

## Fenntartható technológiák a haltermelésben – a SustainAqua projekt magyar esettanulmányai

Gál Dénes, Kerepeczki Éva, Kosáros Tünde, Hegedűs Réka, Pekár Ferenc

*Halászati és Öntözési Kutatóintézet, Szarvas*

### Kivonat

A különböző haltermelő rendszerekben átlagosan a táppal bevitt tápanyagok 20-30%-a hasznosul a halhúsban. Az intenzív technológiák és az extenzív tavi kultúrák összekapcsolása lehetővé teszi a tápanyag-hasznosítás javítását. A SustainAqua projekt keretében Magyarországon két kísérleti rendszerben vizsgáltuk a tápanyagok újrahasznosíthatóságának mértékét: (1) kombinált intenzív-extenzív rendszerben és (2) létesített vizes élőhelyi rendszerben.

A kombinált intenzív-extenzív rendszerben a megfelelő működést az extenzív egység vízkezelő kapacitása biztosította, vizsgálatainkat kiterjesztettük az élőbevonat szerepére a tápanyag-hasznosításban és a vízminőség javításában. A kísérleteket 3, egyenként 310 m<sup>2</sup> felületű tóban végeztük (extenzív rész), amelyekbe egy-egy ketrecet helyeztünk intenzív egységként (10 m<sup>3</sup>). Az egyes tavakba a tófelület 0, 100 és 200 %-ával megegyező mesterséges felületet helyeztünk el az élőbevonat számára. Az intenzív egységben afrikai harcsát neveltünk pelletált táppal, míg az extenzív tőegységekben pontyot és tilápiát tartottunk takarmányozás nélkül. A takarmányból eredő átlagos terhelés 1,2 g N/m<sup>2</sup> nap volt. Az összes tápanyag-hasznosítás az élőbevonat nélküli tóban, nitrogén esetében 29 %, foszfor esetében 26 % és a szénnek 20 % volt, míg 100 % szubsztrát felületnél a bevitt nitrogénnek 33, a foszfornak 31 és a szénnek 22 %-a alakult halbiomasszává.

A létesített vizes élőhelyi rendszer egy átfolyóvizes afrikai harcsa telep elfolyóvizének kezelésére szolgált. A vízkezelés mellett a rendszerben a kibocsátott tápanyagok értékes melléktermékekbe épültek be, mint a hal és az energianövények. A vízkezelő rendszer egy stabilizációs tó, egy halastó és két vízínövényes tó összekapcsolásával jött létre. A rendszer átlagosan 1300 kg nitrogént, 180 kg foszfort és 3000 kg szerves szenet távolított el a működési periódus alatt. A melléktermékekben a bekerült összes nitrogén közel 6%-a és a foszfor 10%-a hasznosult.

### Bevezetés

Az intenzív akvakultúrának a természeti környezetet leginkább veszélyeztető hatása a termelési ciklus során szerves, illetve szervetlen anyagokkal terhelt elfolyóvíz kibocsátása által jelentkezik. A természetes vizek számára a fő problémát a szén, a foszfor és a nitrogén koncentrációjának megnövekedése okozza, amelyek a haltermelő rendszerekbe bekerülő tápanyagokból származnak. A takarmányként bejuttatott tápanyagoknak csak viszonylag kis hányada,

mintegy 20-30 %-a (Hargraves, 1998; Brune *et al.*, 2003) hasznosul a haltermelés során.

A SustainAqua program, az Európai Unió 6. Keretprogramja által finanszírozott kutatási projekt, melynek megvalósításában 12 országból 24 kutatóhely, vállalkozás és szervezet vett részt. A projekt fő célkitűzése az volt, hogy olyan kutatási és képzési programok valósuljanak meg, amelyek elősegíthetik a legfontosabb európai édesvízi haltermelési rendszerek hosszú távú gazdasági és környezeti fenntarthatóságát. Öt különböző termelési rendszerben folytattak kísérleteket annak vizsgálatára, hogy miként lehet a termelés színvonalát úgy növelni, hogy mellette a környezeti fenntarthatóság mutatói is javuljanak.

A jelen írásban a SustainAqua program keretében megvalósult két magyar modellkísérlet eredményeiről számolunk be:

- Létesített vizes élőhelyek alkalmazása az intenzív haltermelő rendszerek elfolyó vizének kezelésében (ACS)
- Az intenzív és extenzív haltermelés összekapcsolásával létrehozott haltermelő rendszer vizsgálata (IES).

A létesített vizes élőhelyi rendszerekben (ACS) a szennyezőanyagok eltávolítása természetes folyamatok által, megújuló energiaforrások felhasználásával történik. A különböző vizes élőhelytípusok összekapcsolásával, mint a stabilizációs tó, halastó és vízinövényes tó, a tápanyag eltávolítás hatékonysága fokozható. Értékes hal- és növényfajok bevonásával ezek a tápanyagok piacképes melléktermékké alakíthatóak. A különböző vizes élőhelytípusok összekapcsolásával, mint a stabilizációs tó, halastó és vízinövényes tó, a tápanyag eltávolítás hatékonysága fokozható. Értékes hal- és növényfajok bevonásával ezek a tápanyagok piacképes melléktermékké alakíthatóak. Halnépesítéssel a kibocsátott tápanyagok egy bizonyos része újrahasznosítható a halhúsban és a szükséges oldott oxigénszint biztosítása megfelelő feltételeket teremt az aerob lebontáshoz. A vízinövényes tóban néhány növényfaj tűrőképessége lehetővé teszi az alkalmazott magasabb vízszintet, és így a növények a tápanyagokból figyelemre méltó mennyiséget hasznosítanak biomassza termelésre, amely alkalmas lehet bioenergia előállítására.

