekerült tápanyagnak. A tápanyag hasznosulása hatékonysága nagyban befolyásolja a tavi haltermelés gazdaságosságát, valamint kihatással van a vízminőségre is. Hargreaves (1998) mérsékelt égövi és trópusi halastavak különböző termelési

rendszerének átlagában a nitrogén 25%-a (11-36%) hasznosul halbiomassza gyarapodás (nettó hozam) formájában az akvakultúrás rendszerekben. Tanulmányunkban vizsgáltuk a tápanyagok haltömeg gyarapodás útján történő akkumulációjának mértékét. A halbiomassza gyarapodás formájában az összes bekerült tápanyagnak szervesanyag esetében 8,3-8,9%-át, nitrogén esetében 24,9-29,6%-át és foszfor esetében 10,8-15,4%-át hasznosította a rendszer. Oláh és munkatársai (1994) által egy magyarországi halastórendszeren végzett felmérés eredményeképpen 22,5% halhozam általi nitrogén visszatartásról tesznek említést. Összehasonlítva a hagyományos tógazdálkodásra jellemző nettó hozam általi nitrogén megkötéssel, megállapítható, hogy az integrált rendszer nitrogén hasznosítási hatékonysága meghaladja a hagyományos tavi rendszerekét.

Halastavak tápanyagmérlegét számos szerző vizsgálta, egyaránt történtek vizsgálatok változatos klimatikus adottságú területeken üzemelő (Avnimelech és Lancker, 1979; Boyd, 1985; Foy és Rosell, 1991), illetve mérsékelt égövi pontyos halastavakon (Oláh és mtsai, 1994; Schreckenbach és mtsai, 1999; Knösche és mtsai, 2000). Az átlagos évi tápanyag-visszatartás a rendszerben 1724-2326 kg szerves szén, 81-130 kg nitrogén és 14,3-31,5 kg foszfor volt hektáronként (2. táblázat). Összehasonlítva ezeket az értékeket más szerzők eredményével – 78,5 kg N ha<sup>-1</sup> év<sup>-1</sup>, 5,71 kg P ha<sup>-1</sup> év<sup>-1</sup> (Knösche és mtsai, 2000), 43±21,48 kg N ha<sup>-1</sup> év<sup>-1</sup> és 5,1 kg P ha<sup>-1</sup> év<sup>-1</sup> (Schreckenbach és mtsai, 1999), 93 kg N ha<sup>-1</sup> év<sup>-1</sup> (Oláh és mtsai, 1994) –, megállapítható, hogy a tavi recirkulációs rendszer más rendszereket meghaladó mennyiségű szerves

szenet, nitrogént és foszfort képes visszatartani. A három éves periódus alatt a tavi recirkulációs rendszer visszatartotta az összes bekerült szerves szén 81,5%-át, nitrogén 72,7%-át és 56,2%-át a foszfornak. Az őszi lehalászás során távozó elfolyóvíz tápanyagtartalma (3. táblázat) szintén a rendszer magas tápanyag-visszatartási hatékonyságára utal. Az elfolyóvízzel távozó tápanyagok aránya szerves szén esetében 9,0%, nitrogén esetében 13,2%, foszfor esetében 12,1% volt

a teljes szezon alatt a rendszerbe bekerült összes tápanyagnak. A halastavak és környezetük kölcsönhatásának vizsgálatához összehasonlítottuk a befolyóvízzel érkező és az elfolyóvízzel távozó tápanyagok mennyiségét (2. táblázat). Megállapítható, hogy kevesebb nitrogén és foszfor mennyiség távozott a rendszerből, mint amennyi bekerült oda, vagyis a rendszer hatása a környezetre kedvező volt.

