

RAŠČLAMBA ŠTETNOG DJELOVANJA BRODA NA MORSKI OKOLIŠ

Analyzing Ship's Harmful Effects on Marine Environment

UDK 504: 629.5
Pregledni članak
Review

Sažetak

Kontinuirano onečišćivanje s brodova znatno je veće od onoga izazvanog incidentima, i tu se moraju tražiti učinkovita smanjenja količine onečišćivača iz brodskih sustava. Uvodi se raščlamba štetnog djelovanja brodova na morski okoliš, to jest zrak, vodu i obalu, te se analiziraju štetni učinci. Prepoznaju se osnovni načini štetnog djelovanja kroz ispuštanje štetnih tvari, kao što su: sve vrste brodskih tereta u različitim agregatnim stanjima, ispuštena toplina, vodeni balast, buka i fizičko uništavanje morskih organizama brodskim trupom.

Ključne riječi: štetno djelovanje, brod, okoliš.

Summary

Continued ships' contamination is considerably bigger than that caused by incidents and there must be insisted on efficient reductions of contaminated amounts and ship's systems. Analyzing ships' harmful effects on marine environment, i.e. air, water and coast has been introduced and harmful effects have been studied. There have been identified the basic ways of harmful effects such as releasing all kinds of ship's cargo in various states of matts, emitted heat, ballast water, noise and physical destruction of aquatic organisms with ship's hull.

Key words: harmful effect, ship, environment.

1. Uvod

Introduction

Brodski okoliš, a to su prvenstveno voda i zrak, izložen je vrlo intenzivnim ekološki štetnim utjecajima s brodova. Voda kojom brod plovi pruža otpor gibanju i u

graničnom sloju svi organizmi koji su na udaru trupa bivaju ugroženi. Brodski vijak svojim djelovanjem također fizički uništava sve što dođe u međulopatični prostor. Buka (vibracije) koju razvijaju vijak i energetska postrojenja svojom frekvencijom i intenzitetom, štetno djeluju na mnoge morske organizme. Biocidna prevlaka podvodnog dijela trupa kontinuirano ispušta otrov kojim uništava organizme uz brodski trup.

Suvremena energetska postrojenja imaju još uvijek relativno slab stupanj korisnog djelovanja. Dizelmotorni pogon koji prednjači po djelotvornosti pretvara jedva nešto više od 50% toplinske energije u mehanički rad. Golema količina toplinske energije ide u vodu preko rashladnoga sustava i u zrak preko ispušnih i dimnih plinova. Ta energija kontinuirano povećava entropiju oceana i atmosfere. Ispušni i dimni plinovi obiluju štetnim sastojcima pogubnima za ozonski omotač i promjenu klimatskih uvjeta na Zemlji. U vodu istodobno s brodova dospijevaju zauljena kaljužna voda, različiti kruti otpad, crna i siva voda koja potječe od putnika i posade i slično.

Tisuće vrsta sipkih, tekućih i ostalih tereta prevoze se morem, i broj im se svakodnevno povećava, iako se smatra da ih više od 50% ima izrazito štetan učinak na okoliš. Dio tih tereta dospijeva u more lošim rukovanjem, zbog oštećenja trupa i pranjem tankova, dok dio tereta sklonih isparivanju ventiliranjem tankova stiže u zrak. U nedostatku dovoljne količine tereta, brod se ponekad puni balastnom vodom, koja mu daje potreban stabilitet. Ispuštanjem balastne vode neki morski organizmi dospijevaju u akvatorije u kojima nemaju prirodnih neprijatelja. U takvim okolnostima šire se geometrijskom progresijom i ugrožavaju domicilne vrste.

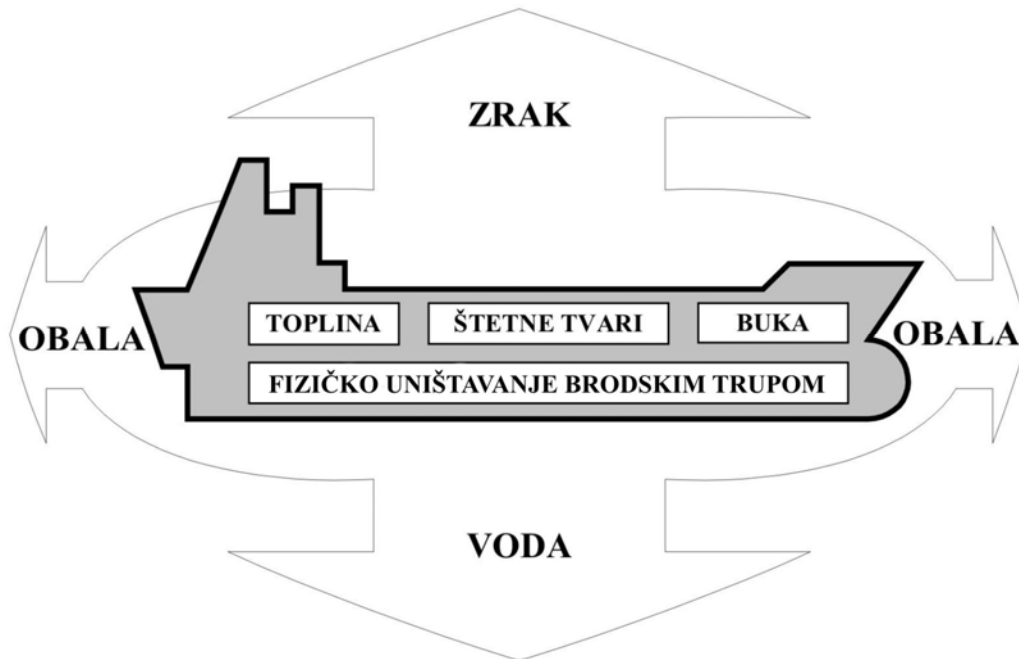
*mr. sc. Željko Kurtela, Sveučilište u Dubrovniku
**dr. sc. Vedran Jelavić, Sveučilište u Dubrovniku

2. Pregled štetnog utjecaja broda

Review of ship's harmful effects

Brodski okoliš, to jest voda, zrak i obala, izložen je različitim štetnim utjecajima s brodova. Ekološki najrizičniji učinak uzrokuju štetne tvari (žive i nežive) koje se ispuštaju s brodova, pa toplina, buka i fizičko uništavanje flore i faune brodskim trupom ili različitom brodskom opremom (slika 1.).

nošeni vodenom strujom i vjetrom, ugroziti i područja udaljena od mjesta izljeva. Brodovi za prijevoz tekućeg tereta dijele se na tankere za prijevoz ukapljenog plina, kemikalija, nafte i ostalih tekućina. Analizirajući navedene skupine tankera u priloženoj tablici očito je da su prve tri ekološki najrizičnije, dok se u četvrtu ubrajaju tankeri za prijevoz manje škodljivih tekućina. Većina tekućih tereta sklona je isparivanju, poglavito ukapljeni plinovi, koji se uglavnom ispuštaju u atmosferu. Suhi tereti dijele se na rasute suhe terete i ostale suhe terete. Brodovi za prijevoz



Slika 1. Načini štetnog djelovanja broda na okoliš

Figure 1. Methods of ship's harmful effects on environment

Način štetnog utjecaja i intenzitet ekološki štetnog djelovanja ovise poglavito o vrsti broda. Prije analize štetnog utjecaja na okoliš potrebno je definirati brodove koji nose određeni ekološki rizik. Budući da nema podjele brodova prema ekološkom riziku, morat će se uzeti u razmatranje podjela po nekomu drugom ključu. Podjele kojima se pomorski analitičari najviše služe, baziraju se na vrsti tereta i području plovidbe za koju je brod registriran. Osnovna podjela brodova kojom će se koristiti u ovom radu, bit će ona za potrebe statističke analize Lloydova registra brodova, prikazana u tablici 1. Razlog je tomu činjenica da Lloydov registar ima najkompletnije statističke podatke i oni se ne odnose samo na brodove pod tim registrom nego na kompletnu svjetsku flotu brodova većih od 100 bruto-tona. Dostupni statistički podatci o strukturi svjetske flote i broju havarija iznimno su važni za procjenu rizičnosti pojedinih vrsta brodova, i zato je ovakav pristup opravdan.

