

**Sorta 2016**

**Knjiga sažetaka 22. simpozija**

**Teorija i praksa brodogradnje**

(in memoriam prof. Leopold Sorta)

6. - 8. listopada 2016. godine, Trogir-Seget Donji, Hrvatska

**Book of Abstract of the**

**22<sup>nd</sup> Symposium on *Theory and Practice of Shipbuilding***

(In Memoriam prof. Leopold Sorta)

October 6 - 8, 2016, Trogir-Seget Donji, Croatia

**Knjiga sažetaka 22. simpozija Teorija i praksa brodogradnje,  
in memoriam prof. Leopold Sorta (Sorta 2016)**

6. - 8. listopada 2016. godine, Trogir, Seget Donji, Hrvatska

**Book of Abstract of the 22<sup>nd</sup> Symposium on *Theory and Practice of Shipbuilding,  
In Memoriam prof. Leopold Sorta***

October 6 - 8, 2016, Trogir, Seget Donji, Croatia

ISBN 978-953-7738-47-1

**Izdavač / Publisher**

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

**Urednički odbor / Editorial board**

Nastia Degiuli, FSB - Zagreb, predsjednik / chairman

Kalman Žiha, FSB - Zagreb, dopredsjednik / vice-chairman

Nenad Flesch, Brodotrogir - Trogir, član / member

Stipan Šoda-Cotić, Brodotrogir - Trogir, član / member

Vesna Kokeza, Brodotrogir - Trogir, član / member

FSB - Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

Brodotrogir - Brodotrogir d.d., Trogir

**Tisak / Printed by**

Grafis d.o.o. Split

**Prijelom teksta / Layout**

Ivana Martić, Ivan Munić

**Dizajn ovitka / Cover design**

Đurđica Katić

**Naklada / Print**

200 primjeraka / copies

Ova Knjiga sažetaka odnosi se na sve članke objavljene na USB stick-u Sorta 2016.

ISBN 978-953-7738-48-8

Za članke na engleskom jeziku najprije su navedeni naslov, sažetak i ključne riječi na engleskom jeziku.

*The Book of Abstracts refers to all papers published on the Sorta 2016 USB stick.*

*ISBN 978-953-7738-48-8*

*For papers in English, the title, summary and key words in English are written first.*

## **MJESTA ODRŽAVANJA SIMPOZIJA SORTA / PAST VENUES OF SORTA SYMPOSIUMS**

1. 1974. Zagreb, Jadranbrod, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Brodarski institut, Brodogradnja
2. 1976. Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
3. 1978. Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
4. 1980. Opatija, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
5. 1982. Split, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu
6. 1984. Beograd, Institut tehničkih nauka SANU
7. 1986. Pula, Brodogradilište Uljanik
8. 1988. Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
9. 1990. Dubrovnik, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Pomorski fakultet Dubrovnik
10. 1992. Opatija, Tehnički fakultet Rijeka
11. 1994. Dubrovnik, Atlantska plovidba, Pomorski fakultet, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
12. 1996. Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
13. 1998. Zadar, Brodogradilište Lamjana, Tankerska plovidba
14. 2000. Rijeka, Tehnički fakultet Rijeka, Brodogradilište Viktor Lenac
15. 2002. Trogir, Brodogradilište Brodotrogir
16. 2004. Plitvička jezera, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu
17. 2006. Rijeka, Brodogradilište 3. maj, Tehnički fakultet Rijeka
18. 2008. Pula, Brodogradilište Uljanik
19. 2010. Lumbarda, Korčula, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu
20. 2012. Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Brodarski institut
21. 2014. Baška, Tehnički fakultet Rijeka, Brodogradilište Viktor Lenac
22. 2016. Trogir, Seget Donji, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Brodotrogir d.d.

# **ORGANIZACIJSKI ODBOR / ORGANISING COMMITTEE**

## **Predsjednik / Chairman**

Nenad Končar, Brodotrogir – Trogir

## **Dopredsjednici / Vice-chairmans**

Dragan Sorić, Brodotrogir – Trogir

Jasna Prpić-Oršić, Tehnički fakultet – Rijeka

## **Blagajnik / Treasurer**

Zoran Macut, Brodotrogir – Trogir

## **Tajnik / Secretary**

Anamarija Škovrlj, Brodotrogir – Trogir

## **Članovi / Members**

Joško Parunov, FSB – Zagreb

Vedran Slapničar, FSB – Zagreb

Nastia Degiuli, FSB – Zagreb

Ivana Mitar, Brodotrogir – Trogir

Sanjin Sokolić, Brodotrogir – Trogir

Špiro Jadrić, Brodotrogir – Trogir

Mihovil Dekaris, Brodotrogir – Trogir

Ada Tomaš, Brodotrogir – Trogir

Boris Ljubenkov, FESB – Split

Robert Pešut, BIS – Split

Vicko Ivančević, LEDA – Korčula

Davor Vranković, NCP – Šibenik

Zlatko Zulim, HRB – Split

Bubić Ivan, LR – Split

Domagoj Jadrešić, DNV-GL – Split

Tihomir Kežić, BV – Rijeka

# **STALNI ODBOR SORTE / SORTA STANDING COMMITTEE**

## **Predsjednik / Chairman**

Joško Parunov, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

## **Članovi / Members**

Predrag Božanić, 3. Maj, Rijeka

Marinko Brgić, Uljanik, Pula

Matko Bupić, Pomorski odjel Sveučilišta u Dubrovniku, Dubrovnik

Većeslav Čorić, HATZ, Zagreb

Nastia Degiuli, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb - blagajnik

Roko Dejhalla, Tehnički fakultet, Rijeka

Đani Dundara, Uljanik, Pula

Nikša Fafanđel, Tehnički fakultet, Rijeka

Ivan Gospić, Pomorski odjel Sveučilišta u Zadru, Zadar

Rajko Grubišić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

Alan Klanac, Jadrolinija, Rijeka

Edi Kučan, Uljanik Grupa, Pula

Davor Lukeš, Viktor Lenac, Rijeka

Boris Ljubenkov, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split

Šime Malenica, Bureau Veritas, Paris

Siniša Ostojić, Hrvatska brodogradnja - Jadranbrod, Zagreb - tajnik

Darko Pappo, DiV Grupa, Split

Marta Pedišić Buča, Brodarski institut, Zagreb

Jasna Prpić-Oršić, Tehnički fakultet, Rijeka

Siniša Reljić, Navis Consult, Rijeka

Ivo Senjanović, HAZU, Zagreb

Vedran Slapničar, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb - dopredsjednik

Dragan Sorić, Brodotrogir, Trogir

Aris Večerina, MW Business Advisors, Rijeka

Pero Vidan, Pomorski fakultet, Split

Boris Vukušić, Udruženje male brodogradnje pri HGK, Zagreb

Enad Vulić, Pomorski fakultet, Split

## **CILJEVI SIMPOZIJA SORTA 2016**

SORTA 2016 predstavlja svojevrsno svjedočanstvo kontinuiranog razvoja brodograđevne struke i znanosti na ovim prostorima. Osnovni i glavni cilj simpozija je pokazati kako brodograđevna stručna i znanstvena komponenta mogu pomoći brodograđevnoj praksi i obrnuto. Ostvarenju ovog cilja doprinijet će se međunarodnim pozvanim predavanjima, odabirom odgovarajućih znanstvenih i stručnih radova te međunarodnom suradnjom sudionika simpozija.

Cilj simpozija SORTA 2016 je prikazati postojeće obrazovne, znanstvene, istraživačke, proizvodne i razvojne kapacitete hrvatske brodogradnje koji su do sada na visokoj svjetskoj razini sudjelovali u razvoju brodogradnje i napretku gospodarstva Hrvatske, što su spremni činiti i u budućnosti u uvjetima privatiziranih brodogradilišta.

## **GOALS OF SORTA 2016 SYMPOSIUM**

*SORTA 2016, represents a kind of a testimony of the continuous development of the shipbuilding profession and science in this area. The fundamental and main goal of the symposium is to demonstrate that the professional and scientific component of shipbuilding can help its practice, as well as vice versa. This goal will be achieved through international guest lectures, the selection of relevant professional and scientific papers and international cooperation of the symposium participants.*

*The aim of SORTA 2016 symposium is to present the existing educational, scientific, research, production and development capacities of Croatian shipbuilding which have thus far participated in the development of the shipbuilding industry and the progress of the Croatian economy and are prepared to do so in the future in circumstances of private shipyards.*

## SADRŽAJ / CONTENTS

<b>Brodaska hidrodinamika, pomorstvenost i upravljivost</b> <b><i>Ship hydrodynamics, seakeeping and manoeuvrability</i></b> .....	<b>9</b>
<i>Ivana Martić, Nastia Degiuli, Ivan Čatipović</i> <b>TOWARDS UNDERSTANDING THE SHIP ADDED RESISTANCE</b> <b>IN WAVES</b> .....	<b>10</b>
<i>Andrea Farkas, Nastia Degiuli</i> <b>NUMERIČKA SIMULACIJA VISKOZNOG STRUJANJA OKO</b> <b>MODELA BRODA</b> .....	<b>11</b>
<i>Deni Vlašić, Nastia Degiuli, Ivana Martić</i> <b>NUMERIČKA SIMULACIJA POKUSA SLOBODNE VOŽNJE</b> <b>MODELA BRODSKOG VIJKA</b> .....	<b>12</b>
<i>Tomislav Prosinečki, Ivana Martić, Ivan Čatipović</i> <b>UTJECAJ KUTA NAGIBA NA POMORSTVENE</b> <b>KARAKTERISTIKE JEDRILICA</b> .....	<b>13</b>
<i>Ivan Čatipović</i> <b>OVERVIEW OF NUMERICAL AND EXPERIMENTAL SETUPS</b> <b>FOR DAMAGED SHIP MOTIONS AND LOADS AT SEA WAVES</b> .....	<b>14</b>
<i>Dunja Legović, Roko Dejhalla</i> <b>AN OVERVIEW OF MEASURES FOR SHIP'S ENERGY</b> <b>EFFICIENCY IMPROVEMENT</b> .....	<b>15</b>
<i>Jasna Prpić-Oršić, Dino Mandić, Nediljko Benić, Željko Radić</i> <b>ANALIZA NENAMJERNOG PADA BRZINE TANKERA</b> <b>NA MORSKIM VALOVIMA</b> .....	<b>16</b>
<i>Natalija Vitali, Jasna Prpić-Oršić, Carlos Guedes Soares</i> <b>METHODS FOR ADDED RESISTANCE ESTIMATION</b> <b>IN HEAD AND OBLIQUE WAVES</b> .....	<b>17</b>
<i>Francesco Mauro, Pietro Cerni, Igor Zotti, Vittorio Bucci</i> <b>NUMERICAL ESTIMATION OF BARE HULL RESISTANCE</b> <b>ON A SAILING YACHT</b> .....	<b>18</b>
<i>Carlo Baroni, Carlo Maria Legittimo, Cesare Reina, Igor Zotti</i> <b>RECENT RESEARCH DEVELOPMENT ON A BIVORTIX</b> <b>VERTICAL AXIS PROPELLER</b> .....	<b>19</b>
<i>David Óscar García-Amorena García, Branko Blagojević</i> <b>VARIABLE GEOMETRY PROPELLER FOR HIGH SPEED</b> <b>MARINE PROPULSION</b> .....	<b>20</b>
<i>Inno Gatin, Vuko Vukčević, Hrvoje Jasak</i> <b>COUPLING OF HIGHER ORDER SPECTRAL METHOD</b> <b>AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS</b> .....	<b>21</b>
<i>Vuko Vukčević, Borna Šojat, Inno Gatin, Hrvoje Jasak</i> <b>VALIDATION AND VERIFICATION OF SEAKEEPING IN OPENFOAM</b> .....	<b>22</b>
<i>Luka Mudronja, Marko Katalinić, Pero Vidan, Joško Parunov</i> <b>ROUTE PLANNING BASED ON SHIP ROLL IN NUMERICALLY MODELLED</b> <b>HEAVY SEAS</b> .....	<b>23</b>

