

Merenje jačine električnog polja sa stanovišta uticaja na zdravlje posade rečnog broda

Aleksandar M. Kovačević, Nenad Munić

Apstrakt—Oprema koja se ugrađuje prilikom modernizacije rečnih brodova, pored funkcionalnih i električnih zahteva, zahteva za bezbednost itd., mora da zadovolji i zahteve u pogledu zaštite na radu. Pri tome, da bi se mogle propisati odgovarajuće mere zaštite od zračenja za članove posade rečnog broda, kao dela zaštite na radu, bilo je neophodno da se izvrši merenje jačine električnog polja na više mernih tačaka. Rezultati merenja su pokazali da se jačina električnog polja nalazi u granicama dozvoljenih vrednosti.

Ključne reči—Merenje; nejonizujuće zračenje; jačina električnog polja; rečni brod, uticaj na zdravlje posade.

I. UVOD

MODERNIZACIJOM brodova Rečne flotile (RF) Vojske Srbije bila je predviđena zamena zastarele navigacione opreme. Novi navigaciono informacioni sistem (NIS) trebalo je da poveća bezbednost plovidbe na unutrašnjim plovnim putevima prema preporukama Dunavske komisije [1], SOLAS (eng. International Convention for the Safety of Life at Sea) i IMO (eng. International Maritime Organization) normama [2]. Pri tome, modernizacija je obuhvatala uvođenje novih uređaja za navigaciju kao što su: globalni sistem za pozicioniranje (GPS), sistem za automatsku identifikaciju (AIS), kao i sistem sa elektronskim navigacionim kartama.

Navedena oprema predstavlja gotove proizvode sa tržišta, pa je, pre ugradnje na brodove, morala da prođe kroz verifikaciona ispitivanja. U Tehničkom opitnom centru (TOC) [3], specijalizovanoj vojnoj naučnoistraživačkoj ustanovi, već više decenija se vrše završna, verifikaciona i homologaciona ispitivanja sredstava i sistema naoružanja i vojne opreme (sredstva i sistemi NVO) za potrebe Ministarstva odbrane i Vojske Srbije. Tako, u okviru verifikacionih ispitivanja, za navedenu opremu su vršene provere funkcionalnih i električnih zahteva, zahteva za bezbednost, zahteva u pogledu klimomehaničkih uslova, zahteva za elektromagnetsku kompatibilnost i sl. Pri tome, Odeljenje za elektromagnetsku kompatibilnost i uticaje okoline (u daljem tekstu Odeljenje za EMC i uticaje okoline) je bilo zaduženo za ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) novog navigaciono informacionog sistema prema standardima posebne namene (Standardi odbrane Republike Srbije – SORS) [4-6].

Aleksandar M. Kovačević – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: aleksandar.kovacevic@ftn.kg.ac.rs). Nenad Munić – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: nenadmunic@yahoo.com).

Cilj ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti jeste utvrđivanje nivoa emisije i nivoa imunosti uređaja. Dobro projektovanje električnih i elektronskih uređaja zahteva da se o elektromagnetskoj kompatibilnosti vodi računa od samog početka. Često naknadne izmene na uređaju nisu ni izvodljive [7]. Poznato je da elektronska oprema koja zadovoljava zahteve za EMC zadovoljava i zahteve za ljude, obrnuto ne važi.

