



Damir Radan*

Ana Bratoš**

Marija Crnčević***

ISSN 0469 - 6255

(60-74)

**PRISTUP ISTRAŽIVANJU OPTIMALNOG RJEŠENJA PROBLEMA
PRIJENOSA MORSKIH ORGANIZAMA BALASTNIM VODAMA**
**AN APPROACH TO THE INVESTIGATION OF OPTIMAL PROBLEM SOLUTIONS
DEALING WITH TRANSFERRING SEA ORGANISMS BY BALLAST WATERS**

UDK 504.42.064

Pregledni članak

Review

Sažetak

Balastnim vodama brodova prenosi se veliki broj morskih organizama od kojih neke egzotične vrste u novom okolišu mogu biti vrlo štetne. Međunarodna pomorska organizacija (IMO) utvrdila je da je to problem međunarodnog značenja. Osnovna pretpostavka je da balastne vode sadrže alohtone morske organizme koji negativno djeluju na lokalni ekosustav i da se unos organizama u lokalne ekosustave može spriječiti odgovarajućom obradom balastne vode. Cilj je mnogih znanstvenika i stručnjaka iznalazak odgovarajućih načina sprječavanja prijenosa morskih organizama balastnim vodama. Problem balastnih voda i unosa morskih organizama je složen, te zasad nema jednostavnog i radikalnog rješenja.

U ovom radu su prikazani različiti fizikalni i kemijski načini obrade balastnih voda kao što su: filtracija, obrada UV zračenjem, ozonom, vodikovim peroksidom, biocidima i toplinska obrada.

Rješenje treba tražiti u kompromisu između najučinkovitijih metoda za odstranjivanje ili uništavanje (svih) morskih organizama, veličine postrojenja, potrošnje energije, te početne cijene ugradnje i troškova pogona i održavanja. Radi izbjegavanja štetnih posljedica pri ispuštanju tretirane balastne vode potrebno je posebnu pozornost obratiti u slučaju izbora kemijske obrade (AQIS - Australian Quarantine and Inspection Service, 1993).

Summary

Ship's ballast water has been responsible for the translocation of a wide range of marine organisms including some harmful exotic species. The problem has been recognised by the International Maritime Organisation - IMO as one of the international significance. The basic hypothesis is that ballast waters contain allochthonous marine organisms, and their introduction in local ecosystems could be prevented by adequate water treatment. The goal is determination of successful method for prevention of introduction of alien organisms by ballast water. The problem of ballast water and the introduction of allochthonous marine organisms is complex and there are no successful and radical solutions.

In this paper various attempts of ballast water treatment are presented: physical, chemical, e.g. filtration, UV, ozonization, heat, hydrogen peroxide, various biocides, etc.

Solution has to be found in compromise among the most efficient method to kill all marine organisms, space, energy consumption, initial cost of the plant, and running and maintenance costs. To avoid supplementary damages from disposal of treated ballast water, high caution should be given to chemical treatment (AQIS - Australian Quarantine and Inspection Service, 1993).

*Damir Radan, mlađi asistent

**Ana Bratoš, mlađi asistent

***Marija Crnčević, mlađi asistent

Veleučilište u Dubrovniku, Dubrovnik

1. Tehnologija obrade i smještaj postrojenja

Treatment technology and plant positioning

Na odabir najprikladnije tehnologije obrade balastne vode utječe predviđeni smještaj postrojenja i vrste organizama koje se žele eliminirati.

1.1. Tehnologija obrade s obzirom na kriterij zaštite okoliša

Treatment technology concerning environmental criterion

Ovisno o mjestu na kojem se balastna voda tretira, postoje tri načina obrade.

1. **Obrada na brodu** - pri ukrcanju balasta na brod ili za vrijeme putovanja, pri čemu se sustav za obradu balastne vode nalazi na samom brodu.
2. **Obrada u luci** nakon iskrcanja balasta - usidreni brod spaja se na cjevovod i balast se ispumpava u brod za obradu balastnih voda.
3. **Obrada u kopnenom postrojenju** - usidreni ili privezani brod spaja se na cjevovod, a balast prihvaća kopнено postrojenje.

Obrada balasta može se obavljati u različitim razdobljima procesa balastiranja:

1. za vrijeme punjenja balastnih tankova (u luci iskrcanja tereta);
2. za vrijeme putovanja;
3. za vrijeme iskrcanja balasta (u luci ukrcanja tereta) - lučka obrada;
4. nakon prebacivanja u sustav za odlaganje balasta - kopnena obrada.

Svaka mogućnost obrade ima svoje prednosti i nedostatke koji utječu na učinkovitost i praktičnost rješenja. Prve dvije mogućnosti uključuju obradu na brodu, pa sustav za obradu balastne vode mora biti ugrađen u sam brod, dok treća mogućnost uključuje obradu ili na posebnom lučkom brodu za obradu balastnih voda. Obrada tijekom iskrcanja balasta naziva se lučka obrada (port-based treatment system).

Četvrta mogućnost odnosi se na obradu na kopnu, gdje bi se balast odlagao u posebne tankove ili bazene i potom tretirao.

Prednosti prvog načina obrade su očite. Balastne vode trebalo bi obraditi tijekom ukrcanja u balastne tankove. Osnovni nedostatak tog rješenja je veličina postrojenja za obradu koje bi zauzelo dio korisnog prostora broda, te troškovi gradnje postrojenja i

potrošnja energije. Također, s obzirom na smanjeni broj članova posade na brodovima s potpuno automatiziranom strojarnicom, sustav treba biti jednostavan za održavanje. Svaki dodatni zahtjev za održavanjem, uz pooštrena pravila o zaštiti okoliša kao i prekratkо zadržavanje broda u luci, znatno opterećuju posadu. Iz istih razloga brodski uređaj za obradu balasta trebao bi biti opremljen i kvalitetnim sustavom za nadzor njegova rada.

Kopneni bi sustav omogućio cjelovitu i sustavnu obradu pri čemu bi stanje balastnih voda nadzirali biolozi. Tako bi se dobili vrlo važni podaci o međusobnom učinku pojedinih vrsta morskih organizama iz različitih staništa, te bi se mogao uspostaviti plan djelovanja i analiza rizika što je jedan od budućih planova ovih istraživanja. Glavni nedostatak kopnenog postrojenja u luci je njegova cijena i pomanjkanje prostora. Naime, izgradnja cjevovoda za kopнено postrojenje koje bi bilo smješteno u unutrašnjosti i u vezi s tim prepumpavanje balastnih voda nije isplativo.

Zbog toga bi sustav bilo najbolje ugraditi na brodove (postojeće) ili na novogradnje, ovisno o propisu ili konvenciji koja će se donijeti. Osnovni kriteriji koji određuju prihvatljivost postrojenja su njegova početna cijena i troškovi iskorištavanja.

Prednost brodova posebne namjene za obradu balastne vode jest u tome što su pokretljivi, tako da mogu opsluživati više brodova i u različitim lukama. Poteškoća koja se pojavljuje pri korištenju ovih brodova jest uklanjanje uginulih organizama iz taloga.

Kao kompromis između različitih mogućnosti, moglo bi se proces obrade balastne vode podijeliti u više razdoblja. Tako bi prvo razdoblje obrade bilo na samom brodu, a drugo u lukama iskrcanja balasta.

1.2. Vrste i značajke morskih organizama

Species and features of marine organisms

Brodovi krcaju balastnu vodu u estuarijima i zaljevima, pa su u njoj pronađeni organizmi svih glavnih trofičkih skupina, planktonski i nektonski organizmi zajednica koje naseljavaju pliće vode i sedimenti (Carlton i Geller 1993, Hallegraeff i Bolch 1991). Brojnost i različitost vrsta u balastnoj vodi ovisi o mjestu i vremenu uzimanja i smanjuje se starenjem balastne vode (Chu i sur. 1997). Veći broj vrsta u balastnoj vodi, kao što su bakterije, praživotinje, dinoflagelati, alge kremenjašice, zooplanktonske vrste, ribe, ostaje na životu pri dolasku u novu luku i sposoban je naseljavati novi okoliš (Carlton i Geller 1993). Rezultati istraživanja potvrđuju da danas postoji nekoliko stotina vodenih organizama koji su preneseni u balastnim tankovima i koji su se naselili u novom morskom okolišu (Carlton 1994, Carlton 1985, Hallegraeff i Bolch 1991).

Uneseni organizmi mogu prouzročiti nepovratne promjene u strukturi zajednica, kao što su potiskivanje autohtonih vrsta do njihovog potpunog izumiranja, gospodarske poteškoće, a ponekad mogu i izravno narušiti zdravlje ljudi. Najpoznatiji primjeri su unos školjkaša *Dreissena polymorpha* Pallas u Velika jezera Sjeverne Amerike (Roberts 1990), unos rebraša *Mnemiopsis leidyi* Agassiz u Crno more (Vinogradov i sur. 1989), unos toksičnog dinoflagelata roda *Alexandrium* u vode Australije (Hallegraeff i sur. 1990). Jednako tako balastnom vodom brodova mogu se prenositi uzročnici bolesti kao *Vibrio cholerae* (McCarthy i Khambaty 1994).

Prema podacima Oemcke i van Leeuwen (1998) vrlo je teško odrediti metodu tretiranja balastne vode, tj. potrebno je poznavati značajke balastne vode koja se tretira. Osim otopljenog kisika, temperature, pH i saliniteta, postoji malo dostupnih podataka o

fizikalno-kemijskim značajkama balastne vode, potrebnih za osmišljavanje tehnike tretiranja balastne vode. Tijekom dosadašnjih istraživanja najčešće su istraživane vrste i brojnost organizama u balastnoj vodi (Hamer i sur. 1998, Rigby i Hallegraeff 1994, McCarthy i Khambaty 1994, Medcof 1975).