<i>Martina Andrun, Božidar Šarić, Josip Bašić, Branko Blagojević</i> CFD ANALYSIS OF SURFACE-PIERCING HYDROFOIL VENTILATION INCEPTION .....	24
<i>Marko Valčić, Jasna Prpić-Oršić</i> THE EFFECT OF FORBIDDEN ZONE HANDLING ON OPTIMAL THRUST ALLOCATION .....	25
<i>Francesco Mauro, Radoslav Nabergoj</i> ANALYSIS OF EXTREME LOADS WITH GENERALISED PARETO DISTRIBUTIONS .....	26
<i>Dario Ban, Josip Bašić, Velimir Šetka</i> HIDRODINAMIČKA NESTABILNOST VRLO BRZIH BRODOVA (HSC).....	27
<i>Obrad Kuzmanović, Đani Dundara, Vito Radolović</i> FP7 ISTRAŽIVAČKI PROJEKT GRIP .....	28
<i>Anatolij-Branko R. Togunjac, Leonid I. Vishnevsky, Sergei V. Kaprantsev</i> MODEL HYDRODYNAMIC INVESTIGATION OF TWO-STAGE MULTIPURPOSE PROPULSOR BEHIND THE SHIP .....	29
<b>Čvrstoća, vibracije i konstrukcija broda</b> <b>Ship structural design, strength and vibration analysis</b> .....	<b>30</b>
<i>Smiljko Rudan, Mattia Galletta</i> PARAMETRIC STUDY OF THE DAMAGE INDUCED IN SHIP COLLISION IN THE ADRIATIC SEA .....	31
<i>Marin Palaversa, Vedran Žanić, Pero Prebeg</i> COMPARISON OF BEAM FINITE ELEMENTS BASED ON EULER-BERNOULLI BEAM THEORY .....	32
<i>Paul Jurišić, Joško Parunov</i> CONSEQUENCES OF AGE-RELATED DEGRADATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL ON ULTIMATE LONGITUDINAL STRENGTH OF SHIP HULL .....	33
<i>Ivo Senjanović, Nikola Vladimir, Marko Tomić, Neven Hadžić,</i> <i>Stipan Šoda-Cotić</i> AN INTEGRAL PROCEDURE FOR SHIP VIBRATION ANALYSIS .....	34
<i>Helena Galić, Joško Parunov</i> ODREĐIVANJE J-FAKTORA KOD GLOBALNIH VERTIKALNIH VIBRACIJA BRODSKOG TRUPA .....	35
<i>Jerolim Andrić, Karlo Pirić, Pero Prebeg, Vedran Žanić, Lukša Radić,</i> <i>Tonči Pirović</i> FEM BASED STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF MEGA-YACHT .....	36
<i>Pero Prebeg, Jerolim Andrić, Maja Plavšić</i> UTJECAJ GRANIČNE ČVRSTOĆE BRODSKOG TRUPA NA PROJEKTIRANJE GLAVNOG REBRA TANKERA PREMA HARMONIZIRANIM PRAVILIMA (IACS CSR BC&OT) .....	37
<i>Jerolim Andrić, Pero Prebeg, Karlo Pirić, Stanislav Kitarović, Tomislav Stipić,</i> <i>Vedran Žanić, Predrag Čudina, Ana Bezić, Josip Andrišić</i> STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A BULK CARRIER ACCORDING TO IACS CRS-BC .....	38

<i>Adel El-Saleh, Kalman Žiha, Boris Ljubenkov, Janoš Kodvanj</i> PREMA SMANJENJU NEIZVJESNOSTI PRORAČUNA STRUKTURNE POUZDANOSTI GRANIČNE ČVRSTOĆE BRODSKOG TRUPA .....	39
<i>Branka Bužančić Primorac, Joško Parunov</i> RESIDUAL STRENGTH OF RANDOMLY DAMAGED OIL TANKER .....	40
<i>Miloš Balunović, Darko Burlović, Darko Frank, Arijana Milat</i> REVIEW OF COMPOSITE REPAIRS OF SHIP STRUCTURES .....	41
<b>Tehnologija, materijali, zaštita i održavanje</b> <b>Technology, materials, protection and maintenance</b> .....	<b>42</b>
<i>Matko Balić, Kristina Korun Curić, Boris Ljubenkov, Darko Tomašević</i> OKRETANJE BLOKOVA U PREDMONTAŽNOJ RADIONICI POMOĆU UŠKI I ČETIRI STOPE.....	43
<i>Dijana Pražić, Nenad Vukas, Helena Salamon</i> TEHNOLOGIJA GRADNJE BRODA ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA S INTEGRIRANIM SUSTAVOM ZA SAMOISKRCAJ ... ..	44
<i>Ivan Juraga, Ivan Stojanović, Andrea Kovač</i> ZAŠTITA PODVODNOG DIJELA BRODSKOG TRUPA PREMAZIMA .....	45
<i>Neven Hadžić, Marko Tomić, Saša Matić</i> ANALYTICAL METHODS IN SHIP PRODUCTION ENGINEERING .....	46
<i>Mihovil Dekaris, Stipan Šoda-Cotić</i> POMICANJE OPREMLJENOG NADGRAĐA TANKERA KLIZANJEM PO GREDEMA U SVRHU OTVARANJA PROLAZA ZA UGRADNJU GLAVNOG POGONSKOG STROJA .....	47
<i>Venesa Stanić</i> MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI KAO POMOĆ U PRILAGODBI BRODOGRAĐEVNOG PROCESA ZA VANBRODOGRAĐEVNE PROJEKTE ....	48
<i>Miroslav Randić, Duško Pavletić, Florian Sedmak</i> UTVRĐIVANJE UTJECAJNIH PARAMETARA NA KVALITETU ZAVARENOG SPOJA PRIMJENOM POTPUNOG PLANA POKUSA .....	49
<i>Marin Bistričić, Gordan Šikić, Milan Milanović</i> APLIKACIJA ZA IZRADU TEHNOLOŠKE RAŠČLANE MODELA SEKCIJE.....	50
<i>Stipan Šoda-Cotić</i> NASTAMBA NA PLATFORMI ZA BUŠENJE:PROJEKTIRANJE, TRANSPORT I UGRADNJA .....	51
<i>Davor Mimica, Damir Kolić, Nikša Fafandjel</i> MAPA TOKA VRIJEDNOSTI KAO ALAT ZA POBOLJŠANJE UTOVARA CEMENTA NA BROD ZA RASUTI TERET .....	52
<b>Brodsko strojarstvo, elektrotehnika, automatizacija i oprema broda</b> <b>Marine engineering, electrical engineering,</b> <b>automation and ship equipment</b> .....	<b>53</b>
<i>Tomislav Mrakovčić, Ozren Bukovac, Jasna Prpić-Oršić</i> NUMERICAL SIMULATION OF TWO-STROKE LOW SPEED TURBOCHARGED ENGINE IN HEAVY SEA CONDITIONS .....	54

<i>Ivica Ančić, Ante Šestan, Nikola Vladimír</i> ZNAČAJKE ENERGETSKIH SUSTAVA SUVREMENIH RO-RO PUTNIČKIH BRODOVA .....	55
<i>Nikola Matulić, Gojmir Radica, Nikola Račić</i> PREDNABIJANI MOTOR SA ODVOJENIM TURBINSKIM REGENERATIVNIM SUSTAVOM .....	56
<i>Gojmir Radica, Branko Lalić, Nikola Račić</i> MODELLING AND ANALYSIS OF TWO STROKE LOW SPEED DIESEL ENGINE .....	57
<i>Igor Lalović, Vito Radolović, Josip Andrišić</i> FP7 RESEARCH PROJECT SHOPERA .....	58
<b>Osnivanje brodova i specijalnih objekata</b> <b><i>Design of ships and special waterborne vessels</i></b> .....	<b>59</b>
<i>Vittorio Bucci, Alberto Marino, Francesco Mauro, Carlo Nasso</i> EVACUATION ANALYSIS FOR PASSENGER SHIPS: A NEW MANDATORY STEP FOR THE EARLY-STAGE DESIGN .....	60
<i>Viktor Ložar, Vedran Slapničar</i> SOLUTION FOR INTER-CONNECTING AND SUPPLYING ADRIATIC ISLANDS .....	61
<i>Izvor Grubišić, Vedran Slapničar, Ivan Munić, Luka Mudronja</i> POMORSKA BAŠTINA I PRAKTIČNA EDUKACIJA .....	62
<i>Miro Bugarin, Željko Domazet, Francisko Lukša</i> TEMELJNE POSTAVKE STRUKTURALNOG DIZAJNA ALUMINIJSKIH BRODICA .....	63
<i>Rodrigo Perez Fernandez</i> THE LATEST ADVANTAGES IN SHIPBUILDING CAD SYSTEMS .....	64
<i>Fai Cheng, Ivy Fang, Jose Gonzalez Celis</i> GLOBAL MARINE TECHNOLOGY TRENDS 2030 - COMMERCIAL SHIPPING .....	65
<b>Organizacija i ekonomija brodograđevne industrije</b> <b><i>Organisation and economics of shipbuilding</i></b> .....	<b>66</b>
<i>Duško Pavletić, Toni Vidolin, Mladen Šuper, Željko Vučković</i> ISHODI UČENJA I POTREBE TRŽIŠTA RADA – PRIMJER IZ PODRUČJA ZAVARIVANJA .....	67
<i>Tanja Gortan, Ines Raic Sudar, Aleksandar Budisavljević,</i> <i>Nikolina Abramović, Mihaela Načinović</i> UTJECAJ ULJANIK GRUPE NA HRVATSKO GOSPODARSTVO .....	68
<i>Ante Čagalj, Roko Markovina, Ivica Veža</i> INTEGRACIJSKI PROCESI U BRODOGRADNJI .....	69
<i>Tomislav Prpić</i> UPRAVLJANJE PROJEKTIMA U BRODOGRADNJI .....	70
<i>Marina Vukman, Damir Kolić, Nikša Fafandjel</i> DFP ANALIZA IZRADE PANELA U BRODOGRADNJI .....	71