A természetes vizek jó ökológiai állapotának elérése és fenntartása mind az európai mind a nemzeti jogi szabályozás és a civil szervezetek kiemelt célkitűzése, mivel az édesvíz készletek minősége és mennyisége az egészséges emberi élet egyik kulcstényezője. A kibocsátott elfolyóvizek a befogadó természetes ökológiai rendszerek eutrofizációját és állapotának romlását idézik elő. Továbbá a vízterhelési díj is számottevő költséget jelent Magyarországon. Ezek a tényezők arra kényszerítik a termelőket, hogy hatásos és költség-hatékony vízkezelési módszereket találjanak. A létesített vizes élőhelyi rendszerekben a szennyezőanyagok eltávolítása természetes folyamatok által, megújuló energiaforrások felhasználásával történik. A kibocsátott lebegőanyagok kiülednek és oldott tápanyagokká alakulnak, amelyeket a vizes élőhely szervezetei hasznosítanak.

A kombinált intenzív-extenzív rendszer (IES) fejlesztésének általános célkitűzése, hogy a tavi halgazdálkodók számára egy olyan termelési technológiát alakítson ki, amely lehetőséget biztosít az erőforrások (víz, tápanyagok,

takarmány) hatékonyabb használatára, valamint arra, hogy a technológia alkalmazásával bővítsék az általuk termelt halfajok számát értékes halfajok termelésbe vonásával. A környezetbarát haltermelő technológiák fejlesztése során kézenfekvő megoldásként vetődik fel, hogy az intenzív akvakultúra által kibocsátott elfolyóvíz kezelését halastavi ökoszisztémában oldjuk meg, illetve az intenzív akvakultúrát integráljuk a halastavi vízkezelő rendszerekkel. A halastavi vízkezelés során az akvakultúrás egységben a fel nem használt tápanyagok egy részének az eltávolítása biológiai folyamatok segítségével zajlik, miközben a tápanyagok egy jelentős része halhússá alakul át. A vizsgált technológiai megoldás elve, hogy az intenzív tavak szerves és szervetlen tápanyagban feldúsult elfolyóvizének kezelése egy extenzív halastóban történik. Az extenzív halastó ökoszisztémája részt vesz az intenzív tavakból távozó tápanyagok átalakításában, visszatartásában és hasznosítja azokat egy újabb haltermelési ciklusban. A kombinált haltermelő rendszerek alkalmazása lehetőséget teremt az ökológiailag fenntartható és egyúttal piacképes terméket előállítani képes haltermelési gyakorlat folytatására. A különböző termelési egységek összekapcsolásával csökkenthető a haltermelés vízigénye és a környezetbe kibocsátott tápanyagterhelés, miközben egységnyi takarmány felhasználásával több hal állítható elő.

A kutatómunka célja volt, hogy kialakítson egy új ragadozóhal haltermelési technológiát a tavi haltermelők részére, amely növeli a tápanyagok (takarmány) hasznosításának hatékonyságát. Vizsgálataink a tápanyagok újrahasonosítási lehetőségeinek feltárására irányultak a haltermelő rendszeren belül.

## **Anyag és módszer**

### ***Létesített vizes élőhelyi rendszer***

A létesített vizes élőhelyi rendszer Szarvason, a Halászati és Öntözési Kutatóintézet (HAKI) kísérleti telepén található. A kísérleti rendszer két alrendszerből áll: egy 1,1 ha ('A' alrendszer) és egy 0,4 ha területű ('B' alrendszer) vízkezelő egységből, amelyek egy átfolyóvizes afrikai harcsát nevelő telep elfolyóvizének a kezelésére épültek. A létesített vizes élőhelyi rendszer stabilizációs tavak, halastavak és vízinövényzettel borított tavak összekapcsolásával jött létre. A tavak feltöltésére minden évben tavasszal került sor (2007. május és 2008. február), ehhez a Holt-Körösből származó vizet használtunk.