Pored navedenih zahteva, nova navigaciona oprema morala je da zadovolji i zahteve u pogledu zaštite na radu [8-10]. Kako se u sklopu nove navigacione opreme nalazi VHF predajnik (deo sistema za automatsku identifikaciju), bilo je neophodno propisati odgovarajuće zaštitne mere na radnim mestima i na mestima gde osoblje stalno boravi na rečnom brodu. Nažalost, Zakon o zaštiti od nejonizujućeg zračenja, ne obuhvata zaštitu od profesionalnog izlaganja izvorima nejonizujućih zračenja [11]. Inače, nejonizujuća zračenja jesu elektromagnetska zračenja koja imaju energiju fotona manju od 12,4 eV. Na osnovu navedenog Zakona, donešen je Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima [12], čije se odredbe, međutim, ne odnose na zračenje radarskih i primopredajnih sistema za odbrambene potrebe. S obzirom na navedene činjenice, a da bi se mogle propisati odgovarajuće mere zaštite od zračenja za članove posade rečnog broda (profesionalna lica), kao dela zaštite na radu, korišćene su preporuke ICNIRP (eng. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) [13]. Odeljenje za EMC i uticaje okoline (TOC), akreditovana laboratorija iz oblasti elektromagnetske kompatibilnosti prema standardu SRPS ISO/IEC 17025 [14], izvršilo je merenja jačine električnog polja. Navedena merenja su bila informativnog karaktera, s obzirom da u sklopu Vojnomedicinske akademije (VMA) na Institutu za medicinu rada postoji ovlašćena laboratorija koja se bavi ispitivanjima nejonizujućeg zračenja za potrebe Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

U ovom radu je prikazano merenje jačine električnog polja (visokofrekventno zračenje), u frekvencijskom opsegu od 100 kHz do 3 GHz, kao dela opsega nejonizujućeg zračenja, na pojedinim tačkama rečnog broda tokom plovidbe. Prvo je izvršeno ručno merenje na više tačaka. Na osnovu tako izmerenih vrednosti, kasnije je odlučeno na kojim tačkama će biti izvršeno dugotrajno automatizovano merenje jačine električnog polja. Rezultati navedenih merenja su trebali da pomognu Komandi rečnog broda za donošenje eventualne odluke o angažovanju ovlašćene laboratorije za merenje nejonizujućeg zračenja. Pored toga, trebalo je propisati i

odgovarajuće mere zaštite od zračenja za članove posade rečnog broda, kao dela zaštite na radu.

II. METODA MERENJA

Osnovni standard za procedure merenja i izračunavanja izlaganja ljudi električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima (0 Hz – 300 GHz) jeste standard SRPS EN 50413 [15]. Pored toga, isti služi kao odrednica prema standardima koji su namenjeni za opis merne metode. U ovom radu, za opis merne metode korišćen je standard SRPS EN 50492 [16], koji predstavlja osnovni standard za merenje jačine elektromagnetskog polja na licu mesta u odnosu na izlaganje ljudi u blizini baznih stanica. S obzirom da se pod pojmom bazna stanica podrazumeva radio-stanica i odgovarajući antenski sistem [16], opravdano je bilo primeniti ovaj standard i za merenje jačine električnog polja na rečnom brodu jer ugrađena nova navigaciona oprema sadrži radio predajnik i radar navigacioni.

U zavisnosti od postavljenog cilja merenja, postoji podela na širokopojasnu metodu merenja (slučaj A) i frekventijski selektivnu metodu merenja (slučaj B) [16]. Širokopojasna metoda merenja daje jednu izmerenu vrednost u posmatranoj mernoj tački u okviru opsega učestanosti korišćenog mernog instrumenta. U ovom slučaju (A), ne postoji mogućnost izdvajanja udela prisutnih izvora nejonizujućeg zračenja u posmatranom okruženju u odnosu na ukupnu vrednost. Ovaj nedostatak širokopojasne metode merenja može se nadomestiti korišćenjem frekventijski selektivnih metoda (slučaj B). I pored ovog nedostatka, širokopojasna metoda merenja je veoma praktična za operativni rad na terenu, jer je lako rukovanje mernom opremom, kao i pokretljivost njenog rukovaoca tokom procesa merenja.

Na osnovu svega navedenog, za merenje jačine električnog polja, E (V/m), na rečnom brodu primenjena je širokopojasna metoda merenja. Pri tome, merena je efektivna vrednost jačine električnog polja. Naime, intenzitet vektora jačine električnog polja meren je izotropno, istovremenim merenjem sve tri prostorne komponente vektora polja u diskretnim vremenskim trenucima. Tada, srednja vrednost očitanih efektivnih vrednosti jačine električnog polja u određenoj tački data je izrazom:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (1)$$

Na svakoj izabranoj tački, merenja su obavljena pod sličnim uslovima, u frekventijskom opsegu od 100 kHz do 3 GHz, korišćenjem merača elektromagnetskog polja i izotropne (nedirekcionne) sonde (proizvođač NARDA). Izotropna sonda daje isti rezultat u svim prostornim pravcima bez obzira na njenu orijentaciju [17].