**Brodaska hidrodinamika,  
pomorstvenost i upravljivost**

***Ship hydrodynamics,  
seakeeping and manoeuvrability***

Ivana MARTIĆ, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, ivana.martic@fsb.hr

Nastia DEGIULI, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, nastia.degiuli@fsb.hr

Ivan ČATIPOVIĆ, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, ivan.catipovic@fsb.hr

## **TOWARDS UNDERSTANDING THE SHIP ADDED RESISTANCE IN WAVES**

### **Abstract**

Intuitive methods for the determination of the ship added resistance in waves date from the very beginning of the study of this complex physical problem. They were created in the absence of accurate analytical and numerical tools for the ship motion and present phenomenon analysis, particularly wave diffraction and radiation. Physical idealization of this hydrodynamic problem remained the same even after the development of modern numerical methods. This paper contains a theoretical basis of the ship added resistance in waves along with the intuitive methods explained by using the numerical results obtained on the basis of the extended potential flow theory. Increasing of the ship resistance due to head harmonic wave is described by quadratic transfer function QTF. Influence of the ship motions and response phase shifts on the ship added resistance in waves is also presented. Numerically obtained data of the ship added resistance in waves are validated by comparing the results of intuitive and rational models with the available experimental results.

*Key words: added resistance in waves, quadratic transfer function, phase shift*

## **TEMELJ ZA RAZUMIJEVANJE DODATNOG OTPORA BRODA NA VALOVIMA**

### **Sažetak**

Intuitivne metode određivanja dodatnog otpora broda na valovima nastale su na samim počecima proučavanja tog složenog fizikalnog problema. Nastale su u nedostatku točnijih analitičkih i numeričkih postupaka analize njihanja broda i prisutnih pojava, prije svega valne difrakcije i radijacije. Fizikalna idealizacija ovog hidrodinamičkog problema ostala je uglavnom ista i nakon razvoja suvremenih numeričkih metoda. Rad sadrži opis teorijske podloge dodatnog otpora broda na valovima uz objašnjenje intuitivnih metoda pomoću numeričkih rezultata dobivenih na temelju proširene potencijalne teorije. Povećanje otpora broda na pramčanim harmonijskim valovima opisano je kvadratnom prijenosnom funkcijom QTF. Prikazan je utjecaj njihanja broda te faznih pomaka odziva na dodatni otpor broda na valovima. Numerički podaci dodatnog otpora broda na valovima vrednovani su usporedbom rezultata intuitivnih i racionalnih modela s dostupnim eksperimentalnim rezultatima.

*Ključne riječi: dodatni otpor na valovima, kvadratna prijenosna funkcija, fazni pomak*

Andrea FARKAS, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, andrea farkas992@gmail.com

Nastia DEGIULLI, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, nastia.degiuli@fsb.hr

## NUMERIČKA SIMULACIJA VISKOZNOG STRUJANJA OKO MODELA BRODA

### Sažetak

U radu je provedena numerička simulacija viskoznog strujanja oko modela tankera koristeći programski paket STAR-CCM+. Dan je matematički model koji se temelji na Reynoldsovima osrednjenim Navier-Stokesovim jednadžbama (eng. *Reynolds Averaged Navier-Stokes equations*),  $k-\varepsilon$  model turbulencije i metoda udjela fluida u volumenu (eng. *Volume of Fluid-VOF*) za opis gibanja dvofaznog medija. Također su opisani potrebni rubni uvjeti za matematički model te način diskretizacije domene. Utjecaj gustoće mreže na rezultate ukupnog otpora broda je ispitan koristeći tri gustoće mreže. Rezultati ukupnog otpora broda dobiveni numeričkim simulacijama za pet vrijednosti Froudeovih brojeva uspoređeni su s dostupnim eksperimentalnim rezultatima. Pokazano je da je za sve tri gustoće mreže moguće postići zadovoljavajuće slaganje s eksperimentalnim rezultatima.

*Ključne riječi: računalna dinamika fluida (RDF), metoda udjela fluida u volumenu (VOF),  $k-\varepsilon$  model turbulencije, otpor broda*

## NUMERICAL SIMULATION OF THE VISCOUS FLOW AROUND A SHIP MODEL

### Abstract

In this paper, numerical simulation of viscous flow around the tanker model was carried out by use of software package STAR-CCM+. A mathematical model based on Reynolds averaged Navier-Stokes equations,  $k-\varepsilon$  turbulence model and Volume of Fluid method (VOF) for describing the motion of two-phase media are given. Also, necessary boundary conditions for the mathematical model and the method of implementation of discretization are described. The influence of the grid density on the results for the total ship resistance was investigated using three different grid densities. Results of total ship resistance, obtained by numerical simulations, were compared to available experimental results. It has been shown that for all three grid densities satisfactory agreement with experimental results can be achieved.

*Key words: Computational Fluid Dynamics (CFD), Volume of Fluid method (VOF),  $k-\varepsilon$  turbulence model, ship resistance*

Deni VLAŠIĆ, dv190676@stud.fsb.hr, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb  
Nastia DEGIULI, nastia.degiuli@fsb.hr, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb  
Ivana MARTIĆ, ivana.martic@fsb.hr, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb

## NUMERIČKA SIMULACIJA POKUSA SLOBODNE VOŽNJE MODELA BRODSKOG VIJKA

### Sažetak

Određivanje hidrodinamičkih značajki broskog vijka u slobodnoj vožnji vrlo je važno provesti u ranoj fazi osnivanja broda. Hidrodinamičke značajke brodskih vijaka pouzdano se mogu odrediti ispitivanjem modela brodskih vijaka. Razvoj računalne dinamike fluida (RDF) omogućio je numeričko određivanje hidrodinamičkih značajki modela broskog vijka, što znatno skraćuje vrijeme i smanjuje troškove projektiranja broskog vijka nove geometrije. U ovom radu su provedene numeričke simulacije slobodne vožnje modela broskog vijka u svrhu ispitivanja mogućnosti primjene računalne dinamike fluida pri projektiranju broskog vijka. U radu je korišten programski paket otvorenog koda OpenFOAM. To je programski paket koji se zasniva na modelu viskozno strujanja tekućine opisanog Reynoldsovom osrednjenim Navier-Stokesovim jednadžbama. Validacija programskog paketa OpenFOAM je provedena usporedbom rezultata dobivenih numeričkim simulacijama s eksperimentalnim podacima dostupnim u literaturi. Pri provođenju numeričkih simulacija primijenjena je metoda višestrukih referentnih koordinatnih sustava (eng. *Moving Reference Frame method* - MRF). MRF metoda rješava jednadžbe strujanja u rotirajućem koordinatnom sustavu broskog vijka što omogućuje rješavanje ovog problema kao stacionarnog. Iz rezultata dobivenih numeričkim simulacijama može se zaključiti da je računalnu dinamiku fluida moguće uspješno primijeniti za simulaciju pokusa slobodne vožnje broskog vijka te određivanje sile poriva, momenta vijka i stupanja djelovanja vijka u slobodnoj vožnji.

*Gljučne riječi: brodski vijak, pokus slobodne vožnje, računalna dinamika fluida*

## NUMERICAL SIMULATION OF THE OPEN WATER TEST FOR MARINE PROPELLER MODEL

### Abstract

Determination of open water hydrodynamic characteristics of a marine propeller is very important in the early stage of ship design. Hydrodynamic characteristics of marine propellers can be reliably determined by testing propeller models. The development of computational fluid dynamics (CFD) enabled the numerical determination of the hydrodynamic characteristics of the marine propeller model, which significantly shortens the time and reduces the cost of designing the marine propeller with new geometry. In this paper, numerical simulations of open water test are carried out with the purpose of examining the possibility of applying the computational fluid dynamics for the design of the marine propeller. The open source software package OpenFOAM is used. It is a software package based on the viscous fluid flow model described with Reynolds averaged Navier-Stokes equations. Validation of the software package OpenFOAM is carried out by comparing the results obtained by numerical simulations with experimental data available in the literature. *Moving Reference Frame* (MRF) method is used in numerical simulations. MRF method solves the flow equations in a rotating coordinate system of the marine propeller which allows to solve this problem as stationary one. From the results obtained by numerical simulations it can be concluded that the computational fluid dynamics can be successfully applied to simulate open water test of a marine propeller and to obtain the thrust, torque and propeller efficiency in open water test.

*Key words: marine propeller, open water test, computational fluid dynamics*

Tomislav PROSINEČKI, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, tprosine@gmail.com

Ivana MARTIĆ, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, ivana.martic@fsb.hr

Ivan ČATIPOVIĆ, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, ivan.catipovic@fsb.hr

## UTJECAJ KUTA NAGIBA NA POMORSTVENE KARAKTERISTIKE JEDRILICA

### Sažetak

Ponašanje jedrilice na valovima kompleksno je hidrodinamički modelirati numeričkim metodama zbog nestacionarnosti pojava. U ovome radu, problemu pomorstvenosti jedrilice u uspravnom i nagnutom stanju pristupilo se koristeći *metodu rubnih elemenata* (eng. *Boundary Element Method*) koja se temelji na potencijalnom strujanju fluida i linearnoj teoriji valova. Metode rubnih elemenata panelima opisuju strujanje oko forme broda pri čemu se rješenje dobiva određivanjem jakosti nepoznatih izvora rješavanjem integralnih jednadžbi uz odabrane početne i rubne uvjete. Iako je metoda rubnih elemenata često primjenjivana prilikom proučavanja hidrodinamičkih karakteristika velikih trgovačkih brodova, nije se dosad često primjenjivala za proučavanje hidrodinamičkih karakteristika manjih plovila, posebno onih s manjim blok koeficijentom. Promatran je odziv dviju formi iz sustavne serije *Delft Systematic Yacht Hull Series*, u uspravnom i nagnutom stanju, za dvije brzine napredovanja i pet valnih duljina. Svi rezultati uspoređeni su s dostupnim eksperimentalnim podacima. Potencijalna teorija kvalitativno dobro opisuje ponašanje jedrilice na valovima, međutim kvantitativno pokazuje stanovita odstupanja.