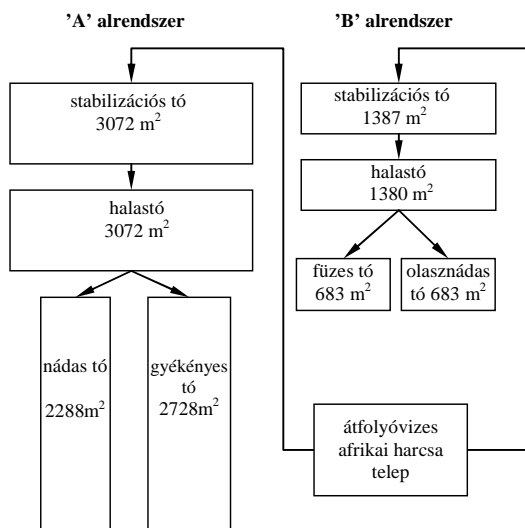
Az afrikai harcsa telep elfolyóvize egy levegőztetett (lapátkerekes levegőztetők alkalmazásával) stabilizációs tóba került bevezetésre, ahova rendszeresen frissítő vizet is adagoltunk a Holt-Körösből. A stabilizációs tó vize gravitációsan a halastó egységbe folyt, ahol a bekerült tápanyagok egy része halbiomassza-gyarapodás formájában hasznosult. A halastó egység kifolyó vize a vízinövényes tavakba került. A vízinövényes tavakban 4 különböző energianövényként is hasznosítható fajt teszteltünk, ezek: a közönséges nád (*Phragmites australis*), a széleslevelű és keskenylevelű gyékény (*Typha latifolia* és *T. angustifolia*), a kosárfonó fűz (*Salix viminalis*), az olasz nád (*Arundo donax*) és a tamariska (*Tamarix tetrandra*). A kísérleti rendszer vázlata az 1. ábrán látható. A kísérleti rendszer egységeiben a víz átlagos tartózkodási ideje 18 nap volt. Az átlagos vízmélység a stabilizációs és a halastavakban 1,2 m; a

vízínövényes tavakban 0,5 m volt. A halastavak népesítése polikultúrában történt, 900 kg/ha sűrűségben, 35% ponty (*Cyprinus carpio*), 60% fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*) és 5% amur (*Ctenopharyngodon idella*) összetételben. A népesítési szerkezetet úgy választottuk ki, hogy megvalósuljanak a vízkezelési célok, és minél hatékonyabb legyen a természetes táplálékforrások hasznosítása. A halastavakat nem takarmányoztuk. A lehalászásra novemberben került sor, ezt követően a tavakat a téli időszakban szárazon tartottuk (novembertől februárig).

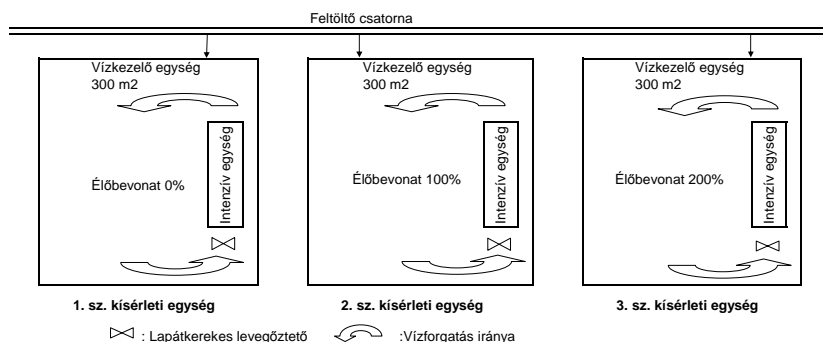
### **Kombinált intenzív-extenzív rendszer (IES)**

Az IES kísérleti modul vizsgálatait három tóban végeztük (a tavak területe egyenként 310 m<sup>2</sup>, a vízmélysége 1 m volt). A tavak a kísérleti rendszer extenzív részeként szolgáltak. Mindhárom extenzív tóba egy-egy 10 m<sup>3</sup> nagyságú ketrecet helyeztünk el, ami a rendszer intenzív részét képezte (2. ábra). A tavakat a Körös-holtágból árasztottuk fel egy héttel a népesítést megelőzően. Lapátkerekes levegőztetők (0,5 kW) alkalmazásával tartottuk fent a megfelelő oldott oxigén szintet a tavakban, valamint ezek biztosították a vízáramlást a rendszer intenzív és extenzív része között. Minden tóban azonos volt a népesítés (intenzív rész népesítése 200 kg afrikai harcsával történt (*Clarias gariepinus*), míg az extenzív részbe 100-100 kg pontyot és nílusi tilápiát (*Oreochromis niloticus*) helyeztünk ki). Kizárólag a rendszer intenzív részét takarmányoztuk. A három kísérleti rendszer csak az extenzív tó kialakításában tért el egymástól: különböző élőbevonat sűrűségeket vizsgáltunk a kísérleteinkben; az élőbevonat képződésére szolgáló mesterséges felület nagysága 0, 100 és 200 %-a volt a tavak felületének (0, 1 és 2 m<sup>2</sup> élőbevonat felület/m<sup>2</sup> tófelület). A kísérleti rendszerek átlagos tápanyag terhelése 1,2 g N/m<sup>2</sup>/nap volt.

Mindkét kísérleti rendszerben kéthetente vett vízmintákkal követtük nyomon a vízkémiai paraméterek változását.



**1. ábra:** A kísérleti rendszer kialakítása



**2. ábra:** A Kombinált intenzív-extenzív rendszer kialakítása

## Eredmények és értékelésük

### Létesített vizes élőhelyi rendszer

A kísérleti rendszert két éven keresztül (2007-2008) üzemeltettük. A kezelendő afrikai harcsa telep elfolyóvizének vízkémiai paraméterei az 1. táblázatban láthatóak. A kifolyó vízben az összes bekerült nitrogénnek átlagosan 8 %-a az összes foszfornak és összes szerves szénnek egyaránt a 21%-a volt jelen. A tápanyagok egy része az ACS modulban értékes melléktermékké: hallá és energianövényekké alakult át. A bekerült nitrogén 1,0%-a, a foszfor 1,8%-a és a szerves szén 2,3-3,5%-a halbiomasszában akkumulálódott, míg az energianövényekbe a nitrogén 3,7-4,0%-a, a foszfor 8,5-9,2%-a épült be (I. táblázat).

