

Inovativne tehnologije za ponovno uporabo (recikliranje) vode v ribogojstvu

Tjaša Griessler Bulc in Aleksandra Krivograd Klemenčič
Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

IZVLEČEK

Zaprti čistilni sistemi predstavljajo trajnostno metodo zmanjševanja vpliva ribogojnic na okolje, saj pomembno prispevajo k manjši porabi vode. Med 2006-2008 je v Sloveniji potekal 6 OP Chem-free projekt, v sklopu katerega smo razvili tehnologijo čiščenja vode za ribogojnice s kombinacijo steklenih filtrov, UV-C in ultrazvoka. Sistem je bil učinkovit za odstranjevanje TSS, BPK₅ in KPK, manj učinkovit za odstranjevanje NO₂-N in TKN in neučinkovit za odstranjevanje NH₄-N, NO₃-N, TP in PO₄-P. Rezultati so pokazali, da stekleni filtri in UV-C niso najboljša rešitev za izbran namen, medtem ko bi ultrazvok lahko bil učinkovita metoda zmanjševanja količine alg in mikroorganizmov za potrebe ribogojnic. Glavni problem so bile visoke vrednosti dušika in fosforja, ki bi jih lahko učinkovito odstranili iz sistema z uporabo rastlinskih čistilnih naprav. Tako v novem Eureka projektu predlagamo razvoj inovativne tehnologije za ponovno uporabo vode v ribogojstvu s pomočjo rastlinskih čistilnih naprav in ultrazvoka.

IZHODIŠČA

V zadnjih desetih letih svetovna proizvodnja rib narašča od 8–10 % letno. Posledica hitrega razvoja ribogojstva so tudi nezaželeni vplivi na okolje. Neprimerni načini gojenja rib imajo lahko resne posledice za ekosisteme, izpostavljene izpustom iz ribogojnic. Vplivi ribogojnic na okolje se odražajo predvsem kot naraščanje populacije alg, bogatenje sedimenta z organsko snovjo, zmanjševanje vsebnosti kisika na meji voda-sediment in vpliv na strukturo mikrobnih združb (1, 2). Prekomeren razvoj alg lahko povzroči pomanjkanje kisika v nočnem času in s tem pogin rib. Dodaten stres za ribe povzroča tudi nihanje pH vrednosti kot posledica dnevno-nočnega sproščanja CO₂. Kopenske ribogojnice z veliko biomaso rib so energetske potratne tudi zaradi dovajanja sveže vode, oskrbe s kisikom, hrano ipd.

Kroženje vode v zaprtem čistilnem sistemu (recikliranje) predstavlja trajnostno metodo zmanjševanja vpliva ribogojnic na okolje. V klasičnih ribogojnicah se uporablja velike količine kemijskih sredstev (klor, baker, vodikov peroksid itd.) za oksidacijo organskih snovi in odstranjevanje mikroorganizmov. Uporaba kemikalij ima lahko nezaželene učinke tako na ribe, kvaliteto vode, biološke filtre kot tudi na zaposlene (3). Krožni sistemi čiščenja vode v ribogojstvu brez dodajanja kemikalij pomenijo nove rešitve tudi za druge

sisteme čiščenja vode, kjer je uporaba kemikalij nezadovoljiva rešitev (bazeni, pridobivanje pitne vode iz površinskih voda, namakalni sistemi...).

Glavni viri odpadnih snovi v krožnih sistemih ribogojnic so poginule ribe, ribji iztrebki in urin, ostanki hrane in druge snovi (4). Večina okoljskih polutantov povzročata oksidativni stres pri ribah. Raziskave so pokazale da polutanti, kot so na primer težke kovine (npr. Cr(VI)) in druge snovi lahko delujejo na organizme neposredno ali pa tvorijo proste kisikove radikale, ki povzročajo degenerativne procese in imajo genotoksične učinke (5). Kvaliteta vode v ribogojnicah mora biti ustrezna za uspevanje ribje populacije in mora omogočati kvalitetno proizvodnjo rib v skladu s standardi in veljavno zakonodajo (4).