Podaci dosadašnjih istraživanja tretiranja balastne vode ukazuju da je najteže inaktivirati ciste fitoplanktonskih vrsta. Naime, neke vrste fitoplanktonskih organizama i praživotinja u nepovoljnim uvjetima mogu oblikovati trajne stadije, tzv. ciste koje mogu preživjeti više godina i postati metabolički aktivne tek u povoljnim uvjetima. Pretpostavlja se da bi metoda kojom bi se uspjelo inaktivirati ciste dinoflagelata bila učinkovita za inaktivaciju odnosno usmrćivanje velikog broja morskih organizama (Bolch i Hallegraeff 1993, Hallegraeff i sur. 1997).

Tablica 1. Veličina mikroorganizama koji se pojavljuju u balastnoj vodi (prema Oemcke, 1999.)
Table 1. Size of microorganisms contained in ballast water (according to Oemcke, 1999.)

ORGANIZAM	VELIČINA
Virusi IHN, VHS, IPN ¹	od 55 do 200 nm
Bakterije <i>Vibrio cholerae</i> 01 ² <i>Vibrio</i> spp. <i>Aeromonas salmonicida</i> ¹ <i>Renibacterium salmoninarium</i> ¹ <i>Yersinia</i> spp. ¹	od 0,2 do 1,5 µm od 0,5 do 0,8 x od 1,4 do 2,6 µm 0,6 x 1,0 µm od 0,3 do 1,0 x od 1,0 do 1,5 µm od 0,5 do 1,0 x od 1 do 2 µm
Praživotinje odabrane vrste ^{1,3} <i>Perkinsus marinus</i> ¹	od 2,6 do 30 µm od 2 do 100 µm
Alge kremenjašice ⁴	promjer: od 3 do 115 µm
Dinoflagelati tipični oblici <i>Phiesteria piscicida</i> ⁵	od 20 do 200 µm od 5 do 250 µm

¹ Vrste s potencijalom za prijenos u balastnoj vodi (IHN-Infectious Hematopoietic Necrosis Virus, VHS-Viral Haemorrhagic Septicaemia Virus, IPN-Infectious Pancreatic Necrosis Virus)

² Vrste nađene u balastu (McCarthy i Khambaty, 1994.)

³ *Bonamia ostreae*, *Haplosporidium costale*, *H. nelsoni*, *Marteilia refringens*, *Mikrocytos mackini*

⁴ *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros diadema*, *Stephanopyxis palmeriana* i *S. turris*

⁵ Burkholder i suradnici, 1995.

Tablica 2. Veličine planktonskih stadija makroorganizama (prema Oemcke i Van Leeuwen, 1998.)
Table 2. Size of macroorganisms plankton stages (according to Oemcke and Van Leeuwen, 1998.)

vrsta	veličina
<i>Undaria pinnatifida</i>	od 5 do 100 µm
<i>Dreissena polymorpha</i>	od 70 do 290 µm
<i>Asterias amurensis</i>	iznad 100 µm
<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>	iznad 100 µm
<i>Boccardia proboscidea</i>	od 90 do iznad 200 µm
<i>Lepeophtheirus salmonis</i>	od 170 do 450 µm
<i>Pyromaia tuberculata</i>	od 0,39 do 1,9 mm
<i>Carcinus maenas</i>	od 0,47 do 1,18 mm
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	od 4,6 do 12 mm

1.3. Problem postrojenja koja zahtijevaju niži kapacitet balastnih pumpi *The problem of plants requiring lower power of ballast pumps*

1.3.1.1. Obrada prilikom ukrcaja i iskrcaja balasta *Treatment during shipping/unshipping of ballast*

Pri izboru rješenja, jedan od kriterija za učinkovitu obradu morske vode jest i smanjenje kapaciteta balastnih pumpi. U tom slučaju vrijeme potrebno za ukrcaj, odnosno iskrcaj tereta mora biti produženo kako bi se zadovoljili kriteriji uzdužne čvrstoće i stabilnosti broda. Svako kašnjenje broda proizvodi gubitke, pa to ukazuje na nepraktičnost ovakvog rješenja.

1.3.1.2. Obrada za vrijeme putovanja *Treatment at sea*

Obrada balasta za vrijeme putovanja sniženim kapacitetom pumpi zahtijeva dovoljno vremena za taj postupak. Analiza veličine i tipa broda kao i udaljenosti između luka ukrcaja i iskrcaja dat će parametre prema kojima će se moći odabrati metoda obrade balastne vode na brodu.

1.3.2. Obrada u luci ili na kopnu *Port or land-based treatment system*

Obrada u luci ovisi o skladišnom kapacitetu plovila za obradu balasta, kao i o kapacitetu kopnenih tankova ili bazena (obrada u kopnenom postrojenju).

1.4. Ograničenja ispuštanja balasta na oceanu i uz obalu *Restraints on ballast discharging in the ocean and along the coast*

Korištenje kemikalija ili topline za obradu balastne vode, koju se potom ispušta u more, može prouzročiti nepoželjne ekološke promjene.

Vrste organizama i onečišćenja u morskoj vodi koju se koristi za balast ovise o luci u kojoj je balast ukrčan. Osim toga, važno je i mjesto iskrcaja balasta, pa su doneseni dodatni kriteriji za kvalitetu obrade morske vode.

U uputama za kvalitetu morske vode (National Water Quality Guidelines) koje je objavio ANZEC (Australian and New Zealand Environment Council, 1990.) kvaliteta morske vode odnosi se na nekoliko kategorija:

1. zaštita ekosustava područja
2. zaštita proizvodnje jestive ribe i školjkaša
3. rekreacija
4. navigacija.

Prve tri kategorije razlog su istraživanjima ispuštanja balastnih voda.

ANZEC definira kriterije kvalitete morske vode u koju će se obrađeni balast ispustiti. Kriterij uključuje biološke, fizikalne, kemijske, estetske i radioaktivne indikatore. Iako se u IMO MARPOL 73/78 onečišćenja odnose ponajprije na ulja i naftu, u Annexu II opisane su mjere zaštite od onečišćenja mora opasnim kemikalijama. Zato će se svaki sustav za obradu balastnih voda, koji se temelji na obradi kemikalijama, trebati podrobno ispitati s ekološkog stajališta.

1.5. Talog, obrada i ispuštanje taloga *Sediment, treatment and discharge*

Talog se stvara odvajanjem krutih čestica iz balastne vode. Za vrijeme obrade prilikom ukrcaja balasta može ga se dodatno separirati i obraditi drugim metodama, ili ga se odmah može ispustiti u more. Naprotiv, za vrijeme obrade prilikom iskrcaja balasta talog se ne smije ispuštati u luku.

Talog je u oba slučaja najbolje skladištiti i ispustiti ga na otvorenom moru i to samo u slučaju kada talog nije dodatno obrađivan. Za skladištenje treba predvidjeti posebne tankove. U tom slučaju treba odrediti količinu i biološko-kemijski sastav taloga, a zatim ga prebaciti u kopneno postrojenje u kojem će se dalje tretirati.

Potrebno je istražiti i mogućnosti isušivanja i spaljivanja taloga na samom brodu. U tom slučaju potrebno je odrediti količinu taloga ovisno o načinu obrade i mjestu ukrcaja balasta, te količinu topline potrebnu za proces sušenja i spaljivanja. Talog se može dodatno filtrirati po modelu kaljužnog separatora, kao što se tretira talog separatora goriva i ulja. U tom bi se slučaju spaljivanje taloga obavljalo u brodskim inceneratorima.

1.6. Nadzor nad radom postrojenja *Supervision during machinery operation*

Nadzor nad radom postrojenja za obradu balastnih voda može se podijeliti u tri faze:

1. Nadzor nad radom sustava za obradu - Potrebno je voditi dnevnik rada pojedinih dijelova postrojenja i provoditi izmjenu dotrajalih komponenti prema periodičkom planu održavanja. Bolji i moderniji plan održavanja zasniva se na praćenju stanja komponenti. Potrebno je točno definirati postrojenje i utvrditi parametre rada. Također treba bilježiti podatke s mjerača protoka i količinu doziranih kemikalija (ovisno o metodi obrade).
2. Povratna veza - Za razliku od sustava upravljanja, u sustavu kontrole i reguliranja najvažnija je povratna informacija. Ona opisuje kvalitetu rada

sustava. Najbolje je ugraditi regulator koji će uzimati uzorak balastne vode prije i nakon obrade, te s tim uskladiti rad sustava. Tako primjerice, ako voda i nakon obrade sadrži količinu morskih organizama iznad dopuštene, ne smije se propustiti u tankove, niti u more (ovisno o kojem se načinu tretiranja balastne vode radi - za vrijeme ukrcaja ili iskrcaja), već se obilaznim vodom mora vratiti na ponovnu obradu. Sustav nadzora se ne mora temeljiti na količini živih organizama koju je teško i skupo utvrditi. Primjereniji je način nadziranje parametara obrade. Tako je npr. pri toplinskoj obradi balastnih voda potrebno postići odgovarajuću temperaturu balastne vode i održati je propisano vrijeme. Pri obradi biocidima može se izmjeriti količina biocida u vodi, te prema tome procijeniti valjanost obrade.

3. Inspekcije lučkih organa vlasti potaknut će učinkovitost i maksimalno iskorištavanje ugrađenog sustava. U suprotnom će, nastojeći uštedjeti na dijelovima sustava i vremenu, brodari zasigurno pronaći način zaobilaznja predviđenog tretmana.

Kod lučke i kopnene obrade balastnih voda morat će se uzimati uzorci neobrađene morske vode, te voditi kvalitetna baza podataka o biološko-kemijskom sastavu. To će pridonijeti tehnološkom razvoju sustava za obradu i daljnjem smanjenju onečišćenja. Uzorci će se, naravno, uzimati i nakon obrade radi dobivanja povratne informacije o učinkovitosti tretmana.