**I. táblázat:** A vízkémiai paraméterek átlagos értékei az afrikai harcsa telep elfolyóvizében

Paraméter	mg/l
Kémiai oxigénigény	200±98,0
Ammónium nitrogén	18,7±5,84
Összes szerves nitrogén	11,6±11,8
Összes nitrogén	29,7±11,4
Ortofoszfát foszfor	1,37±1,07
Összes foszfor	2,90±0,92
Szerves lebegőanyag	114±57,6

### Vízfelhasználás és vízkibocsátás

A tavakat a működés kezdetekor a közeli Holt-Körösből töltöttük fel. A Holt-Körösből származó víz jelentős részét a feltöltésre használtuk (12 500 m<sup>3</sup>); további 13 560 m<sup>3</sup> frissítővizet vezetünk évente a stabilizációs tavakba a működési időszak alatt. 1 m<sup>3</sup> halas elfolyóvíz kezeléséhez átlagosan használt

frissítővíz mennyisége 0,159-0,274 m<sup>3</sup> között változott az üzemeltetés alatt, a feltöltéssel együtt 0,279-0,453 m<sup>3</sup> volt az átlagos fajlagos vízfelhasználás. A vízkibocsátás a vízínövényes tavak kifolyó műtárgyainál történt. A tartózkodási idő alatt a bevezetett víz térfogata csökkent a párolgási veszteséggel, a növények párologtatásával és a szivárgással. Így a kibocsátott vízmennyiség 55-57%-kal volt kisebb, mint a bevezetett összes víztérfogat.

#### *Tápanyagok hasznosítása*

Az összes nitrogén-kibocsátás 162 kg volt a működési időszak alatt 2007-ben, ami 1,05 kg/nap kibocsátásnak felelt meg a teljes rendszerre vetítve. A kifolyó vízben a bekerült nitrogén kevesebb mint 10%-a volt jelen. Az összes foszforkibocsátás 44,9 kg és a napi foszforkibocsátás 0,29 kg/nap mennyiséget tett ki, a kifolyóvízzel az összes bekerült foszfor 27 %-a távozott. A vízminták széntartalmát a szerves lebegőanyagok mennyiségének 50%-aként kaptuk meg: az összes szén kibocsátás 792 kg volt a működés folyamán, amely 5,14 kg napi kibocsátásnak felelt meg. A kifolyóvízben az összes bekerült szerves szén közel 30 %-a volt mérhető (II. táblázat).

**II. táblázat:** Bekerült, kikerült tápanyagok és a tápanyag eltávolítás az ACS rendszer tőegységeiben, 2007-ben

Egység	N			P			C		
	Be kg	Ki kg	Eltávolítás %	Be kg	Ki kg	Eltávolítás %	Be kg	Ki kg	Eltávolítás %
A_ST	1 167	722	38,1	117	95,1	18,7	1 930	1 307	32,2
A_FI	722	404	27,2	95,1	69,0	22,3	1 307	1 022	14,8
A_PH	207	77,4	11,1	35,6	20,5	12,9	526	325	10,4
A_TY	196	46,5	12,8	33,4	15,1	15,6	495	279	11,2
<b>A_összes</b>	<b>1 167</b>	<b>124</b>	<b>89,4</b>	<b>117</b>	<b>35,6</b>	<b>69,6</b>	<b>1 930</b>	<b>605</b>	<b>68,7</b>
B_ST	512	235	54,1	50,0	31,9	36,2	813	561	31,0
B_FI	235	114	23,6	31,9	18,8	26,1	561	374	23,0
B_SA	56,4	21,1	6,90	9,30	5,13	8,36	188	108	9,82
B_AR	58,1	17,0	8,03	9,55	4,13	10,8	186	79,4	13,1
<b>B_összes</b>	<b>512</b>	<b>38,1</b>	<b>92,6</b>	<b>50,0</b>	<b>9,26</b>	<b>81,5</b>	<b>813</b>	<b>187</b>	<b>77,0</b>
<b>A+B</b>	<b>1 679</b>	<b>162</b>	<b>90,3</b>	<b>167</b>	<b>44,9</b>	<b>73,1</b>	<b>2 743</b>	<b>792</b>	<b>71,1</b>

Az összes nitrogén kibocsátás 116 kg-ot tett ki a működési periódus alatt 2008-ban, amely megfelelt 0,48 kg/nap kibocsátásnak a teljes vízkezelő rendszerre számítva. A kifolyó vízben az összes bekerült nitrogén kevesebb mint 6 %-a volt jelen. Az összes foszfor kibocsátás 37,1 kg volt, a napi kibocsátás átlagosan 0,15 kg volt, a kifolyóvízben a bekerült foszforformák 16 %-át találtuk. Az összes szerves szén kibocsátás 475 kg volt a működés folyamán, amely napi 1,97 kg kibocsátásnak felelt meg. A kifolyó vízben a bekerült szerves szén kevesebb mint 12 %-a volt mérhető (III. táblázat). A tápanyag kibocsátás

jelentősen kisebb volt 2008-ban, mint 2007-ben, különösen a napi kibocsátás tekintetében, amely közel 50%-kal kevesebb volt 2008-ban, mint az előző évben.