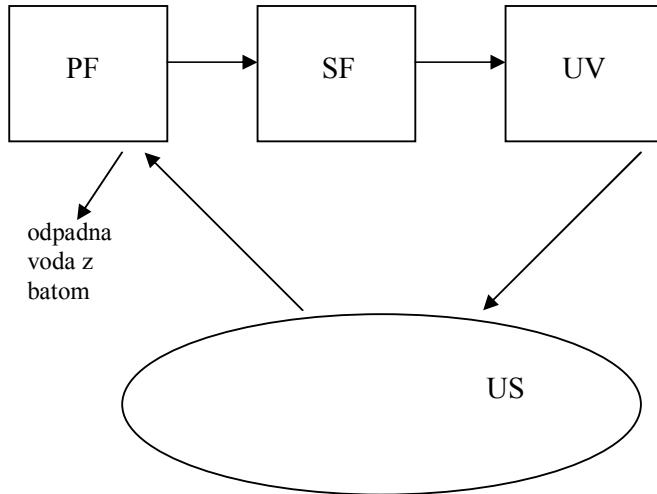
V prispevku je opisan razvoj nove tehnologije čiščenja vode za potrebe ribogojnic s kombinacijo treh dobro znanih tehnoloških enot: steklenih filtrov (SF), UV-C (UV) in ultrazvoka (US) ter s peščenim filtrom (PF) kot sistemom za pred-čiščenje. Sistem je namenjen kopenskim ribogojnicam za potrebe gojenja krapov. US in UV sta splošno uporabljene napravi za nadzor rasti alg (6 - 10) in dezinfekcijo vode (11-14). Dezinfekcija vode z UV se v ribogojnicah pogosto uporablja (3), medtem ko je uporaba US v ribogojnicah še vedno na stopnji raziskav (14). Glavne slabosti UV dezinfekcije so: a) intenziteta ultravijolične svetlobe ostro pada s prehajanjem skozi vodo, še posebej pri visokih motnostih; b) mikroorganizmi pritrjeni na suspendiranih delcih se izognejo ultravijolični svetlobi, s čimer se zmanjša učinkovitost dezinfekcije; in c) mikrobná DNA, ki jo ultravijolična svetloba poškoduje, se lahko popravi s pomočjo encimatskih popravilnih sistemov, kar pomeni da mikroorganizmi preživijo (15). Za dezinfekcijo vode se pogosto uporablja kombinacija UV in US (13, 15, 16). Znano je da ultrazvok izboljša kinetiko UV dezinfekcije odpadnih voda z razbitjem večjih suspendiranih delcev (16), s čimer se poveča učinkovitost dezinfekcije (17).

Predstavljená raziskava je bila opravljena v okviru Chem-free projekta z naslovom "Razvoj nove tehnologije čiščenja vode s kombinacijo steklenih filtrov, ultrazvoka in UV-C brez uporabe kemikalij," COOP-CT-2006-032719 in trajanjem od 1.7.2006 do 30.9.2008. Chem-free projekt spada med ko-operativne raziskovalne projekte (CRAFT) financirane v sklopu horizontalnih raziskovalnih aktivnosti, ki vključujejo mala in srednje velika podjetja, EU šestega okvirnega programa.

Namen SF, US in UV je zmanjševanje količine suspendiranih snovi in raztopljenih hranil v vodi, zavirati rast alg in dezinfekcija vode. Kombinacija zgoraj omenjenih enot bi lahko bila učinkovita rešitev za odstranjevanje in inaktivacijo mikroorganizmov in alg in s tem povezanega njihovega škodljivega potencialnega vpliva. Poskus smo izvedli na Centralni čistilni napravi v Ajdovščini, kjer smo postavili pilotno ribogojnico z namenom oceniti učinkovitost delovanja nove tehnologije čiščenja vode. Glavni cilj je bil analizirati splošno učinkovitost čiščenja in določiti meje sistema. Poskus je v skladu z Vodno Direktivo (2000/60/EC) in sicer s trajnostno rabo vode, trajnostnim upravljanjem in zaščito vodnih virov.