Pre svakog merenja izvršena je "auto-zeroing" funkcija radi eliminisanja uticaja temperature na izmerene vrednosti. Zbog nehomogenog rasipanja polja, pri ispitivanju je korišćen "Spatial AVG Mode" [17]. Naime, korišćenjem ove funkcije vrši se prostorno usrednjavanje dobijenih vrednosti jačine električnog polja. Pri tome, bile su dostupne dve

metode merenja: diskretna i kontinualna. U prvom slučaju se snimaju i usrednjavaju pojedinačni rezultati merenja, a u drugom, rezultati merenja se snimaju i usrednjavaju neprekidno tokom vremena. U datom slučaju, u svakoj tački, prilikom dugotrajnog snimanja, prikupljeni su podaci u trajanju od 10 minuta, pri čemu je na svakih 10 s memorisana po jedna minimalna, srednja i maksimalna efektivna vrednost jačine električnog polja.

III. MERNA OPREMA

Za merenje jačine električnog polja na rečnom brodu korišćen je merač elektromagnetskog polja NBM-550 sa sondom za širokopojasno merenje jačine električnog polja EF-0391 (frekventijski opseg od 100 kHz do 3 GHz), NARDA, u daljem tekstu merni instrument NBM-550. Merni instrument NBM-550 tokom merenja je bio postavljen na stalak od izolacionog materijala (Sl. 1). Merna sonda je izotropna, što znači da obezbeđuje istovremeno merenje sve tri prostorne komponente vektora polja, tako da instrument kao rezultat prikazuje rezultantnu vrednost vektora jačine električnog polja (1). Korišćeni merni sistem omogućava merenje jačine električnog polja od 0.2 V/m do 320 V/m u frekventijskom opsegu od 100 kHz do 3 GHz [17].

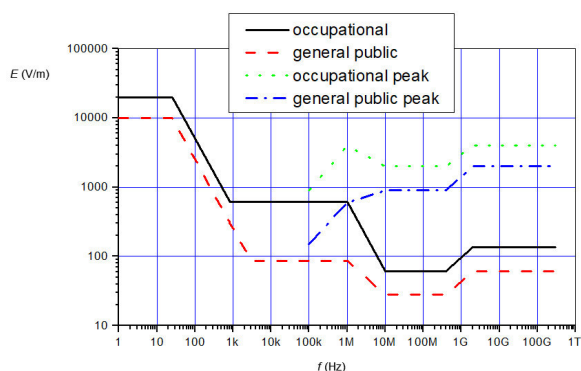


Sl. 1. Merni instrument NBM-550.

Pre početka ispitivanja je konstatovano da je navedena merna oprema metrološki ispravna jer ima prihvatljivu metrološku sledivost [18]. Dugotrajno merenje jačine električnog polja praćeno je automatizovano pomoću softvera NBM-TS PS, Transfer software V 2.1.1, instaliranog na hp laptop računaru. Veza između mernog instrumenta NBM-550 i laptop računara je ostvarena preko interfejsa sa optičkim kablom.

IV. KRITERIJUM ZA OCENU REZULTATA MERENJA SA STANOVIŠTA UTICAJA NA ZDRAVLJE LJUDI

S obzirom da sa jedne strane Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima [12] ne tretira zračenje radarskih i primopredajnih sistema za odbrambene potrebe, a sa druge strane, Zakon o zaštiti od nejonizujućeg zračenja [11] ne obuhvata zaštitu od profesionalnog izlaganja izvorima nejonizujućih zračenja, za određivanje granica zračenja prilikom merenja jačine električnog polja na rečnom brodu korišćen je standard ICNIRP [13]. Navedeni standard je formiran na osnovu raspoloživih rezultata istraživanja, pri čemu su u njemu propisane granice (referentni nivoi) za maksimalno dozvoljene jačine polja (električno, magnetsko i elektromagnetsko polje). Pri tome, uzeti su faktori sigurnosti gde su dozvoljena polja nekoliko puta slabija od onih za koje se smatra da su na granici opasnih. Na Sl.2 su grafički prikazane granice jačine električnog polja za radno okruženje (occupational) i generalno stanovništvo (general public), kao i vršne vrednosti (peak) za isto, prema standardu ICNIRP [13].