2. táblázat

## A rendszer tápanyagforgalma

	Szerves szén(1)						Nitrogén(2)						Foszfor(3)						
	1999		2000		2001		1999		2000		2001		1999		2000		2001		
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	
<b>Tápanyag bevitel(4)</b>																			
Befolyó víz(5)	51,5	24,8	66,0	2,43	49,2	2,1	40,2	26,3	19,3	9,70	42,4	20,6	4,35	17,8	4,26	11,5	5,71	14,9	
Népesítés(6)	18,0	0,87	39,5	1,46	72,5	3,2	4,32	2,82	9,46	4,75	17,4	8,4	0,37	1,50	0,81	2,18	1,48	3,9	
Takarmány(7)	1615	77,9	2224	82,0	1881	81,9	80,2	52,4	143	71,6	125	60,6	12,5	51,0	24,9	67,2	25,8	67,0	
Szervestrágya(8)	389	18,8	382	14,1	295	12,8	28,3	18,5	27,8	13,9	21,4	2,6	7,21	29,4	7,08	19,1	5,48	14,2	
<b>Összes bekerült(9)</b>	<b>2074</b>	<b>100</b>	<b>2711</b>	<b>100</b>	<b>2298</b>	<b>100</b>	<b>153</b>	<b>100</b>	<b>202</b>	<b>100</b>	<b>206</b>	<b>100</b>	<b>24,5</b>	<b>100</b>	<b>37,4</b>	<b>100</b>	<b>38,5</b>	<b>100</b>	
<b>Tápanyag ki(10)</b>																			
Lehalászott hal(11)	200	62,5	261	67,8	269	46,9	48,0	85,0	62,5	86,4	64,4	51,5	4,08	40,4	5,32	63,7	5,48	78,8	
Elfolyóvíz(12)	120	37,5	124	32,2	305	53,1	8,55	15,0	9,80	13,6	60,2	48,5	6,00	59,6	3,03	36,3	1,47	21,2	
<b>Összes ki(13)</b>	<b>320</b>	<b>100</b>	<b>385</b>	<b>100</b>	<b>574</b>	<b>100</b>	<b>56,5</b>	<b>100</b>	<b>72,3</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>100</b>	<b>10,1</b>	<b>100</b>	<b>8,35</b>	<b>100</b>	<b>6,95</b>	<b>100</b>	
<b>Tápanyag mérleg(14)</b>	<b>1754</b>	<b>84,6</b>	<b>2326</b>	<b>85,9</b>	<b>1724</b>	<b>75,0</b>	<b>96,5</b>	<b>63,1</b>	<b>130</b>	<b>64,4</b>	<b>81</b>	<b>39,9</b>	<b>14,3</b>	<b>58,6</b>	<b>29,1</b>	<b>77,7</b>	<b>31,5</b>	<b>81,9</b>	

Table 2: Nutrient budgets of the whole experimental system

Organic carbon(1), Nitrogen(2), Phosphorus(3), Nutrient input(4), Inflow water(5), Stocked fish(6), Feed(7), Organic manure(8), Total input(9), Nutrient output(10), Harvested fish(11), Effluent water(12), Total output(13), Nutrient budget(14)

3. táblázat

## A feltöltő és elfolyóvíz tápanyag tartalma

	Víz minta(1)	COD	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	TON	TN	PO <sub>4</sub> -N	TP	TSS
		mg l <sup>-1</sup>								
1999	Feltöltő(2)	9,017	0,848	0,011	0,090	1,479	2,428	0,122	0,289	17,730
	Elfolyó(3)	10,050	0,329	0,146	0,166	0,825	1,465	0,158	0,291	237,900
2000	Feltöltő(2)	5,317	0,656	0,038	0,070	0,624	1,388	0,151	0,254	25,680
	Elfolyó(3)	10,101	0,353	0,083	0,062	0,448	0,946	0,188	0,299	88,160
2001	Feltöltő(2)	3,946	0,845	0,032	0,040	1,472	2,388	0,114	0,488	12,720
	Elfolyó(3)	5,087	0,187	0,038	0,379	5,187	5,791	0,065	0,143	366,230

Table 3: Nutrient concentrations in the filling-up and drainage water

Water sample(1), Filling-up(2), Effluent(3)