AQIS (1990) je objavio upute i obrasce za uzimanje uzoraka i minimiziranje ispuštanja morskih organizama i taloga s balastnim vodama.

1.7. Sigurnost *Safety*

Opasnosti za zdravlje pri obradi balastnih voda su sljedeće:

- opasnost od patogenih organizama
- ograničen pristup i manjkava zaštita pri radu s opasnim uređajima i kemikalijama za obradu
- rukovanje talogom
- opasnost od zračenja: toplina, UV i sl.

Boljom obradom balastnih voda manje će se taloga nakupljati u balastnim tankovima pa će ih rjeđe trebati čistiti i ličiti, što je uvijek opasan posao.

2. Vrste brodova i ograničenja pri rukovanju balastom *Ships' types and restraints when ballast handling*

Za obradu balastnih voda jedan od važnih kriterija jesu značajke broda i to:

- vrsta i namjena broda

- plan putovanja: između kojih luka bi brod trebao ploviti
- vrijeme boravka broda u luci
- tehnološki trendovi razvoja luka s obzirom na vrstu tereta
- nosivost
- omjer balasta i nosivosti broda

Posljednja nabrojena značajka broda po ovom kriteriju ovisi o vrsti broda. Međutim, određena konstrukcijska rješenja mogla bi smanjiti količinu balasta koju bi trebalo obraditi. Također, poznavanje sastava i količine organizama u morima pridonijelo bi boljoj odluci prilikom početnog ulaganja u sustav obrade balasta na brodu. Tako, na primjer, ako brod plovi između dviju luka približno jednakog sastava morskih organizama i jednake onečišćenosti, logično je da gotovo nikakve aktivnosti u svezi s balastom nije potrebno poduzimati.

Veliki brodovi za prijevoz rasutog tereta mogu nositi balast i do 60% ukupne nosivosti broda. Obično je taj omjer oko 30 do 40%. Osim u balastne tankove u dvodnu i krovne tankove, balastna voda se ukrcaja još i u jedno do dva skladišta koja su za to predviđena.

Balast je potreban radi poboljšanja stabiliteta i uzdužne čvrstoće, manevarskih značajki broda, propulzije i pomorstvenosti. Izmjene u konstrukciji i podrobno istraživanje na tom području pridonijelo bi smanjenju balasta koji treba ukrcati u brod, što bi rezultiralo lakšom obradom balastne vode. Kriterij smanjenja potrebnog balasta zasigurno predstavlja najteži i najkontroverzniji dio u istraživanju i rješavanju problema prijenosa morskih organizama balastnim vodama.

2.1. Projektna ograničenja *Design restraints*

Pri gradnji broda moraju biti zadovoljeni sljedeći osnovni zahtjevi:

- Korisnost brodskog prostora - brodovi se grade tako da korisni brodski prostori (npr. skladišta), tj. prostori koji donose prihod brodu, budu maksimalne zapremine. Zato se nastoji uštedjeti na prostorima strojarne, balastnih tankova i nadgrađa. Prema tome, brodska stojarnica kao nekorisni prostor postavlja ograničenja pri ugradnji svakog dodatnog postrojenja i opreme.

- Čvrstoća broda – odgovarajućim rasporedom i količinom balasta postiže se ušteda na ugrađenom materijalu (limovi, rebra, ukrepe i upore), što čini brod jeftinijim i lakšim u okvirima propisane sigurnosti.

- Manipulacija balastom (ukrcaj i iskrcaj) za vrijeme plovidbe znatno smanjuje sigurnost broda, pa bi takvo izabrano konačno rješenje zahtijevalo izmjene u konstrukciji i veću težinu trupa broda.

2.2. Trajanje putovanja

Duration of voyage

Jedino zasad primjenjivano rješenje obrade balastne vode jest ispiranje - prepumpavanje balasta na otvorenom moru, tako da se kroz balastni tank provede trostruko veća količina morske vode od njegovog kapaciteta. U tanku u prosjeku zaostane oko 10 % vode. To znači da za brod koji nosi 50 000 tona balasta treba kroz tankove provesti 3 x 50 000 = 150 000 tona.

U tablici 2. prikazane su različite vrste brodova s obzirom na namjenu, njihova uobičajena istisnina i kapacitet balasta. Osim toga prikazani su i uobičajeni kapaciteti balastnih pumpi, vrste balastnih tankova, te mogućnosti čišćenja balastnih tankova i skladišta.

Pri obradi balasta za vrijeme putovanja, važno je koliko ima vremena na raspolaganju za tretman balastnih voda.

Pri odabiru takve metode, treba statistički obraditi podatke u ovisnosti o lukama između kojih brodovi plove, namjeni broдова, odnosno njihovoj brzini.

2.3. Ukrcaj i iskrcaj balasta

Shipping and unshipping of ballast

Balast se ukrcava balastnim pumpama. Obično se ugrađuju dvije pumpe čiji kapacitet ovisi o veličini broda, odnosno o brzini ukrcaja tereta u lukama. Kapacitet pumpi može iznositi do 3000 m³/h, a možda i više. Na brodovima za prijevoz rasutog tereta balast se raspoređuje u balastne tankove u dvodnu, krovne tankove, te se pune jedno do dva skladišta tereta koja su za to predviđena.

Na ulazu u usisnu košaru postavljena je rešetka koja zaustavlja velike predmete kao što su komadi drva i sl. Ugrađeni filter može zaustaviti predmete veće od 10 mm. Taj je filter potrebno redovito mijenjati i čistiti što nije uobičajena praksa na brodovima. Balast se ispumpava kroz iste usisne košare, osim u slučajevima koji su navedeni dalje u tekstu.

Balast se može prebacivati između svih balastnih tankova u dvodnu. Međutim nije moguće prebaciti balast iz krovnih i bočnih tankova u ostale, jer se na nekim brodovima ovaj dio balasta iskrcava

Tablica 3. Vrste brodova i karakteristike balasta

Table 3. Ships' types and characteristics of ballast

	TANKERI	VELIKI BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA	BROD SREDNJE VELIČINE ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA	MALI BRODOVI ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA	BRODOVI ZA PRIJEVOZ DRVA	BRODOVI ZA PRIJEVOZ KONTEJNERA I OSTALI
<i>Uobičajeni međunarodni nazivi</i>	Tanker	Capesize bulk-carrier	Panamax bulk-carrier	Handysize bulk-carrier	Woodship	Container
<i>Nosivost (obrađena)</i>	25 000-250 000	100000-250 000	60 000-75 000	25 000-40 000	30 000-50 000	8 000-35 000
<i>Vrste tereta</i>	Sirova i rafinirana nafta i naftni derivati	Ugljen /željezna rudača	Ugljen /željezna rudača/ žitarice/ boksit	Cement/ željezo /čelik/žitarice/ šećer/ostalo	Drvo	Kontejneri / raznovrsno
<i>Uobičajena zapremina balasta</i>	8 000-100 000	45 000-100000	25 000-40 000	10 000-20 000	20 000-30 000	4 000-10 000
<i>Ukupni kapacitet balastnih pumpi (m³ / h)</i>	750-6 000	4 000 / 6 000	3 000	1 000	1 000 / 1 500	500 / 750
<i>Karakteristike balasta</i>	Potpuni iskrcaj	Potpuni iskrcaj	Potpuni iskrcaj	Potpuni iskrcaj ili prekrcaj	Potpuni iskrcaj	Stalni ili polustalni balast
<i>Uobičajeni raspored balastnih tankova</i>	Veliki odvojeni tankovi (segregated)	Krovni i tankovi u dvodnu, jedno skladište za balast	Krovni i tankovi u dvodnu, jedno skladište za balast	Mali krovni i tankovi u dvodnu, jedno skladište za balast	Mali tankovi u dvodnu, jedno skladište za balast	Uski bočni tankovi, mali tankovi u dvodnu
<i>Mogućnost čišćenja balastnih tankova</i>	Relativno lako ali veličina tankova i orebrenja (dijagrami sjena) postupak čine težim	Teško, zahtijeva puno vremena i skupo zbog broja i rasporeda tankova	Slično kao i za velike brodove za prijevoz rasutog tereta	Slično kao i za velike brodove za prijevoz rasutog tereta, ali još teže zbog malih dimenzija tankova i nepristupačnosti	Vrlo otežano zbog malih dimenzija tankova i nepristupačnosti	Vrlo otežano
<i>Mogućnost čišćenja prostora za teret</i>	Neprimjenjivo	Primjenjivo	Primjenjivo	Primjenjivo	Primjenjivo	Neprimjenjivo

slobodnim padom. Nakon iskrcaja, oko 1% morske vode i taloga zaostaje u tanku. Pranjem skladišta za teret i balastnih tankova, te korištenjem kaljužnog sustava i uređaja za posušivanje, opisani prostori mogu se ipak održavati razmjerno čistima.

U luci iskrcaja tereta balast se obično uzima gravitacijom, tj. naplavlivanjem tankova koji se nalaze ispod vodne linije.

Vrijeme potrebno za potpuno debalastiranje - iskrcaj balasta za jedan "Capesize" brod je oko 20 sati. Zapravo je na raspolaganju onoliko vremena koliko je potrebno za ukrcaj tereta - jedan do dva dana. Balast je potrebno prebacivati za cijelo vrijeme ukrcaja tereta radi smanjenja naprezanja trupa te održavanja dovoljnog stabiliteta.

Obično se 20% balasta iskrca prije dolaska broda u luku ovisno o vremenu i zahtijevanoj upravljivosti broda. Talog, koji se nakupio u skladištima, ispire se u posljednjoj fazi debalastiranja. Zaostatak taloga u balastnim tankovima ovisi o vrsti i konstrukciji tanka. Talog se obično nataloži u tankovima u velikim količinama pa ga je potrebno odstraniti. Čišćenje taloga u balastnim tankovima brodova za prijevoz rasutog tereta težak je i skup zadatak. Što je brod manji to je talog teže očistiti jer su i tankovi manji i nepristupačniji. Ako se primjeni tretman balasta za vrijeme putovanja, ovo je jedan od problema koji treba riješiti, jer zaostali talog u tankovima dolazi u dodir s obrađenom vodom pa sam proces gubi na učinkovitosti.