*ključne riječi: jedrilica, nagib, pomorstvenost, potencijalno strujanje*

## THE INFLUENCE OF HEEL ANGLE ON SEAKEEPING CHARACTERISTICS OF A SAILING YACHT

### Abstract

Hydrodynamic model of the sailing yacht response to waves is a complex numerical problem due to its non-stationary nature. Presented study approaches the problem of the seakeeping characteristics of sailing yacht using the *Boundary Element Method*, based on potential flow and linear wave theory. *Boundary Element Methods* uses panels with distributed sources to describe the flow around the hull. The solution is obtained by solving integral equations and determination of the unknown sources strengths with the respect to boundary conditions. Although the *Boundary Element Method* is often applied when studying the hydrodynamic characteristics of large merchant ships, when it comes to smaller vessels, especially those with lower block coefficient, it is still rarely used. Two *Delft Systematic Yacht Hull Series* hull forms have been observed, in upright and heeled condition, for two sailing speeds and five wave lengths. All the numerical results have been compared to available experimental towing tank results. Potential theory qualitatively describes the seakeeping characteristics of sailing boat with sufficient accuracy, but quantitatively shows certain deviations.

*Key words: sailing yacht, heel, seakeeping, potential flow*

## OVERVIEW OF NUMERICAL AND EXPERIMENTAL SETUPS FOR DAMAGED SHIP MOTIONS AND LOADS AT SEA WAVES

### Abstract

Within this overview the influence of waves on damaged ship is observed. Numerical methods used for evaluation of damaged ship motions and loads that are developed by various authors are described. Experimental studies intended for the same purpose are presented. By overview of numerical methods it can be found that ship response induced by waves are solved by linear or non-linear boundary element method (BEM) solved in time domain. Mathematical models used for description of flooded water are simplified and the sloshing effect is neglected. In some models the inflow and outflow seawater is simplified but nevertheless non-linear. In general, satisfactory agreements with experimental results are found especially in cases where heave and pitch are observed. Similar conclusion is found for vertical and horizontal wave bending moments. Conducted experimental studies are mostly done for Ro-Ro ship or ships that are used as benchmarks (DTMB 5415 frigate). Tests were conducted at regular set of waves without forward ship speed with constant heading angles. Published measurements for other types of vessels are not found (as far as is known to the author). Also, testing for irregular waves for six-degrees of freedom is non-existing.

*Key words: damaged ship, flooded water, wave motions, wave loads.*

## PREGLJED NUMERIČKIH I EKSPERIMENTALNIH PRISTUPA ZA ODREĐIVANJE GIBANJA I OPTEREĆENJA OŠTEĆENOG BRODA NA MORSKIM VALOVIMA

### Sažetak

U ovom pregledu razmatran je utjecaj valova na oštećeni brod. Opisane su numeričke metode koje se koriste za procjenu gibanja i opterećenja oštećenog broda a koje su razvili razni autori. Eksperimentalne studije koje su provedene s istom svrhom također su prezentirane. Pregledom numeričkih metoda ustanovljeno je da se za odziv broda na valovima koriste linearne i nelinearne metode rubnih elemenata koje se rješavaju u vremenskoj domeni. Matematički modeli koji se koriste za opis naplavljenе vode su pojednostavljeni te zanemaruju efekt zapljuskivanja. U nekim modelima ulaz i izlaz morske vode je pojednostavljen ali ipak nelinearan. Općenito, zadovoljavajuće slaganje s eksperimentalnim rezultatima je ustanovljeno, posebno u slučajevima u kojima se razmatra poniranje i posrtanje. Sličan zaključak vrijedi i za vertikalni i horizontalni valni moment savijanja. Provedene eksperimentalne studije uglavnom su izvedene za Ro-Ro brodove ili za brodove koji se koriste kao predlošci (DTMB 5415 fregata). Objavljena mjerenja za druge vrste brodova ne postoje (bar koliko je poznato autoru). Također ne postoje mjerenja na nepravilnim valovima sa šest stupnjeva slobode gibanja.

*Ključne riječi: oštećeni brod, naplavljenа voda, gibanje uslijed valova, valna opterećenja*

Dunja LEGOVIĆ, Faculty of Engineering, University of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, dlegovic@riteh.hr

Roko DEJHALLA, Faculty of Engineering, University of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, roko@riteh.hr

## **AN OVERVIEW OF MEASURES FOR SHIP'S ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT**

### **Abstract**

The current state of ship energy efficiency measures which are being taken to improve ship efficiency, reduce fuel consumption and lower emissions is presented. Regarding design and construction of a new vessel, the optimization of the hull, appendages, and propulsion systems is discussed. Furthermore, devices that are used to improve the efficiency of propellers are introduced, together with a survey of developing technologies aimed at reducing the hull frictional resistance or using renewable energy sources. Finally, regarding fuel efficiency in service, some operational and maintenance measures that can reduce fuel consumption are addressed. Some of the named approaches can be successfully applied to already existing vessels to improve the current performances.

*Key words: ship energy efficiency, overview*

## **PREGLED MJERA ZA POBOLJŠANJE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI BRODA**

### **Sažetak**

U radu je prikazano trenutno stanje mjera koje se poduzimaju za poboljšanje učinkovitosti broda s energetskeg stajališta, te u vidu smanjenja potrošnje goriva i emisije stakleničkih plinova. Razmatraju se mogućnosti optimizacije trupa, privjesaka i propulzijskih sustava u okviru projektiranja i gradnje broda. Nadalje, navedeni su uređaji koji se koriste za poboljšanje stupnja djelovanja brodskog vijka, zajedno s pregledom tehnologija koje se razvijaju u svrhu smanjenja otpora trenja ili koje primjenjuju obnovljive izvore energije. Naposljetku, razmatraju se mjere koje se odnose na operativnost i održavanje, a izravno utječu na smanjenje potrošnje goriva u službi. Neki od navedenih pristupa mogu se uspješno primijeniti na već postojeće brodove radi poboljšanja trenutnih značajki.

*Gljučne riječi: energetska učinkovitost broda, pregled*

Jasna PRPIĆ-ORŠIĆ, Faculty of Engineering, University of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Croatia, jasnapo@riteh.hr

Dino MANDIĆ, ITEL d.o.o., Ulica Ivana Kukuljevića Sakcinskog 5, 21000, Split, Croatia, dino.mandic@sailrouter.com

Nediljko BENIĆ, Brodotrogir d.d., Put brodograditelja 16, 21220 Trogir, nediljko.benic@brodotrogir.hr

Željko RADIĆ, Brodotrogir d.d., Put brodograditelja 16, 21220 Trogir, zeljko.radic@brodotrogir.hr

## **ANALIZA NENAMJERNOG PADA BRZINE TANKERA NA MORSKIM VALOVIMA**

### **Sažetak**

U radu je napravljena analiza nenamjernog pada brzine tankera na morskim valovima. Procijenjen je odziv broda na harmonijskim valovima. Analiza pada brzine je napravljena za niz zadanih stanja mora (značajne valne visine: 0-7 m) i kursnih kutova (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°) te tri odabrane inicijalne brzine (10 čv., 12,5 čv. i 15 čv.). Vrijednosti otpora broda na mirnoj vodi procijenjene su metodom Holtrop i Mannena, a vrijednosti dodatnog otpora na valovima Faltinsenovom metodom integracije tlakova. Značajke vijka u slobodnoj vožnji dobivene se metodom Oostervelda i Oossanena. Rezultati proračuna otpora broda na mirnoj vodi, te značajki vijka u slobodnoj vožnji uspoređeni su s eksperimentalnim podacima. Pad brzine određen je temeljem nepromjenjive snage za tri slučaja opterećenja.

*Ključne riječi: nenamjerno smanjenje brzine, pomorstvenost, morski valovi*

## **INVOLUNTARY SPEED LOSS OF A TANKER IN SEA WAVES**

### **Abstract**

The paper represents an analysis of involuntary speed loss of the tanker ship because of the impact of the sea waves. Ship response in regular waves is estimated. The analysis of speed loss was made for a set of various conditions (significant wave height: 0-7 m) and heading angles (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°) and three selected initial speed (10 čv., 12.5 čv. and 15 čv.). The values of ship resistance in calm water were estimated by the method Holtrop and Mannen, while values of added resistance in waves by Faltinsen integration pressure method. Characteristics of propeller free run are obtained by the Oosterveld and Oossanen method. The results of ship resistance in still water calculations, and free run propeller characteristics are compared with experimental data. The rate of speed loss is determined on the basis of fixed power for three loading cases.

*Key words: involuntary speed reduction, seakeeping, sea waves*

Natalija VITALI, Faculty of Engineering, University of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, natalija.vitali@riteh.hr

Jasna PRPIĆ-ORŠIĆ, Faculty of Engineering, University of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, jasnapo@riteh.hr

Carlos GUEDES SOARES, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, c.guedes.soares@centec.tecnico.ulisboa.pt

## **METHODS FOR ADDED RESISTANCE ESTIMATION IN HEAD AND OBLIQUE WAVES**

### **Abstract**

The study is focused on numerical and experimental estimation of added resistance of ship in regular waves. Although added resistance is not the most important component of total ship resistance, the estimation of the resistance increase due to waves represents the problem of high practical interest because of its implication on ship speed and fuel consumption estimation. This paper deals with two methods for added resistance estimation in long waves and one method for short wave regions applicable for head and oblique waves, as well as their comparison for different ship types and different conditions. An overview of the methods is given. Comparison of the added resistance estimation is done with experimental results where they were available.