A takarmányozással bekerült szerves szén mennyisége 3,8-16,1 C m<sup>2</sup> nap<sup>-1</sup> volt az intenzív tavak és 0,9-1,1 C m<sup>2</sup> nap<sup>-1</sup> volt az extenzív, vízkezelő tó esetében. Wetzel (1975) szerint a halastavak esetében a takarmánnyal bekerült szén mennyisége jelentősen meghaladja az elsődleges termeléssel képződött szerves szén mennyiségét, aminek a maximális nagysága 12 g C m<sup>2</sup> nap<sup>-1</sup> lehet (Oláh és mtsai, 1986) szerint. A társuláslégszéből számított elsődleges termelés átlagos mértéke az intenzív tavakban 2,4 g C m<sup>2</sup> nap<sup>-1</sup>, míg az extenzív vízkezelő tóban 2,6 C m<sup>2</sup> nap<sup>-1</sup> volt, vagyis az elsődleges termelés meghatározó volt az extenzív tó tápanyagforgalmában. Az algák a szerves nitrogént vesznek fel a vízből, hogy a fehérjét állítsanak elő. Az elsődleges termelés útján

megkötött szerves szén az algák szén:nitrogén arányát kifejező arányszámmal (C:N = 10:1; Boyd, 1985) alkotott szorzata megadja az algaprodukciónak útján megkötött nitrogén mennyiségét a tavakban. Így az extenzív tó számított nitrogén megkötő kapacitása 2,6 kg N ha<sup>-1</sup> nap<sup>-1</sup>. A halbiomassa metabolizációja útján történő napi szerves nitrogén kibocsátás az intenzív tavakban 0,7 kg N t<sup>-1</sup> halbiomassa, azaz a vizsgált tórendszer esetében 8,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Megállapítható, hogy az extenzív vízkezelő tó az intenzív részben alkalmazott termelési intenzitás által okozott tápanyagterhelést képes feldolgozni. Az extenzív tó nitrogén asszimilációs kapacitása napi kb. 50 kg nitrogén feldolgozását teszi lehetővé.

A szervesanyag mérleg meghatározásakor figyelembe vettük a fotoszintézissel megkötött, illetve a respiráció útján távozó szerves szén mennyiségeket. Így a szerves szén mérleget korrigáltuk a társuláslégzésből számított átlagos elsődleges termelés ( $26 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$ ) és az átlagos respiráció ( $30 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$ ) különbségével. Ez a különbség  $4 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$  szerves szén kikerülését jelenti a rendszerből respiráció útján. 180 napos tenyésztéssel számolva, a tórendszerből mintegy  $1215 \pm 339 \text{ kg}$  szén távozik hektáronként léggzéssel, ami az összes visszatartott szervesanyag harmada.

A tavak tápanyagforgalmában jelentős az üledék szerepe. Az üledékben visszatartott tápanyagok mennyiségét az üledék tápanyagtartalmának változása alapján becsültük (4. táblázat). Jelentős szervesanyag csökkenést találtunk az üledékben a kísérleti időszak végére ( $2184 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ). Ez a jelenség a téli, lecsapolt tavak levegőnek kitett üledékében végbemenő szerves szén bomlásával

magyarázható. A tórendszer minden pontján, az év kezdetén mindig alacsonyabb nitrogén koncentrációkat mértünk az üledékben, mint év végén. Az átlagos nitrogén akkumuláció az üledékben  $1,01 \text{ mg N g}^{-1}$  száraz üledék volt. Azonban jelentős, átlagos  $0,73$  és  $1,81 \text{ mg N g}^{-1}$  száraz üledék nitrogén veszteséget találtunk az üledékben télen, mikor a tórendszer szárazon volt. Az extenzív vízkezelő tó téli nitrogén vesztesége  $1,03 \text{ mg N g}^{-1}$  száraz üledék volt szárazon és mindössze  $0,08 \text{ mg N g}^{-1}$  száraz üledék mértünk, mikor a víz nem került öszszel elengedésre, 2000-ben. A rendszer üledékének becsült nitrogén akkumulációja  $25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$  volt, ami lényegesen alacsonyabb, mint amit a nitrogén mérlegből elvárható lenne. Ez azt jelenti, hogy a visszatartott nitrogén mintegy 76%-a, mint  $\text{N}_2$  és ammónia távozott a levegőbe (Hargreaves, 1998) a tenyésztési időszak folyamán. A foszfor akkumulációja az üledékben meghaladta azt a mértéket, amit a foszfor mérlegből becsülhető lenne.