Ako se talog ne ukloni, isti problem javit će se i pri tretmanu balasta za vrijeme ukrcaja. Svako zaostajanje taloga u tankovima smanjit će učinkovitost biocida.

2.4. Stabilitet, čvrstoća i konstrukcija broda

Stability, strength and ship's design

Balast se ukrcava na brod radi stabiliteta, čvrstoće, upravljivosti i pomorstvenih osobina broda. Na malim brodovima ("Handysize") uzdužna čvrstoća ne predstavlja problem što jest slučaj na velikim brodovima. Na velikim brodovima za prijevoz rasutog tereta i na tankerima, momenti savijanja i poprečne sile lako mogu prijeći dopuštene granice. Stabilitet broda također je vrlo kritičan i treba ga razmatrati pojedinačno za svaki brod i vrstu tereta. Precizno proračunane procedure ukrcaja i iskrcaja moraju se koordinirati s debalastiranjem i balastiranjem kako bi naprezanja u svakom trenutku ukrcaja ili iskrcaja, ili bilo kakve manipulacije teretom, ostala u dopuštenim granicama. Mogućnosti manipulacije balastnim vodama specifične su za svaku vrstu broda. U slučaju obrade balasta za vrijeme putovanja bit će potrebno naglo prebacivati velike količine balastne vode, što zasigurno predstavlja problem s gledišta uzdužne čvrstoće i stabiliteta broda. Sličan problem javlja se prilikom rebalastiranja - izmjene balasta u plovidbi. Problem stabiliteta i čvrstoće glavni su nedostaci obrade balasta za vrijeme putovanja, pogotovo za

postojeće brodove na koje bi se takav sustav ugradio.

Pri kemijskoj obradi balasta za vrijeme putovanja, balastnu vodu nije potrebno prebacivati pa je ta vrsta obrade, po ovom kriteriju, znatno bolja. No, jedini zasad prihvatljiv (palijativan) način obrade balasta jest već spomenuto ispiranje ili razvodnjavanje balasta - flushing (Rigby, 1994.), pri kojem se postiže 90% izmjena sadržaja balastnog tanka upumpavanjem količine vode koja je tri puta veća od kapaciteta tanka. U tom slučaju tank ostaje napunjen do vrha, a višak pomiješane vode izlazi kroz odušnik tanka.

2.5. Prostorna ograničenja

Space constraints

Pri obradi balastnih voda na brodu veličina prostora na raspolaganju je jako bitna. Najpogodnije je da se postrojenje nalazi što bliže balastnim pumpama u razini dvodna blizu vodonepropusne pregrade. Moguće je prepraviti skladište te mu oduzeti dio korisnog prostora za teret. Za srednje i velike brodove za prijevoz rasutog tereta ("Capesize" i "Panamax") može se uzeti i dio tunela u dvodnu.

Korištenje slobodnih površina na palubi je neprikladno jer je većina zauzeta uređajima za otvaranje skladišta i ostalom palubnom opremom. Osim toga, oprema bi bila izložena nevremenu i štetnim djelovanjima mora i valova (korozija i udari valova).

2.6. Postojeći i novi brodovi

Current and new ships

Pri obradi balasta na brodu veći problem zasigurno predstavljaju postojeći brodovi na koje bi trebalo ugraditi novu opremu nego novi brodovi gdje bi se u fazi projekta vodilo računa o razmještaju uređaja. Osim toga brodovlasnicima je teško nametnuti ugradnju sustava za obradu balasta na postojeće brodove ako to strogim međunarodnim propisom nije nametnuto.

3. Pregled tehnologije obrade balastnih voda

Technology schedule of ballast water treatment

3.1. Fizikalna obrada balastnih voda

Physical treatment of ballast water

3.1.1. Filtriranje

Filtration

Filtri odstranjuju krute čestice iz vode. Količina i vrsta čestica koje se odstranjuju određena je veličinom rupica na filtru. Njihov je promjer od 100 mm do 0,05 mm, tako da se oprema za

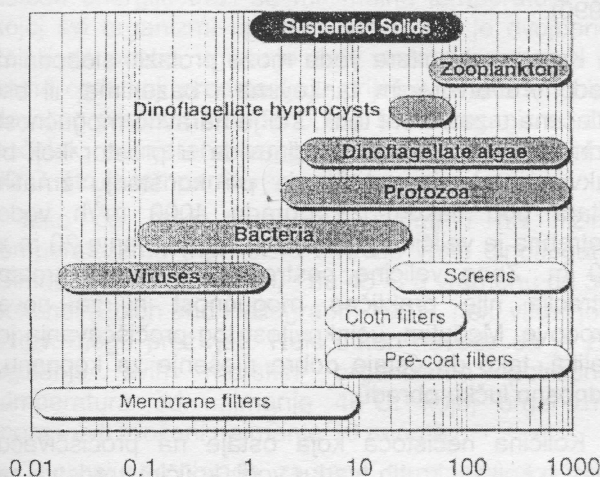
filtriranje kreće u rasponu od običnih rešetki do samočistivih filtara. Današnja balastna oprema uključuje rešetku otvora od oko 80 mm, a zatim rešetku manjeg otvora od oko 10 mm. Naravno, otvori su preveliki da bi zadržali morske organizme.

Fini filtri, veličine otvora od 0,05 do 2 mm, koriste se u naftnoj industriji na platformama za crpljenje nafte i dio su sustava kroz koji prolazi do 5000 m³/h morske vode. Ova vrsta filtara je najučinkovitija u odstranjivanju morskih organizama do reda veličine jednostaničnih algi. Naprotiv, učinkovitost u odstranjivanju manjih organizama, kao npr. virusa i bakterija, loša je, iako se odstranjivanje zapravo može dijelom postići odstranjivanjem organizma domaćina. Odstranjivanje finih taloga također je neučinkovito. Međutim, djelomičnim zadržavanjem taloga na filtru povećava se učinkovitost filtriranja.

Prednosti filtara su male dimenzije i jednostavnost rukovanja.

U sustavu za filtriranje s veličinom otvora na filtru od 0,5 mm, u kojem je moguće obraditi do 4000 m³/h vode, veličina mreže filtra je 3 x 3 metra.

Zbog toga je ovo vrlo pogodan sustav za ugradnju na postojeće brodove u svrhu obrade balastnih voda. Na filtru će ostati oko 0,1 % krutih čestica od ukupnog protoka morske vode kroz filter. To znači da će u sustavu koji obrađuje 4000 m³/h, filter odstraniti 4000 x 0,001 = 4 m³/h krutih čestica.



Slika 1. Vrste filtara u odnosu na veličine morskih organizama (AQIS 1999.)

Figure 1. Types of filters concerning the size of sea organisms

3.1.2. Taloženje - gravitacijski procesi obrade *Sedimentation - gravitational processes of treatment*

U gravitacijske procese obrade ubrajamo:

1. taloženje ili sedimentaciju
2. isplutavanje ili flotaciju
3. centrifugiranje

3.1.2.1.1. Taloženje ili sedimentacija *Sedimentation*

Taloženje je proces u kojem čestice teže od morske vode padaju na dno tanka. Pritom se čista obrađena voda crpi s mjesta koje je blizu površine. Za neke čestice koje su lakše od vode treba dodati sredstvo za zgrušavanje - koagulant. Djelovanjem tog sredstva više se čestica skuplja ili nagomilava, odnosno veže u pojedine veće i teže čestice - "pahuljice" koje brže padaju na dno.

Taloženje, kao proces obrade balastne vode, zahtijeva plitke bazene velike površine. Što su bazeni plići to će se čestice brže taložiti jer će prelaziti manji put do dna. Tako, na primjer, da bi se obradilo 4000 m³ pri konstrukcijskom vremenu taloženja 1 m/h minimalna površina vode mora biti 4000 m², ili oko 40 x 100 metara. To ograničava uporabu bazena samo u kopnenim postojanjima. Osim toga brod kao plovni objekt, koji se kreće na valovima, zasigurno ne osigurava dobru sedimentaciju.

3.1.2.1.2. Načini ubrzavanja procesa taloženja *Speeding up the sediment processes*

Proces taloženja, ili gravitacijske obrade može se ubrzati na više načina. Jedan od načina je uporaba posebno konstruiranog tanka bistrioca preko kojeg će neobrađena voda doći u dodir s talogom i sredstvom za taloženje prije ulaska u balastni tank (solids-contact clarifier). Taloženje na brodu bit će otežano zbog gibanja broda. Zato bi trebalo koristiti sredstva za zgrušavanje čija se učinkovitost odražava na smanjenje površine tanka i do tri puta.

Drugi način je primjena metode poznate kao "lamelasto taloženje" (Lamella settler) jer omogućava uporabu velikog broja paralelnih ploča koje učinkovito povećavaju površinu taloženja i smanjuju put čestice koja se taloži (to je princip rada i centrifugalnog separatora).

Treći način je dodavanje magnetita (Sirofloc method) ili magnetskog željeznog oksida pa se čestice brzo spajaju i talože pri prolasku vode kroz magnetsko polje. Sličan je način obrade i pri prolasku medija kroz elektrostatičke filtre.

Sljedeća mogućnost je korištenje brodskih balastnih tankova za taloženje. Radi toga bi trebalo preinačiti cjevovode tako da se balastna voda može crpiti i s visokog i s niskog usisa. Balast usisan s visokog usisa lakše je obraditi, dok se na oceanu talog može ispumpavati niskim usisom.