*Key words: ship added resistance, oblique waves, added resistance experiments*

## **METODE ZA PROCJENU DODATNOG OTPORA BRODA NA VALOVIMA U PRAMAC I KOSO NADOLAZEĆIM VALOVIMA**

### **Sažetak**

Istraživanje je usredotočeno na numeričke i eksperimentalne metode za procjenu dodatnog otpora broda na pravilnim valovima. Dodatni otpor nije najbitnija komponenta ukupnog otpora broda, no procjena povećanja otpora uzrokovanog valovima predstavlja značajan problem u praksi radi utjecaja koji ima na brzinu broda i procjenu potrošnje goriva. U ovom radu obrađuju se dvije metode za procjenu dodatnog otpora na dugim valovima te jedna metoda za procjenu na kratkim valovima, primjenjive na valove u pramac kao i koso nadolazeće valove. Dana je teoretska podloga metoda. Također je dana usporedba metoda za različite tipove brodova i različite uvjete plovidbe. Predviđeni dodatni otpor je uspoređen s eksperimentalnim podacima za slučajeve gdje su bili dostupni.

*Ključne riječi: dodatni otpor broda, koso nadolazeći valovi, ispitivanja dodatnog otpora*

Francesco MAURO, University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Via Valerio 10 34127 Triest (Italy), fmauro@units.it

Pietro CERNI, University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Via Valerio 10 34127 Triest (Italy),pietro.cerni@libero.it

Igor ZOTTI, University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Via Valerio 10, 34127 Triest (Italy), zotti@units.it

Vittorio BUCCI, University of Trieste, Department of Engineering and Architecture, Via Valerio 10 34127 Triest (Italy), vbucci@units.it

## **NUMERICAL ESTIMATION OF BARE HULL RESISTANCE ON A SAILING YACHT**

### **Abstract**

The estimation of the hydrodynamic performances of a sailing yachts are not easy to be determined in an unambiguous way because the presence of the wind as propulsive force leads to a strong coupling between all the six degrees of freedom of the vessel, even in reasonably calm water. This kind of situation makes really hard to establish the final resistance of the hull and makes even more complicated the selection of a specific situation to perform a hull form optimisation. Once a first assessment of the resistance quality of a sailing yacht should be done, a simple approximation in three degrees of freedom can be made, giving indications also to motor cruise performances of the sailing yacht. STARCCM+ solver for RANS equations has been used to evaluate the total hull resistance. To perform an accurate calculation, a validation study has been executed on a model of the Delft Systematic Yacht Hull Series. On the validated mesh it was possible to perform calculations at the design speed, aimed to study new hull geometries to reduce the total resistance. On the final hull, all the speed range of interest has been tested and compared with results coming from systematic series and slender body theory.

*Key words: Sailing Yacht, CFD calculations, validation study, resistance reduction*

## **NUMERIČKA PROCJENA OTPORA TRUPA JEDRILICE BEZ PRIVJESAKA**

### **Sažetak**

Hidrodinamička svojstva jedrilice nije lako jednoznačno procijeniti, jer utjecaj vjetra kao propulzivne sile dovodi do jake sprege između svih šest stupnjeva slobode gibanja broda čak i na prilično mirnom moru. Osim što je zahtjevno točno procijeniti otpor trupa jedrilice, još je zahtjevnije izabrati konkretan slučaj za koji bi se provela optimizacija forme jedrilice. Nakon što je provedena prvotna procjena otpora za određeni trup jedrilice, moguće je aproksimirati jedrilicu u plavidlu samo sa tri stupnja slobode gibanja. STARCCM+ programski paket korišten je za određivanje otpora trupa broda rješavanjem RANS jednažbi dinamike fluida. Kako bi se proveli pouzdani proračuni, provedena je validacija na modelu iz sistematske serije Delft. Primjenom validirane mreže izvršeni su proračuni s ciljem istraživanja nove forme trupa manjeg ukupnog otpora pri projektnoj brzini. Za konačno odabranu formu trupa ispitan je cijeli raspon brzina i uspoređeni su s podacima sistematske serije te s rezultatima dobivenim prema teoriji vitkog tijela.

*Ključne riječi: jedrilica, računalna dinamika fluida, validacija, smanjenje otpora*

Carlo BARONI, C.N. Tergeste Power and Propulsion Co, Trieste, Italy,  
carlo.baroni@tergestepowerandpropulsion.com

Carlo Maria LEGITTIMO, researcher student, University of Trieste, Città Della Pieve (PG),  
Italy, carlomarialegittimo@yahoo.it

Cesare REINA, Professor, International School for Advanced Studies (SISSA), Trieste, Italy,  
reina@sissa.it

Igor ZOTTI, Professor, Department of Engineering and Architecture (DIA), University of  
Trieste, Italy, via A. Valerio, 10 – 34127 Trieste, Italy, zotti@units.it

## **RECENT RESEARCH DEVELOPMENT ON A BIVORTIX VERTICAL AXIS PROPELLER**

### **Abstract**

Preliminary tests on a vertical axis propeller model, with a double blade system are presented in [1]. The functioning of the system can be influenced by many parameters, such as the blades geometrical features, the number of blades of each rotor, their positioning on the hull, the number of propeller revolutions, the boat speed and the engine power.

A series of full scale systematical tests with varying parameters was carried out, in order to define their effect on the behaviour of the global propeller. After having defined the testing procedures, the efficiency and the Thrust/Engine Power ratio were obtained for every condition. Subsequently, by changing the foil profiles and the position of the propeller on the boat, a series of improvements and investigations are described. The characteristics of the blades have been investigated by tests carried out, over the stall angle, in a small towing tank of Trieste University. A series of results are presented and discussed.

*Key words: Cycloidal Propellers, Kirsten Boeing Propellers.*

## **NAJNOVIJI RAZVOJ ISTRAŽIVANJA BIVORTIX PROPELERA S VERTIKALNOM OSOVINOM**

### **Sažetak**

Preliminarni pokusi na modelu propelera s vertikalnom osovinom sa sustavom dvostrukih krila su prikazani u [1]. Funkcioniranje sustava može biti pod utjecajem više parametara, kao što su geometrijske značajke krila, broj krila svakog rotora, njihovo pozicioniranje na trupu, broj okretaja propelera, brzina plovila i snaga motora.

Provedena je serija sustavnih ispitivanja u prirodnoj veličini s promjenom parametara, u cilju definiranja njihovog utjecaja na ponašanje propelera. Nakon što su definirani ispitni postupci, moguće je dobiti učinkovitost i omjer snage poriva i snage motora za svaki uvjet. Nakon toga, promjenom profila krila i položaja propelera na brodu, opisana su predložena poboljšanja i ispitivanja. Karakteristike krila su, preko idealnog napadnog kuta, istražena ispitivanjima provedenim u malom eksperimentalnom bazenu Sveučilišta u Trstu. Niz rezultata je prikazan i raspravljen.

*Gljučne riječi: Cikloidni propulzori, Kirsten-Boingov propulzori*

David Óscar GARCÍA-AMORENA GARCÍA, University of Split, FESB, Ruđera Boškovića 32, Split, garciaamorena@gmail.com

Branko BLAGOJEVIĆ, University of Split, FESB, Ruđera Boškovića 32, Split, bblag@fesb.hr

## VARIABLE GEOMETRY PROPELLER FOR HIGH SPEED MARINE PROPULSION

### Abstract

The paper presents a novel concept for propulsion of high-speed ships with aim to reduce the fuel consumption and increase efficiency. The concept, named HyLife, introduces variable geometry propeller and nozzle, based on the waterjet and controlled pitch propeller designs. By changing orientation of propeller blades and nozzle simultaneously, i.e. by varying the geometry, it is possible to increase the propulsive efficiency of the ship and reduce fuel consumption. Efficiency increase between 8% and 14%, for certain types of fast ships, is potentially expected. Additionally, fuel savings can be the result of allowing the ship to run in combinator mode for certain operational profiles and also because of the advantages this concept brings to manoeuvrability. From the regulative point of view, the innovation means advantages for the upcoming EEDI and to the ship owners in the matter of ECA SOx NOx and Tier III compliance.

The system efficiency is checked on three similar high speed ships: a Littoral-class multipurpose vessel and two RoPax vessels with different sizes. The results achieved are an outline based on mathematical simulations. More accurate data requires shop test, CFD analysis and sea trials.

*Key words: fuel savings, propulsive efficiency, high speed ship, water jet*

## PROPELER PROMJENJIVE GEOMETRIJE ZA PROPULZIJU BRZIH BRODOVA

### Sažetak

Rad prikazuje inovativni propulzijski sustav za pogon brzih brodova koji ima za cilj smanjenje potrošnje goriva i povećanje efikasnosti propulzije. Koncept, nazvan HyLife, uvodi varijabilnu geometriju propelera i sapnice, a na temelju dizajna vodomlaznih propulzora i propelera s promjenjivim usponom. Istovremenom promjenom orijentacije krila propelera i sapnice, tj. variranjem geometrije propulzora, pokazalo se je da je moguće povećati efikasnost propulzije i smanjiti potrošnju goriva. Procijenjeno povećanje efikasnosti je između 8% i 14%, kod određenih tipova brzih brodova. Dodatne ušteda goriva mogu se postići u kombiniranom načinu rada broda za određene operativne zahtjeve te poboljšanjem i efikasnijim upravljanjem broda primjenom prikazanog propulzora. Sa stajališta regulatornih propisa inovacija donosi poboljšanja za nadolazeći EEDI te usklađenost s ECA SOx NOx i Tier III, što je značajno za brodovlasnike. Efikasnost sustava je provjerena na tri broza broda, Littoral klasu ratnih brodova i dva RoPax broda. Dobiveni rezultati su preliminarni i temeljeni na analitičkim izrazima. Precizniji rezultati uslijedit će numeričkim analizama kao što je CFD te testiranjem modela.

*Gljučne riječi: ušteda goriva, efikasnost propulzije, brzi brod, vodomlazni propulzor*

Inno GATIN, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, inno.gatin@fsb.hr  
Vuko VUKČEVIĆ, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, vuko.vukcevic@fsb.hr  
Hrvoje JASAK, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, hrvoje.jasak@fsb.hr

## **COUPLING OF HIGHER ORDER SPECTRAL METHOD AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

### **Abstract**

This paper presents an efficient method for simulating extreme wave loads using Higher Order Spectral (HOS) method and Computational Fluid Dynamics (CFD) in OpenFOAM. HOS is capable of nonlinear propagation of arbitrary wave spectrum, while being computationally effective. CFD enables fully nonlinear two-phase, turbulent flow solution with vorticity effects at the cost of increased CPU time. In this work the coupling of HOS and CFD is briefly presented and numerical simulations depicting the capabilities of the coupling are shown.

