

# UČINAK SUSTAVA ZA TRETIRANJE VODENOG BALASTA NA PREŽIVLJAVANJE PRIRODNIH POPULACIJA ZOOPLANKTONA U PLOVIDBENIM UVJETIMA NA BRODU „NAŠE MORE“

## *Effect of the Ballast Water Treatment System on Survival of Natural Zooplankton Communities onboard the Vessel Naše more*

dr. sc. Marijana Pećarević

Odjel za akvakulturu  
Sveučilište u Dubrovniku  
e-mail: marijana.pecarevic@unidu.hr

dr. sc. Josip Mikuš

Odjel za akvakulturu  
Sveučilište u Dubrovniku  
e-mail: josip.mikus@unidu.hr

dr. sc. Ana Bratoš Cetinić

Odjel za akvakulturu  
Sveučilište u Dubrovniku  
e-mail: abratos@unidu.hr

Esme Marčelja, dipl. ing.

Odjel za akvakulturu  
Sveučilište u Dubrovniku  
e-mail: marcelja@spray.se

mag. ing. Kruno Bonačić,

IRTA - Sant Carles de la Ràpita, Spain  
e-mail: kruno.bonacic@gmail.com

Marina Brailo, dipl. ing.

Odjel za akvakulturu  
Sveučilište u Dubrovniku  
e-mail: brailo@unidu.hr

prof. dr. sc. Josip Lovrić

Sveučilište u Dubrovniku

UDK 504.06:629.5

656.61:504.4

### Sažetak

*Introdukcija alohtonih vrsta predstavlja vrlo opasnu prijetnju svjetskoj bioraznolikosti. Više je vektora unosa morskih alohtonih vrsta u nova staništa, a najizraženiji su akvakultura i brodski promet, tj. obraštaj na oplati broda i vodeni balast. U ovom radu opisano je testiranje sustava za obradu vodenog balasta u plovidbenim uvjetima na brodu „Naše more“ u Šibenskom zaljevu i Omišaljskoj uvali. Određivao se učinak ciklonske separacije u hidrociklonu,*

*zasebno i u kombinaciji s ultraljubičastim zračenjem u UV reaktoru, na preživljavanje zooplanktonskih organizama. Morska voda je usisavana brodskom pumpom i propuštana zasebno kroz hidrociklonski klaster, te kombinirano kroz hidrociklonski klaster i UV reaktor u 3 uzastopna ciklusa. Dobiveni su gotovo identični rezultati u pokusima s UV zračenjem kao i pokusima bez UV zračenja, što ukazuje na zadovoljavajuću učinkovitost mehaničkog tretiranja u hidrociklonu na preživljavanje zooplanktona. Prikupljeni su i analizirani kontrolni uzorci iz okolnog mora, uzorci separirani hidrociklonima kao i oni koji su prošli kroz sustav za tretiranje i sakupljeni u tankove na brodu koji su predstavljali balastne tankove. Usporedbom kontrolnih uzoraka iz okolnog mora i tretiranih uzoraka iz tankova na brodu zaključeno je da je ciklonskom separacijom odstranjeno 62,7 % do 54,5 % organizama, što znači da je u pokusima kroz hidrociklone propušteno i sakupljeno u tankove na brodu 37,3 % do 45,5 % jedinki, od čega je bilo 4,7 % do 32,8 % živih. Nakon 8 sati udio živih jedinki u odnosu na ukupni broj u okolnom moru bio je 14,9 %, a nakon 24 sata svega 1,8 %. Provedenim pokusima dokazana je i razrađena uspješna upotreba sustava za obradu vodenog balasta za inaktivaciju zooplanktonskih organizama u morskoj vodi.*

*Ključne riječi: vodeni balast, tretiranje, hidrociklon, UV zračenje, zooplankton.*

### Summary

*The introduction of non indigenous species has been recognised as a serious threat to global biodiversity. Several vectors of the introduction in marine ecosystems are known; the most significant being aquaculture activities and shipping, i.e. hull fouling and ballast water. This paper describes testing of the ballast water treatment system on board vessel Naše more in Šibenik bay and Omišalj bay. The effect of cyclonic separation in hydrocyclones followed by ultraviolet radiation in the UV reactor on the survival of zooplankton organisms was examined. Sea water was pumped through the hydrocyclone cluster separately, and in combination with UV radiation in 3 consecutive cycles. Almost identical results were obtained in treatments with and without UV radiation, which indicates satisfying effectiveness of mechanical treatment in hydrocyclone for zooplanktonic organisms. Control samples from surrounding area, samples separated by hydrocyclone as well as those that have passed through the treatment system in the tanks on board, representing the ballast water tanks, were collected and analysed. By comparing the samples from surrounding aquatoria and samples collected in the tanks onboard it was concluded that 62.7% to 54.5% of the organisms was separated by the hydrocyclones, meaning that 37.3% to 45.5% of the organisms passed through the system and was collected in the tanks onboard, from which 4.7% to 32.8% were alive. After 8 hours average share of live individuals was 14.9%, and after 24 hours only 1.8% from the total number of organisms in the surrounding sea. Experiments demonstrated the successful use of the ballast water treatment system for inactivation of zooplankton organisms in seawater.*

*Keywords: ballast water, treatment, hydrocyclone, UV radiation, zooplankton*

### UVOD / Introduction

Najveći dio današnjega teretnog prometa odvija se pomorskim putem, a brodovima se, osim tereta, prenose raznovrsni morski organizmi i na taj način šire u udaljena biogeografska područja (Carlton i Geller, 1993; Hewitt i sur., 2009). Brojnost brodova, brodskih puteva i odredišta svakodnevno rastu, povećavaju se veličina, nosivost i brzina brodova, a sve to organizmima u vodenom balastu i u obraštaju olakšava kolonizaciju novih područja (Endresen i sur., 2004).

Introdukcija vrsta opasna je prijetnja svjetskoj bioraznolikosti. Alohtone morske vrste bez suparnika u novim ekološkim nišama utječu na promjenu u velikom dijelu morskih biocenoza. U europskim obalnim vodama, od arktičkog područja do Sredozemlja, zabilježeno je

više od 1.000 alohtonih vrsta (Gollasch, 2006). Većina unesenih prvi je put zabilježena i dokumentirana nakon 1950. godine.