4. táblázat

Szerves szén, nitrogén és foszfor koncentrációk ( $\text{mg g}^{-1}$  száraz üledék) az intenzív és az extenzív tavak üledékének felső 7,5 cm-es rétegében

	Extenzív			Intenzív 1			Intenzív 2			Intenzív 3			Intenzív 4			Intenzív 5		
	OC	N	P	OC	N	P	OC	N	P	OC	N	P	OC	N	P	OC	N	P
<b>1999</b>																		
06.11.	27,00	0,66	0,80				27,40	0,75	0,84	25,50	0,59	0,79	26,00	0,68	0,78			
07.30.	20,80	1,06	0,68				25,70	1,72	0,77	25,00	1,45	0,84	23,00	1,63	0,84			
10.01.	28,80	1,82	0,79				34,70	1,87	0,61	38,30	1,96	1,02	34,40	2,08	0,67			
<b>2000</b>																		
08.06.	22,20	1,37	0,75	21,60	1,98	0,87	23,20	1,70	0,84	23,60	1,80	0,90	20,90	1,63	0,90	21,00	1,66	0,93
09.29.	25,40	1,32	0,84	30,40	2,82	1,87	34,20	2,75	1,29	34,10	3,01	1,32	35,50	3,39	1,39	32,00	2,48	1,08
<b>2001</b>																		
06.18.	34,80	1,25	0,76	35,50	1,15	2,27	39,20	0,91	1,29	37,80	1,04	1,33	33,40	1,37	1,32	29,40	0,91	1,43
07.26.	17,60	0,64	1,23	21,80	1,02	3,33	22,40	0,78	1,71	22,80	1,18	1,58	23,50	0,83	1,42	21,80	1,23	2,16
09.24.	24,20	0,99	1,08	20,40	1,22	2,08	18,30	1,41	1,05	21,90	1,35	0,72	21,00	1,29	0,68	21,70	1,54	1,36

Table 4: Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations ( $\text{mg g}^{-1}$  dry weight) in the upper 7.5 cm sediment layers of the extensive and intensive ponds

### KÖVETKEZTETÉSEK

A 21 ha területű kísérleti tavi rendszert sikeresen működtettük üzemi körülmények között. A tavak közötti vízforgatás eredményesnek bizonyult, biztosította a rendszer intenzív és extenzív részei közötti anyagáramlást. Sikeresen távolította el az intenzív tavakba a tápetetés miatti, a rendszer egyéb részeihez képest fajlagosan magasabb szerves anyag terhelését. A rendszer vízminőségi paramétereinek kiegyenlített képe, a vízforgatás, valamint az extenzív vízkezelő tó tisztítási eredményességére utal. A halakra veszélyt jelentő vízminőségi paraméterek kialakulását sehol nem tapasztaltunk. A rendszer hozamait értékelve megállapítható, hogy a technológia segítségével a Magyarországon jellemző átlaghozamokat lényegesen meghaladó eredmény érhető el.

A tápanyagforgalmi vizsgálatokból kiderült, hogy az integrált intenzív és extenzív részből álló haltermelő rendszer működése során jelentős mennyiségű szerves és szerves szén tápanyagot képes

feldolgozni, elsősorban az extenzív halastóban zajló folyamatok révén, ezáltal csökkentve a környezeti terhelést. A szerves szén, nitrogén és foszfor mérlegből megállapítható, hogy a rendszerbe került tápanyagok jelentős, más tavi haltermelő rendszereket meghaladó mértékben hasznosulnak halbiomassza gyarapodás formájában, más részük az üledékben halmozódik fel, illetve a légkörbe távozik. A tápanyagforgalmi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az extenzív halastó 1 hektárja 3-4 tonna intenzíven nevelt haltömeg elfolyóvizét képes feldolgozni.