Lloydov registar razlikuje dvije osnovne skupine brodova: za prijevoz tereta i za ostale različite potrebe. Brodovi za prijevoz tereta dijele se prema načinu skladištenja i manipulacije teretom. Glavni su tereti tekući, suhi i ostali.

Tekući tereti posebno su neugodni jer se izlivanjem u okoliš brzo šire, i plutajući na vodenoj površini mogu,

rasutog suhog tereta mogu se konstrukcijski prilagoditi i za prijevoz tekućih tereta, što se predvidjelo i u tablici 1. Rasuti tereti koji proizvode prašinu ekološki su opasni jer se pri manipulaciji rasipaju i, nošeni vjetrom, onečišćuju okoliš. Ostali suhi tereti većinom su kompaktni i ne dospijevaju u okoliš ako se njima pravilno manipulira. U ostale terete praktički ide sve ono za što se naplaćuje vozarina. Glavne su skupine čine generalni tereti, kontejneri, hladeni tereti, vozila, putnici i ostali suhi tereti. Neki generalni tereti mogu biti izrazito štetni za okoliš i zato zahtijevaju poseban oprez pri prijevozu i manipulaciji. Hladni tereti uglavnom su voće i povrće ili stoka odgovarajuće pripremljena u klaonicama. Takvi tereti sklone su naglom kvarenju i truljenju ako se prestanu hladiti, i nesavjesna posada ih tada obično baca u more, što je za okoliš vrlo nepovoljno. Živa stoka pri prijevozu proizvodi velike količine organskoga otpada, koji se ne procesira, nego ide neobrađen u more. Uz to, toksikološka opasnost od *kravljega ludila*, *slinavke* i sličnih bolesti danas je vrlo aktualna i zbog toga se prijevozu stoke pridaje posebna važnost. Putnici na trajektima i brodovima za krstarenja proizvode velike količine organskog i krutog otpada, koji se procesiraju, ali i neobrađeni ispuštaju u more.

Tablica 1. Podjela brodova za potrebe statističke analize Lloydova registra brodova
 Table 1. Ships classification for statistic analysis of Lloyd's Register of shipping

TERETNI BRODOVI	BRODOVI ZA RAZLIČITU UPOTREBU
TEKUĆI TERETI	RIBARSKI BRODOVI
UKAPLJENI PLINOVİ	RIBARICE
LNG LPG	KOĆE OSTALE RIBARICE
KEMIKALIJE	OSTALI RIBARSKI BRODOVI
KEMIJSKI TANKERI	PRERADA PRIJEVOZ POMOĆNI
KEMIJSKI / PRERAĐEV. NAFTE	PRIJEVOZ ŽIVE RIBE LOV TRAVE
NAFTA	TULJANOLOVCI KITOLOVCI
PRERAĐEVINE SIROVA NAFTA	OFFSHORE
OSTALE TEKUĆINE	BRODOVI ZA OPSKRBU
VODA BITUMEN VINO PIVO	OPSKRBNI OPSKRBNI/TEGLJAČI
BILJNA ULJA VOĆNI SOKOVI	OSTALI OFFSHORE
TALOG ULJA JESTIVA ULJA	POMOĆNI BUŠAČI RADNI
RIBLJA ULJA UGLJEN/ULJE	POLAGAČI CIJEVI ZA TESTIRANJE
LATEX TANKER MASTI	ZA PRERADU SIGURNOSNI
RASUTI SUHI TERETI	OSTALI ZA RAZL. UPOTREBU
RASUTI	TEGLJAČI/GURAČI
RASUTI RUDE	TEGLJAČ GURAČ
SUHI RASUTI / TEKUĆI	JARUŽALA
RASUTI / ULJA RUDE / ULJA	JARUŽALO JAR. S KONVEJEROM
RASUTI S VLASTITIM ISKRCAJ.	OSTALI
RASUTI S VLASTITIM ISKRCAJEM	KONVEJER DIZALICE ŠKOLSKI
OSTALI SUHI RASUTI	LEDOLOMCI KABELOPOLAGA
CEMENT DRVO UREA VAPNO	SAKUPLJA OTPADA PATROLNI
AGREGATE ALUMINIJ ŠEĆER	PROTUPOŽARNI USLUŽNI
PRAŠAK MULJ	ZA KONTR. ONEČIŠĆENJA JAHTE
OSTALI TERETI	TRAGANJE I SPAŠAVANJE RADNI
GENERALNI	SPAŠAVANJE SVJETIONIK PILOT
GENERALNI PALETE PALUB-TER	OPSKRBNI ŠKOLSKI JEDRENJACI
PUTNIČKI / GENERALNI	ČISTAČ TANKOVA BOLNICA
PUTNIČKI/GENERALNI	BEZ VLASTITOG POGONA
KONTEJNERSKI	ZA MANIPULACIJU CEMENTOM
KONTEJNERSKI PUTNIČKI/KONT.	ZA MANIPULACIJU NAFTOM
HLADENI	BARŽE PONTONI
HLADENI	
RO - RO	
RO-RO VOZILA LANDING	
KONTEJNERSKI/RO-RO	
PUTNIČKI / RO - RO	
PUTNIČKI/RO-RO PUTNIČKI/LAND	
PUTNIČKI	
PUTNIČKI PUTNIČKI ZA KRSTAR.	
OSTALI SUHI TERETI	
ŽIVA STOKA BARŽE TEŠKI	
NUKLEARNI LOG-TIPP PEARL	
KAMEN PULP	

Ostali brodovi koji su u tablici 1. klasificirani kao brodovi za različitu uporabu osnovne skupine jesu ribarski brodovi, *offshore*-plovila, jaružala, ostali brodovi za različitu upotrebu i brodovi bez vlastitog pogona. Veliki su ribarski brodovi posebno opasni jer izlovljavanjem ribljeg fonda izravno ugrožavaju ekosustave. Čišćenjem ribe i bacanjem jestivih iznutrica u more, naknadno se onečišćuje okoliš i narušava se hranidbeni lanac. Brodovi za posluživanje platforma pridonose zaštiti okoliša jer skupljaju otpad s platforma i pomažu pri sanaciji manjih onečišćenja. Sve vrste jaružala uništavaju život na morskom dnu i potpuno uklanjaju dijelove morskog dna. Produblivanjem priobalja mijenjaju brzinu i smjer prirodnog strujanja mora, što negativno utječe na ekosustave. Od ostalih brodova posebno su zanimljive jahte, i to jedrilice pogonjene samo na jedra, koje, ako nemaju biocidnu prevlaku, ekološki su najprihvatljiviji brodovi.

Svi brodovi ovisno o instaliranoj snazi i tipu energetskog postrojenja oslobađaju primjerenu toplinu i buku, koje odlaze u okoliš. Brodska toplina koju apsorbiraju

voda i zrak povisuje im temperaturu i štetno utječe na organizme koji u tom okolišu žive. Buka istodobno tjera one organizme koji su pokretni, dok statične organizme ugrožava ako su joj intenzitet i frekvencija neprihvatljivi.