Sl. 2. Grafički prikaz granica jačine električnog polja prema ICNIRP.

TABELA I
GRANICE JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA ZA RADNO OKRUŽENJE

Frekvencijski opseg	Jačina električnog polja (V/m)
do 1 Hz	—
1 Hz do 8 Hz	20000
8 Hz do 25 Hz	20000
0,025 kHz do 0,82 kHz	$500/f$
0,82 kHz do 65 kHz	610
0,065 MHz do 1 MHz	610
1 MHz do 10 MHz	$610/f$
10 MHz do 400 MHz	61
400 MHz do 2000 MHz	$3f^{1/2}$
2 GHz do 300 GHz	137

U Tabeli I su brojčano prikazane granice jačine električnog polja za radno okruženje [13].

Vrednosti jačine električnog polja u frekvencijskom opsegu od 100 kHz do 3 GHz treba da budu manje od graničnih vrednosti datih u Tabeli I, što je uzeto kao kriterijum za ocenu rezultata merenja jačine električnog polja, sa stanovišta uticaja na zdravlje ljudi.

V. REZULTATI MERENJA

U toku merenja jačine električnog polja na rečnom brodu, svi elementi ugrađenog novog navigaciono informacionog sistema (NIS) su bili neprekidno uključeni. Pored toga, povremeno su uključivani UKT (ultra kratkotalasni) postojeći radio uređaji, dok su predajnici i transmisione antene radili neprekidno.

Prvo je izvršeno ručno merenje jačine električnog polja u više tačaka koje su bile od relevantnog značaja za posadu na brodu (mesta na kojima se ljudi najduže zadržavaju dok obavljaju svoj posao). Merenje je vršeno korišćenjem "max hold" funkcije mernog instrumenta NBM-550 u trajanju od 60 sekundi. Naime, maksimalna jačina električnog polja koja je izmerena tokom zadatog intervala (u ovom slučaju od 60 s) je "zamrznuta" i prikazana numerički na displeju mernog instrumenta NBM-550 [17]. Ručno izmerene vrednosti jačine električnog polja su date u Tabeli II.

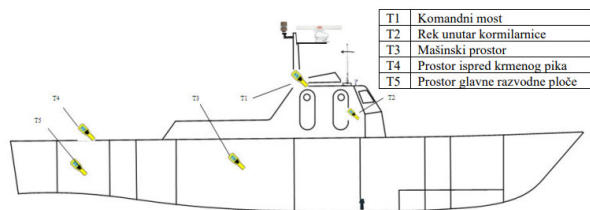
TABELA II
RUČNO IZMERENE VREDNOSTI JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA

Red. br.	Merna tačka	Izmerena vrednost jačine električnog polja (V/m)
1	Komandni most (10 cm udaljeno od antene)	13.29
	Komandni most	2.07
2	Kormilarnica	1.43
3	Akumulatorska stanica	0.76
4	Mašinski prostor	0.31
5	Krma	0.42