**III. táblázat:** Bekerült, kikerült tápanyagok és a tápanyag eltávolítás az ACS rendszer tőegységeiben 2008-ban

Egység	N			P			C		
	Be	Ki	Eltávolítás	Be	Ki	Eltávolítás	Be	Ki	Eltávolítás
	kg	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%
A_ST	1 352	865	36,0	152	95,9	37,0	2 646	1 304	50,7
A_FI	865	376	36,1	95,9	48,0	31,5	1 304	1 143	6,07
A_PH	184	41,9	10,5	23,7	15,5	5,36	562	161	15,2
A_TY	198	37,1	11,9	23,3	14,7	5,66	522	166	13,4
<b>A_összes</b>	<b>1 352</b>	<b>79,0</b>	<b>94,2</b>	<b>152</b>	<b>30,2</b>	<b>80,1</b>	<b>2 646</b>	<b>327</b>	<b>87,6</b>
B_ST	717	361	49,6	78,9	40,4	48,7	1 351	554	59,0
B_FI	361	184	24,7	40,4	19,3	26,7	554	503	3,78
B_SA	88,3	17,3	9,90	9,21	2,96	7,93	238	68,3	12,5
B_AR	99,0	19,5	11,1	9,78	3,97	7,36	257	80,1	13,1
<b>B_összes</b>	<b>717</b>	<b>36,8</b>	<b>94,9</b>	<b>78,9</b>	<b>6,93</b>	<b>91,2</b>	<b>1 351</b>	<b>148</b>	<b>89,0</b>
<b>A+B</b>	<b>2 069</b>	<b>116</b>	<b>94,4</b>	<b>231</b>	<b>37,1</b>	<b>83,9</b>	<b>3 997</b>	<b>475</b>	<b>88,1</b>

A tápanyagok egy része az ACS modulban értékes melléktermékké: hallá és energianövényekké alakult át. A bekerült tápanyagok hasonló arányban alakultak át mindkét évben hallá és növényi biomasszává: a nitrogén 1,0%-a, a foszfor 1,8%-a és a szerves szén 2,3-3,5%-a került visszatartásra a halban. Az energianövényekbe a bekerült nitrogén 3,7-4,0%-a, a foszfor 8,5-9,2%-a épült be (IV. táblázat).

**IV. táblázat:** Tápanyag kibocsátás és tápanyag visszatartás a melléktermékekben

Tápanyag		2007			2008			
		N	P	C	N	P	C	
Bekerült	kg	1 679	167	2 743	2 069	231	3 997	
Kikerült	Víz	%	9,7	27	29	5,6	16	4,3
	Lecsapolt víz	%	10	17	20	5,9	9,2	7,5
	Hal	%	1,0	1,8	3,5	0,99	1,7	2,3
	Növények	%	4,0	9,2	-*	3,7	8,5	-*

\*nem vettük figyelembe a légköri szén-dioxid felvétel miatt

#### *Energiahatékonyság*

Az ACS kísérleti rendszer működése során elektromos energiát használtunk a harcstatelep elfolyóvizének a stabilizációs tóba való szivattyúzásához (3,1 kW teljesítmény) és a levegőztetéshez (2 db levegőztető 0,75 kW teljesítménnyel). Az elektromos szivattyúk és a levegőztetők energiafogyasztása átlagosan

16 600 kWh volt. (Megjegyezzük, hogy az elfolyóvíz gravitációs bevezetése esetén a szivattyúk energiafogyasztása is kiküszöbölhető lenne.) A kezelt halas elfolyóvíz 1 m<sup>3</sup> térfogatára számított fajlagos energiafogyasztás 0,257 kWh/m<sup>3</sup> volt 2007-ben és 0,273 kWh/m<sup>3</sup> 2008-ban. Hozzávetőlegesen 48 l üzemanyagot, vagyis 487 kWh energiát használtunk a növények levágásához és szállításához.

A megtermelt növényi biomassa fűtőértéke 2007-ben 81 728 MJ volt, amely megfelel 22 702 kWh energiamennyiségnek, 2008-ban 359 207 MJ volt a biomasszában mért fűtőérték, mely átszámítva 99 780 kWh-nak felelt meg. A kísérleti rendszer energiamérlegét kiszámítva 6 000 kWh-val több energiát állítottunk elő a rendszerben, mint amennyi az energiafogyasztás volt a működés alatt 2007-ben, és 82 296 kWh-val több energiát termeltünk meg a rendszerben, mint amennyit felhasználtunk 2008-ban (V. táblázat).

Az elfolyóvíz kezelésre használt rendszerben az energianövényeket, mint értékes melléktermékeket termesztettük, mivel fűtőanyagként hasznosítva jelentős megújuló energiaforrást jelentenek. A növényeket a vízinövényes tóban 2007 decemberében arattuk le, az összes biomassa tömege 8 320 kg-ot tett ki.