3.1.2.2. Isplutavanje - flotacija *Floating*

Proces isplutavanja temelji se na ubrizgavanju malih mjehurića zraka pri ulasku vode u tank za separaciju. Treba koristiti kemikaliju za zgrušavanje pravih osobina tako da se mjehurići zraka vežu za zgrušane čestice i isplutaju na površinu tanka. Ovaj proces koristi se za obradu pitke vode i fekalija. Učinkovit je pri odstranjivanju algi. Ima značajnu

prednost u odnosu na proces taloženja jer je veća brzina separacije (15 m/h i više), a zahtijeva i manju površinu tanka. Za obradu 4000 m³/h morske vode površina tanka bi trebala iznositi $4000 / 15 = 266.7$ m², što odgovara tanku u dvodnu površine 15 x 20 metara.

Međutim, zbog smještaja cjevovoda i opreme za proizvodnju mjehurića zraka za ubrizgavanje u vodu, potreba za prostorom se udvostručava.

Glavno ograničenje za primjenu ovog postrojenja na brodu je zamućivanje površine tekućine tj. slobodnih površina tanka. Talozenje, sedimentacija i isplutavanje (flotacija) su vrlo učinkoviti procesi obrade reda veličine od oko 1% od ukupnog protoka morske vode. To bi za korišteni primjer od 4000 m³/h bilo: $4000 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.01 = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ taloga.

3.1.2.3. Centrifugiranje *Centrifuging*

Primjenom centrifugalne sile ubrzavaju se procesi sedimentacije na način da se stvara veća gravitacija odnosno veća razlika među fazama. Uređaji koji rade na tom principu su centrifugalni separatori i hidro-cikloni. Međutim, razlika u gustoćama morske vode i morskih organizama je vrlo mala, a organizmi su dobro raspršeni u vodi, tako da se ovakvi sustavi mogu koristiti samo uz upotrebu dodatnih sredstava za zgrušavanje. Inače se centrifugiranje goriva i ulja na brodovima odvija prilično sporo (veličine 3 do 5 m³/h, odnosno oko tisuću puta sporije od brzine potrebne za pročišćavanje balasta).

3.1.3. Pročišćavanje *Purifying*

Tablica 4. prikazuje raspon veličina otvora za različite vrste filtara i pročišćivača u milimetrima. Pod pojmom pročišćavanje podrazumijeva se prolaženje vode kroz medij koji zadržava raspršene čestice. Medij za pročišćavanje je obično zrnat, kao što su pijesak, šljunak, antracit (visoko kvalitetni kameni ugljen) čija veličina zrna varira od 0,2 do 25 mm.

Posljednja dostignuća u pročišćavanju uključuju kao medij za pročišćavanje i membrane različite poroznosti.

Tablica 4. Veličine otvora raznih vrsti filtara i pročišćivača

Table 4. Meshsize of various filters and purifiers

Proces pročišćavanja:	10 ⁻⁶ m
anti-osmozno	0 do 0,002
nano-pročišćavanje	0,002 do 0,005
ultra- pročišćavanje	0,004 do 0,2
mikro- pročišćavanje	0,007 do 10
granularno- pročišćavanje	1,1 do >1000
mikro-filtracija	10 do >1000

3.1.3.1. Granularna filtracija *Granular filtering*

Granularna filtracija je pročišćavanje prolaskom onečišćene vode kroz zrnati medij. Koristi se za pročišćavanje pitke vode i otpadnih voda već više od jednog stoljeća tako da su osobine tog pročišćavanja uglavnom dobro poznate. Iako se zrnati filtri koriste kao obični filtri, što je slučaj s mnogim filterima za pročišćavanje vode u sportsko-rekreativnim bazenima, njihov rad je mnogo učinkovitiji ako se upotrebljavaju u kombinaciji sa sredstvom za zgrušavanje, kao što je slučaj pri obradi pitke vode. Sredstvo za zgrušavanje skuplja fino raspršene čestice u velike "pahuljice" koje se zatim zadržavaju na zrnatom filteru. Sredstvo za zgrušavanje obično je metalna sol, kao što je aluminijev sulfat i željezni sulfat.

Nedostatak je primjene sredstava za zgrušavanje to što ona mijenjaju pH vrijednost vode. To zahtijeva dodatnu kemijsku obradu da bi se vrijednost pH vratila na vrijednost okolice u koju se morska voda ispušta (pH morske vode pH=8). Također, uporabom sredstava za zgrušavanje raste količina proizvedenih soli koje se talože u tankovima.

Zrnata filtracija rabi se također pri pročišćavanju emulzije ulja i vode.

Zrnati filter-pročišćivač može odstraniti do 90% virusa i do 99% cisti nekih praživotinja (USEPA, 1990).

Kroz zrnate filtre voda može prolaziti slobodnim padom u otvorenim tankovima i bazenima, ili biti stlačena u zatvoreni tank, što je naravno mogućnost primjenjiva na brodu. Radi uvida u prostor koji bi takva instalacija zahtijevala pri korištenju zrnatih filtara pod tlakom za obradu 4000 m³/h vode potrebna je veličina postrojenja od najmanje 20 m x 50 m. Zbog veličine postrojenja i cijene, zrnata filtracija nije praktična mogućnost ni za nove brodove. Međutim, učinkovitost tog pročišćavanja je velika, tako da ostaje dobro riješenje za kopnenu, odnosno lučku obradu.

Količina nečistoća koja ostaje na pročišćivaču ovisi o količini krutih tvari u vodi, količini sredstva za zgrušavanje koja je dodana pri obradi, te konstrukciji filtara, veličini zrna ili membrane (od 1 do 5 % što bi za navedeni primjer bilo $4000 \text{ m}^3/\text{h} \times (0,01 \text{ do } 0,05) = 40 \text{ do } 200 \text{ m}^3/\text{h}$). Očito je da je ovo najučinkovitiji proces.

3.1.3.2. Mikrofiltracija *Microfiltering*

Mikrofiltracija je nešto skuplji proces jer uključuje korištenje vlaknastih membrana veličine otvora od oko 0,2 mm. Membrane su složene u kartice koje tvore module. Imaju učinkovitost od 100 % za bakterije i viruse pri obradi fekalija, pa kemikalije nisu potrebne, osim za čišćenje membrana (Jacangelo et al 1991.).

Nedostaci mikrofiltracije su:

- početni troškovi ugradnje i troškovi održavanja su 50 do 100 % veći od troškova zrnate filtracije (trebali bi se snižavati s napretkom tehnologije)
- fino filtriranje treba prethoditi mikrofiltraciji jer veće čestice mogu lako oštetiti mikrofiltare
- prostor koji zauzima ovo postrojenje za 20 do 50 % veći je od onog pri zrnatoj filtraciji (trebao bi se snižavati s napretkom tehnologije)
- volumen ostataka je najmanje 5%.

Ovi nedostaci imaju veći učinak na obradu na brodu, nego na obradu u luci, odnosno na kopnu. Ostali membranski procesi pročišćavanja uključuju ultrafiltraciju i obrnuto osmozni proces. Veličina otvora ovako fine filtracije je 10 puta manja nego za membransku filtraciju. Veliki troškovi ugradnje, prostora te troškovi održavanja i energije za čišćenje membrane još uvijek ne narušavaju sveopću pozitivnu ocjenu postrojenja s obzirom na njegov superioran rad.

Ipak, preliminarnim razmatranjem postrojenje se ne čini prihvatljivim rješenjem za ugradnju na brodu, pa se stoga više neće razmatrati.

3.1.4. Toplinski proces *Heat process*

Dovoljnim zagrijavanjem balastne vode može se postići ugibanje svih morskih organizama. Radi uštede energije traži se minimalna temperatura na kojoj svi organizmi ugibaju. Još uvijek je dvojbeno želi li se postići ugibanje svih vrsta organizama ili samo onih koji predstavljaju prijetnju. Također, nije dovoljno precizno utvrđeno koji su to organizmi. Za početak, primjerena temperatura mogla bi biti oko 60°C, što je temperatura pasterizacije.

Iako će neki organizmi uginuti i na nižim temperaturama (npr. ciste otrovne vrste dinoflegata *Gymnodinium catenatum*) - na 45°C u vremenu od 30 sekundi (Bolch and Hallegraef, 1991), neki virusi još uvijek mogu preživjeti. Neki autori navode da je za ugibanje svih morskih organizama potrebna temperatura od najmanje 46°C, kojoj organizmi moraju biti izloženi najmanje 10 minuta.

Toplinska se obrada, za sada, ne smatra dovoljno učinkovitom metodom, ukoliko se primjenjuje za vrijeme putovanja koje je kraće od oko 6 dana. Stvarnim mjerenjima na brodu i dinamičkim modeliranjem vjerodostojnog sustava s rashladnicima, cjevovodom i tankovima, te regulacijom temperature, može se postići bolji uvid u primjenu metode. Učinkovitost sustava poboljšala bi se u kombinaciji s nekom od fizikalnih ili kemijskih metoda. Velika praktičnost ove metode je njezina učinkovitost, a iskoristila bi se otpadna toplina motora, što bi troškove postrojenja svelo na najmanju moguću mjeru. Osim toga, djelovalo bi se i na organizme koji čine talog u balastnim tankovima, a na koje je inače vrlo teško djelovati nekom drugom metodom, a koja ne predstavlja prijetnju konstruktivnim elementima koji se nalaze u balastnim tankovima. Metoda je vrlo prihvatljiva i s

ekološkog stajališta, jer ne zahtijeva upotrebu nikakvih kemijskih sredstava (biocida). Osim toga održavanje postrojenja je praktično i jeftino.

3.1.5. Radijacijski proces *Radiation process*

Elektromagnetsko zračenje koristi se za sterilizaciju različitih medija kao što su pitka voda, otpadne vode, taloga različitih pročišćivača i filtara kao i hrane u prehrambenoj industriji.