Brojni su primjeri negativnih posljedica unosa alohtonih vrsta, kao što su brza kolonizacija školjkaša *Dreissena polymorpha* u Velikim jezerima, koja je uzrokovala goleme štete na podvodnim instalacijama (Hebert i sur., 1991), unos rebraša *Mnemiopsis leidyi* doveo je do kolapsa ribarstva u Crnome moru (Vinogradov i sur., 1989), a unos toksičnih dinoflagelata izazvao je pojavu paralitičkog trovanja školjkašima na uzgajalištima u Francuskoj i Australiji (Lilly i sur., 2002). Poznat je i mediteranski i jadranski problem s tropskim algama *Caulerpa taxifolia* i *Caulerpa racemosa* (Jousson i sur., 1998).

Moguće promjene u morskim ekosustavima posebno su naglašene u zatvorenim morima, kao što su Sredozemno i Jadransko (Gofas i Zenetos, 2003). Trenutno u hrvatskim lukama iskrcaj tereta, pri kojemu se vodeni balast usisava iz okolnoga mora, znatno premašuje ukrcaj tereta pri kojemu se balast ispušta u more. Zbog toga Hrvatska, iako joj pripada veći dio jadranske obale, nema većega udjela u unosu vodenog balasta u Jadran (Pećarević i Lovrić, 2004). Znatne promjene u volumenu i sadržaju vodenoga balasta značile bi velik rizik za hrvatski dio Jadrana, u kojemu su do sada zabilježene najmanje 53 unesene alohtone vrste.

Brojna su znanstvena istraživanja s ciljem smanjenja mogućnosti prijenosa organizama i pronalaska optimalne metode za inaktivaciju i uklanjanje nepoželjnih vrsta u vodenom balastu. Pri tome se istražuju metode pogodne za primarnu obradu, tj. separaciju organizama u vodenom balastu, kao što su: filtracija i ciklonska separacija (Cangelosi, 2002; Parsons i Harkins, 2002), zatim metode zagrijavanja (Rigby i sur., 2004), UV zračenje (Wright i sur., 2006), deoksigenacija (Tamburri i sur., 2002; McCollin i sur., 2007), te upotreba biocida i kemijski aktivnih spojeva (Montani i sur., 1995; Oemce i van Leeuwen, 2004). Najčešće se u istraživanjima rabi kombinacija raznovrsnih metoda jer se pokazalo da je to najučinkovitije za inaktivaciju organizama. Pristup odabiru mogućih načina tretiranja vodenog balasta tijekom putovanja trebao bi obuhvatiti sve potrebne kriterije za takvu obradu, a to su učinkovitost metode za uklanjanje ciljanih organizama, sigurnost posade, najmanja moguća štetnost za okoliš, jednostavna uporaba i ekonomičnost. Još uvijek, međutim, nije pronađeno sasvim zadovoljavajuće rješenje za ovaj problem.

## MATERIJALI I METODE / *Materials and methods*

U ovom radu opisano je testiranje pilot-uređaja za obradu vodenog balasta u plovidbenim uvjetima na brodu „Naše more“. Određivao se učinak ciklonske separacije u hidrociklonu i ultraljubičastoga zračenja u UV reaktoru pilot-uređaja na preživljavanje zooplanktonskih organizama.

## Područje istraživanja / *The area of study*

Istraživanja su obavljena u dubrovačkom akvatoriju, Šibenskom zaljevu i Omišaljskoj uvali, i to u razdoblju

od 4. lipnja do 6. srpnja 2007. te od 11. do 19. rujna 2007.

Pokusi u šibenskom akvatoriju obavljani su 13. rujna 2007. na poziciji N43°44'23'', E15°52'53' nad dubinom od 34,8 m, dok su pokusi u Omišaljskoj uvali obavljani 15. rujna 2007. na poziciji N45°15'04'', E14°31'40,6', nad dubinom od 27 m.

## Pilot-uređaj za obradu vodenog balasta / *Pilot-plant for ballast water treatment*

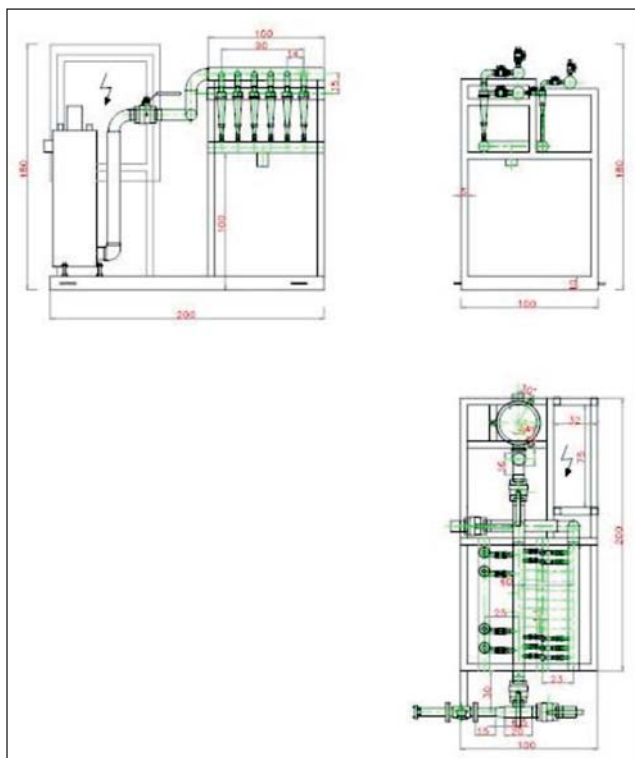
Pilot-uređaj za obradu vodenog balasta postavljen na gornjoj palubi broda „Naše more“ (slika 1.); bio je sastavljen od klastera hidrociklona i UV reaktora vertikalne izvedbe s ugrađenom miješalicom (slika 2.). Uz te osnovne dijelove, pilot-uređaj je bio opremljen mjernim instrumentima za praćenje tlaka, trenutnoga protoka i temperature, osjetilom tlaka i različitim spremnicima izrađenima od polimernih materijala.