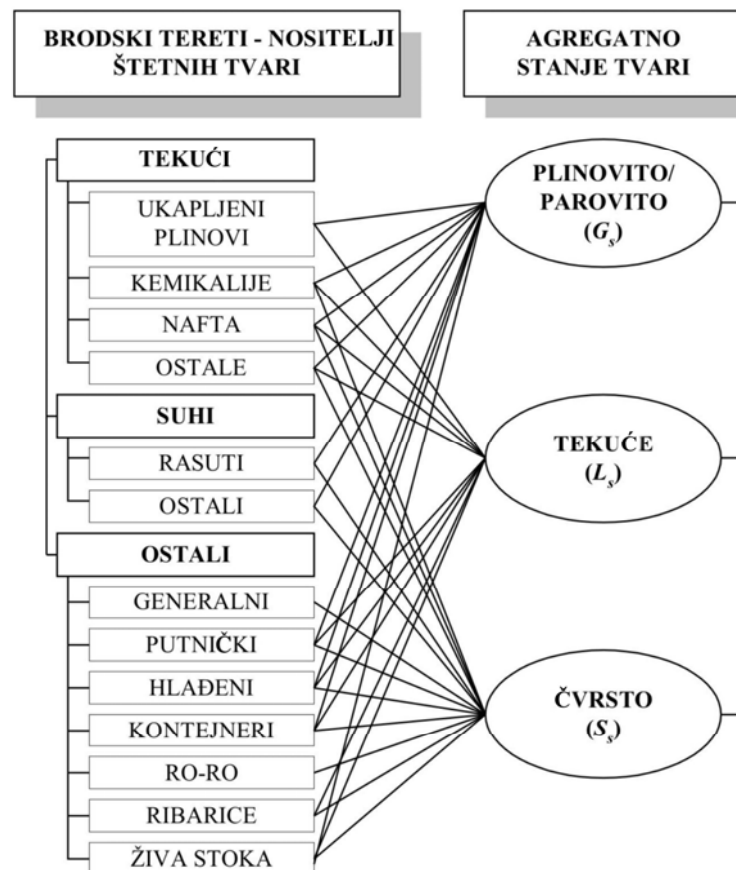
3. Štetne tvari

Harmful substances

Štetne tvari što se s brodova ispuštaju u okoliš, klasificiraju se prema vrijedećim propisima i uobičajenoj pomorskoj praksi na dva načina, i to prema podrijetlu (izvoru onečišćenja) i prema agregatnom stanju. Pri sustavnoj analizi potrebno je za štetne tvari promatrati paralelno podrijetlo nastanka (čime se dobiva kemijski sastav tvari) i agregatna stanja (čime se dobivaju fizikalna svojstva tvari). Na temelju Lloydove podjele brodova izrađena je tablica 2., u kojoj se podrijetlo štetne tvari može definirati samo prema vrsti tereta i namjeni broda.

Tablica 2. Štetne tvari sustava tereta prema podrijetlu i agregatnom stanju

Table 2. Harmful substances of cargo system according to the origin and states of matter



3.1. Štetne tvari koje se ispuštaju u more

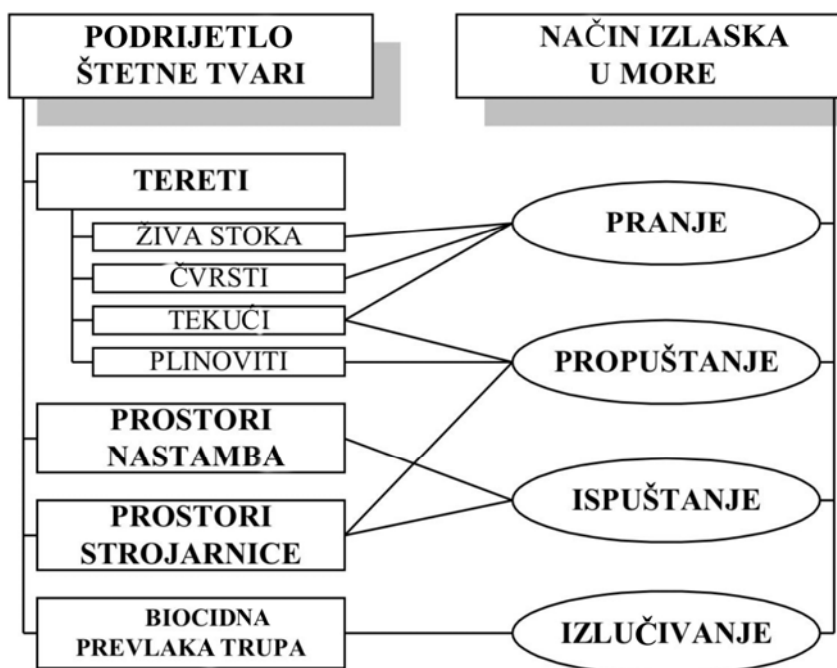
Harmful substances released into the sea

Štetne tvari s brodova na različite načine dopijevaju u more (tablica 3.). Ovisno o podrijetlu pojavljuju se u svim agregatnim stanjima. Najveća ih količina stiže u more pranjem prostora za teret. Propuštanje sustava za manipulaciju teretom i sustava brodske strojarne sljedeći

je uzrok onečišćenju. Ispuštanje zauljenih tvari strojarne i otpadnih voda nastamba tipično je za svaki brod i normirano je konvencijama. Najmanja količina štetnih tvari izlučuje se iz biocidnih prevlaka, ali su te tvari izrazito štetne za okoliš. Nakon disperzije u okolišu nakupine tvari često mijenjaju agregatna stanja i kemijski sastav. Obično se plinovi i pare kondenziraju, a tekućine i čvrste čestice djelomično isparuju.

Tablica 3. Štetne tvari prema podrijetlu i načinu dospjeća u more

Table 3. Harmful substances according to the origin and ways out into the sea



3.1.1. Tekući tereti

Liquid cargo

Povremeno se ispuštaju u more tekući tereti, obično nakon pranja spremnikâ, kao posljedica brodske havarije ili pogreške pri rukovanju teretom. Tekućine koje su izrazito štetne za okoliš, ako se izliju u velikoj količini, izazivaju ekološke katastrofe. Tekućine se u more izlijevaju ili izravno, kroz otvore koji se nalaze ispod vodne linije, ili dolaze preko zraka. Rasprostiranje

tekućine u vodi (slika 2.) najviše ovisi o gustoći (ρ), viskozitetu (ν), tlaku (p), brzini istjecanja (c), količini tekućine koja dotječe (m) i brzini broda (c_{BR}). Indeks TR predstavlja teret, dok indeks VO predstavlja vodu. Tekućine lakše od vode ($r_{TR} < r_{VO}$) ostaju na površini vode, dok teže tonu na dno ($r_{TR} > r_{VO}$). Slojevi viskoznijih tekućina duže ostaju povezani, pri čemu čine kompaktnu masu, dok se one manje viskozne lakše razdvajaju. Odnos faza tekućega onečišćivača i vode, u ovom je slučaju $L_s - L_s$ (tekućina – tekućina).

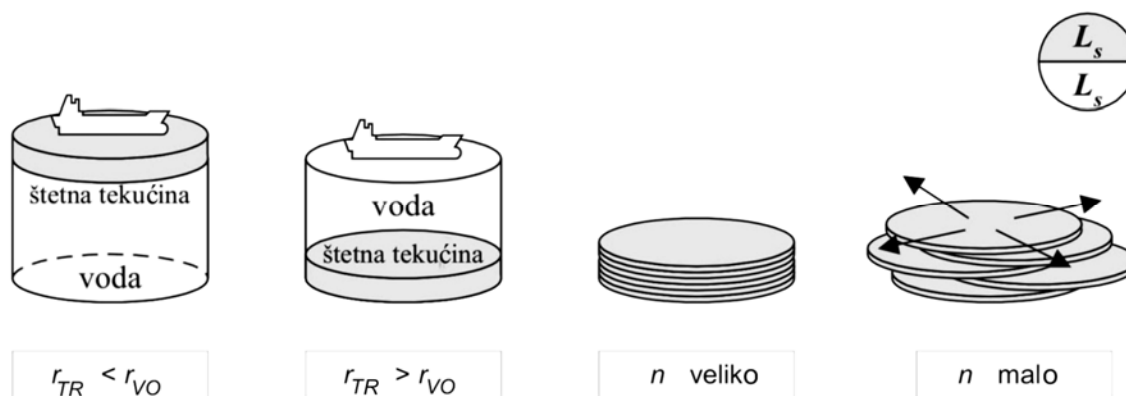
Slika 2. Onečišćenje vode tekućinom (faze $L_s - L_s$)

Figure 2. Water contamination with liquid

Veličina onečišćenja mora znatno ovisi i o vanjskim uvjetima, i to: temperaturi mora (T_{MO}), stanju mora (b_i), jakosti morskih struja (c_{MO}), koje, ako su jake, znatno pridonose širenju ugroženog područja (A). Ako se terminal tekućeg tereta nalazi na zaklonjenoj obali ispresijecanoj mnogobrojnim kanalima, onda je utjecaj morskih struja zanemariv i onečišćenje ostaje uz mjesto izljeva. Gustoća i viskozitet štetnih tekućih tereta znatno

ovise o temperaturi, zato posljedice izlijevanja mogu biti različite u hladnim ili toplim morima. Guste tekućine kao što je sirova nafta obično se griju tijekom pijevoza jer im je viskozitet na nižim temperaturama toliko velik da nemaju sposobnost tečenja. Takvi se tereti nakon izlijevanja u more zgušnjuju i tvore homogenu mrlju. Najteži dio ukupne mase tone, pri čemu izravno ugrožava organizme na samom dnu.