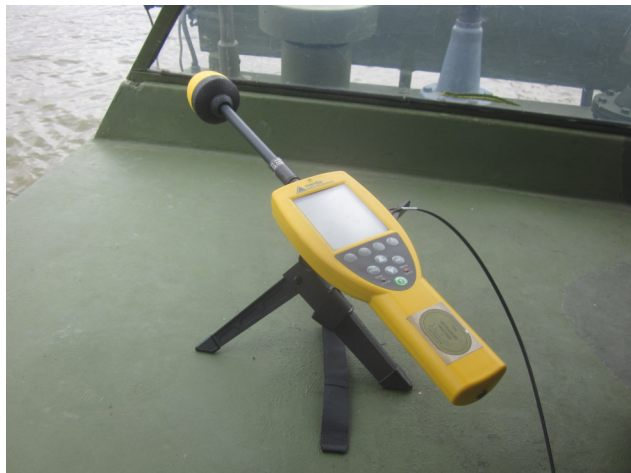
Na osnovu ručno izmerenih vrednosti, odabrane su merne tačke na kojima je izvršeno automatizovano merenje jačine električnog polja u trajanju od 10 minuta, pri čemu je na svakih 10 s memorisana po jedna minimalna, srednja i maksimalna efektivna vrednost jačine električnog polja. Dugotrajno merenje jačine električnog polja praćeno je automatizovano pomoću softvera NBM-TS PS, Transfer software V 2.1.1, instaliranog na hp laptop računaru. Pri tome, veza između mernog instrumenta NBM-550 i laptop računara je ostvarena preko interfejsa sa optičkim kablom.

Raspored mernih tačaka na rečnom brodu je prikazan na Sl. 3, dok je na Sl. 4 prikazano dugotrajno merenje jačine

električnog polja na gornjoj palubi komandnog mosta (merna tačka T1).



Sl. 3. Raspored mernih tačaka na rečnom brodu.



Sl. 4. Dugotrajno merenje jačine električnog polja na gornjoj palubi komandnog mosta (merna tačka T1).

Automatizovano izmerene vrednosti jačine električnog polja su date u Tabeli III.

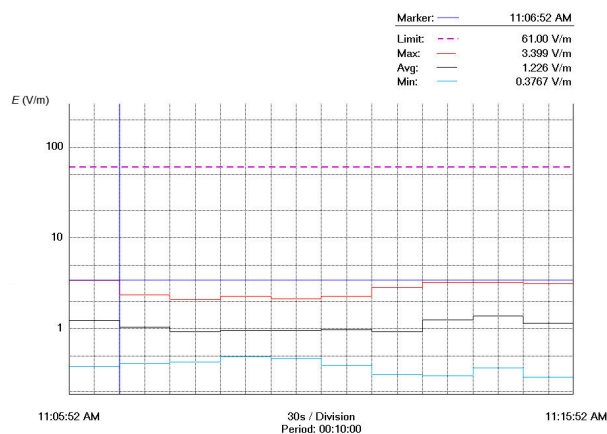
TABELA III
AUTOMATIZOVANO IZMERENE VREDNOSTI JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA

Oznaka	Merna tačka	Izmerena vrednost jačine električnog polja (V/m)		
		Min	Max	Avg
T1	Komandni most	0.3770	3.3990	1.2260
T2	Rek unutar kormilarnice	0.3104	3.2130	0.9276
T3	Mašinski prostor	0.1644	0.9328	0.2878
T4	Prostor ispred krmenog pika	0.2226	0.3849	0.0000
T5	Prostor glavne razvodne ploče	0.1661	0.4070	0.2426

Grafički prikaz automatizovano izmerene vrednosti jačine električnog polja na komandnom mostu rečnog broda je dat na Sl. 5.

Proširena merna nesigurnost U za jačinu električnog polja, izmerenu mernim instrumentom NBM-550, iznosi 4,63 dB

($k = 2$) [18], i u skladu je sa preporukama standarda CISPR 16-4-2 [19].



Sl. 5. Grafički prikaz automatizovano izmerene vrednosti jačine električnog polja na komandnom mostu rečnog broda.

Na osnovu dobijenih rezultata merenja i postavljenog kriterijuma, može se zaključiti da su vrednosti jačine električnog polja, u frekventijskom opsegu od 100 kHz do 3 GHz, ispod graničnih vrednosti datih u Tabeli I.