Hidrocikloni upotrijebljeni za ovo istraživanje proizvod su tvrtke *Encyclon* iz Sjedinjenih Američkih Država. Ovaj tip hidrociklona ima mogućnost postizanja velike akceleracije, pri čemu nastaje nagla i snažna dekompresija. Provjera strujanja kroz hidrociklon obavljena je nizom računalskih simulacija uz pomoć programa *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Kako bi se postigao kapacitet uređaja primjeren pokusima na brodu u plovidbenim uvjetima, projektiran je i konstruiran klaster hidrociklona za djelovanje u paralelnom radu, koji se sastojao od šest većih i 12 manjih ciklona s naizmjeničnom funkcijom. Klaster je imao ugrađen indukcijski mjerac protoka.

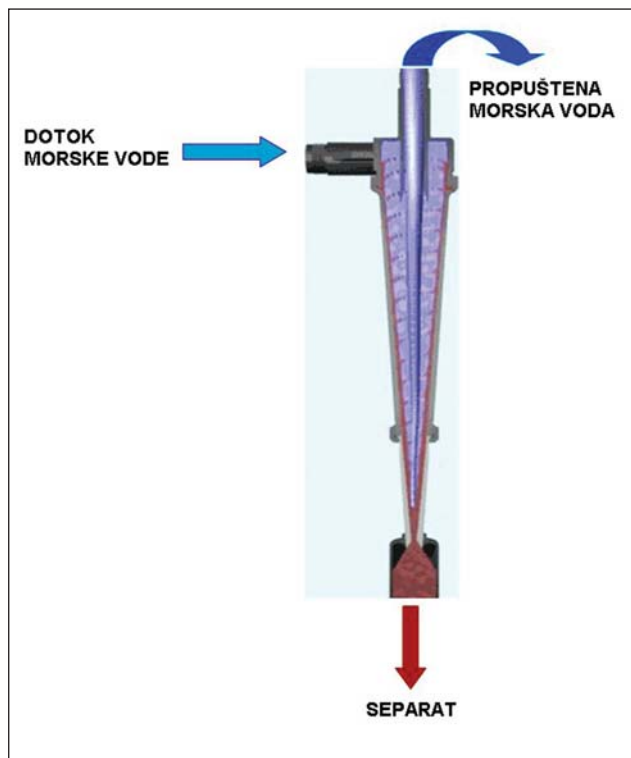
Eksperimentalni UV reaktor vertikalne izvedbe, proizvod tvrtke *Ekološki sistemi* d.o.o., zbog izrazite korozivne sredine izrađen je od nehrđajućeg čelika AISI 316L (DIN 1,4404). Nazivni kapacitet UV reaktora u rasponu od 0,5 do 15 m<sup>3</sup>/h izveden je za maksimalni radni tlak od 6 bara. Instalirana snaga je cca 220 W, to jest 4 UV254 nm svjetiljke od po 55 W (Osram HNS 55 W OFR, deklarirane snage zračenja od 170 mW/cm<sup>2</sup> na udaljenosti od 1 m pri 20 °C). UV reaktor bio je opremljen sondom za mjerenje intenziteta zračenja, centralnom miješalicom s tri propelera pogonjenom motorom s promjenjivim brojem okretaja, upravljačkim elektroormarom i sustavom mlaznica za kemijsko tretiranje kamenca.



Slika 1. Pilot-uređaj za obradu vodenog balasta postavljen na gornjoj palubi broda „Naše more“  
 Figure 1 Pilot-plant for ballast water treatment on the upper deck of the vessel Naše more



Slika 2. Shematski prikaz pilot-uređaja za obradu vodenog balasta  
 Figure 2 Schematic diagram of the pilot-plant for ballast water treatment



Slika 3. Shematski prikaz prolaska morske vode kroz hidrociklon  
 Figure 3 Schematic diagram of the water flow through the hydrocyclone

### Obrada vodenog balasta u pilot-uređaju / *Ballast water treatment in the pilot-plant*

More se usisavalo brodskom pumpom i propuštalo kroz hidrociklonski klaster u tri uzastopna ciklusa, uz ulazni tlak od 5,0 bara. U svakom ciklusu obrađeno je po 10 m<sup>3</sup> mora. Separat iz sva tri ciklusa odvojen je u jedan zajednički uzorak (slika 3.).

Isti postupak ponovljen je i za provjeru učinkovitosti kombiniranog tretiranja u hidrociklonima i UV reaktoru.

Tretiranih 10 m<sup>3</sup> mora je nakon svakog ciklusa koncentrirano kroz planktonsko sito gustoće tkanja od 53 μm u spremnik volumena od 5 dm<sup>3</sup>. Tako su dobiveni kontrolni uzorak (K), uzorci za svaki od tri hidrociklonska ciklusa (HC1, HC2, HC3), skupni uzorak separata iz tri hidrociklonska ciklusa (HC-S), uzorci za svaki od tri kombinirana (hidrociklon i UV) ciklusa (HCUV1, HCUV2, HCUV3) i skupni uzorak separata iz tri kombinirana ciklusa (HCUV-S).

### Analiza uzoraka zooplanktona / *Zooplankton samples analysis*

Na brod su postavljeni posebni spremnici odgovarajućeg kapaciteta i koncentratori (planktonska sita) veličine oka 53 μm (slika 4.). Nakon tretiranja prikupljeni su i analizirani uzorci od po 10 m<sup>3</sup> u kojima se određivalo preživljavanje zooplanktonskih organizama. Budući da je bilo nemoguće prebrojiti tretirane zooplanktonske organizme iz tako velikog volumena za 24 sata, odabrana je metoda provjere bojenjem uzoraka neutralnim crvenilom (C<sub>15</sub>H<sub>17</sub>ClN<sub>4</sub>) koje žive organizme boji crvenkastom bojom, dok uginuli ostaju nebojeni (Fleming i Coughlan, 1978; Tanga i sur., 2006). Uzorak se zatim konzervira u 4%-tnoj otopini formaldehida i može se pregledavati bez ograničenja vremena. Uzorci zooplanktona obojeni su osam ili 24 sata nakon tretiranja u pilot-uređaju, a u međuvremenu su konstantno prozračivani.