Od ostalih tekućih tereta štetnih za okoliš najrizičnije su kemikalije i tekući plinovi, pa oni podliježu posebnim propisima za rukovanje i zaštitu okoliša. IMO je klasificirao takve terete u kategorije od A do D, pri čemu je kategorija A najpogubnija za okoliš.

3.1.2. Sipki tereti

Dry bulk cargo

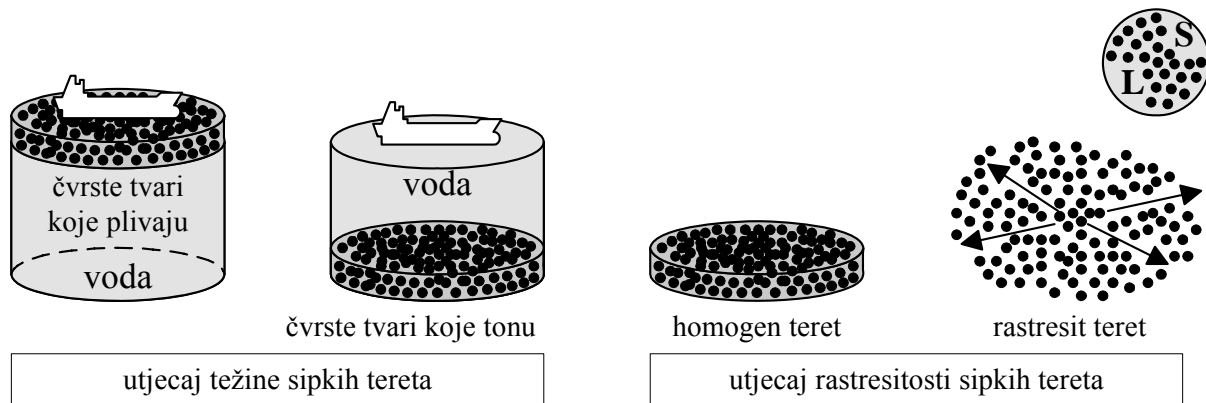
Sipki tereti dolaze u more slično kao i tekući - pri manipulaciji teretom ili kao posljedica brodske havarije. Za vrijeme iskrcaja sipkog tereta postoji mogućnost da se njegov dio prospe u more ili na obalu. Nakon iskrcaja i pranja skladišta morskom vodom, zaostali teret u skladištima ispušta se skupa s vodom za pranje van broda. Velika većina sipkih tereta nakon ispuštanja tone i taloži se na dnu. Akvatoriji terminala za sipke terete zato su na samom dnu potpuno prekriveni teretom kojim se manipulira. Sipki tereti koji plivaju na vodi (različiti prahovi) pomiču se nošeni vjetrom ili morskom strujom. Stupanj onečišćenja sipkim teretima ovisi i o rastresitosti

tereta u suhom i vlažnom stanju. Manje rastresite čestice tvorit će homogenu nakupinu koja će zauzimati manju površinu, dok će se rastresite čestice raspršiti na većoj površini (slika 3.).

Prašina suhoga sipkog tereta kojim se manipulira u otvorenim prostorima, može biti iznimno neugodna po vjetrovitom vremenu. Nošena vjetrom prašina u odgovarajućoj koncentraciji dospijeva u udaljene prostore i ugrožava okoliš bitno različit od onoga u kojemu je nastala.

Od ostalih onečišćivača mora posebno su štetni brodovi za ulov i preradu ribe. Velike količine ribljih iznutrica što s tih brodova dolaze u more ekološka su i toksikološka opasnost. Dio ih se apsorbira i uklanja prirodnim putem, dok ostatak dugo ostaje u tom akvatoriju.

Putnički brodovi u more odlažu velike količine nečiste vode („siva“ i „crna“ voda), koja bez obzira na organsko podrijetlo i sastav znači ekološku i toksikološku opasnost za okolno more.



Slika 3. Onečišćenje vode sipkim teretom (faze $L_s - S_s$)

Figure 3. Water contamination with dry bulk cargo

3.1.3. Biocidi

Biocides

Osnovna zaštita protiv obrastanja brodske trupa ispod vodne linije su biocidne prevlake. One se nanose dok je brod u doku i, nakon što se osuše, nisu ozbiljniji ekološki problem. Nakon porinuća broda, u dodiru s vodom biocidi se kontinuirano ispuštaju i uništavaju sve organizme koji se pokušavaju nastaniti na brodskom trupu. Učinkovitost prevlake ovisi o njezinoj otrovnosti i u tom se pitanju propisi o zaštiti okoliša kose s pravilima terotehnologije. Biocidi koji se ispuštaju u okoliš nisu otrovni samo za morski okoliš nego i za čovjeka. Najštetnije su biocidne prevlake koje sadržavaju spojeve na bazi kositra, pa su zabranjene za nanošenje i prodaju u nekim zemljama. Bez obzira na navedene zabrane, brodovi s takvim prevlakama još uvijek slobodno mogu uplovljavati u luke tih zemalja. Prema statistikama IMO-a procjenjuje se da 85% brodovlja svjetske flote ima biocidne prevlake na bazi kositra.

3.1.4. Vodeni balast

Ballast water

Balastna voda može sadržavati tekuće i čvrste nečistoće različitih sastava i žive ili uginule morske organizme. Nečistoće obično nisu veći onečišćivači jer se brod balastira relativno čistom vodom koja se usisava nekoliko metara ispod vodne linije. Morski organizmi mogu biti ekološki izrazito rizični kad se balastnom vodom prenesu u akvatorij u kojemu nisu domicilni. Takvi organizmi obično u novom akvatoriju nemaju prirodnih neprijatelja i zato se, ako prežive, razmnožavaju iznimno velikom brzinom. Ekspanzija novopridošlih organizama u priobalju uzrokuje velike štete jer se obično mogu ukloniti samo fizički. Brojčana dominacija očituje se na štetu domaćih organizama, od kojih neki postupno i izumiru. Drži se da svjetska pomorska flota godišnje prenese 12 milijarda tona balastne vode, dok se dnevno balastom preseljava 7.000 vrsta morskih organizama. Ekološki rizik balastne vode najprije se prepoznao uz obale Velikih jezera, Australije i Crnog mora, koje su zbog pojave

nedomicilnih vrsta pretrpjele veliku ekološku i materijalnu štetu.

3.1.5. Štetne tekućine iz brodske strojarnice

Harmful liquids int the engine - room

Talog koji se centrifugalnom separacijom uklanja iz brodskih goriva i ulja za podmazivanje, ima slično djelovanje na okoliš kao sirova nafta. Ispuštanje njega u more zato je strogo zabranjeno i kažnjivo. Brodska kaljužna voda također može sadržavati zauljene sastojke i druge nečistoće, te se smije kontrolirano ispuštati s broda samo u posebnim područjima plovidbe i uz propisano operativno stanje broda. Kemikalije kojima se tretira kotlovska voda, gorivo i ulje također se moraju nadzirati zbog eventualnoga štetnog djelovanja na okoliš. Različita sredstva za čišćenje, otapala i premazi kojima

se koristi pri održavanju, moraju se kontrolirati, i poželjno se koristiti ekološki prihvatljivim sredstvima. Rasolina rashladnih uređaja, pjenilo protupožarnih sustava i slični fluidi kojima se tipično manipulira u brodskoj strojarnici, obično su štetni za okoliš.