METODE

Poskus je potekal v dveh bazenih širine 5 m, dolžine 9 m in globine 0,7 m. Prvi bazen je bil poskusni (A) in drugi referenčni (B). V vsak bazen smo na začetku poskusa vložili po 34 krapov (*Cyprinus c. carpio* Linaeus 1758) oziroma 1 kg rib/m³. V bazen A smo postavili



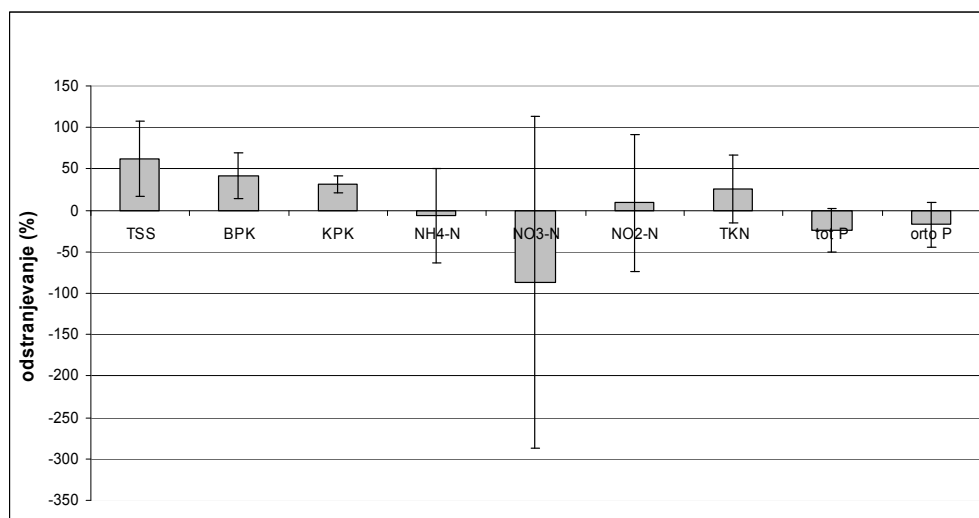
Slika 1. Pilotni sistem ribogojnice (PF-peščeni filter, SF-stekleni filtri, UV-UV-C svetilka, US-ultrazvok).

ultrazvok (US- LG SONIC TANK) in iz bazena A črpali vodo najprej do peščenega filtra (PF) (1.5 m x 1.5 m, h=1,1 m, 0.5 m gramoz 4/8 mm, 0.3 m 8/16 mm, 6/22 mm 1:1), nato do steklenega filtra (SF) dolžine 175 cm, premera 30 cm, teže 5 kg, kapacitete filtracije delcev velikosti <math><0.1\text{ mm}</math> in max. pretoka

Spremljanje delovanja sistema je potekalo eno leto (maj 2007 – maj 2008). Od maja 2007 do novembra 2007 in od januarja 2008 do maja 2008 smo v obeh bazenih in za čistilnimi enotami dva do tri krat mesečno merili sledeče fizikalne in kemijske dejavnike (18): pH, električno prevodnost, temperaturo, celokupne suspendirane snovi (TSS), vsebnost kisika v vodi, biokemijsko potrebo po kisiku (BPK_5), kemijsko potrebo po kisiku (KPK), amonijev dušik (NH_4-N), nitratni dušik (NO_3-N), nitritni dušik (NO_2-N), celokupni fosfor (TP), orto fosfor (PO_4-P) in celokupni kjeldahov dušik (TKN). Mikrobiološke dejavnike: celokupno število koliformnih bakterij (TC) in koliformne bakterije fekalnega izvora (FC) smo analizirali najmanj enkrat mesečno v obeh bazenih in za čistilnimi enotami po metodi SIST ISO 9308-2 od junija 2007 do septembra 2007 in od februarja 2008 do marca 2008. Biomasa rib smo izmerili na začetku poskusa poleti 2007, v sredini poskusa pozimi 2008 in na koncu poskusa poleti 2008.