Duljina vala ovisi o primjeni:

- ultravioletno zračenje (200 - 280 nm)
- gama zračenje (< 0,1 nm)
- mikrovalno zračenje (0,1-1 cm)

Primjena gama zračenja i mikrovalova pri obradi otpadnih voda razmjerno je nova i ulaže se veliki trud za pasterizaciju taloga fekalija.

Ultraljubičasto (UV) zračenje odavno se koristi na brodovima za uništavanje bakterija i virusa. Ipak, njegova primjena u postrojenjima za obradu pitke i otpadnih voda i nije tako duga vijeka. Protok kroz UV bateriju mora biti razmjerno mali da bi sustav bio dovoljno učinkovit. Ako voda sadrži otopljene tvari učinkovitost UV dezinfekcije jako se smanjuje zbog apsorpcije i loma zraka. Zbog toga UV obradi mora prethoditi proces filtracije. Filtracijom će se ukloniti organizmi manje osjetljivi na UV zračenje, kao što su praživotinje i alge. Svrha UV zračenja je uništavanje virusa, bakterija, gljiva, tj. onih organizama koji se ne mogu filtrirati. UV postrojenje za obradu 4000 m³/h morske vode bilo bi razmjerno malih dimenzija, površine 10 m x 5 m. Glavna prednost UV zračenja je u tome što nakon obrade nema ostaka toksičnih spojeva. Ipak, UV zračenje može izazvati genetske promjene nižih organizama (npr. bakterija).

Zbog toga UV proces i dalje ostaje izbor obrade balastnih voda u kombinaciji s nekim drugim načinom obrade.

3.1.6. Adsorpcija *Adsorption*

Adsorpcija nije tehnologija primjerena usmrćivanju i odstranjivanju morskih organizama. Međutim, ipak omogućuje uklanjanje toksičnih spojeva iz balastnih voda u slučaju iznimno visoke koncentracije otrova. Uobičajena tvar koja se koristi za adsorpciju je aktivni ugljen u prahu ili zrnu.

3.1.7. Zaključak o fizikalnim procesima *Conclusion about physical processes*

- filtri zahtijevaju malo prostora zbog čega su pogodni za obradu balastne vode na brodu; međutim, sami imaju malu učinkovitost
- taloženje i isplutavanje su razmjerno jednostavani procesi, ali zahtijevaju prilično prostora i nisu u potpunosti učinkoviti za neke morske organizme
- pročišćavanje je vrlo učinkovit proces, ali zbog prostornih ograničenja zasad se preporučuje samo za obradu u luci, odnosno na kopnu

- obrada otpadnom toplinom motora s ili bez iskorištavanja otpadne topline ispušnih plinova, zasad je skupa metoda jer bi trebalo dovoditi dodatnu toplinu za vrijeme obrade u plovidbi; međutim, pretpostavlja se da bi daljna analiza mogla pokazati bolje rezultate

- UV zračenje je učinkovito u kombinaciji s filtriranjem

3.2. Kemijska obrada balastnih voda *Chemical treatment of ballast waters*

3.2.1. Biocidi *Biocides*

3.2.1.1. Dezinfekcija i način djelovanja *Disinfection and effects*

Za biocide se može reći da su to organski spojevi ili smjese spojeva koje mogu zaustaviti rast i izazvati smrt živih organizama. Anorganski biocidi kao što je klor, djeluju oksidativno, tj. živim organizama oduzimaju kisik. Organski biocidi djeluju oksidativno ili toksično.

3.2.1.2. Ograničenja pri uporabi biocida *Restrictions in applying biocides*

Ograničenja pri uporabi anorganskih biocida za vrijeme krcanja balasta ili za vrijeme putovanja su sljedeća:

1. Bez prethodne filtracije, odnosno pročišćavanja, uginuli morski organizmi taložiti će se u tankovima. Budući da biocidi djeluju oksidativno i ograničeno prodiru u talog, on će poslužiti kao zaštitni sloj mikroorganizmima. Zbog toga se učinkovitost djelovanja biocida smanjuje, što povećava njihovu potrebnu količinu.
2. Biocidi mogu biti korozivni, što uvelike povećava troškove održavanja.
3. Neki nusproizvodi su uvijek prisutni. Za neke nusproizvode ozona nije ustanovljeno da su štetni u količinama u kojima su proizvedeni, dok su nusproizvodi klora karcinogeni. Ako procesu obrade klorom ne prethodi filtracija, taloženje organizama u tankovima omogućava njihov opstanak, zbog čega bi trebalo postupno povećavati količine klora.
4. Neke vrste ili oblici organizama, kao što su praživotinje, ciste dinoflagelata i različite spore, mogu biti izrazito otporne na biocide.
5. Potreba skladištenja biocida na brodu povećava rizike i ugrožava sigurnost.
6. U slučaju nenamjernog ispuštanja obrađene balastne vode povećava se rizik onečišćenja pa bi nakon završetka tretiranja, biocide nužno trebalo deaktivirati.
7. Pri uporabi velikih doza biocida znatno se povećavaju troškovi broda.

Pri uporabi organskih biocida javljaju se slična ograničenja i problemi. Međutim, ograničenje pod brojem 1. predstavlja nešto manji problem. Također, nema ograničenja pod rednim brojem 2, odnosno organski biocidi nisu korozivni. Troškovi su redovito nešto veći ili jednaki troškovima pri korištenju anorganskih biocida. S obzirom na opisana ograničenja, obrada biocidima na brodu ne čini se dovoljno učinkovito. Međutim, biocidi se mogu dobro primijeniti u lučkoj odnosno kopnenoj obradi jer imaju sljedeće prednosti:

- potrebne su manje količine biocida zbog učinkovite predobrade zbog čega se smanjuju rizici stvaranja nusproizvoda i troškovi obrade

- uklanjanjem organizama otpornih na biocide povećava se njihov učinak

- kontrola biocida, centralizirano skladištenje i nadgledanje znatno smanjuju rizik od onečišćenja.

Biocidi se, dakle, zasad ne smatraju prikladnim rješenjem za obradu na brodu, dok su i dalje dobro rješenje za obradu u luci, odnosno na kopnu.

3.2.1.3. Klor *Chlorine*

Klor je vjerojatno najčešće korišteni biocid, ponajviše zbog svoje niske cijene. Može se dodati vodi u različitim oblicima, kao što su plinoviti elementarni klor, tekući natrijev hipoklorit ili kalcijev hipoklorit u prahu ili tabletama. Rezultati istraživanja CSIRO-a ukazuju da je razvijanje cista dinoflagelata *Gymnodinium catenatum* smanjeno za 90% nakon izlaganja koncentraciji klora od 100 mg/dm³ tijekom 24 sata. Klor koncentracije 500 mg/dm³ bio je učinkovit do stopostotne inaktivacije cista (Bolch i Hallegraef, 1991). Zbog potrebe velike količine klora, povećavaju se troškovi kao i ekološki rizici pri ispuštanju balasta. Međutim, klor se ipak može koristiti u malim koncentracijama od 5 mg/dm³ da bi poboljšao dezinfekciju balastne vode koja je prethodno obrađena nekom od fizikalnih metoda.

U mnogim postrojenjima koja rade s velikim količinama vode, postrojenjima za obradu otpadnih voda i rashladnim sustavima koristi se plinoviti klor zbog svoje niske cijene. Međutim, iz ekoloških razloga, današnji je trend primjena nešto skupljeg natrij-hipoklorida.

Hipoklorid se može proizvoditi i na brodu iz morske vode. Klorirana voda koja sadrži veliki višak slobodnog klora nije pogodna za ispuštanje u luku. Zbog toga je potrebno riješiti problem deklorizacije, tj. vezati slobodni klor s nekim drugim elementom tako da tvori bezopasan spoj. Elementi koji mogu vezati klor su natrijev sulfid i sumporni dioksid, koji sa slobodnim klorom stvaraju kloride.

3.2.1.4. Ozon *Ozone*

Ozon je vrlo snažan oksidans. Često se koristi za dezinfekciju pitke vode ili vode u rashladnim sustavima toplinskih postrojenja. Također uklanja

miris, okus i boju vode za piće. Ozon O₃ je nestabilan plin koji se brzo raspada u kisik O₂. Pri temperaturi vode od 20°C, raspada se vrlo brzo, za manje od jednog sata. Zbog toga, ozon treba proizvoditi na postrojenju za obradu balastne vode (npr. na brodu), propuštajući zrak ili kisik kroz procjep pod visokim naponom. Zrak koji sadrži ozon potom se ubrizgava u balastnu vodu kroz sapnice.

Ozon je značajno učinkovitiji biocid od klora. Pokazano je da je do 100 puta učinkovitiji od klora pri deaktiviranju cisti praživotinja (USEPA, 1990). Veliki generatori ozona kakvi bi bili potrebni za obradu balastne vode i na najvećim brodovima dostupni su na tržištu.

Međutim, početni troškovi ulaganja su znatno veći nego za postrojenje za obradu klorom. Tako cijena postrojenja za proizvodnju 2 mg/dm³ ozona, pri protoku tretirane vode od 4000 m³/h navodno iznosi više od 2 milijuna dolara. Sustav za proizvodnju jednake količine klora iznosi manje od 250 000 dolara (AQUIS 1991).