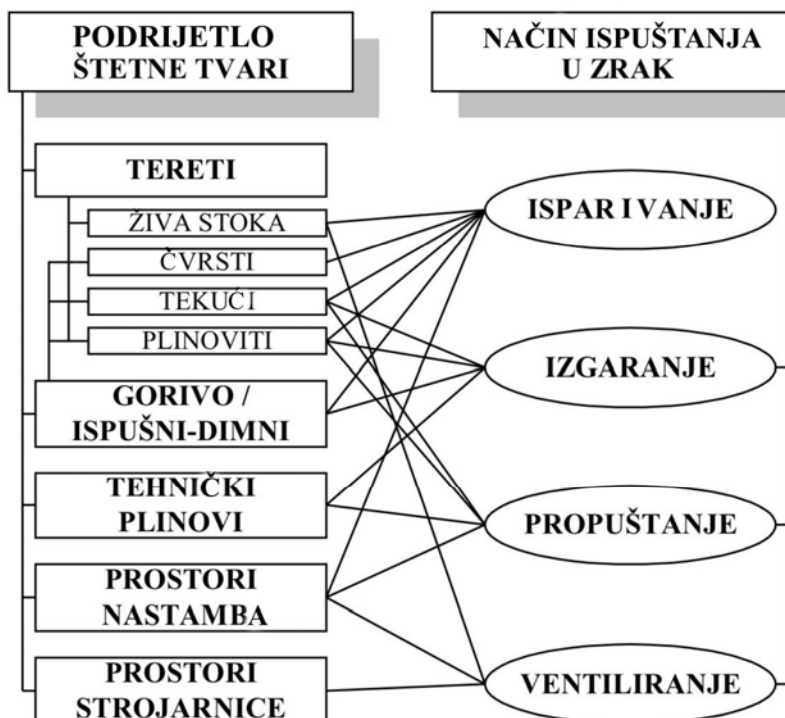
3.2. Štetne tvari koje se ispuštaju u zrak

Harmful substances released into the air

U zrak se s brodova ispuštaju plinovi i pare nastali kao posljedica izgaranja, isparivanja ili propuštanja različitih plinskih instalacija (tablica 4.). Djelovanje plinova može biti toksično, eksplozivno i štetno za sastav atmosfere (efekt staklenika, uništavanje ozonskog omotača itd.). Posljedice ispuštanja mogu biti izravne (neposredne onečišćenje) i neizravne (zapaljenje plinova i onečišćenje produktima izgaranja).

Tablica 4. Štetne tvari prema podrijetlu i načinu ispuštanja u zrak

Table 4. Harmful substances according to the origin and ways out into the air



Plinovita faza svih tereta koji se prevoze u spremnicima s otvorenim odušnicima, ispušta se u atmosferu. Tereti mogu biti čvrste tvari, tekućine ili ukapljeni plinovi. Količina plina ili pare koja se oslobađa iz spremnika ovisi o sklonosti tereta isparivanju i temperaturi. Ukapljeni plinovi prevoze se pothlađeni na vrlo niskim temperaturama (do $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$) i izrazito su skloni isparivanju. U toplim podnebljima gube oko 0,25% tereta dnevno, i taj se teret ispušta u atmosferu ili se koristi kao gorivom. Ispuštanjem u atmosferu onečišćenje je izravno, dok je izgaranjem u kotlu ili plinskoj turbini neizravno (preko dimnih plinova kotla). Ukapljeni plinovi ubrajaju se u opasne terete i pare/plinovi koje oslobađaju moraju biti pod nadzorom zbog mogućnosti eksplozije. Spremnici tekućih tereta štetni su za okoliš iz dva

razloga. Prvi, svakako su pare isparenog tereta, dok je drugi razlog inertni plin potreban radi smanjenja opasnosti od eksplozije koju bi mogla izazvati elektrostatička iskra. Inertni plin iznimno je toksičan, i na tankerskim terminalima strogo je propisano rukovanje njime zbog mogućnosti znatnijeg ispuštanja u okoliš. Pare tekućih tereta obično su zapaljive, ali i toksične, kao na primjer pare nekih kemikalija. Čvrsti tereti mogu ispuštati štetne pare ili plinove pa se oni ventiliraju izvan brodskih skladišta. Živa stoka također ispušta plinove vrlo neugodna mirisa pa se i oni smatraju štetnima za okoliš.

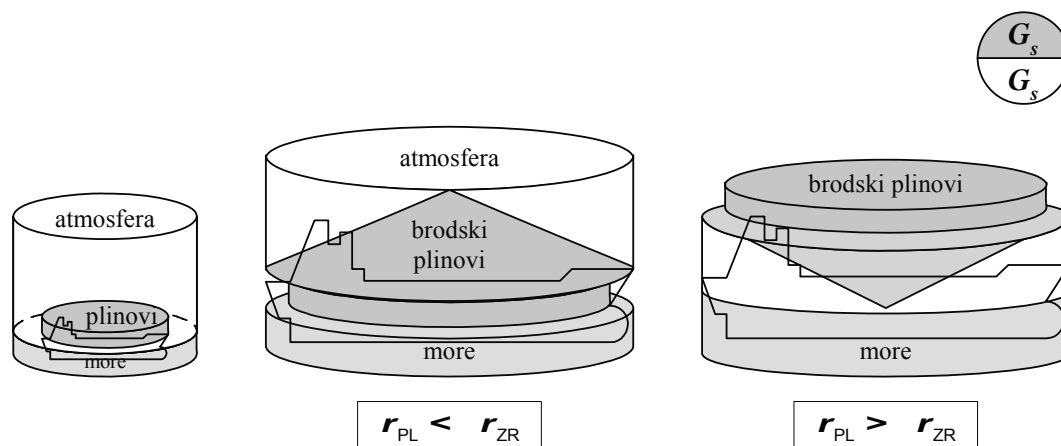
Brodsko goriva izgaranjem proizvode ispušne ili dimne plinove i oni se ispuštaju u atmosferu. Za potpuno izgaranje goriva potrebna je velika količina zraka pa se on u fizikalno i kemijski promijenjenom obliku vraća u

okoliš. Sastav ispušnih i dimnih plinova brodskih postrojenja najviše ovisi o vrsti goriva i kvaliteti izgaranja. Ekološki najrizičniji plinovi nastaju izgaranjem rezidualnih goriva u brodskim sporohodnim dizelskim motorima.

U brodskim nastambama nastaju plinovi koji prate čovjekove uobičajene životne i radne navike. Atmosfera brodskih nastamba je klimatizirana zbog česte promjene klimatskih zona u plovidbi. Kuhinja, praonica, saloni i ostali prostori u kojima se prikupljaju veće količine plinova, redovito se ventiliraju ili se recirkulira već kondicioniran zrak. Plinovi iz sanitarnih čvorova koji se skupljaju u sanitarnim prostorima i instalacijama, ventiliraju se preko odušnika u atmosferu. Plinovi iz

nastamba uglavnom nisu ekološki štetni, nego mogu biti neugodni zbog mirisa i ustajaloga zraka koji se ne tretira na prihvatljiv način.

Vrste tehničkih plinova kojima se koristi na brodovima ovise o vrsti i veličini broda, ali i o ugrađenim brodskim instalacijama. Najštetniji plinovi koji se danas pojavljuju na brodovima su određene grupe freona i haloni. Freoni služe u rashladnim postrojenjima, dok se haloni upotrebljavaju kao sredstva za gašenje požara. Od ostalih plinova za čovjeka, ali i okoliš, rizični su inertni plinovi na tankerima, CO₂, acetilen, propan-butan itd. Svi tehnički plinovi nalaze se u spremnicima ili pripadnim instalacijama, i u okoliš obično dolaze zbog nepravilnoga rukovanja.



Slika 4. Onečišćenje zraka plinovima (faze $G_s - G_s$)

Figure 4. Air contamination with gases (phase $G_s - G_s$)

Na slici 4. prikazana je ekspanzija štetnog plina u zraku. Širenje oblaka plina ovisi prvenstveno o odnosu gustoće plina i zraka, te o intenzitetu strujanja zraka.

Plinovi gušći od zraka ostaju na brodskoj palubi ili padaju na morskou površinu, gdje se u moru djelomično i apsorbiraju. Posebno su za čovjeka opasni eksplozivni i otrovni plinovi što ostaju na palubi ili pri podu prostorija u kojima se nalaze. Plinovi rjeđi od zraka dižu se u atmosferu, gdje se šire nošeni vjetrom.