Tijekom pokusa su uz pomoć sonde (Cond 315i/SET) praćeni osnovni parametri, temperatura, slanost i konduktivitet morske vode. Svi uzorci zooplanktona obrađivani su uz pomoć stereomikroskopa Olympus CX41 i binokularne lupe Olympus SZX9. Svi pokusi izvedeni su po tri puta kako bi se dobili što je moguće precizniji rezultati u ispitivanju učinkovitosti uređaja.

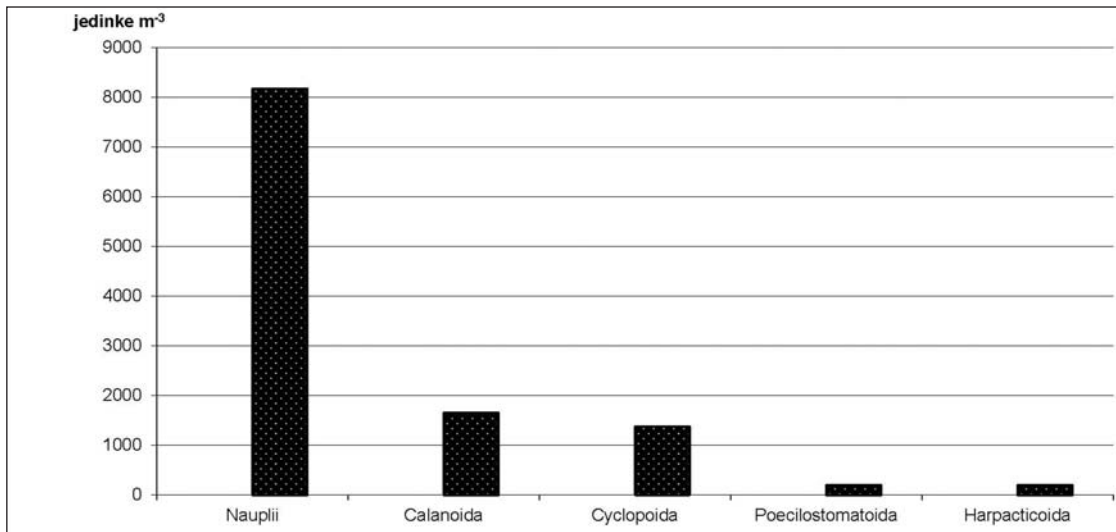


Slika 4. Planktonska sita za koncentriranje zooplanktona u uzorcima

Figure 4 Planktonic sieves for zooplankton aggregation

### REZULTATI / *Results*

Pokusi testiranja pilot-uređaja za obradu vodenog balasta na brodu „Naše more“ započeli su u Rijeci dubrovačkoj. Analizom kontrolnih uzoraka utvrđena je gustoća populacije ukupnog zooplanktona od 4.000 jed. m<sup>-3</sup>, što nije dostatna vrijednost za pouzdanu statističku obradu. Slične su vrijednosti gustoće populacije zooplanktona nađene i u akvatoriju Elafitskog otočja, pa je odlučeno da se testiranja obave u Šibenskom i Kvarnerskom zaljevu, gdje je iz literaturnih podataka poznata veća abundancija zooplanktona (Gamulin, 1979). Budući da u zooplanktonskim uzorcima u svim svjetskim oceanima i morima izrazito dominiraju planktonski račići iz reda Copepoda (Mauchline, 1998; Hure i Kršinić, 1998; Siokou-Frangou i sur., 2010), ti su organizmi izabrani kao referentna skupina na kojoj će se promatrati utjecaj testirane metode. Na obje lokacije na kojima je ispitana učinkovitost metode, kopepodi su bili dominantna skupina u svim uzorcima s prosječnim udjelom od 98,7% u ukupnom zooplanktonu (slika 5.).

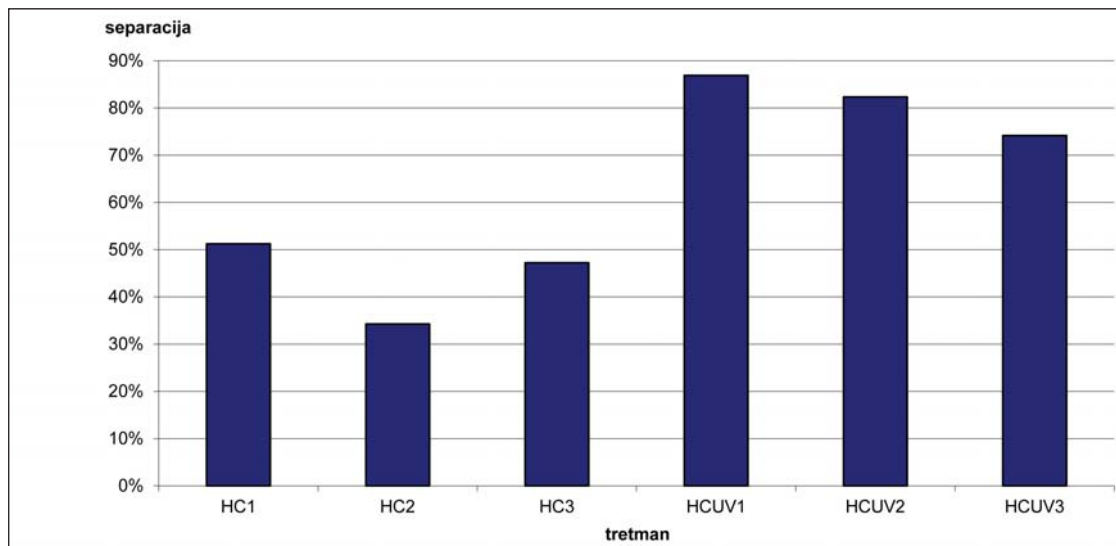


Slika 5. Prosječna brojnost pojedinih skupina kopepodnih račića u uzorcima (broj m<sup>-3</sup>)  
 Figure 5 Average abundance of copepod groups in samples (number m<sup>-3</sup>)