*Key words: Extreme Wave Loads Simulation, Computational Fluid Dynamics, Higher Order Spectral Method, OpenFOAM*

## **SPREGA SPEKTRALNE METODE VIŠIH REDOVA I RAČUNALNE DINAMIKE FLUIDA**

### **Sažetak**

U ovom radu je pokazana mogućnost efikasnog provođenja numeričkih simulacija opterećenja konstrukcija uslijed nailaska ekstremnog vala u programu OpenFOAM. Spregom spektralne potencijalne nelinearne metode viših redova za propagaciju površinskih valova i računalne dinamike fluida omogućuje se provođenje ovakvih simulacija u razumnom vremenu. Spektralna metoda viših redova (eng. "Higher Order Spectral Method", HOS) omogućuje nelinearnu propagaciju proizvoljnog valnog spektra uz vrlo niske zahtjeve proračunskog vremena, dok računalna dinamika fluida pruža potpuno rješavanje dvofaznog, turbulentnog i vrtložnog strujanja fluida. Ukratko je prikazan način sprege HOS metode i računalne dinamike fluida, te primjer simulacije opterećenja konstrukcije uslijed nailaska ekstremnog vala.

*Ključne riječi: ekstremna valna opterećenja, računalna dinamika fluida, spektralna metoda viših redova, OpenFOAM*

Vuko VUKČEVIĆ, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, vuko.vukcevic@fsb.hr

Borna ŠOJAT, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, bornaa.sojat@gmail.com

Inno GATIN, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, innogatin@gmail.com

Hrvoje JASAK, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, hrvoje.jasak@fsb.hr

## **VALIDATION AND VERIFICATION OF SEAKEEPING IN OPENFOAM**

### **Abstract**

In this paper a detailed validation and verification of seakeeping simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD) software OpenFOAM is presented. For the DSYHS #44 sailing boat, different head wave conditions for a fixed Froude number are simulated and the results are compared to experimental data. For the KRISO Container Ship (KCS), a large number of incident wave cases is considered at design Froude number. Incident wave parameters and direction of wave propagation with respect to ship's heading are varied. The results for the total resistance, heave, pitch and roll are compared to experimental data. All simulations are conducted on three different grids in order to assess numerical uncertainties.

*Key words: Ship Resistance in Waves, Seakeeping, Computational Fluid Dynamics, OpenFOAM.*

## **VALIDACIJA I VERIFIKACIJA PRORAČUNA POMORSTVENOSTI BRODA POMOĆU PROGRAMA OPENFOAM**

### **Sažetak**

U ovom radu je prikazana detaljna studija validacije i verifikacije proračuna pomorstvenosti broda pomoću programa računalne dinamike fluida OpenFOAM. Za jedrilicu DSYHS #44, različiti valovi u pramac pri konstantnom Froude-ovom broju su simulirani te su rezultati uspoređeni s eksperimentalnim podacima. Za kontejnerski brod "KRISO Container Ship" (KCS), provedene su simulacije za velik broj slučajeva nailaznog vala, pri projektom Froude-ovom broju. Varirane su karakteristike valova i kut nailaska vala u odnosu na smjer napredovanja broda. Rezultati otpora broda na valovima, poniranja, posrtanja i ljuljanja uspoređeni su s eksperimentalnim podacima. Sve simulacije provedene su na tri proračunske mreže kako bi se provela analiza osjetljivosti rješenja na rezoluciju mreže.

*Ključne riječi: otpor broda na valovima, pomorstvenost broda, računalna dinamika fluida, OpenFOAM*

Luka MUDRONJA, Faculty of Maritime Studies, University of Split, Zrinsko-Frankopanska 38 Split, luka.mudronja@pfst.hr  
Marko KATALINIĆ, Faculty of Maritime Studies, University of Split, Zrinsko-Frankopanska 38 Split, marko.katalinic@pfst.hr  
Pero VIDAN, Faculty of Maritime Studies, University of Split, Zrinsko-Frankopanska 38 Split, pero.vidan@pfst.hr  
Joško PARUNOV, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5 Zagreb, jparunov@fsb.hr

## **ROUTE PLANNING BASED ON SHIP ROLL IN NUMERICALLY MODELLED HEAVY SEAS**

### **Abstract**

Challenges in navigation route planning for seafarers are ship safety, travelling comfort and reasonable voyage duration time. Various routing models available to shipping companies aim to partially or fully avoid bad weather and heavy seas. The presented study analyses the situation when heavy weather cannot be avoided and the ship passes through a storm having the seafarers making immediate decisions about course and advance speed. Possible routes were evaluated for an existing shipping line across the Adriatic Sea during strong south-east wind that occurs several times per year. Heavy sea, resulting from strong winds, was calculated by a spectral wind-wave model SWAN. Ship response was computed by a combination of analytical expressions and spectral analysis. Ship roll was chosen as the seakeeping criteria for route planning.

*Key words: route planning, ship roll, heavy seas, SWAN numerical wave model.*

## **PLANIRANJE RUTE PLOVIDBE S KRITERIJEM LJULJANJA BRODA NA NUMERIČKI MODELIRANIM VALOVIMA**

### **Sažetak**

Odabir rute plovidbe broda predstavlja izazov pomorcima kako sa stajališta sigurnosti i udobnosti tako i brzine plovidbe te pravovremenog dolaska u luku. Mnogi modeli planiranja rute plovidbe savjetuju kako izbjeći nevrijeme i valovito more. Ovaj rad se bavi problemom prolaska broda kroz oluju i nemogućnosti izbjegavanja valovitog mora. U takvom slučaju pomorac mora odlučiti kako postaviti brod na valove i kojom brzinom napredovati. Odabrana je postojeća brodska linija na Jadranskom moru te su analizirane moguće plovidbene rute u uvjetima jakog jugoistočnog vjetera. Uz poznavanje brzine i smjera vjetera, spektralnim numeričkim modelom SWAN dobiveni su vjetrovni valovi. Odziv broda na valovima je izračunat kombinacijom analitičkih izraza i spektralne analize. Ljuljanje broda je uzeto kao kriterij pomorstvenosti broda na željenoj ruti.

*Ključne riječi: planiranje rute plovidbe, ljuljanje broda, olujno more, SWAN numerički model valova*

Martina ANDRUN, University of Split, FESB, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split,  
mandru00@fesb.hr

Božidar ŠARIĆ, University of Split, FESB, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split,  
bsaric@fesb.hr

Josip BAŠIĆ, University of Split, FESB, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split, jobasic@fesb.hr

Branko BLAGOJEVIĆ, University of Split, FESB, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split,  
bblag@fesb.hr

## **CFD ANALYSIS OF SURFACE-PIERCING HYDROFOIL VENTILATION INCEPTION**

### **Abstract**

The paper presents a possibility of occurrence of ventilation phenomenon on the centerboard surface-piercing (SP) hydrofoil of a small autonomous unmanned surface vehicle (AUSV). Ventilation is a common problem associated with the design of surface-piercing hydrofoil crafts, which results in a loss of lift leading to undesired performance and consequences. Ventilation can be intentionally induced or can occur as a natural phenomenon at any air-water interface. In this work only spontaneous inception of the ventilation in transient motion of the separated flow region was considered. The main features are analyzed with the panel method such as coefficient of lift and drag for 3D wing. The free surface capturing was done using the volume of fluid (VOF) method to capture flow separation effect. CFD simulation was carried out for different attack angles, speeds and hydrofoil design in order to determine the probability of ventilation occurrence. Conclusions and suggestions for design of the hydrofoil are presented.

*Key words: surface-piercing hydrofoil, natural ventilation, CFD analysis*

## **CFD ANALIZA POJAVE VENTILACIJE NA DJELOMIČNO URONJENOM HIDROKRILU**

### **Sažetak**

Rad prikazuje mogućnost pojave ventilacije na prednjem hidrokriilu malog autonomnog površinskog plovila. Ventilacija je problem povezan sa dizajnom hidrokriilnih brodova sa djelomično uronjenim (eng. surface-piercing) krilima, koji rezultira gubitkom uzgona i vodi do neželjenih učinaka na performanse plovila. Ventilacija može biti namjerno izazvana ili se može pojaviti kao prirodni fenomen pri bilo kojoj interakciji vode i zraka. U ovom radu razmatra se samo spontani, prirodni, nastanak ventilacije u prijelaznom području kod odvajanja strujanja. Glavne značajke kao što su koeficijenti uzgona i otpora 3D krila analiziraju se panel metodom. Slobodna površina prati se metodom VOF ("Volume of Fluid") kako bi se prikazao efekt odvajanja strujanja pomoću CFD simulacije, koja je provedena za različite napadne kutove, brzine i dizajn krila u cilju određivanja vjerojatnosti nastanka ventilacije. Zaključak i sugestije za dizajn hidrokriila su predstavljeni.

*Ključne riječi: djelomično uronjeno hidrokriilo, prirodna ventilacija, CFD analiza*

Marko VALČIĆ, Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka, Studentska 2, 51000 Rijeka, Croatia, mvalcic@pfri.hr

Jasna PRPIĆ-ORŠIĆ, Faculty of Engineering, University of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Croatia, jasnapo@riteh.hr

## THE EFFECT OF FORBIDDEN ZONE HANDLING ON OPTIMAL THRUST ALLOCATION

### Abstract

The optimal thrust allocation in dynamic positioning systems can have different cost functions such as minimum power consumption, minimum fuel consumption, etc. The thrust allocation often includes a specific set of constraints like thrust saturation, forbidden zones etc. Forbidden zones are usually used in order to avoid or reduce thrust losses due to thruster-thruster interactions. On the other hand, by defining a forbidden zone for an azimuth thruster, a Pacman like thrust region shape is left over which can consequently cause the significant deviations in allocated thruster azimuth angles and increase the time required for thrust and azimuth allocation. The optimal thrust allocation procedure is usually performed only with forbidden zones included, i.e. without the implementation of thruster-thruster interaction effects. In this paper, a comparative analysis of these two approaches is performed and advantages of optimal thrust allocation without forbidden zones but with implemented thrust loss effects are highlighted.