Difuzija¹ plina u atmosferi najviše utječe na koncentraciju plina u nekom području i na ekološki štetan učinak tog plina. Postoji nekoliko modela kojima se koristi za procjenu koncentracije i disperzije plina u okolišu a naviše GAUSOV MODEL. Koncentracija plina mjeri se u (mg/m³) i ovisi o količini plina, brzini vjetra, koeficijentima raspršivanja u prostoru, širini struje plina i najvišoj točki na kojoj se on još ne raspršuje. U navedenom modelu jedini vanjski uvjet na koji se ne može utjecati je brzina vjetra (c_{vj}), dok se na sve ostale veličine može djelomično utjecati brodskom konstrukcijom, izborom opreme ili pogodnim rukovanjem.

3.3. Štetne tvari koje se pohranjuju na obali

Harmful substances stored on the shore

Štetne tvari što se prikupljaju na brodu, djelomično obrađuju i periodično pohranjuju u prihvatne stanice na obali, najčešće su čvrsti otpad i talog separatora. Krupni otpad koji se može reciklirati, a u većim se količinama prikuplja na brodovima obično se kompaktira, odlaže na palete i periodično iskrcava s brodova. Drugi način prikupljanja krupnog otpada je bacanje u standardne kontejnere za otpad i odvoz kamionima nakon dolaska u luku.

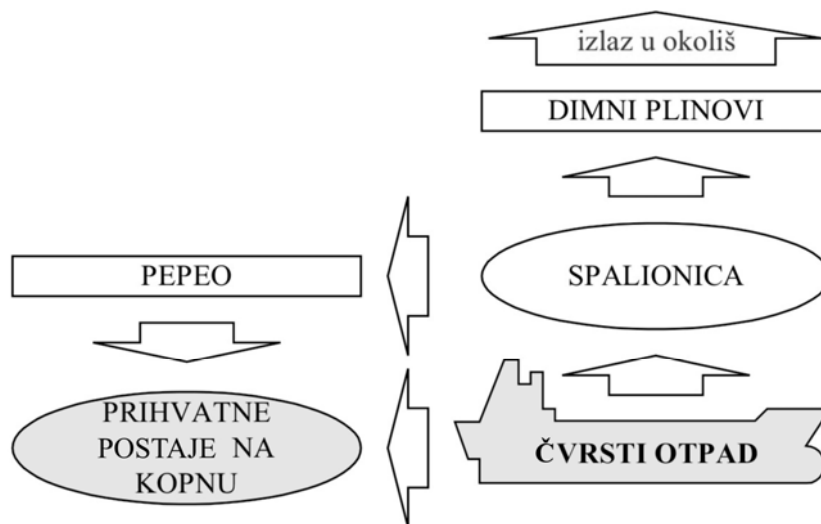
Velike količine krupnog otpada gomilaju se na trajektima i putničkim brodovima za krstarenja, pa se zato gospodarenje otpadom mora dobro osmisliti poradi ekološke prihvatljivosti takvih brodova u akvatorijima u kojima plove. Posebno neugodan brodski otpad koji se mora kontrolirati je talog što nastaje nakon separacije goriva i ulja. Današnja brodska rezidualna goriva sadržavaju veliku količinu štetnih sastojaka koji se separiraju i pohranjuju u posebnim spremnicima. Odijeljeni sastojci čine vrlo gust, viskozan i kompaktn talog. On se može spaljivati u spalionici, pri čemu se u atmosferu oslobađaju štetni dimni plinovi ili se on predaje

¹ Neki autori rabe izraz *disperzija*, a izrazom *difuzija* koriste se kod molekularne difuzije.

u lučke prihvatne postaje. U spalionici se može paliti i ostali brodski krupni otpad, i na taj način potpuno eliminirati iskrcaj u lučke prihvatne postaje.

Mogućnosti tretmana dijela broskog čvrstog otpada prikazane su na slici 5. Otpad se može proslijediti izravno u lučke prihvatne objekte ili spaliti u brodskoj spalionici. Spaljivanjem dolazi do transformacije jedne (čvrsti i tekući) u drugu vrstu otpada (plinoviti) uz ostatak pepela. Na taj se način tekući otpad, kojega odlaganje u okoliš potpada pod stroge propise o zaštiti mora, gorenjem pretvara u plinoviti otpad, koji se zasad uglavnom ne sankcionira. Pepeo se smatra sterilnim, odlaže se u vreće i predaje van broda na lučkim terminalima.

U štetne tvari koje se pohranjuju na obali ili uz obalu, ubraja se i sam brod kojemu je isteklo razdoblje iskorištavanja i kojega očekuje rezalište. U Hrvatskoj su brodska rezališta pošla u stečaj, i njihovu zadaću za manje brodove obavljaju postojeća domaća brodogradilišta, a za veće brodove inozemna. Ipak, uz našu obalu nalazi se nekoliko napuštenih brodova koji propadaju i ružna su slika za pomorsku zemlju kojoj pripadaju, ali i zabrinjavajuću opasnost za okoliš. Takvi su brodovi potpuno izgubili mogućnost vlastite propulzije, i tegljenje u brodogradilište ili rezalište iznimno je skupo i tehnički zahtjevno. Time oni čine brod ugašenim i eksploatacijski neaktivnim sustavom koji nije ništa drugo nego otpad različita sastava koji onečišćuje okoliš.



Slika 5. Mogućnosti tretmana broskog čvrstog otpada

Figure 5. Treatment possibility of ship's solid waste

4. Toplina

Heat

Toplina koja se ispušta s brodova, zagrijava vodu i zrak, mijenjajući pri tome temperaturu i entropiju okoliša, što negativno utječe na pripadne ekosustave. U vodu se tako kontinuirano dovodi otpadna toplina oslobođena hlađenjem brodskih toplinskih strojeva. Uz to se s brodova za prijevoz grijanih tereta (tankeri za sirovu naftu i kemikalije) dio topline gubi preko brodske oplate i konstantno se treba nadoknađivati. Tu izgublenu toplinu apsorbira okolna voda i njoj se time povisuje temperatura.

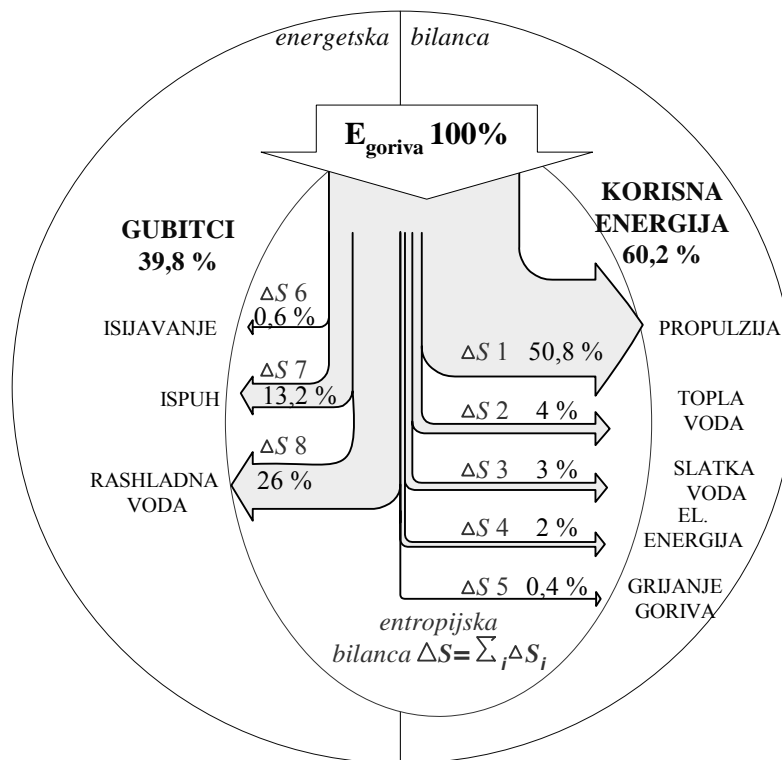
U zrak se ispuštaju ispušni i dimni plinovi temperature znatno više od temperature okolnog zraka. Hlađenjem oni predaju toplinu okolišu i zagrijavaju ga. Također, dio topline grijanih tereta prelazi s brodske oplate na okolni zrak, i na taj mu način povisuje temperaturu. Obratan utjecaj na temperaturu okoliša imaju brodovi za prijevoz hlađenih tereta (ukapljeni plinovi) jer oni apsorbiraju toplinu iz okoliša i hlade ga.