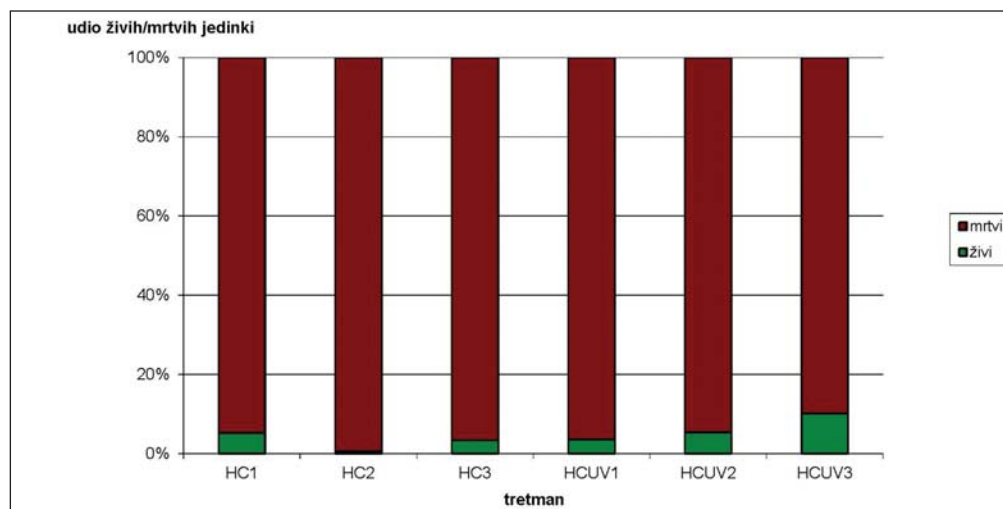
Prosječne vrijednosti abiotičkih parametara tijekom pokusa u šibenskom akvatoriju bile su: temperatura 20,3 °C, salinitet 32,5‰ i konduktivitet 50,1 μs/cm. Abundancija populacije zooplanktona u tijeku pokusa iznosila je prosječno 31.872 jedinica m<sup>-3</sup>, s dominantnom skupinom Copepoda.

Slični rezultati dobiveni su u pokusima s hidrociklonskim tretmanom (HC) kao i u kombiniranim

pokusima s hidrociklonima i UV zračenjem (HCUV) (slika 6.). U ponovljenim je pokusima u hidrociklonima separirano prosječno 62,7% organizama od ukupnog njihova broja u okolnome moru (slika 6.), od čega je bilo 74,6% uginulih. Ovaj podatak je za sam proces obrade vodenog balasta u stvarnim uvjetima zapravo irelevantan jer se cijeli separirani sadržaj vraća u okolno more iz kojega je i uzet.



Slika 6. Prosječni udio jedinka separiranih hidrociklonima u pokusima u Šibenskom zaljevu  
 Figure 6 The average share of individuals separated by hydrocyclones in Šibenik Bay experiments



Slika 7. Prosječni udio živih i mrtvih nesepariranih (propuštenih) jedinka u pokusima u Šibenskom zaljevu  
 Figure 7 The average share of live and dead non-separated individuals in Šibenik Bay experiments

Propuštenih organizama, dakle onih koji su sakupljeni u tankove na brodu, bilo je 37,3% od ukupnog broja organizama u okolnome moru, od čega 95,3% uginulih (slika 7.).

Naknadnom analizom uzoraka obojenih neutralnim crvenilom i uvrštavanjem dobivenih vrijednosti u jednadžbu, ustanovljeno je da je od populacije iz okolnog mora nakon 24 sata preživjelo svega 1,8% organizama. Udio preživjelih organizama izračunat je uz pomoć jednadžbe:

$$p = 1 - ((u * s) * m) / u \quad (1)$$

pri čemu je:

$p$  – udio preživjelih organizama (%),

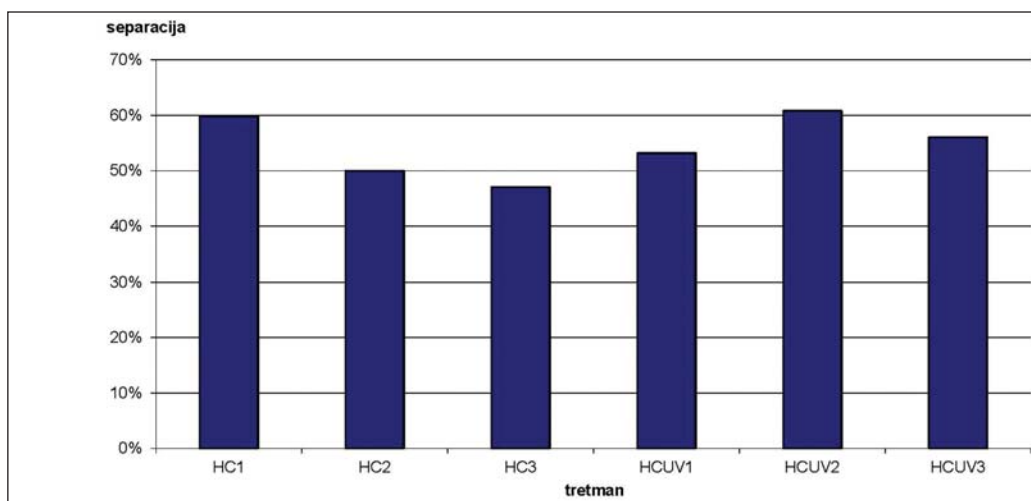
$u$  – ukupni broj organizama,

$s$  – udio separiranih organizama (%),

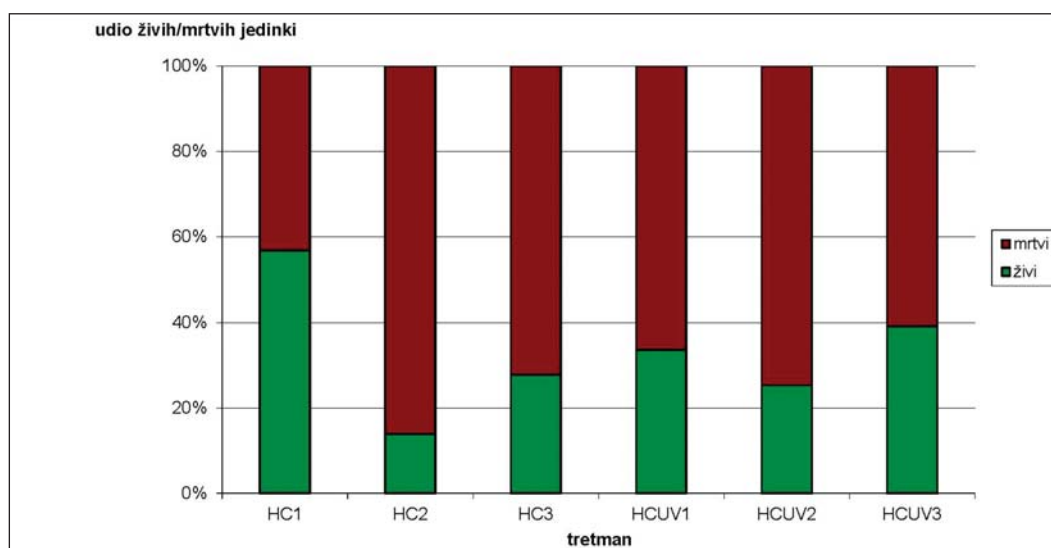
$m$  – udio mrtvih organizama (%).

Prosječni parametri tijekom pokusa u Omišaljskoj uvali bili su: temperatura 21,0 °C, salinitet 37,4‰ i konduktivitet 56,6  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Abundancija populacije zooplanktona u tijeku pokusa iznosila je prosječno 21.425 jedinka  $\text{m}^{-3}$ , a i ovdje su dominirali kopepodni račići.

Rezultati pokusa u kojima nije rabljen UV reaktor (HC), kao i onih u kojima je upotrijebljen UV reaktor (HCUV) bili su gotovo jednaki (slika 8.). Tijekom svih pokusa separirano je prosječno 54,5% organizama od ukupnog broja u okolnome moru, od čega je bilo 38,9% uginulih (slika 8.).



Slika 8. Prosječni udio jedinka separiranih hidrociklonima u pokusima u Omišaljskoj uvali  
 Figure 8 The average share of individuals separated by hydrocyclones in Omišalj Bay experiments



Slika 9. Prosječni udio živih i mrtvih nesepariranih (popuštenih) jedinki u pokusima u Omišaljskoj uvali  
 Figure 9 The average share of live and dead nonseparated individuals in Omišalj Bay experiments

Do tankova na brodu došlo je 45,5% od ukupnog broja organizama u okolnome moru, od čega 67,2% mrtvih (slika 9).

Naknadnom analizom uzoraka obojenih neutralnim crvenilom, na temelju jednadžbe (1) izračunalo se da je nakon osam sati preživjelo 14,9% organizama od ukupne populacije iz okolnog mora.

### RASPRAVA / Discussion

Filtracija ili ciklonska separacija tijekom usisa vodenog balasta provjerena je metoda kojom se može znatno smanjiti koncentracija organizama bez upotrebe kemijskih sredstava, zagrijavanja i sličnih metoda za uspješno reduciranje broja organizama, ali je upitna kvaliteta morske vode nakon takvih tretmana (Cangelosi, 2002). Uz to, upotrebom filtara i hidrociklona organizmi se već pri usisu vodenog balasta vraćaju u okolnu morsku vodu. Filtracija je provediva i isplativa na mnogim brodovima, primjerice kontejnerskima i putničkim, dok je na većim brodovima, s većim protocima ona moguća, ali uz dodatne prilagodbe i poboljšanje postojećih sustava za filtraciju (Cangelosi, 2002). Hidrocikloni su vrlo pogodni za uporabu na brodu jer ne zahtijevaju posebno održavanje i mogu zadovoljiti potrebne protoke pri uzimanju vodenog balasta.

Pritom se njima koristi samo za separaciju čestica i organizama u vodenom balastu, to jest za smanjenje sadržaja suspendiranih tvari. Međutim, pristup našem istraživanju bio je drukčiji i zasniva se na pretpostavci da svaki živi organizam podvrgnut akceleraciji u

vrtilogu, ima svoju granicu izdržljivosti. Zbog toga je u opisanim pokusima hidrociklon poslužio kao sredstvo za inaktivaciju, a ne samo separaciju organizama u vodenom balastu. Takav učinak dobiven je uporabom posebnog tipa hidrociklona u kojemu su postignuta akceleracija i koeficijent dekompresije bili letalni za organizme u balastu.

Upotreba ultraljubičastog zračenja nakon filtracije ili ciklonske separacije, pridonosi smanjenju preostalog broja bakterija, virusa i fitoplanktonskih vrsta u vodenom balastu, dok je za eliminaciju zooplanktonskih vrsta učinkovitija filtracija ili ciklonska separacija (Cangelosi i sur., 2001, 2007).

Kao sekundarna komponenta istraživanog pilot-uređaja za obradu vodenog balasta poslužio je posebno dizajniran UV reaktor kako bi se njime poboljšao inaktivacijski učinak postrojenja.

Provedenim pokusima dokazana je i razrađena uspješna upotreba hidrociklona za inaktivaciju dijela planktonskih organizama u vodenom balastu. Posebnim tipom hidrociklona moguće je postići akceleraciju veću od 5.000 g i koeficijent dekompresije veći od 65 bar s<sup>-1</sup> u zoni pretežnog obuhvata, čime se uspješno reducira broj zooplanktonskih organizama.

Rezultati dobiveni kombiniranim tretiranjem u hidrociklonskom klasteru i UV reaktoru i oni dobiveni zasebnim tretiranjem u hidrociklonskom klasteru gotovo su posve jednaki, što pokazuje zadovoljavajuću učinkovitost istraživanog hidrociklona i on može poslužiti kao primarna komponenta za tretiranje zooplanktona.



Slični sustavi u kojima se kombiniraju hidrociklonska separacija i UV zračenje dosta su česti, i njihova je učinkovitost redovito poboljšana uporabom UV zračenja.