**V. táblázat:** Az ACS modul energiamérlege

	2007		2008	
	kWh	MJ	kWh	MJ
Elektromos energiafogyasztás	16 221	58 396	16 997	61 189
Szivattyúzás	10 714	38 570	9 077	32 677
Levegőztetés	5 508	19 829	7,920	28 512
Üzemanyag fogyasztás	487	1 754	487	1 754
Növényi fűtőérték	22 702	81 728	99 780	359 207
<b>Mérleg</b>	<b>5 994</b>	<b>21 578</b>	<b>82 296</b>	<b>296 263</b>

A megtermelt biomassa mennyiségét 40 900 kg-ra becsültük 2008-ban. A gyékénynél találtuk a legnagyobb növekedési rátát, míg a legalacsonyabb ráta a fűz ültetvényre volt jellemző. Az olasz nádas és a füzes tavakban erőteljes volt a gyékény betelepülése, mely elnyomta az ültetett fajokat. A közönséges nádnak volt a legmagasabb a mért fűtőértéke, átlagosan 11 372 J/g. A fűznél mért fűtőérték 9 699 J/g volt. A gyékény és az olasz nád viszonylag alacsony fűtőértékeket mutatott: 9 214 J/g, illetve 8 611 J/g nagyságban.

Az évszakok között ősztől tavaszig a fűtőérték majdnem megduplázódik a nádnál és 45 %-kal nő a gyékény esetében, míg a nedvességtartalom folyamatosan csökken. Ezek az értékek azt jelzik, hogy a legmagasabb fűtőérték elérése érdekében a legalkalmasabb időszak a növények learatására március és április között van, mivel ekkor a legalacsonyabb a növények nedvességtartalma és ennek megfelelően a fűtőértékük magas.

A létesített vizes élőhelyi rendszer jelentős környezeti és gazdasági eredményeket mutatott. A vizsgált rendszer alkalmazása az intenzív akvakultúra által kibocsátott nitrogén mennyiségét 1 300 kg/ha, a foszfor mennyiségét 130 kg/ha és a kémiai oxigénigényben kifejezett szerves anyag mennyiségét 7 500 kg/ha mértékben csökkentette az teljes működési időszak alatt februártól



novemberig 2008-ban. A halastavakban átlagosan 1 458 kg/ha halat termeltünk természetes haltáplálékokon. A tápanyagok eltávolítása az elfolyóvízből csökkentette a vízterhelési díjat és hozzájárult a környezetvédelmi bírságok elkerüléséhez, ugyanakkor a megtermelt piacképes melléktermékek értékesítése járulékos bevételforrást jelent. Azonban a vízkezelő módszer alkalmazásakor néhány korlát is felmerül. Az éghajlati viszonyok miatt Közép- és Kelet-Európában télen nem lehetséges a nyárral azonos terhelési szint alkalmazása. Alacsonyabb víz hőmérséklet esetén (15 °C alatt) az elfolyóvízzel érkező terhelés mérséklése ajánlott a koncentrációk csökkentésével (a lebegőanyagok kiszűrésével) vagy a kezelt térfogat csökkentésével (tárolási megoldással). A nyílt vízfelszín (folyamatos vízpótlással) a vízínövényes tavakban kedvező feltételeket biztosított a nád és a gyékény számára. Azonban a magas vízállás és a viszonylag vékony termőréteg a tavak fenekén nem volt optimális a fűz és az olasz nád számára. A vízkezelő rendszer építése és sikeres működtetése részletes tervezést és folyamatos ellenőrzést igényel, elsősorban az oldott oxigén koncentráció figyelemmel kísérése fontos a halastavakban. A rendszer túlterhelése komoly zavar okozhat a tavak egyensúlyában, amelyek épített ökológiai rendszerekként működnek.

#### ***Kombinált intenzív-extendív rendszer (IES)***

A tavak feltöltése a Holt-Körös vizével történt. A párolgási és szivárgási vízvesztéseket rendszeresen pótoltuk a kísérleti időszak alatt (VI. táblázat). A tenyésztési időszak alatt nem volt elfolyóvíz kibocsátás. A tavakból vízelengedés kizárólag a lehalászáskor történt, mikor a tavak lecsapolásra kerültek.

**VI. táblázat:** Az IES vízmérlege (m<sup>3</sup>)

	<b>IES/1</b>	<b>IES/2</b>	<b>IES/3</b>
Vízfelhasználás	956	890	850
Elfolyóvíz kibocsátás	245	256	260
VF (m <sup>3</sup> /kg nettó hozam)	1.9	1.6	1.8

VF: A haltermelés vízfelhasználása (vízfelhasználás/kg nettó halhozam)

#### ***Tápanyagok hasznosítása***

A bekerült (halnépesítés, befolyóvíz, takarmány) és a távozó tápanyagok (lehalászott hal, lecsapolóvíz) mennyiségét a VII. táblázatban összesítettük. A haltakarmány volt a legjelentősebb tápanyagforrás, ami az összes bekerült nitrogén 80, a foszfor 75 és a szerves szén 85 %-át tette ki. A kombinált rendszer tápanyag-visszatartása szerves szén esetében 6 300 kg/ha, nitrogén esetében 1 000 kg/ha és foszfor esetében 180 kg/ha volt. A visszatartott tápanyagok (retenció) az összes bekerült tápanyagok arányában átlagosan a nitrogén esetében 65 és 57 %-át, a foszfornál 66 és 58 %-át, a szerves szén esetében 75 és 64 %-át tették ki 2007-ben és 2008-ban. A kombinált rendszer fajlagos takarmány eredetű nitrogén feldolgozása 1 400 kg/ha volt.