Štetan utjecaj topline, to jest energije koja se oslobađa na brodu i koju apsorbira okoliš, najpogodnije je izraziti kroz porast entropije² okoliša. Prirast entropije (ds) proporcionalan je dovedenoj toplini (dq) i obrnuto je proporcionalan temperaturi okoliša (T_{OK}) pri kojoj proces teče: $ds = dq / T_{OK}$.

Ukupni prirast entropije broda dobiva se kao zbroj ili integral svih pojedinačnih prirasta entropije na brodu. Očuvanje okoliša raste s padom rezultirajućega prirasta sveukupne entropije broda.

Bilanca energije na brodu može se promatrati s pomoću odnosa proizvedene i potrošene energije ili kroz ukupni prirast entropije. Za ilustraciju može poslužiti slika 6; ona predočuje energetska bilancu modernoga sporohodnog dizelskog motora koja nastaje nepovratnim toplinskim procesom izgaranja goriva.

² Iako je entropija izvorno termodinamička disciplina, ona u ekologiji dobiva znatno širu dimenziju. Entropija se može promatrati kao mjera istrošenosti sustava u kojemu je, s jedne strane, čovjek, koji nepovratnim procesima proizvodi goleme količine energije i, s druge strane, okoliš, koji tu energiju prima. Sva nepovratno i neponovljivo potrošena energija



Slika 6. Usporedba energetske i entropijske bilance u procesu izgaranja u modernom sporohodnom dizelskom motoru

Figure 6. Comparison between energetic and entropy balance process of combination in modern slow-speed diesel engine

Energetska bilanca uključuje korisnu energiju i to: energiju propulzije, proizvedenu električnu energiju, energiju za grijanje vode i goriva, te energiju za proizvodnju slatke vode. Gubitci topline odnose se na toplinu ispušnih plinova, toplinu isijavanja i toplinu rashladne vode. Tim pristupom dobiva se oko 60% korisne energije za koju se obično ne istražuje štetan utjecaj na okoliš i oko 40% izgubljene energije koja se izravno predaje okolišu. Entropijska bilanca zbraja povišenje entropije za svaki utrošak energije, što u navedenom primjeru iznosi osam povećanja entropije, i rezultira njezinim ukupnim prirastom koji bi bio proporcionalan ukupnoj toplini oslobođenoj nepovratnim procesom izgaranja goriva. Entropijski pristup se tako puno lakše može primijeniti u istraživanju štetnog učina topline na okoliš, ne uzimajući u obzir iskorišteni dio i gubitak energije, jer se nakon ukupne transformacije sva energija i tako preda okolišu. U računanju ukupnoga entropijskog prirasta broda može se tako uzeti u obzir entropija broda u nastajanju (prirast entropije svih procesa od iskopavanja željezne rude za proizvodnju limova, gradnje i porinuća broda), entropija broda u eksploataciji i entropija broda u nestajanju (prirast entropije svih procesa pri rezanju broda u rezalištu).

Negativan utjecaj energetskih procesa može se promatrati na temelju količine topline koja se predaje okolišu, što se daje opravdati inženjerskim pristupom, a ne uzimanjem u obzir prirasta entropije okoliša. Iako

brodska energetska postrojenja imaju izrazito velike snage i velike gubitke topline, toplina koja se s brodova ispušta u okoliš ipak je zanemariva u odnosu prema prirodnoj sunčevoj toplini kojoj je taj okoliš izložen. Međutim, dobro je znati za količine brodske otpadne topline, pogotovo u plitkim zatvorenim vodama s intenzivnim brodskim prometom, gdje ta toplina može pridonijeti ukupnom štetnom utjecaju na okoliš.

5. Buka

Noise

Buka i svi njezini izvori u novije se vrijeme drže onečišćivačima okoliša. Razina svih izvora buke, a poglavito one koja nastaje u prometu, kontrolira se i propisuje u određenim granicama. Buka s brodova ima dvostruko djelovanje, prema unutra i prema van, to jest širi se unutar broda kroz brodske strukture i izvan njega kroz vodu i zrak ovisno o izvoru buke. Zvukovi koje brod proizvodi u različitim operativnim stanjima obično premašuju prihvatljive jakosti i frekvencije, i dulji boravak u takvu okruženju štetan je za čovjeka. Unutrašnja brodska buka najizrazitija je u brodskoj strojarnici, i posada koja radi u tim prostorima mora biti propisno zaštićena. Buka se mora što učinkovitije izolirati da ne prelazi u druge brodske prostore jer negativno utječe na radnu sposobnost i raspoloženje posade. Putnici na putničkim brodovima ne smiju biti izloženi buci i vibracijama jer takav brod onda ne može dostići najvišu klasu krstarenja, a time, naravno, i cijenu.

povećava entropiju svijeta, što bi trebalo u dalekoj budućnosti dovesti do katastrofe ili potpune toplinske ravnoteže u prirodi.

Frekvencije i intenziteti buke u brodskoj strojarnici znatno variraju ovisno o izvoru. Najveći su onečišćivači brodski motori pojačani turbopuhalicama; oni redovito proizvode više od 100 dB u samoj blizini motora. Buku motora najviše uzrokuju termodinamički procesi u cilindrima, odvod ispušnih plinova i dovod ispirogaznog zraka, ali i svi pokretni dijelovi dizelskog motora. Turbine, elektromotori i slični rotacijski strojevi proizvode buku manjeg intenziteta. Strujanja svih fluida popraćena su šumovima pa nerijetko i bukom. Strujanja uz pojavu kavitacije proizvode izrazito veliku buku, i režimi rada koji prate takva strujanja moraju se izbjegavati. Brodski vijak ponekad je izvor neugodne buke, pogotovo u plovidbi s kritičnim trimom u vodama ograničene dubine. U tim okolnostima dodatne vibracije i buka dolaze iz prostora krmene statve. Svi propeleri rade s kavitacijom koja se ne može ukloniti, nego jedino ublažiti njihovim pogodnim izborom s obzirom na formu broda i instaliranu snagu, i pravilnim vođenjem broda. Buka broskog trupa stvara se zbog turbulentnoga strujanja uz brodsku oplatu i odvajanja valova po pramcu i krmi. Obično buka trupa nije intenzivna i nadvladava se bukom iz strojarnice. Buka vijka i broskog trupa šire se prema van i u unutrašnjosti broda slabije se osjećaju.

Zakoni o zaštiti na radu strogo propisuju intenzitet zvuka kojemu čovjek može biti izložen i IMO je postavio granice buke za pojedine prostore na brodu - radne prostore, navigacijske prostore i prostorije za smještaj. Ti propisi odnose se na buku unutar broda i na ljude koji na brodu rade ili borave. Uz to se postavlja problem vanjske buke u okolišu jer intenziteti i frekvencije zvukova koji su ugodni čovjeku nerijetko su iritirajući za pojedine životinje, i obratno. To se odnosi poglavito na morske sisavce; oni su u pojedinim akvatorijima promijenili staništa i navike zbog stalne izloženosti brodskim šumovima. Za očekivati je da će se iz tog razloga uspostaviti posebne zone plovidbe u blizinama morskih rezervata. Akustička problematika broda bitna je odrednica ekološkog rizika koja sve više dobiva na važnosti.

6. Fizičko uništavanje brodskim trupom

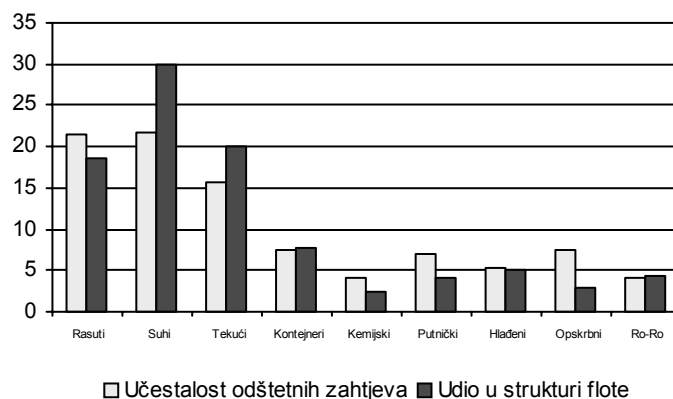
Physical destruction with ship's hull

Trup teretnih brodova u načelu se dizajnira i konstruira tako da pruža što manji otpor gibanju kroz vodu. Snaga propulzije, dimenzije trupa i brzina broda neprestano se povećavaju, što nepovoljno utječe na strujanje uz brodsku oplatu i uz propulzor. Sloj vode koji klizi uz brodski trup povećava se po dubini i po širini, dok masa vode koju propulzor grabi raste s povećanjem njegove snage. Iako nisu publicirana ozbiljnija istraživanja o fizičkom uništavanju organizama brodskim trupom i propulzorom, štetan utjecaj trupa, propulzora i vrtloga propulzije nije dvojben. Uz navedeno djelovanje, primjereno svim brodovima, ribarski brodovi i brodovi za izvođenje podmorskih radova izravno uništavaju riblji fond i podmorje.