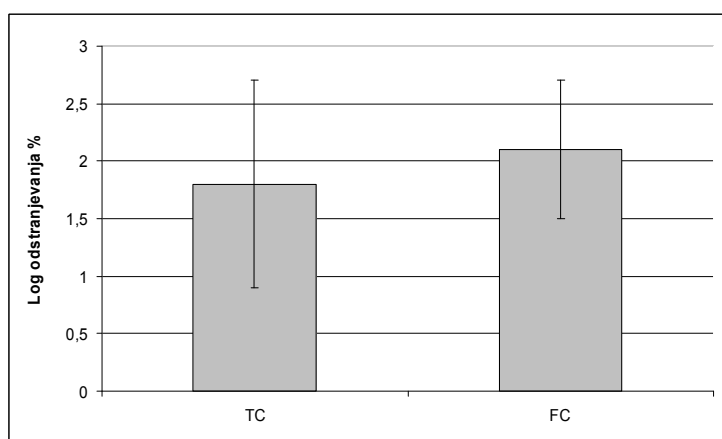
REZULTATI

Učinkovitost Chem-free sistema za odstranjevanje TSS, BPK_5 , KPK, NH_4-N , NO_3-N , NO_2-N , TKN, TP, PO_4-P , TC in FC



Slika 2. Učinkovitost Chem-free sistema za odstranjevanje kemijskih dejavnikov za celotno vzorčevalno obdobje.

Na Sliki 2 so predstavljene učinkovitosti Chem-free sistema za odstranjevanje TSS, BPK₅, KPK, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, TKN, TP in PO₄-P. Na Sliki 3 so predstavljene učinkovitosti Chem-free sistema za odstranjevanje TC in FC. Učinkovitosti odstranjevanja smo izračunali na podlagi razlik v izmerjenih vrednostih za posamezen parameter med bazenom A in iztokom iz čistilnih enot (filtrov). Učinkovitosti odstranjevanja so se za TSS gibale med -1 % in 99 % (povprečje 70 %), za BPK₅ med 0 % in 87 % (povprečje 42 %), za KPK med 12 % in 49 % (povprečje 33 %), za NH₄-N med -63 % in 71 % (povprečje 6 %), za NO₃-N med -100 % in 14 % (povprečje -33 %), za NO₂-N med -167 % in 84 % (povprečje 7 %), za TKN med -2 % in 84 % (povprečje 35 %), za TP med -56 % in 17 % (povprečje -24 %) in za PO₄-P med -75 % in 57 % (povprečje -12 %). Zelo nizke ali celo negativne učinkovitosti odstranjevanja lahko v večini primerov povežemo z zelo nizkimi vrednostmi merjenih parametrov, v primerih ko so bile izmerjene vrednosti parametrov višje so bile višje tudi učinkovitosti odstranjevanja.



Slika 3. Učinkovitost Chem-free sistema za odstranjevanje celokupnega števila koliformnih bakterij (TC) in koliformnih bakterij fekalnega izvora (FC) za celotno vzorčevalno obdobje.

Log odstranjevanja se je za TC gibal med 0,7 in 2,9 in za FC med 1,2 in 2,7. Učinkovitost odstranjevanja je bila višja za FC (povprečen log odstranjevanja $2,1 \pm 0,6$) kot za TC (povprečen log odstranjevanja $1,8 \pm 0,9$), tudi nihanja v odstranjevanju FC so bila manjša (Slika 3).