*Key words: dynamic positioning, optimal thrust allocation, forbidden zones, thruster-thruster interaction*

## UTJECAJ ZABRANJENIH ZONA NA OPTIMALNU ALOKACIJU PORIVA

### Sažetak

U sustavima za dinamičko pozicioniranje plovnih objekata optimalna alokacija poriva može uključivati različite funkcije cilja poput minimalne potrošnje električne energije, minimalne potrošnje goriva, i sl. Alokacija poriva često uključuje i određena ograničenja kao zasićenje propulzora, zabranjene zone i sl. Zabranjene zone često se koriste kako bi se izbjeglo ili minimiziralo smanjenje poriva koje nastaje s obzirom na međudjelovanje propulzor-propulzor. S druge strane, definiranjem zabranjene zone za neki azimutni propulzor, skup mogućih rješenja poprima tzv. *Pacman* oblik, čime se posljedično mogu uzrokovati značajna odstupanja alociranih azimutnih kutova, a time i značajno povećanje vremena potrebnog za alokaciju poriva i azimuta. Optimalna alokacija poriva uobičajeno se provodi sa zabranjenim zonama i bez u obzir uzetih efekata koji nastaju zbog interakcije propulzor-propulzor. U ovom radu je napravljena komparativna analiza ova dva pristupa te su istaknute prednosti optimalne alokacije poriva koja uključuje interakciju propulzor-propulzor, ali bez zabranjenih zona.

*Ključne riječi: dinamičko pozicioniranje, optimalna alokacija poriva, zabranjene zone, interakcija propulzor-propulzor*

## **ANALYSIS OF EXTREME LOADS WITH GENERALISED PARETO DISTRIBUTIONS**

### **Abstract**

To predict the occurrence of an extreme event from a record of observations, it is usual to perform an analysis on the peaks distribution of the measured quantities. For ship model experiments in irregular waves, the common practice is to consider the peaks statistics according to a Weibull distribution by assuming the two or three parameters formulation. It can happen that, for severe storm conditions, the peaks are showing a multi-modal distribution. In such a case the use of the standard two or three parameters Weibull distribution can be the source of error in predicting the extreme value for the selected quantity that could significantly affect the design of the vessel/structure under analysis. A possible solution to this problem can be the adoption of mixed distributions, like the Mixed-Weibull, or to change the extraction techniques of the peaks by considering only the peaks above a certain threshold. In such a case, data should be fitted according to a Generalised Pareto distribution. In the present work the second approach was applied for the analysis of an experimental time series, and a procedure for the data analysis was established both to select the sampling threshold and to fit the assumed distribution on the population data. The predicted extreme values are compared with those obtained by standard Weibull analysis approach.

*Key words: Extreme Values, Peaks Over Threshold, Generalised Pareto Distribution, Weibull Distribution*

## **ANALIZA EKSTREMNIH OPTEREĆENJA POOPĆENOM PARETO DISTRIBUCIJOM**

### **Sažetak**

Za predviđanje ekstremnog događaja iz skupa prikupljenih promatranja, obično se koristi analiza vršnih distribucija mjerenih vrijednosti. Pri modelskim ispitivanjima broda na nepravilnim valovima, uobičajena je praksa da se vršne vrijednosti aproksimiraju Weibullovom dvo-parametarskom ili tro-parametarskom distribucijom vjerojatnosti. Pri opisivanju ekstremnih olujnih uvjeta, može se dogoditi da vršna opterećenja pokazuju više-modalnu raspodjelu. U tom slučaju korištenje standardne dvo/tro-parametrske Weibullove distribucije može biti izvor pogreške pri predviđanju ekstremnih vrijednosti razmatrane veličine koja bi mogla značajno utjecati na projekt plovila/konstrukcije koji se analizira. Moguće rješenje za ovaj problem jest korištenje mješovitih distribucija, kao npr. mješovite Weibullove distribucije, ili promjena tehnike prikupljanja vršnih vrijednosti na način da se koriste samo vršne vrijednosti uzoraka koji prelaze određeni prag. Ako se koristi drugi pristup, potrebno je koristiti poopćenu Pareto distribuciju. U ovom radu upravo je taj pristup primijenjen za analizu eksperimentalnih vremenskih zapisa te je primijenjen postupak za analizu podataka koji definira prag vršnih vrijednosti uzoraka i određuje parametre distribucije prema skupu dostupnih uzoraka koji zadovoljavaju taj prag. Predviđene ekstremne vrijednosti uspoređene su s vrijednostima dobivenim standardnim Weibullovim pristupom.

*Ključne riječi: ekstremne vrijednosti, vršne vrijednosti iznad granice, poopćena Pareto distribucija, Weibullova distribucija*

Dario BAN, FESB-Sveučilište u Splitu, R. Boškovića 32, dario.ban@fesb.hr  
Josip BAŠIĆ, FESB-Sveučilište u Splitu, R. Boškovića 32, jobasic@fesb.hr  
Velimir ŠETKA, Pribor Centar, d.o.o, Split.

## **HIDRODINAMIČKA NESTABILNOST VRLO BRZIH BRODOVA (HSC)**

### **Sažetak**

Vrlo brzi brodovi imaju osnovna hidrodinamička svojstva koja su različita od sporijih brodova. Osim hidrodinamičkog uzgona, radi njihove velike brzine kod njihove plovidbe dolazi do pojave raznih harmonijskih i neharmonijskih efekata koji mogu utjecati na dinamiku gibanja broda i proizvesti njegovu hidrodinamičku nestabilnost. Taj utjecaj postaje sve važniji kod današnjih brzih brodova u plovidbi obalnim područjima s povećanim prometom, gdje može doći do nesreća kod plovidbe nekritičkim korištenjem auto-pilota. U cilju sprječavanja takvih događaja potrebno je osigurati trajnu hidrodinamičku stabilnost broda što se može postići uvođenjem kriterija hidrodinamičke stabilnosti prema Blountu i suradnicima, koji se temelji na odgovarajućem gravitacijskom težištu težina broda za zadanu masenu istisninu broda.

*Ključne riječi: hidrodinamička, nestabilnost, vrlo brzi brodovi, masa istisnine, težište sustava*

## **HYDRODYNAMIC INSTABILITY OF HIGH SPEED CRAFTS**

### **Abstract**

High speed ships have basic hydrodynamic characteristics that differ from other slower ships. Beside hydrodynamic lift, different harmonic and non-harmonic effects occur in ship motion that can influence ship dynamics and produce ship's hydrodynamic instability due to their high speed. This becomes more important on today high speed ships with increased traffic in coastal areas and introduction of auto-pilots that may cause of accidents. In order to prevail such situations, it is necessary to ensure permanent hydrodynamic stability of the ship and that can be obtained using hydrodynamic stability criterium that is introduced Blount et al., based on proper mass center of gravity for respective ship mass displacement.

*Key words: hydrodynamic, instability, HSC, mass displacement, centre of gravity*

Dani DUNDARA, Uljanik d.d., Flaciusova 1, djani.dundara@uljanik.hr  
Obrad KUZMANOVIĆ, Uljanik d.d., Flaciusova 1, obrad.kuzmanovic@uljanik.hr  
Vito RADOLOVIĆ, Uljanik d.d., Flaciusova 1, vito.radolovic@uljanik.hr

## **FP7 ISTRAŽIVAČKI PROJEKT GRIP**

### **Sažetak**

Ušteda energije i goriva je jedan od glavnih zahtjeva mnogih vlasnika brodova, zbog pozitivnog učinka sa financijskog i ekološkog gledišta. Zadnjih godina ovaj zahtjev je postao vrlo interesantan i za postojeće brodove, pogotovo s uvođenjem EED indeksa. Jedna od zanimljivijih mogućnosti smanjenja potrošnje goriva i EED indeksa je ugradnja naprava za uštedu energije, optimizacijom međudjelovanja između trupa i propelera. Konzorcij od 12 eminentnih Europskih partnera, među njima i Uljanik, započeli su projekt GRIP, poduprt od Europske Komisije u sklopu Sedmog Okvirnog programa, kako bi se proučili fizikalni principi rada odabranih naprava. CFD analiza je provedena za statorske lopatice i sapnice ispred vijka, bulb na kormilu te lopatice na kapi glavine propelera. Odabrana je najbolja naprava s gledišta uštede, te je specijalno konstruirana, napravljena te naposljetku i ugrađena na Uljanikov brod za rasuti teret. Obavljene su pokusne plovidbe prije i nakon ugradnje naprave za uštedu energije, radi potvrde CFD analize i predviđene uštede. Izmjerena je ušteda od 6.8% u snazi, odnosno gorivu, također je potvrđen potpun nestanak vrtloga izazvanog glavinom vijka. Ovaj rad će se fokusirati na Uljanikov dio posla unutar projekta GRIP.

*Ključne riječi: ušteda goriva, naprave za uštedu energije, EEDI, CFD analiza, EU projekti*

## **GRIP – FP 7 RESEARCH PROJECT**

### **Abstract**

Energy saving and reduction of fuel consumption has been a priority for many ship owners, because of its positive financial and environmental impact. This topic became interesting for existing vessels also in recent years, especially with introduction of Energy Efficiency Design Index. One of the possibilities to reduce fuel consumption and EEDI is the implementation of Energy Saving Devices, to optimise the hull-propeller interaction. In order to study the working principles of selected energy saving devices, a consortium of 12 eminent European partners, including Uljanik, started the project GRIP, supported by the European Commission under the 7<sup>th</sup> Framework Programme. CFD analysis has been applied to pre-swirl stators, pre-ducts, rudder bulbs and propeller boss cap fins to study the working mechanisms in details. The best Energy Saving Device was selected, designed and built for Uljanik bulk carrier. A set of dedicated trials was performed on the vessel before and after the its installation to validate the CFD calculations and predictions of the fuel saving. 6.8% of the power saving and total disappearance of hub vortex was demonstrated during these trials. This paper will focus on Uljanik's work within the GRIP project.

*Key words: fuel saving, Energy Saving Devices, EEDI, CFD analysis, EU projects*

Anatolij-Branko R. TOGUNJAC, Research and Design Institute for Fishing Fleet,  
GIPRORYBFLOT, ul. Instrumentalnaya 8, St. Petersburg, 197022, Russia,  
togunjac@grf.spb.ru

Leonid I. VISHNEVSKY, Krylov State Research Centre, Moskovskoye shosse 44, St.  
Petersburg, 196158 Russia, vishli@yandex.ru

Sergei V. KAPRANTSEV, Krylov State Research Centre, Moskovskoye shosse 44, St.  
Petersburg, 196158 Russia, sergei.kaprantsev@yandex.ru

## **HYDRODYNAMIC INVESTIGATION OF TWO-STAGE MULTIPURPOSE PROPULSOR BEHIND THE SHIP**

### **Abstract**

The paper describes results of model hydrodynamic investigation of two-stage multipurpose propulsor (TSMP) behind the ship model on towing tank of the Krylov State Research Centre. The possibilities of compromise solution in choice of the geometry of the rear stage TSMP (dual-mode contra propeller) to obtain high hydrodynamic efficiency both in energy –saving mode and reactive mode are examined. The estimation of energy saving at full speed by using TSMP and required power to move the ship at slow speed pushed by contra propellers with different geometry is performed. Calculation showed that the ship equipped with TSMP will get an additional sign to the main class symbol of Russian Maritime Register of Shipping indicating the reservation of propulsion elements. The trials on towing tanks demonstrated that besides energy saving (6.4%) at full speed running mode (16.5 knots) two-stage multipurpose propulsor was rather efficient in providing low and extremely low speed running of a ship.