Az intenzív és extenzív részek közötti vízforgatással jelentősen csökkenthető a haltermelés vízigénye, valamint a környezet tápanyag terhelése. A technológia alkalmazása lehetőséget biztosít a magas szintű haltermelés folytatására a szigorodó környezetvédelmi előírások megtartása mellett. A kombinált intenzív-extenzív tavi haltermelő rendszerek szélesebb körű alkalmazása a fenntartható tavi halgazdálkodást és a vízi erőforrások kíméletes használatát szolgálja.

IRODALOM

- Alabaster, J. S. (1982): A survey of fish-farm effluents in some EIFAC countries. EIFAC Technical Paper. 41. FAO, Rome, 5-19.
- Avnimelech, Y.-Lancher, M. (1979): A tentative nutrient balance for intensive ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 114. 291-298.
- Bocz E. (1992): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 95.
- Boyd, C. E. (1985): Chemical budgets for channel catfish ponds. *Trans American Fisheries Society*, 114. 291-298.
- Diab, S.-Kochba, M.-Mires, D.-Avnimelech, Y. (1992): Combined intensive-extensive (CIE) pond system A: inorganic nitrogen transformations. *Aquaculture*, 101. 33-39.
- Fekete J.-Gippert P. (1988): Takarmányozási táblázatok. In: Kakuk T.-Schmidt J. (szerk.), Takarmányozástan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 56.
- Felföldy L. (1987): Biológiai vízminősítés. *Vízügyi hidrobiológia* 16, Vízgazdálkodási Intézet, Budapest, 1-258.
- Foy, R. H.-Rosell, R. (1991): Loadings of nitrogen and phosphorus from a Northern Ireland fish farm. *Aquaculture*, 96. 17-31.
- Gál D.-Szabó P.-Pekár F. (2001): Kombinált intenzív-extenzív tavi haltermelő rendszer működésének tápanyagforgalmi tapasztalatai. *Hidrológiai Közöny*, 81. 5-6. 364-366.
- Hargreaves, J. A. (1998): Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166. 181-212.
- Kestemont, P. (1995): Different systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture*, 129. 347-372.
- Knösche, R.-Schreckenbach, K.-Pfeifer, M.-Weissenbach, H. (2000): Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds. *Fisheries Management and Ecology*, 7. 15-22.
- McConnel, W. I. (1962): Productivity relations in carboy microcosm. *Limnol. Oceanogr.*, 7. 335-343.
- Mires, D. (1995): Aquaculture and the aquatic environment: Mutual impact and preventive management. *Bamidgeh*, 47. 163-172.
- Muir, J. F. (1982): Recirculated water systems in aquaculture. In: Muir, J. F.-Roberts, R. J. (eds.), *Recent Advances in Aquaculture*. Croom Helm, London, 357-446.
- Oláh, J.-Sinha, V. R. P.-Ayyappan, S.-Purushothaman, C. S.-Radheyshyam, S. (1986): Primary Production and fish yields in fish ponds under different management practices. *Aquaculture*, 58. 11-122.
- Oláh, J.-Szabó, P.-Esteky, A. A.-Nezami, S. A. (1994): Nitrogen processing and retention in Hungarian carp farm. *Journal of Applied Ichthyology*, 10. 335-340.
- Scherz, H.-Senser, F. (1994): Food composition and nutrition tables. *Medpharm Scientific Publishers*, Boca Raton, 435.
- Schreckenbach, K.-Knösche, R.-Wedekind, H.-Pfeifer, M.-Weissenbach, H.-Janurik, E.-Szabó, P. (1999): Pond management and aquaculture. *Institute für Binnenfisherei e. V. Potsdam, Sacrow*. Project report, 34.
- Váradi, L.-Gál, D.-Pekár, F.-Szabó, P. (2001): Combined Extensive-Intensive Pond Fish Production System for the Sustainable Use of Natural Resources. *Hungarian Agricultural Research*, 10. 2. 13-15.
- Wetzel, G. R. (1975): *Limnology*. Saunders College Publishing, Philadelphia, 743.
- APHA (1989): *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 1985. 17<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, Washington, D. C.