Biomasa rib

Prirastek biomase rib je bil v poletnem obdobju višji v bazenu A (25,8 kg; 152 %) v primerjavi z bazenom B (21,9 kg; 115 %). Rezultati hranjenja rib so pokazali, da so bile ribe v obeh bazenih prekomerno hranjene. Chem-free sistem je najbolje deloval pri 1-2 kg teže rib/m³, meja sistema je bila pri 4 kg teže rib/m³, ko so bili doseženi letalni pogoji za ribe.

RAZPRAVA

Nizke učinkovitosti odstranjevanja TSS in TKN (Slika 2) bi lahko bile posledica sprememb v postavitvi Chem-free sistema. PF, ki je bil postavljen kot enota za predčiščenje, smo v avgustu 2007 poskusno izklopili, da bi se prepričali ali je resnično potreben za delovanje sistema. Izkazalo se je, da so se kmalu po izkloplitvi PF SF pričeli mašiti in bili po enem mesecu delovanja sistema brez PF popolnoma zamašeni. Oktobra 2007 smo sistem zaustavili, izpraznili in očistili oba bazena ter zamenjali SF. Z novo sezono spremljanja delovanja sistema smo pričeli februarja 2008. Učinkovitosti odstranjevanja NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, TP in PO₄-P so bile nizke ali celo negativne tudi v drugem delu poskusa. Iz rezultatov je razvidno (Slika 2), da je bil Chem-free sistem učinkovit za odstranjevanje TSS, BPK₅ in KPK, manj učinkovit za odstranjevanje NO₂-N in TKN in neučinkovit za odstranjevanje NH₄-N, NO₃-N, TP in PO₄-P. Najbolj učinkovita procesa za odstranjevanje amonija in nitratov sta biološka nitrifikacija in de-nitrifikacija (19). V PF se glavna mikrobioloških aktivnosti odvija v zgornjih plasteh (20), ki smo jih med poskusom enkrat tedensko odstranjevali, da bi preprečili zamašitev. Odstranjevanje nutrientov lahko poteka tudi z njihovo adsorpcijo na substrat, vendar se ob spremenjenih fizikalnih in kemijskih pogojih kot so znižanje koncentracije nutrientov v vodi, spremembe v pH, količini kisika ipd., zlahka sprostijo nazaj v vodo (21). Odstranjevanje fosforja poteka z adsorpcijo na filtrirni material in je omejeno s količino mest primernih za vezavo. Kapaciteta odstranjevanja fosforja je odvisna tudi od kemijske sestave filtrirnega materiala, še posebej vsebnosti kalcija (22, 23). Arias in Brix (24) sta ugotovila da tudi, če je material primeren za vezavo fosforja, je njegova kapaciteta običajno premajhna. Koncentracije NH₄-N so bile v večini primerov višje v iztoku iz filtrov kot v bazenu A (negativno odstranjevanje), kar bi lahko bila posledica razgradnje organskega materiala v PF in SF. V bazenu A je bila količina sedimenta precej višja v primerjavi z bazenom B zaradi ultrazvočne sedimentacije planktonski alg, sediment pa smo iz bazena A odstranjevali le z črpanjem do filtrov. Eden izmed kritičnih procesov v zaprtih krožnih sistemih ribogojnic je odstranjevanje amonija (25), saj so visoke koncentracije amonija za ribe strupene (26). Akumulacija snovi, ki jih enote za čiščenje vode ne odstranijo v zadostni meri lahko zmanjšajo prirastek ribje populacije in vplivajo na zdravje rib. Martins in sodelavci (27) so dokazali, da je embrionalni in larvalni razvoj navadnega krapa odvisen od količine snovi, ki se akumulirajo v sistemu. Da bi se izognili preveliki akumulaciji snovi v sistemu je potrebno vodo po potrebi menjavati (27) ter odstranjevati sediment iz dna bazenov.