**VII. táblázat:** Az IES részleges tápanyagmérlege

	IES/1			IES/2			IES/3		
	N	P	C	N	P	C	N	P	C
Bekerül (kg/ha)	1 790	310	9 700	1 800	320	9 700	1 800	310	9 700
Távozik (kg/ha)	760	130	3 100	840	140	3 900	720	130	3 200
Retenció (%)	58	60	67	53	55	59	60	60	67

A haltermelés tápanyag-hasznosítása, amit a kijuttatásra került haltakarmány tápanyagtartalmának a százalékában fejeztünk ki, a VIII. táblázatban került összefoglalásra. Az intenzív és extenzív haltermelés kombinációja 26 %-kal jobb fehérjehasznosulást eredményezett, ami az élőbevonat alkalmazásával tovább javult, a fehérjehasznosulás ekkor 40 %-kal haladta meg a kombináció nélküli intenzív haltermelés esetében számítottat. A haltermelés tápanyag-hasznosulása azokban a kísérleti beállításokban volt a legmagasabb, ahol az alkalmazott élőbevonat mennyisége 100 %-a volt a tőfelületnek. A magasabb élőbevonat arány esetében a haltermelés tápanyag-hasznosulása alacsonyabb volt. Ez azt jelzi, hogy a 100 %-os élőbevonat arány elegendő volt, hogy az 1,8 g N/m<sup>2</sup>/nap tápbevitel mellett jelentkező tápanyagterhelést feldolgozza. Az átlagos takarmányértékesítés (FCR) az intenzív egységben 1,6 volt. A kombinált haltermeléssel a takarmányértékesítés 44 %-kal javult (FCR: 0,9), az extenzív tóban képződött kiegészítő haltermelés által.

**VIII. táblázat:** Tápanyag-hasznosítás a halhozamban a bekerült takarmány %-ban

	PA 0%			PA 100%			PA 200%		
	N	P	C	N	P	C	N	P	C
Intenzív	23	23	16	22	22	15	22	22	15
Extenzív	6,1	3,3	4,4	10	8,9	7,3	5,9	3,3	4,2
<b>Összesen</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>19</b>

A vízkezelő rendszer működése során az algák tápanyag felvétele és a bakteriális lebontás mellett a heterotróf szervezeteknek és a nitrifikációs folyamatoknak is fontos szerepe van. Ezért az oxigénszint szabályozása, a vízkezelő rendszerben az aerob környezet fenntartása, akár mesterséges levegőztetés alkalmazásával, elengedhetetlen a tápanyagok hatékony feldolgozása érdekében a vízkezelés során.

A kombinált rendszer képes volt az intenzív rendszerből távozó hulladék tápanyagok feldolgozására és hasznosítására. Az extenzív részben, a kiegészítő haltermelés által hasznosított tápanyagok aránya – az összes bekerült tápanyag viszonyában – elérte a nitrogén esetében 13 %-ot, a foszfor esetében a 17 %-ot és a szerves szén esetében a 9 %-ot.

Az extenzív rész haltermelési potenciálja a kihelyezett mesterséges felületen képződött élőbevonat alkalmazásával fokozható, mivel az élőbevonat többlet természetes táplálékot biztosít a halak számára. A vízfelszín közelében (0-30 cm) képződött élőbevonat minták szárazanyag-tartalma lényegesen meghaladta a

mélyebb vízrétegekből gyűjtött minták szárazanyag-tartalmát. Az élőbevonat minták szárazanyag-tartalmában a tavak között nem találtunk szignifikáns eltérést. Ugyanakkor a halak nagyobb mértékű élőbevonat fogyasztása többlet halhozamot eredményezett az extenzív tavakban. Az alkalmazott technológia segítségével csökkenthető az intenzív haltermelés környezetterhelése. Az intenzív egységben keletkező anyagcsere-termékeket az extenzív részben az élőbevonat és a népesített halak révén nemcsak eltávolíthatjuk, hanem hasznosíthatjuk is. A mesterséges alzatok alkalmazása alacsony költségű és egyszerű technológiát jelent, melynek során a hatékonyabb tápanyag felhasználás révén nagyobb halprodukció érhető el.

A tápanyagforgalmi vizsgálat bizonyította, hogy megfelelő méretű extenzív halastó képes az intenzív haltermelésből származó elfolyóvíz hatékony kezelésére és lehetőséget biztosít az így kezelt víz visszaforgatására. Az intenzív haltermelésből származó folyékony hulladékok kezelését megoldhatja a halastavak, mint természetesközeli vízkezelő rendszerek alkalmazása, amelyek egyúttal jelentős mennyiségű halhozam előállítására is képesek

Az eredmények bizonyították, hogy az intenzív és extenzív haltermelés kombinációja sikeresen csökkenti az intenzív haltermelés környezeti terhelését, miközben az extenzív tóban kiegészítő haltermelésre nyújt lehetőséget. Az extenzív egység működésének hatékonysága az élőbevonat termelését elősegítendő, mesterséges alzat kihelyezésével eredményesen növelhető. A kombinált haltermelés, az intenzív és extenzív egységek egyszerű kombinációjával a haltermelés fehérjehasznosítását 26 %-kal képes növelni, miközben az élőbevonat alkalmazásával a fehérjehasznosítás 40 %-kal növelhető. Az élőbevonat, mint felülethez kötődő életközösség a táplálkozási hálózat új elemeként, jelentős természetes táplálékbázist jelent a halak számára, ezáltal növelve a halhozamban akkumulálódott tápanyagok mennyiségét. A kombinált haltermelő rendszerekben a vízminőség megfelelt a haltermelési igényeknek a vizsgálataink alatt.