7. Ekološki rizični događaji prema tipu broda

Ecological risky events depending on type of the ship

Jedino sustavno višegodišnje istraživanje u pomorstvu u kojemu se tretiraju štetni utjecaji nastali kao posljedica neplaniranog događaja jest desetogodišnje istraživanje provedeno na reprezentativnom uzorku od 5.000 brodova, što čini 20% svjetske flote oceanskih brodova.⁴ Uzorak je reprezentativan sa stajališta tipova brodova, njihove tonaže, zona plovidbe, zastave brodarka i kategorije rizika. Odštetni zahtjevi koji se uzimaju u obzir iznose više od 100.000 USA \$ i raspoređeni su u pet osnovnih kategorija rizika: rizik oštećenja tereta, rizik onečišćenja okoliša, rizik od štete trećim stranama, rizik od sudara i rizik od nesreća nad osobama.



Dijagram 1. Sklonost rizičnim događajima prema tipovima brodova

Diagram 1. Tendency towards risky events depending on the types of the ship

Izvor: Obradili autori.³

³ P&I CLUB, Analysis of mayor claims from the perspective of ship type, Thomas Miller P&I (Property and Indemnity) Report, London, 2000.

⁴ P&I CLUB, Analysis of mayor claims from the perspective of category of risk, Thomas Miller P&I (Property and Indemnity) Report, London, 2000.

Na promatranom uzorku utvrđeni su tipovi brodova koji nose određen pomorski rizik. Brodovi koji prednjače su oni za prijevoz rasutog tereta, za prijevoz generalnog tereta i za prijevoz tekućeg tereta⁵, dok slijede brodovi za prijevoz kontejnera, opskrbeni, putnički, za prijevoz hladnog tereta, za prijevoz kemikalija i ro-ro brodovi. Brodovi za prijevoz rasutog tereta, u prosjeku, proizvode više štetnih učinaka nego što je njihov udio u promatranom uzorku.

8. Zaključak

Conclusion

Problem onečišćivanja okoliša s brodova zaintrigirao je javnost nakon prvih tankerskih havarija koje su rezultirale izlivanjem većih količina tereta. Razvojem se tehnologije promet morem intenzivirao, brodovi su se usavršavali i prilagođivali sve većem broju raznovrsnih tereta. Ekološki učinak pritom nije bio odlučujući i nije se uzimao relevantnim pri osnivanju broda, izboru njegova porivnog sustava i viziji iskorišćivanja; štoviše, obično se potpuno zanemarivao. Profiti učinak obično je bio jedini i osnovni cilj u iskorišćivanju broda. Rezultat takva pristupa, koji, na žalost, dominira u svim sferama svjetskoga gospodarstva, jesu: globalno zatopljenje, kisele kiše, učinak staklenika i sve učestalija nepredvidivost prirodnih pojava. Ti zastrašujući alarmi kojima se priroda oglasila, uzdrmali su ekološku svijest i istaknuli su ekološke iznad ekonomskih vrijednosti. Ozbiljnost i brzina prihvatanja ekoloških načela pritom će najviše utjecati na kvalitetu života i, u konačnici, sam njegov opstanak na Zemlji.

Kontinuirano onečišćivanje s brodova znatno je veće od onoga izazvanog incidentima. Svjetska javnost reagira na veće ekološke incidente ili katastrofe *režirane* brodovima, ali istodobno svjesno (ili nesvjesno) propušta desetke tisuća *tona*, *džula* ili *decibela* različitih onečišćivača što kontinuirano truju zrak, vodu i kopno. Brodski sustavi nastamba i tereta dostatno su usavršeni da, za većinu *novijih* brodova, pravilnom manipulacijom ne ostavljaju tragove u okolišu. Jedini brodski sustavi koji sigurno kontinuirano onečišćuju okoliš jesu sustav energetskog postrojenja (štetni plinovi, toplina i buka) i sustav brodskoga trupa (biocidne prevlake).

Dio ekološki rizičnih obilježja brod dobiva *rođenjem*, ali se mnoštvo čimbenika pojavljuje u pojedinim fazama iskorišćivanja broda koji znatno utječu na ekološki rizik. Proces iskorišćivanja broda toliko je dinamičan da se utjecaji na ekološki rizik mijenjaju u tijeku samo jedne operacije s teretom, a zasigurno će se promijeniti nekoliko puta u jednom putovanju. Nadalje, ekološka obilježja broda mijenjaju se starenjem, rekonstrukcijama, zonama plovidbe, navikama posade i slično.

Literatura

References

1. M. D. Amrozowich, *The need for probabilistic risk assessment of the oil tanker industry and qualitative assessment of oil tanker groundings*, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1996
2. K. W. Crake, *Probabilistic analysis of tank damage in collision events*, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1998
3. N. De Nevers, *Air pollution control engineering*, Mc. Graw Hill Comp., New York, 2000
4. O. Huges, *Ship structural design*, The Society of naval architects and marine engineers, New York, 1992
5. National academy of sciences (USA), *Double-hull tanker legislation: An assessment of the Oil Pollution Act of 1990*, Ocean studies board, Marine board, Commission on Engineering and Technical Systems, Washington D. C., 1998
6. A. B. Andersen, H. L. Behren, P. G. Haugom, *Methodical approach to develop standards for assessment of harmful aquatic organisms in ballast water*, 1st Glo ballast monograph series No 4. IMO, London, 2001
7. ASA, *Ballast water developments from 2000 to 2001*, Australian Shipowners Association Report, Sidney, 2001
8. ASA, *Ballast water management*, Australian Shipowners Association (ASA) Report, Sidney, 2003
9. ASA, *Ballast water management*, Australian Shipowners Association Report, Sidney, 2003
10. B. Bajić, J. Tasić, A. Džubur, I. Jovanović, R. Doneski, „Propeller hydroacoustic noise-Review of research at the Marine research institute“, Brodogradnja -Časopis brodogradnje i brodograđevne industrije 46(1998)2, Zagreb, 1998.
11. D. Dixon, G. Huges, *Costal cruise ship waste management*, Society of naval architects and marine engineers, Montrey California, 1999
12. DNV, *Hot surfaces in engine room*, Det Norske Veritas, Report No. 2000-PO25, Oslo, 2000
13. IMO-MEPC 44, *Harmful effects of the use of anti-fouling paints for ships*, International Maritime Organization summary reports, London 1999
14. IMO-MEPC 49, *Global ballast water management program*, International Maritime Organization summary reports, London 2003
15. IPIECA, *A guide to contingency planning for oil spills on water*, International petroleum industry

⁵ Pod pojmom brodovi za prijevoz tekućih tereta, u navedenom kontekstu, misli se na one za prijevoz sirove nafte i prerađevina.

- environmental conservation association, London, 2003
16. ITOPF, *Accidental tanker oil spill statistics*, International tanker owners pollution federation report, London, 2002
17. ITOPF, *Handbook 2003/2004*, The International tanker owners pollution federation ltd., London, 2003
18. Lloyd's register of shipping, *World casualty statistics (1998-2002)*, London, 2003
19. Lloyd's register of shipping, *World fleet statistics (1998-2002)*, London, 2003
20. Skramstad, E., S. Musaeus, S. Melbo, *LNG carrier risk analysis*, GASTECK-International LNG/LPG conference and exhibition, Malmo, 2000
21. The Nautical Institute, *Managing risk in shipping*, London, 2002
22. I. Belamarić, *Brod i entropije*, Književni krug, Split, 1988.

Rukopis primljen: 18. 10. 2007.