Skozi celotno poskusno obdobje so bila nihanja vrednosti posameznih parametrov zelo visoka, kar nakazuje na nestabilno delovanje Chem-free sistema. Problemi povezani z

Tabela 1. Primerjava povprečnih vrednosti dejavnikov v bazenu A in bazenu B za celotno eksperimentalno obdobje (maj 2007–maj 2008) z mejnimi vrednostmi predpisanimi z veljavno zakonodajo.

dejavnik	bazen		mejne vrednosti določene z zakonodajo			
	B	A	Slovenija	Italija	Austrija*	Nizozemska**
temperatura (°C)	16,1	17,4	/	max 28	16-26	24-26
vsebnost kisika (mg O ₂ /L)	8,3	8,2	≥ 5	≥ 5	5-9	> 3
pH	8,2	8,0	6-9	6-9	6,5-8,5	6,5-8,0
celokupne suspendirane snovi (mg/L)	178,0	14,3	≤ 25	25	/	< 25
BPK ₅ (mg O ₂ /L)	53,8	2,9	≤ 6	6	/	/
nitrat (mg NO ₃ /L)	1,77	3,54	/	/	/	100
nitrit (mg NO ₂ /L)	0,92	0,13	≤ 0,03	0,03	0,06-0,1	< 0,5
amonij (mg NH ₄ /L)	0,50	0,09	≤ 0,2	0,2	/	< 8
celokupni P (mg PO ₄ /L)	2,22	0,31	≤ 0,4	0,14	/	/

*kvaliteta vode zahtevana za krape, **Optimalna kvaliteta vode za gojenje somov

nestabilnostjo sistema so glavni razlog, da zaprti krožni sistemi v ribogojstvu niso bolj razširjeni (28). Nekontrolirana nihanja v koncentracijah posameznih parametrov so posledica dinamičnosti zaprtih krožnih sistemov (28). Nihanja v kvaliteti vode, kot so začasen porast koncentracije amonija ali nitritov lahko povzročijo bolezni ali celo masovni pogin rib. Nihanja okoljskih dejavnikov lahko vodijo v manjšo imunsko odpornost in večjo dovzetnost rib za patogene mikroorganizme (bakterije, viruse, glive) in s tem v izbruhe bolezni (3). Dezinfekcija vode pomaga znižati količino nekaterih patogenih mikroorganizmov. Log odstranjevanja se je za TC gibal med 0,7 in 2,9 in za FC med 1,2 in 2,7, kar nakazuje da je bil Chem-free sistem večino časa učinkovit za odstranjevanje mikroorganizmov.

Primerjava rezultatov z zakonodajo

Povprečne vrednosti dejavnikov, določenih z zakonodajo, so za oba bazena za celotno eksperimentalno obdobje podane v Tabeli 1. Glede na slovensko zakonodajo za površinske ciperinidne vode (29) so bile v bazenu A presežene mejne koncentracije za nitrite (mejne vrednosti pod 0,03 mg/l), medtem ko so bile povprečne vrednosti za TSS, BPK₅, amonij in celokupni fosfor pod mejnimi vrednostmi.

V bazenu B so bile poleg nitritov presežene tudi mejne vrednosti za TSS, BPK₅, NH₄ in TP. Zakonodaje predstavljene v Tabeli 1 ne omejujejo količine mikroorganizmov v vodi, vendar je spremljanje prisotnosti mikroorganizmov v ribogojnicah nujno tako iz higienskega kot tudi sanitarnega vidika. Ribe gojene v fekalno onesnaženih vodah so lahko okužene s patogenimi mikroorganizmi, njihovo uživanje pa predstavlja potencialno tveganje za zdravje ljudi (30). Glede na zakonodajo so bile povprečne vrednosti O₂, pH in temperature v obeh bazenih znotraj mejnih vrednosti (Tabela 1). Slovenska in italijanska zakonodaja se nanaša le na kvaliteto vode površinskih voda v katerih živijo krapci in ne na kvaliteto vode primerno za gojenje krapov. Mejne vrednosti parametrov zahtevanih za gojenje rib so ponavadi višje od mejnih vrednosti predpisanih za površinske vode (primerjava zakonodaj različnih držav v Tabeli 1).