VI. ZAKLJUČAK

Novi navigaciono informacioni sistem (NIS) koji je ugrađen prilikom modernizacije rečnih brodova, pored funkcionalnih i električnih zahteva, zahteva za bezbednost itd., mora da zadovolji i zahteve u pogledu zaštite na radu. Pri tome, da bi se mogle propisati odgovarajuće mere zaštite od zračenja za članove posade rečnog broda, kao dela zaštite na radu, izvršeno je preliminarno merenje jačine električnog polja, u frekventijskom opsegu od 100 kHz do 3 GHz, kao dela opsega nejonizujućeg zračenja. Merenje je izvršeno na više mernih tačaka na rečnom brodu od strane Odeljenja za EMC i uticaje okoline (TOC).

Rezultati merenja su pokazali da se jačina električnog polja nalazi u granicama dozvoljenih vrednosti prema standardu ICNIRP. Pri tome, rezultati navedenih merenja su pomogli Komandi rečnog broda da donese odluku da joj nije potrebno angažovanje ovlašćene laboratorije za merenje nejonizujućeg zračenja. I pored toga što se vrednosti jačine električnog polja nalaze znatno ispod granica dozvoljenih vrednosti (standard ICNIRP), Komanda je propisala odgovarajuće mere zaštite od zračenja za članove posade rečnog broda, kao dela zaštite na radu.

LITERATURA

- [1] <http://www.danubecommission.org>.
- [2] <https://www.imo.org/>
- [3] <http://www.toc.vs.rs>.
- [4] *Elektromagnetske smetnje, ZAHTEVI*, SORS 1029/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989.
- [5] *Elektromagnetske smetnje, MERENJA*, SORS 1762/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989.
- [6] *Elektromagnetska kompatibilnost*, SORS 4077/89, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989.

- [7] A. Đorđević, D. Olčan, *Ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti*, Elektrotehnički fakultet, Akademski misao, Beograd, 2012.
- [8] *Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu*, Službeni glasnik RS br. 113, Republika Srbija, 2017.
- [9] *Zakon o plovidbi i lukama na unutrašnjim vodama*, Službeni glasnik RS br. 52, Republika Srbija, 2021.
- [10] *Pravilnik o tehničkim pravilima za statutarnu sertifikaciju brodova unutrašnje plovidbe*, Službeni glasnik RS br. 52, Republika Srbija, 2019.
- [11] *Zakon o zaštiti od nejonizujućeg zračenja*, Službeni glasnik RS br. 36, 2009.
- [12] *Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima*, Službeni glasnik RS br. 104, 2009.
- [13] *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. Health Phys. 74:494–522, 1998.
- [14] *Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje*, SRPS ISO/IEC 17025, ISS, 2017.
- [15] *Osnovni standard za procedure merenja i izračunavanja izlaganja ljudi električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima (od 0 Hz do 300 GHz)*, SRPS EN 50413, 2010, A1:2014, ISS.
- [16] *Osnovni standard za merenje jačine elektromagnetskog polja na licu mesta u odnosu na izlaganje ljudi u blizini baznih stanica*, SRPS EN 50492, 2010, A1:2014, ISS.
- [17] *Operating Manual*, NBM-550 Narda Broadband Field Meter, NARDA Safety Test solutions GmbH, Order no: 2401/98.21, Germany, 2009.
- [18] A. M. Kovačević, Lj. Tomić, N. Munić, V. Nikolić, „Interkomparacija širokopojasnog merača električnog polja”, Zbornik radova 60. konferencije ETRAN-a, Zlatibor, Srbija, str. ML1.2.1-5, 13-16.06.2016.
- [19] *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modeling – Measurement instrumentation uncertainty*, CISPR 16-4-2, IEC, 2018.

ABSTRACT

The equipment is installed during the modernization of river ships, in addition to functional and electrical requirements, safety requirements, etc., shall be also to meet the requirements regarding occupational safety. At the same time, in order to be able to prescribe appropriate radiation protection measures for the crew members of the river ship, as part of occupational safety, it was necessary to measurement of the electric field strength at several measuring points. The measurement results have shown that the electric field strength within the limits of the allowed values.

Measurement of the electric field strength from the point of view to the effect on the health of the crew members to the river ship

Aleksandar M. Kovačević, Nenad Munić