Jelmert (1999) je testirao učinak kombiniranog tretiranja upotrebom OptiMarin sustava za obradu vodenog balasta, koji se sastojao od hidrociklona i UV reaktora (254 nm, doza zračenja 96 - 115 mW s cm<sup>-2</sup>). Testne vrste u pokusima bile su dvije fitoplanktonske vrste te ciste i naupliji vrste *Artemia* sp. Učinak hidrociklona nije bio zadovoljavajući ni za separaciju, to jest kao mehanički predtretman ultraljubičastom zračenju. Nakon prolaska kroz hidrociklon i UV reaktor zabilježena je inaktivacija od 84,7 do 87,6% fitoplanktonskih organizama, 99,5% nauplija i 26,0% slabije izvaljivanje tretiranih cista račića *A. salina*. Također, nakon tretiranja zabilježen je oporavak tretiranih populacija fitoplanktona. Međutim, pritom treba uzeti u obzir kako autor pripominje da je zadovoljeno svega 75,0 % parametara potrebnih prema deklaraciji hidrociklona, to jest postignut je pad tlaka 1,5 - 2 bara, umjesto 2 - 3 bara, koliko se može postići pri optimalnom protoku. Također, navodi se čak 10% ukupnog volumena separata, što je dvostruko više od volumena separata iz hidrociklona našega pilot-uređaja za obradu vodenog balasta.

Sutherland i sur. (2001) ispitivali su učinak integriranog sustava za obradu vodenog balasta, koji se također sastojao od hidrociklona i UV reaktora. Zabilježili su vrlo male razlike u koncentraciji testnih fitoplanktonskih vrsta prije tretmana i nakon njega. Promatranjem tijekom četiri dana poslije tretiranja ustanovili su da svjetlo pomaže oporavku stanica i pospješuje vegetativni rast, to jest mitotičko dijeljenje stanica (Gieskes i Buma, 1997). Tretiranje zooplanktonskih vrsta u istom sustavu za obradu vodenog balasta (Sutherland i sur., 2003) dalo je zadovoljavajuće rezultate za inaktivaciju ličinkama triju vrsta zooplanktona, čime je, uz upotrebu maksimalne doze zračenja od 257,9 mWs cm<sup>-2</sup>, postignuta smrtnost od 96,0 do 99,0 % jedinka u uzorcima. Međutim, zasebnim propuštanjem uzoraka s ličinkama raznih zooplanktonskih vrsta kroz hidrociklon koji je postizao pad tlaka od oko 0,3 bara, Sutherland i sur. (2003) zaključuju da nema veće razlike među uzorcima uzetim prije hidrociklonskog tretmana i nakon njega. Pokusi su provedeni i s prirodnim populacijama zooplanktona koje su sadržavale odrasle kopepodne rakove i ličinke rakova vitičara, pri čemu je postignut najmanji uspjeh, to jest smrtnost je bila svega 40,0 % od ukupnog broja jedinka prije tretiranja.

Waite i sur. (2003) naznačuju da hidrociklon i filter u njihovu pilot-uređaju nisu imali utjecaja na veću učinkovitost UV zračenja.

Kombinacija metoda tretiranja vodenog balasta ipak je najčešće zastupljena u sustavima koji su u fazi testiranja ili su zadovoljili standarde propisane IMO Konvencijom o kontroli i upravljanju brodskim vodenim balastom i sedimentima (*Regulation D-2 Ballast Water Performance Standard*) (IMO, 2004), pa su dobili odobrenje za uporabu. Među njima su i sustavi koji za obradu vodenog balasta koriste neku vrstu filtracije u kombinaciji s ultraljubičastim zračenjem, a koji su u procesu testiranja za dobivanje odobrenja od IMO-a (*Blue Ocean Shield*, COSCO, China; *EcoBallast*, Hyundai, Korea; *Hyde Guardian*, Hyde Marine Inc, UK; *OptiMarin*, Optimarin, Norway/US) (Lloyd's Register 2007).

Provedeno istraživanje pokazuje da se optimizacijom hidrociklona u obradi vodenog balasta mogu postići znatno bolji rezultati u separaciji i inaktivaciji planktonskih organizama od rezultata postignutih u drugim sličnim istraživanjima.

## ZAKLJUČAK / Conclusion

Provedenim pokusima dokazana je i razrađena uspješna upotreba pilot-uređaja za obradu vodenog balasta za inaktivaciju zooplanktonskih organizama u morskoj vodi.

Hidrodinamičke sile u hidrociklonu velike akceleracije i visokog koeficijenta dekompresije su, osim separacije, utjecale i na životnost zooplanktonskih organizama.

Primjena ultraljubičastog zračenja kao sekundarne komponente pri tretiranju zooplanktona, nije u većoj mjeri poboljšala učinak testiranog pilot-uređaja za obradu vodenog balasta.

Trebalo bi u budućnosti provesti opsežnije istraživanje koje bi uz ispitivanje učinka tretiranja na zooplankton obuhvatilo i fitoplankton i bakterije.

Potrebno je optimizirati hidrociklon radi postizanja boljeg učinka i većeg kapaciteta, uz dodatnu prilagodbu sekundarne komponente tretiranja, kako bi se dokraja razvila ekonomična i ekološki potpuno neškodljiva tehnologija za obradu vodenog balasta.

## LITERATURA / References

Cangelosi, A. A. (2002.), Filtration as a ballast water treatment measure. In: E. Leppäkoski, S. Gollasch, S. Olenin (Eds) *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 511-519.