SKLEP

V sklopu Chem-free projekta smo razvili novo tehnologijo čiščenja vode za potrebe ribogojnic s kombinacijo steklenih filtrov, UV-C in ultrazvoka. Rezultati so pokazali, da stekleni filtri in UV-C niso bili najboljša rešitev za naš namen, medtem ko bi ultrazvok lahko bil učinkovita metoda zmanjševanja količine alg in mikroorganizmov za potrebe ribogojnic. Glavni problem so bile visoke vrednosti dušika in fosforja v prečiščeni vodi, ki bi jih lahko učinkovito odstranili iz sistema z uporabo rastlinskih čistilnih naprav. Tako v novem Eureka projektu (november 2009-november 2012), ki je nadgradnja Chem-free projekta, predlagamo razvoj inovativne tehnologije za ponovno uporabo (recikliranje) vode v ribogojstvu s pomočjo dveh tehnoloških enot: vertikalne rastlinske čistilne naprave in ultrazvoka ter s peščenim filtrom kot sistemom za pred-čiščenje. Pričakujemo, da bo novo razvita tehnologija v največji možni meri izkoristila ekonomske in ekološke prednosti posameznih enot za doseganje specifične kvalitete vode brez uporabe kemikalij.

SEZNAM OKRAJŠAV

A	poskusni bazen
B	referenčni bazen
BPK ₅	biokemijska potreba po kisiku
FC	koliformne bakterije fekalnega izvora
KPK	kemijska potreba po kisiku
NH ₄ -N	amonijev dušik
NO ₂ -N	nitritni dušik
NO ₃ -N	nitratni dušik
PF	peščeni filter
PO ₄ -P	orto fosfor
SF	stekleni filter
TC	celokupno število koliformnih bakterij
TKN	celokupni kjeldahov dušik
TP	celokupni fosfor
TSS	celokupne suspendirane snovi
US	ultrazvok
UV	ultravijolična svetilka
6 OP	šesti okvirni program Evropske Unije

LITERATURA

1. Chelossi E, Vezzullib L, Milanoc A, Branzonic M, Fabianob M, Riccardia G, Banatd IM (2003). Antibiotic resistance of benthic bacteria in fish-farm and control sediments of the Western Mediterranean. *Aquaculture* 219 (1-4): 83-97.
2. Lalumera GM, Calamari D, Gallib P, Castiglioni S, Crosaa G, Fanell R (2004). Preliminary investigation on the environmental occurrence and effects of antibiotics used in aquaculture in Italy. *Chemosphere* 54 (5): 661-8.
3. Yanong RPE (2003). Fish health management considerations in recirculating aquaculture systems-Part 2: Pathogens. In: Circular 121, Department of fisheries