3.2.1.5. Ostali anorganski biocidi *Some other inorganic biocides*

Anorganski biocidi koji se također mogu iskoristiti za obradu balastne vode su: vodikov peroksid, klor-dioksid, različiti spojevi klora (npr. kloramin), ostali halogeni (npr. brom). Klor-dioksid ne proizvodi značajne nusproizvode, osim otrovnih klorita i klorata. Vodikov peroksid je jaki oksidans i korišten je kao biocid. U koncentraciji 10 000 mg/dm³, potrebno je 24 sata za potpunu deaktivaciju cisti dinoflagelata (CSIRO-Bolch i Hallegraef, 1991). Zbog toga nije pogodan za samostalnu obradu već u kombinaciji s nekom drugom metodom, kao što je npr. filtriranje kojim bi se uklonile ciste, a vodikov peroksid bi u nižoj koncentraciji onesposobio viruse i bakterije. Raspada se u bezopasne nusproizvode, pa iako je znatno skuplji od klora (20 \$/1000 m³ balastne vode u koncentraciji od 5 mg/dm³), zbog svoje ekološke prihvatljivosti, ostaje mogućnost koju treba uzimati u obzir. Prihvatljiv spoj je i vodikov peroksid obogaćen srebrom. Tako obogaćenom vodikovom peroksidu znatno se produžava aktivni vijek trajanja. Nedostaci ovog biocida su prisustvo srebra kao elementa koji se može nataložiti u okolišu u koji se ispušta, kao i razmjerno visoka cijena proizvoda.

3.2.1.6. Organski biocidi *Organic biocides*

Organski biocidi se primjenjuju u naftnoj industriji i u sustavima za hlađenje. Njihov nedostatak je nedovoljno poznata učinkovitost u uklanjanju morskih organizama, kao i razmjerno visoka cijena. Pri raspadanju stvaraju otrovne nusproizvode. Aktivni organski biocidi ne smiju se ispustiti u okoliš bez prethodne neutralizacije njihove toksičnosti. Zbog nedovoljne ispitanosti djelovanja i visoke cijene, zasad se ne smatraju sredstvom obrade balastne vode koje bi trebalo dalje razmatrati.

3.2.2. Sredstva za zgrušavanje *Coagulation agents*

Sredstva za zgrušavanje dijelom su obrađena u poglavlju 3.1. To su ioni koji djeluju tako da koloidne čestice učine nestabilnima i omogućće nagomilavanje u veće čestice, koje onda imaju gustoću različitu od vode pa se izdvajaju gravitacijski - isplutaju ili padnu na dno.

Poznatija sredstva za zgrušavanje su:

- aluminijev sulfat
- željezni sulfat
- željezni klorid
- aluminijev klorid
- kationski polimeri

Sredstvo za zgrušavanje koje bi najbolje riješilo problem balastnih voda trebalo bi odrediti eksperimentalno, a potrebna količina sigurno bi bila velika. Sredstva za zgrušavanje mogu promijeniti pH vrijednost morske vode, pa bi trebalo dodavati lužinu koja bi vratila prirodnu vrijednost pH od 8. Tehnologija skladištenja i korištenja sredstava za zgrušavanje dobro je poznata i prilično učinkovita.

3.2.3. Deoksidacija *Deoxidation*

Kisik se oduzima iz vode dodavajući sumporov dioksid ili natrijev sulfid. Nedostatak kisika poguban je za organizme kao što su ribe, različite ličinke i aerobne bakterije, međutim, čini se neučinkovit protiv algi, cisti, spora, anaerobnih bakterija; a možda i virusa. Zbog toga se oduzimanje kisika iz vode ne smatra dovoljno učinkovitim načinom obrade.

3.2.4. Promjena pH *pH modification*

Neki su organizmi osjetljivi na promjenu pH vrijednosti. Pretpostavka se temelji na tome da bi na velike promjene pH vrijednosti trebali biti osjetljivi mnogi organizmi. Jedna od mogućnosti je privremeno podizanje pH vrijednosti do 12, dodavanjem lužine gašenog vapna Ca(OH)₂. Snižavanje vrijednosti pH ne razmatra se kao jedna od mogućnosti zbog problema korozije u kiseloj sredini (lakše dolazi do elektrokemijske korozije jer je kiselina bolji elektrolit od lužine). Međutim, s obzirom na koroziju, ni izloženost metala lužini nije dobro rješenje.

Učinkovitost visoke pH vrijednosti na morske organizme nije u potpunosti istražena. Ipak, novija istraživanja pokazuju da se rast cisti dinoflagelata nije zaustavio pri porastu pH vrijednosti s 2 na 10 (Bolch and Hallegraef, 1991). Bit će potrebna podrobnija ispitivanja da bi se ustanovila učinkovitost ovog postupka na ostale organizme kao i mogućnost daljnjeg povišenja pH. Visoka pH vrijednost pokazala se učinkovitom pri uništavanju virusa u otpadnim vodama (Sproul, 1980). Velika količina taloga koji ostaje nakon obrade je glavni nedostatak ove

metode. Međutim, taloženjem u bazenima ili tankovima ovaj se problem može riješiti, što ograničava primjenu opisane metode samo na kopnena postrojenja. Prije ispuštanja obrađene vode pH treba vratiti na normalnu vrijednost dodavanjem kiseline.

3.2.5. Mijenjanje saliniteta *Changing of salinity*

Promjena saliniteta uključuje povišenje ili sniženje slanosti morske vode radi usmrćivanja ili inaktivacije morskih organizama. Novija su istraživanja cisti dinoflagelata pokazala da je promjena slanosti vode vrlo neučinkovita. Samo ekstremno visoka slanost od 100 g/dm^3 spriječila je razvoj spomenute ciste (Bolch and Hallegraeff, 1991). Radi usporedbe, slanost estuarija i morske vode kreće se u rasponu od 5 g/dm^3 do 40 g/dm^3 , ovisno o lokaciji. Zbog toga se ova metoda može u potpunosti odbaciti.

3.2.6. Zaključak o kemijskim procesima *Conclusion on chemical processes*

- Mnoga ograničenja pri korištenju biocida za obradu balastne vode čine tu metodu nepraktičnom za obradu na brodu. Međutim, korištenje nekih biocida, ponajviše klora, ozona i vodikovog peroksida, može biti učinkovito u kombinaciji s filtriranjem.
- Sredstva za zgrušavanje bila bi potrebna pri gravitacijskoj obradi i pročišćavanju.
- Deoksidacija nije povoljna metoda jer je mnogi organizmi preživljavaju.
- Promjena pH na veliku vrijednost ($\text{pH}=12$) za inaktiviranje organizama, dodavanjem velikih količina gašenog vapna (Ca(OH)_2) u morsku vodu, povećava količinu taloga koju je potrebno ukloniti.
- Mijenjanje saliniteta daje vrlo slabe rezultate.

3.3. Odlaganje ostataka obrade - taloga *Disposal of sediment remnants*

3.3.1. Zgušnjavanje *Condensation*

Koncentracija tvrdih čestica koje se odstranjuju fizikalnim procesom varira od 0,1% za samočistivi filter do 1-3 % pri separaciji gravitacijom. Svrha zgušnjavanja je povećanje koncentracije krutih čestica u talogu filtra ili bilo kakvog drugog procesa separacije. Ovaj proces se razlikuje od odstranjivanja vode pri čemu se odvaja mnogo veća količina vode. Cilj zgušnjavanja je ponovno filtriranje, ili separacija u svrhu postizanja taloga s koncentracijom krutih tvari od maksimalno 5%, dok je za proces odstranjivanja vode karakterističan red veličine od 20%. Razrijedeni talog može biti zgusnut u taložnom tanku ili bazenu. Nakon ove obrade, uobičajena koncentracija krute tvari u talogu je oko 2 do 3%. Pri obradi taloga na kopnu ovim procesom može se postići koncentracija veća od 20% suhe

krute tvari u talogu. To zahtijeva taloženje u plitkim bazenima velikih površina.

3.3.2. Separiranje vode iz taloga *Dewatering*

Uobičajena količina suhe krute tvari u talogu nakon ovog procesa je oko 20%, ovisno o značajkama taloga i vrsti korištene opreme. Na kopnu taj će problem biti relativno lako rješiv, kako je već opisano. Međutim, prostorna ograničenja na brodu zahtijevaju uporabu preša, vakuumskih filtara i centrifugalnih separatora.

3.3.2.1. Filtarske preše *Filter presses*

Filtarske preše separiraju vodu tako da komprimiraju talog između elemenata filtara. Postiže se količina suhe krute tvari od oko 30 do 40%.

3.3.2.2. Preše s remenima *Belt presses*

Preše s remenima rade kontinuirano jer se bez prestanka dovodi novi talog preko "hranitelja" koji se preša između traka konvejera, koje pokreće serija valjaka. Ostvarena količina suhe krute tvari je niža od 20%.

3.3.2.3. Vakuumski filtri *Vacuum filters*

Rade na načelu negativnog relativnog tlaka oko elementa filtra. Glavna prednost je kontinuiran rad. Tri su osnovne izvedbe vakuumskih filtara: bačvasti, tanjurasti i s horizontalnim elementima filtra.

3.3.2.4. Centrifugalni separatori *Centrifugal separators*

Centrifugalni separatori odvajaju talog od vode, povećavajući gravitaciju korištenjem centrifugalne sile. Ubrzanje iznosi $a = \omega^2 \cdot r$ i povećava se s kvadratom kutne brzine, zbog čega ovi uređaji rade s brojem okretaja većim od 10 000 okretaja u minuti. Centrifugalni separatori zahtijevaju veću energiju i bolje održavanje od ostalih uređaja, ali zauzimaju manje mjesta.

3.3.3. Dezinfekcija *Desinfection*

Svrha dezinfekcije isušenog taloga je inaktivirati sve morske organizme tako da se ispušta talog u kojem nema živih organizama.

3.3.3.1. Dezinfekcija gašenim vapnom *Desinfection by slack lime*

Ovaj proces je jednostavan i razmjerno jeftin. Gašeno vapno miješa se s talogom da bi se povećala lužnatost na $\text{pH}=12$ ili više. Ako se tako visoka pH vrijednost zadrži najmanje 2 sata,

učinkovitost metode je velika. Nakon toga trebalo bi pristupiti smanjenju pH vrijednosti taloga do prirodne vrijednosti dodavanjem kiseline. Zasad nema dovoljno podataka o učinkovitosti ove metode, ali je logično očekivati njezinu veliku učinkovitost, pogotovo u odnosu na bakterije

3.3.3.2. Toplinska dezinfekcija *Heat disinfection*

Podrazumijeva grijanje taloga dok svi organizmi ne uginu ili prestanu biti aktivni.