- Cangelosi, A. A., Knight, I. T., Balcer, M., Wright, D., Dawson, R., Blatchley, C., Reid, D., Mays, N., Taverna, J. (2001.), Evaluating bioeffectiveness of flow-through mechanical ballast water treatment systems at the pilot- and fullscales. Proceedings of the Second International Conference on Marine Bioinvasions, New Orleans, La, USA, 10-11.
- Cangelosi, A. A., Mays, N. L., Balcer, M. D., Reavie, E. D., Reid, D. M., Sturtevant, R., Gao, X. (2007.), The response of zooplankton and phytoplankton from the North American Great Lakes to filtration. *Harmful Algae* 6, 547-566.
- Carlton, J. T., Geller, J. B. (1993.), Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science* 261, 78-82.
- Endresen, Ø., Behrens, H. L., Brynstad, S., Andersen, A. B., Skjong, R. (2004.), Challenges in global ballast water management, *Marine Pollution Bulletin* 48, 615-623.
- Fleming, J. M., Coughlan, J. (1978.), Preservation of Vially Stained Zooplankton for Live/Dead Sorting. *Estuaries* 1, 135-137.
- Gamulin, T. (1979.), Zooplankton istočne obale Jadranskog mora. *Acta Biologica* 8, 177-270.
- Gieskes, W. W. C., Buma, A. G. J. (1997.), UV damage to plant life in a photobiologically dynamic environment: the case of marine phytoplankton. *Plant Ecology* 128, 16-25.
- Gofas, S., Zenetos, A. (2003.), Exotic Molluscs in the Mediterranean Basin: Current status and perspectives. *Oceanography and Marine Biology: an annual review* 41, 237-277.
- Gollasch, S. (2006.), Overview on introduced aquatic species in European navigational and adjacent waters, *Helgoland Marine Research* 60, 84-89.
- Hebert, P. D., Christopher, C. W., Murdoch, M. M., Lazar, R. (1991.), Demography and ecological impacts of the invading mollusc *Dreissena polymorpha*. *Canadian Journal of Zoology* 69, 405-409.
- Hewitt, C. L., Gollasch, S., Minchin, D. (2009.), Ballast water, sediments and hull fouling. In: , Rilov, G., Crooks, J. (Eds) *Marine Bioinvasions, Ecology, Conservation, and Management Perspectives*, Springer-Verlag, Berlin, 117-132.
- Hure, J., Kršinić, F. (1998.), Planktonic copepods of the Adriatic Sea. Spatial and temporal distribution. *Natura Croatica* 7, 1-135.
- International Maritime Organization (IMO), 2004. International convention for the control and management of ship's ballast water and sediments. IMO BWM/CONF/36.
- Jelmert, A. (1999.), Testing The Effectiveness Of An Integrated Hydro cyclone/UV treatment system for Ballast Water Treatment, Report. Institute of Marine Research, Austevoll Aquaculture Research Station, Norway
- Jousson, O., Pawlowski, J., Zaninetti, L., Meinesz, A., Boudouresque, C. F. (1998.), Molecular evidence for the aquarium origin of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 172, 275-280.
- Lilly, E. L., Kulis, D. M., Gentien, P., Anderson, D. M. (2002.), Paralytic shellfish poisoning toxins in France linked to a human-introduced strain of *Alexandrium catenella* from the western Pacific: Evidence from DNA and toxin analysis. *Journal of Plankton Research* 24, 443-452.
- Lloyd's Register (2007.), Guide to Ballast Water Treatment Technology. Current Status.
- Mauchline, J. (1998.), The biology of Calanoid Copepods. *Advances in Marine Biology* 33, 1-710.
- McCollin, T., Quilez-Badia, G., Josefsen, K. D., Gill, M. E., Mesbahi, E., Frid, C. L. J. (2007.), Ship board testing of a deoxygenation ballast water treatment. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1170-1178.
- Montani, S., Meksumpun, L., Ichimi, K. (1995.), Chemical and physical treatments for destruction of phytoflagellate cysts. *Journal of Marine Biotechnology* 2, 179-181.
- Oemcke, D., van Leeuwen, J. H. (2004.), Seawater Ozonation of *Bacillus subtilis* Spores: Implications for the Use of Ozone in Ballast Water Treatment. *Ozone: Science and Engineering* 26, 389-401.
- Parsons, M., Harkins, R. (2002.), Full-scale particle removal performance of three types of mechanical separation devices for the primary treatment of ballast water. *Marine Technology* 39, 211-222.
- Pećarević, M., Lovrić, J. (2004.), Problematika unosu alohtonih organizama brodovima. Ispust vodenog balasta u hrvatskim lukama. *Pomorski zbornik* 42, 233-249.
- Rigby, G. R., Hallegraef, G. M., Taylor, A. H. (2004.), Does heat offer a superior ballast water treatment option? *Journal of Marine Environmental Engineering*. 7, 217-230.
- Sutherland, T. F., Levings, C. D., Elliott, C. C., Hesse, W. W. (2001.), Effect of a ballast water treatment system on survivorship of natural populations of marine plankton. *Marine Ecology Progress Series* 210, 139-148.
- Sutherland, T. F., Levings, C. D., Petersen, S., Hesse, W. W. (2003.), Mortality of zooplankton and invertebrate larvae exposed to cyclonic pre-treatment and ultraviolet radiation. *Marine Technology Society Journal* 37, 3-12.

Tamburri, M. N., Wasson, K., Matsude, M. (2002.), Ballast water deoxygenation can prevent aquatic introductions while reducing ship corrosion. *Biological Conservation* 103, 331-341.

Tanga, K. W., Freundb, C. S., Schweitzer, C. L. (2006.), Occurrence of copepod carcasses in the lower Chesapeake Bay and their decomposition by ambient microbes Estuarine. *Coastal and Shelf Science* 68, 499-508.

Vinogradov, M. E., Shushkina, E. A., Musaeva, E. I., Sorokin, P. Y. (1989.), Ctenophore *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) (Ctenophora: Lobata) - new settlers in the Black Sea. *Oceanology* 29, 293-298.

Waite, T. D., Kazumi, J., Lane, P. V. Z., Farmer, L. L., Smith, S. G., Smith, S. L., Hitchcock, G., Capo, T. R. (2003.), Removal of natural populations of marine plankton by a large-scale ballast water treatment system. *Marine Ecology Progress Series* 258, 51-63.

Wright, D. A., Dawson, R., Orano-Dawson, C. E. F., Morgan, G. R., Coogan, J. (2006.), The development of ultraviolet irradiation as a method for the treatment of ballast water in ships. *Journal of Marine Science and Environment*, C4, 3-12.

---

Rukopis primljen: 12. 11. 2012.