- and aquaculture sciences, Florida cooperative extension service, Institute of food and agriculture sciences, University of Florida, 1-8.
4. Wheaton F (2008). Recirculating system aquaculture – what you need to know: a presentation given at 7th International conference on recirculating aquaculture, Roanoke, Virginia. <http://aquanic.org/systems/recycle/documents/Wheaton.pdf>. <12.11.2009>
 5. Poljšak B, Gazdak Z, Jenko-Brinovec Š, Fujs Š, Pesti M, Belagyi J, Plesničar S, Raspor P (2005). Pro-oxidative vs. antioxidative properties of ascorbic acid in chromium(VI)-induced damage : an in vivo and in vitro approach. *J Appl Toxicol* 25 (6): 535-48.
 6. Ahn C-J, Park M-H, Joung S-H, Kim H-S, Jang K-Y, Oh H-M (2003). Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: laboratory and enclosure studies. *Environ Sci Technol* 37 (13): 3031-7.
 7. Alam MZB, Otaki M, Furumai H, Ohgaki S (2001). Direct and indirect inactivation of *Microcystis aeruginosa* by UV-radiation. *Water Res* 35 (4): 1008-1014.
 8. Bosma R, Spronsen WA, Tramper J, Wijffels RH (2003). Ultrasound, a new separation technique to harvest microalgae. *J Appl Phycol* 15 (2-3): 143-53.
 9. Oyib DH (2009). Ultrasound in water treatment, suppressing algal growth and biofilm formation. *Water21*, June: 52-3.
 10. Zhang G, Wang B, Zhang P, Wang L, Wang H (2006). Removal of Algae by Sonication-Coagulation. *J Environ Sci Health, Part A* 41 (7): 1379-90.
 11. Demirci A, Krishnamurthy K (2007). Disinfection of water by flow-through a pulsed UV light sterilization system. *Ultrapure Water* 24 (1): 35-40.
 12. Guo M, Hu H, Bolton JR, El-Din MG (2009). Comparison of low- and medium-pressure ultraviolet lamps: Photoreactivation of *Escherichia coli* and total coliforms in secondary effluents of municipal wastewater treatment plants. *Water Res* 43 (3): 815-21.
 13. Joyce E, Phull SS, Lorimer JP, Mason TJ (2003). The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions: a study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. *Ultrason Sonochem* 10 (6): 315-8.
 14. Zimba PV, Grimm CC (2008). Ultrasound tested in channel catfish production systems. *Global Aquaculture Advocate*.
 15. Modak N (2008). Enhanced photo-sono process for disinfection of surface and subsurface water. *Diss Abs Int* 69 (4): 137.
 16. Yong DHN, Cairns W, Mao T, Farnood RR (2008). Bench-scale evaluation of sonication as a pretreatment process for ultraviolet disinfection of wastewater. *Water Qual Res J Can* 43 (1): 37-45.
 17. Joyce EM, Mason TJ, Lorimer JP (2006). Application of UV radiation or electrochemistry in conjunction with power ultrasound for the disinfection of water. *Int J Environ Pollut* 27 (1-3): 222-30.
 18. American Public Health Association (APHA) (2005). American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington: American Public Health Association.

19. Kadlec RH, Knight RL (1996). Treatment wetlands. Boca Raton: Lewis Publishers; CRC Press.
20. Aslan S, Cakici H (2007). Biological denitrification of drinking water in a slow sand filter. *J Hazard Mater* 148 (1-2): 253-8.
21. Vymazal J (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Sci Total Environ* 380 (1-3): 48-65.
22. Brix H, Arias CA, Bubba M (2001). Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. *Water Sci Technol* 44 (11-12): 47-54.
23. Arias CA, Brix H, Johansen NH (2003). Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter. *Water Sci Technol* 48 (5): 51-8.
24. Arias CA, Brix H (2005). Phosphorous removal in constructed wetlands: can suitable alternative media be identified? *Water Sci Technol* 51 (9): 267-73.
25. Kim SK, Kong I, Lee B-H, Kang L, Lee M-G, Suh KH (2000). Removal of ammonium-N from a recirculation aquacultural system using an immobilized nitrifier. *Aquac Eng* 21 (3): 139-50.
26. Roger GL, Klementon SL (1985). Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. *Aquac Eng* 4 (2): 135-54.
27. Martins CIM, Pistrin MG, Ende SSW, Eding EH, Verreth AJ (2009). The accumulation of substances in recirculating aquaculture systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 291 (1-2): 65-73.
28. Wik TEI, Linden BT, Wramner PI (2009). Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 287 (3-4): 361-70.
29. Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002). Ur List RS 46 (2256): 4582.
30. De Donno A, Montagna MT, de Rinaldis A, Zonno V, Gabutti G (2002). Microbiological parameters in brackish water pond used for extensive and semi-intensive fish-culture: Acquatina. *Water Air Soil Pollut* 134 (1): 205-14.