Konvencionalni kotlovi tome mogu poslužiti. Međutim, lako bi se moglo iskoristiti otpadnu toplinu iz motora: sustavi vode, zraka, ulja, i ispušnih plinova. Ovaj proces ima vrlo visoku učinkovitost, pa ako se talog ne isušuje i ne spaljuje u inceneratoru ili kotlu, toplinska bi dezinfekcija trebala biti pravom metodom obrade taloga.

3.3.3.3. Mikrovalna pasterizacija *Microwave pasteurization*

Razmjerno je nova tehnologija razvijena u Australiji, čija je svha uništavanje patogenih organizama u talogu fekalija. Zgusnuti talog koncentracije suhe krute tvari od 20 do 25% prolazi kroz mikrovalno polje pri povišenom tlaku i temperaturi (4,5 bar i 80°C). Za učinkovito usmrćivanje organizama talog se zadržava oko 5 minuta u mikrovalnom polju. Ovaj se proces lako može primijeniti za dezinfekciju taloga balasta. Međutim, zasad primjenu ograničavaju troškovi ulaganja i troškovi održavanja.

3.3.3.4. Gama zračenje *Gamma rays*

Ova zračenja vrlo duboko prodiru u materijal te mogu prodrijeti i do nekoliko centimetara u olovo. Koriste se za sterilizaciju taloga fekalija te bolničkog otpada. Cijena ovog postupka je visoka tako da daljnja analiza nema svrhe.

3.3.3.5. Raspadanje taloga *Decomposition of sediment*

To je proces u kojem organski materijal prolazi biološku degradaciju. Raspadanje se odvija pri temperaturi od 50 do 60°C, pa je proizvod raspadanja pasteriziran. Proces je pogodan ako je sadržaj organizama u talogu velik u odnosu na sadržaj pijeska i mulja. Kako balastna voda uvijek sadrži stanovite količine mulja i pijeska, proces se ne čini dovoljno pouzdanim.

3.3.4. Odlaganje taloga *Disposal of sediment*

Najbolji način odlaganja ovisi o količini i značajkama preostalog taloga.

Količina preostalog taloga kreće se u rasponu od 5 do 50 mg/dm³. Za brod za prijevoz rasutog tereta nosivosti 140 000 dwt, koji nosi balast od 45 000

tona, količina taloga kreće se između 200 i 2000 kg suhe čvrste tvari ili oko 1 do 10 m³ taloga sa sadržajem suhe čvrste tvari od 20%.

3.3.4.1. Odlaganje na kopno *Ashore disposal of sediment*

Talog bi trebalo prihvatiti posebno kopneno postrojenje za obradu, pa bi ga se moglo iskoristiti kao agrarno gnojivo. Međutim, visok sadržaj soli koji će biti u talogu, ograničava njegovu korisnu primjenu, pa stoga o tome treba voditi računa.

3.3.4.2. Odlaganje u more *Sediment disposal into the sea*

Odlaganje u more podrazumijeva ispuštanje određenih količina taloga za vrijeme plovidbe preko oceana. Tu bi mogućnost imali samo prekooceanski brodovi. Kako bi se otklonile opasnosti od onečišćenja morskog okoliša, količina i sastav taloga koji se smije ispuštiti treba biti propisom određen. Prilikom filtracije balasta za vrijeme krcanja, preostali talog može se ispuštiti u okoliš iz kojeg je i uzet.

3.3.4.3. Spaljivanje *Burning up*

Preostali talog se može spaliti u pomoćnom kotlu ili inceneratoru. Najbolje bi bilo da se ugradi posebni incenerator za spaljivanje taloga balasta. Prilikom spaljivanja prethodna dezinfekcija taloga balasta nije potrebna.

3.3.5. Zaključak o procesima obrade i odlaganja taloga *Conclusion on treatment processes and the disposal about sediment*

Talog balasta preostao nakon filtriranja varira, s obzirom na koncentracije suhe čvrste tvari u rasponu od 0,1 do 3 %. Pri procesima filtracije zasigurno će trebati odstraniti vodu iz taloga da bi volumen kojeg treba obraditi, skladištiti i odlagati postao manji.

4. Zaključak *Conclusion*

Radi odabira najprikladnijih metoda obrade balastne vode u cilju detaljnije razrade i istraživanja problema prijenosa morskih organizama balastnim vodama, opisane su zasad poznate tehnološke mogućnosti. Neke su odmah odbačene dok će neke trebati nastaviti istraživati. Također, mogućnosti koje nisu prihvatljive sad mogu to postati za nekoliko godina. Konačni je cilj iznalazak najučinkovitije metode. Ovo istraživanje upućuje na zaključak da su najizglednije metode obrade balastne vode one na brodu. Pritom je potrebno što bolje iskoristiti resurse broda, kao što je slučaj pri odabiru toplinske metode. Također, propisi kojima bi se zahtijevala obrada balasta vjerojatno će biti doneseni tek kad se

pronađe najpovoljnije rješenje. Stoga, problem balastnih voda treba rješavati za sve vrste trgovačkih brodova u ovisnosti o njihovoj veličini i potrebnoj količini balasta.

Dosadašnja istraživanja upućuju na to da bi se učinkovito rješenje sprječavanja unosa nedomicilnih vrsta u novi okoliš putem brodskih balastnih voda moglo postići tretiranjem balastne vode na brodu kombinacijom dviju ili više metoda.

Literatura

Bibliography

- [1] Australian Quarantine and Inspection Service (AQIS). 1992. Management of the Discharge of Ballast Water Containing Harmful Marine Organisms. Marine Environment Protection Committee, 33rd Session
- [2] Bolch C.J. and G.M. Hallegraef (1993) Chemical and physical treatment options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water. *J. Marine Env. Engg.* 1:23-29.
- [3] Burkholder, J.M., H.B. Glasgow & C.W. Hobbs. 1995. Fish Kills Linked to a Toxic Ambush-Predator Dinoflagellate: Distribution and Environmental Conditions. *Marine Ecology Progress Series* 124:43-61.
- [4] Carlton J.T. and J.B. Geller (1993) Ecological roulette - the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science* 261(5117):78-82.
- [5] Carlton J.T. (1985) Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: The biology of ballast water. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 23: 313-371.
- [6] Carlton J.T. (1994) Biological invasions and biodiversity in the sea: The ecological and human impacts of nonindigenous marine and estuarine organisms. In: Proceedings of the conference & workshop on nonindigenous estuarine and marine organisms (NEMO) Seattle, Washington, April 1993, 5-11. National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce.
- [7] Chu K.H., P.F. Tam, C.H. Fung and Q.C. Chen (1997) A biological survey of ballast water in container ships entering Hong Kong. *Hydrobiologia* 352: 201-206.
- [8] Hallegraef G.M. and C.J. Bolch (1991) Transport of toxic dinoflagellate cysts via ships' ballast water. *Marine pollution Bulletin* 22(1): 37-30.
- [9] Hallegraef G.M., C.J. Bolch, J. Bryan and B. Koerbin (1990) Microalgal spores in ships' ballast water: a danger to aquaculture. In Graneli, E et al. (eds), *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier, New York, pp.475-480.
- [10] Hallegraef G.M., J.P. Valentine, J.A. Marshall and C.J. Bolch (1997) Temperature tolerances of toxic dinoflagellate cysts: application to the treatment of ships' ballast water. *Aquatic Ecology* 31:47-52.
- [11] Hamer JP, McCollin TA, Lucas AN (1998) Viability of decapod larvae in ships' ballast water. *Marine Pollution Bulletin* 36(8): 646-647.
- [12] McCarthy S.A. and F.M. Khambaty (1994) International dissemination of epidemic *Vibrio cholerae* by cargo ship ballast and other nonpotable waters. *Applied and environmental microbiology* 60(7):2597-2601.
- [13] McCharty, S.A. & F.M. Khambaty. 1994. International Dissemination of Epidemic *Vibrio cholerae* by Cargo Ship Ballast Water and Other Nonpotable Waters. *Applied and Environmental Microbiology* 60(7):2597-2601.
- [14] Medcof J.C. (1975) Living marine animals in a ship's ballast water. *Proc. Natnl. Shellfisheries assoc* 65: 11-12.
- [15] Oemcke D.J. and J.H. van Leeuwen (1998) Chemical and physical characteristics of ballast water: implications for treatment processes and sampling methods. CRC REEF RESEARCH Technical report No 23.
- [16] Oemcke, D. & J. van Leeuwen. 1998. Chemical and Physical Characteristics of Ballast Water: Implications for Treatment Processes and Sampling Methods. CRC Reef Research Technical Report No. 23.
- [17] Oemcke, D. 1999. The Treatment of Ships' Ballast Water. *Ecoports Monograph Series No. 18*. Ports Corporation of Queensland, Brisbane.
- [18] Rigby G. and G. Hallegraef (1994) The transfer and control of harmful marine organisms in shipping ballast water: Behaviour of marine plankton and ballast water exchange trials on the MV "Iron Whyalla". *J. Marine Env. Engg.* 1:91-110.
- [19] Roberts R. (1990) Zebra mussel invasions threatens US Waters. *Science*, 249:1370-1372
- [20] Thompson Clarke Shipping Pty Ltd in association with Gutteridge Haskins & Davey Pty Ltd and Lloyd Register of Shipping. 1993. Ballast Water Management Study. AQIS. Report No. 4
- [21] Vinogradov M. Ye, E.A. Shushkina, E.I. Musayeva and P. Yu Sorokin (1989) A newly acclimated species in the Black sea: the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora: Lobata). *Oceanology*, 29(2):220-224.

Rukopis primljen: 14.2.2001.