A hagyományos tógazdálkodás átlagos halhozamai 1 tonna/ha körül alakulnak, ezzel szemben a kombinált haltermelő rendszerben az extrapolált fajlagos hozamok elérhetik a 20 t/ha mennyiséget. Eközben a kombinált rendszer tápanyag kibocsátása a hagyományos halastavi gazdálkodáshoz hasonlóan alacsony, a haltermelő rendszer jobb tápanyag gazdálkodásának következtében.

Az intenzív és extenzív haltermelés összekapcsolásával egyaránt kiaknázzhatók a hagyományos tógazdálkodás és az intenzív halnevelés előnyei. Értékes halfajok nevelhetőek az intenzív részben, miközben az extenzív halastóval, mint vízkezelő egységgel való kombináció miatt az integrált haltermelő rendszer tápanyag-kibocsátása alacsony szintű marad, és többlet halhozam is keletkezik. Az extenzív halastóba helyezett ketrecek vagy úszó medencék egyaránt alkalmazhatóak az intenzív halnevelésre. Az intenzív részben értékes ragadozó halfajok nevelhetőek, teljes értékű tápok etetésével, szabályozott környezeti körülmények között. Az el nem fogyasztott takarmány és a halak anyagcsere termékei az extenzív részben hasznosulnak. Az intenzív haltermelés átlagos tápanyag hasznosítása 20-25 % körül alakul, az integrált rendszerben ez a mutató 30-35 %-ra emelkedik, miközben csökken a természetes befogadóvízek tápanyagterhelése. A kombinált haltermelő rendszerek alkalmazása lehetőséget teremt a magas hozamú intenzív haltermelés és a környezetkímélő gazdálkodás együttes folytatására, kielégíti az

ökológiailag és ökonómiailag egyaránt fenntartható haltermelési gyakorlattal szemben támasztott követelményeket.

### **Összefoglalás**

A létesített vizes élőhely működése során jelentős mennyiségű tápanyagot távolított el a kezelendő elfolyóvízből. A vizes élőhelyek a vízkezelési funkciójuk mellett alkalmasak másodlagos haszonvételre is, amelyek közül az energianövény termelés lehetősége mutatkozik a legígéretesebbnek. A kombinált intenzív-extenzív rendszer képes volt az intenzív rendszerből távozó hulladék tápanyagok feldolgozására és hasznosítására. Az extenzív részben, a kiegészítő haltermelés által hasznosított tápanyagok aránya – az összes bekerült tápanyag viszonyában – elérte a nitrogén esetében 10 %-ot, a foszfor esetében a 9 %-ot és a szerves szén esetében a 7 %-ot.

### **Köszönetnyilvánítás**

A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatta (SustainAqua COLL-T-2006-030384).

### **Irodalomjegyzék**

- Brune, D. E., Schwartz, G., Eversole, A. G., Collier, J. A., Schwedler, T. E., 2003.** Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*. 28: 65-86.
- Hargreaves, J. A., 1998.** Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*. 166: 181-212.

## **Sustainable technologies in the aquaculture – The Hungarian case studies in the SustainAqua project**

**Dénes Gál, Éva Kerepeczki, Tünde Kosáros, Réka Hegedűs, Ferenc Pekár**

*Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Szarvas*

### **Abstract**

Nutrient retention into fish biomass varies only between 20 and 30% of the introduced fish feed in various aquaculture practices. By the combination of intensive and extensive fish production technologies is made possible to enhance the nutrient utilisation of aquaculture practises. Two pilot scale experiments were investigated for the potential of nutrient reusing capacity of integrated aquaculture in the frame of the SustainAqua project: (1) combined intensive-extensive aquaculture system and (2) constructed wetland system.

The experiments of combined system were carried out in three ponds (area 310m<sup>2</sup>) served as extensive units, where to a cage was placed as an intensive unit (volume 10m<sup>3</sup>) in each pond. Three different setups of extensive ponds were studied: additional area for periphyton development equalled about 0, 100 and 200% of the pond surface area. In the intensive units African catfish were cultured and fed with pellet, while common carp and Nile tilapia were stocked in each extensive unit and were raised without any artificial feeding. The average feed loading was 1.2 gN/m<sup>2</sup>/day. The nutrient utilisation of fish production was 29 % for N, 26 % for P and 20 % for C with 0% substrate surface, while it was 33, 31 and 22 % with 100 % substrate surface for N, P and C, respectively.

The constructed wetland system was built for the water treatment of the effluents of an intensive flow-through African catfish production farm. Besides the water treatment the constructed wetland system was able to transform the waste nutrients into valuable by-products such as fish and energy plants. The wetland system was constructed by the combination of an oxidation pond, a fishpond and macrophyte pond units. The nutrient removal capacity of the wetland system was 1300, 180 and 3000 kg/ha/ year for nitrogen, phosphorus and organic carbon, respectively. 6 % of nitrogen and 10 % of phosphorus of the total introduced nutrient were utilised in by-products.