*Key words: energy saving, propulsor, contra propeller*

## **HIDRODINAMIČKO ISPITIVANJE DVOSTUPANJSKOG VIŠENAMJENSKOG PROPULZORA IZA BRODA**

### **Sažetak**

Rad opisuje rezultate modelskog hidrodinamičkog ispitivanja dvostupanjskog višenamjenskog propulzora (DVP) iza modela broda u bazenu Krylov State Research Centre. Istražene su mogućnosti kompromisnog rješenja pri odabiru geometrijskih značajki stražnjeg propelera DVP-a (kontrarotirajućeg propelera dvostrukog režima rada) s ciljem dobivanja visoke hidrodinamičke korisnosti kako u režimu uštede energije tako i u reaktivnom režimu. Izvršena je procjena uštede energije pri punoj brzini plovidbe koristeći DVP i zahtijevane snage za gibanje broda niskom brzinom pogonjenog kontra propelerima različite geometrije. Proračuni su ukazali na mogućnost dobivanja dodatne oznake klase Ruskog pomorskog registra brodova za brodove opremljene DVP-om, koja ukazuje na dodatne propulzijske elemente. Ispitivanja u bazenu su pokazala da je uz uštedu energije (6,4%) pri punoj brzini (16,5 čvorova) DVP djelotvoran i kao propulzor za plovidbu pri niskim i vrlo niskim brzinama.

*Ključne riječi: ušteda energije, propulzor, kontrarotirajući propeler*

**Čvrstoća, vibracije  
i konstrukcija broda**

***Ship structural design,  
strength and vibration analysis***

Smiljko RUDAN, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, smiljko.rudan@fsb.hr

Mattia GALLETTA, University of Genova, Department of Naval Architecture, via Montallegro 1, 16145 Genova, mattia.galletta1990@gmail.com

## **PARAMETRIC STUDY OF THE DAMAGE INDUCED IN SHIP COLLISION IN THE ADRIATIC SEA**

### **Abstract**

Adriatic Sea has a relatively small surface and it is only by the Otrant straight connected with the Mediterranean Sea. Oils or other dangerous cargo spill would therefore have a catastrophic and long-term consequences. The announced construction of the LNG terminal, research and future exploration of carbohydrates, as well as the increase of maritime traffic due to a rising demand for the energy, increase the risk of ship collision in the Adriatic Sea. In order to review a problem of the ship damage in such event, a scenario of a collision between a ferry and a tanker is assumed and considered as a typical for the Adriatic. A detailed analysis of collision consequences is performed using non-linear finite element method. Then, a parametric study of the damage is done: in comparison with the reference model, a ferry impact speed, their size and mass and the impact angle is varied. For each of these cases the outcome is analyzed, with an accent on the damage and breach of the tanker inner hull. Finally, the dependency of the damage level upon the particular collision parameter is presented.

*Key words: ship collision, non-linear FEM, parametric study, inner hull breach*

## **PARAMETARSKA STUDIJA OŠTEĆENJA PRILIKOM SUDARA BRODOVA U JADRANSKOM MORU**

### **Sažetak**

Jadransko je more relativno male površine i tek je Otrantskim vratima otvoreno prema Sredozemnom moru. Izlijevanje nafte i drugog opasnog tereta uslijed sudara brodova imalo bi, već zbog toga, katastrofalne i dugotrajne posljedice. Najavljena gradnja plinskog terminala, istraživanje i buduća eksploatacija ugljikovodika, kao i povećanje pomorskog prometa usljed rastuće potrebe za energijom, povećavaju rizik od sudara brodova u Jadranu. Kako bi se razmotrio problem oštećenja brodova u tom slučaju, pretpostavljen je tipičan scenarij sudara trajekta i tankera, koji se može smatrati karakterističnim za Jadran. Provedena je detaljna analiza posljedica takvog sudara nelinearnom metodom konačnih elemenata. Zatim je učinjena parametarska studija oštećenja: u odnosu na referentni model, varirana je brzina udarajućeg trajekta, njegova veličina i masa i kut udara. Za svaki od tih slučajeva analizirane su posljedice, s naglaskom na oštećenje i proboj unutarnje oplata tankera. Konačno, prikazana je ovisnost razine oštećenja u odnosu na pojedini parametar sudara.

*Ključne riječi: sudar brodova, nelinearna analiza MKE, parametarska studija, oštećenje unutarnje oplata*

Marin PALAVERSA, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, mpalaversa@outlook.com  
Vedran ŽANIĆ, Brodarski Institute (Marine Research & Advanced Technologies), Av. V. Holjevca 20, Zagreb, vedran.zanic@fsb.hr  
Pero PREBEG, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, pero.prebeg@fsb.hr

## COMPARISON OF BEAM FINITE ELEMENTS BASED ON EULER-BERNOULLI BEAM THEORY

### Abstract

When finite element method is employed for ship structural response calculation, beam finite elements are used in initial design phases in order to shorten time needed for model generation as well as for response calculation itself. Problem arises in modelling interactions between plating and corresponding stiffeners. There are three beam finite elements based on Euler-Bernoulli beam theory dealt with in this paper: hybrid, native eccentric and modified eccentric beam element. A short theoretical description of all the three elements is given as well as description of stress field calculation corrections for native eccentric beam element. Also the results of deformations and stresses calculations are presented first for a simple ship panel structure and second for a real ship model (RoPax).

*Key words: finite element method, beam finite element, hybrid beam finite element, native eccentric beam finite element, modified eccentric beam finite element*

## USPOREDBA GREDNIH KONAČNIH ELEMENATA UTEMELJENIH NA GREDNOJ TEORIJI EULERA I BERNOULLIJA

### Sažetak

Kod proračuna odziva brodske konstrukcije metodom konačnih elemenata, gredni konačni elementi se upotrebljavaju u početnim fazama projektiranja kako bi skratilo vrijeme izrade modela kao i samog proračuna. Problem predstavlja modeliranje međudjelovanja opločenja i pripadajućeg ukrepljenja. U ovom članku tri gredna konačna elementa koja se temelje na grednoj teoriji Eulera i Bernoullija su predstavljena: hibridni, obični ekscentrični i modificirani ekscentrični. Dan je kratak teorijski opis sva tri elementa s prikazanim korekcijama proračuna polja naprezanja običnog ekscentričnog grednog konačnog elementa. Nakon toga su prikazani rezultati proračuna pomaka i naprezanja prvo na jednostavnoj konstrukciji broskog panela, a nakon toga i na modelu stvarnog broda za prijevoz putnika i vozila.

*Gljučne riječi: metoda konačnih elemenata, gredni konačni element, hibridni gredni konačni element, obični ekscentrični gredni konačni element, modificirani ekscentrični gredni konačni element*

## **CONSEQUENCES OF AGE-RELATED DEGRADATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL ON ULTIMATE LONGITUDINAL STRENGTH OF SHIP HULL**

### **Abstract**

It was recently found, that because of the complex interaction of various mechanical and chemical processes, mechanical properties, such as Young's modulus of elasticity and yield strength of corroded shipbuilding steel reduce with time. The aim of the present paper is to investigate the consequence of such degradation on the ultimate strength of hull of oil tanker. Single step procedure proposed in IACS Common Structural Rules for ultimate strength assessment of ship hull is used. For such calculations of ultimate strength DNV program PULS (Panel Ultimate Limit State) is employed. Corrosion degradation, which is required for assessment of loss of mechanical properties, is estimated based on real thickness measurements of oil tankers. Conclusions about importance of this phenomenon are drawn.

*Key words: ultimate strength, corrosion, thickness measurements, degradation of steel mechanical properties*

## **POSljedICE SMANJENJA MEHANIČKIH SVOJSTAVA ČELIKA USLIJED KOROZIJE NA GRANIČNU UZDUŽNU ČVRSTOĆU BRODSKOG TRUPA**

### **Sažetak**

Na temelju nedavnih istraživanja o djelovanju korozivskih mehanizama ustanovljeno je da se korozijom oštećenom brodograđevnom čeliku s vremenom smanjuju mehanička svojstva, kao što su Young-ov modul elastičnosti i granica tečenja materijala. Navedeno smanjenje se događa pri složenom međusobnom djelovanju mehaničkih i kemijskih korozivskih procesa. U ovom radu se analiziraju posljedice smanjenja mehaničkih svojstava na graničnu uzdužnu čvrstoću broskog trupa tankera za prijevoz nafte. Granična uzdužna čvrstoća broskog trupa je provjerena metodom jednog koraka prema IACS-ovim Usuglašenim pravilima (CSR), upotrebom programa PULS klasifikacijskog zavoda DNV. Smanjenje mehaničkih svojstava materijala su izračunata na temelju stvarnih mjerenja debljina uslijed djelovanja korozivskih istrošenja na tankerima. Zaključno su u radu opisane smjernice o važnosti ove, još neistražene pojave.

*Ključne riječi: granična čvrstoća, korozivska istrošenja, mjerenje debljina, smanjenje mehaničkih svojstava čelika*

Ivo SENJANOVIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, ivo.senjanovic@fsb.hr  
Nikola VLADIMIR, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, nikola.vladimir@fsb.hr  
Marko TOMIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, marko.tomic@fsb.hr  
Neven HADŽIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, neven.hadzic@fsb.hr  
Stipan ŠODA-COTIĆ, Brodotrogir d.d., Put brodograditelja 16, 21220 Trogir, stipan.soda-cotic@brodotrogir.hr

## **AN INTEGRAL PROCEDURE FOR SHIP VIBRATION ANALYSIS**

### **Summary**

The procedure is illustrated in the case of a 49500 dwt Chemicals and Oil Products Carrier. Vibration calculation includes estimation of propeller excitation forces and ship response due to both propeller and engine excitation. Ship hull vibrations are analysed by 1D FEM model, while ship structure vibrations by a combined 3D and 1D FEM model of the aftbody and remaining hull part, respectively. Ballast condition and full ship are considered in combination with unsupported and supported engine. The obtained results show that the engine excited vibrations are rather high, and therefore installation of vibration compensator is recommended. Ship vibrations are measured by Brodarski Institute – Zagreb during the sea trial. Very good agreement between calculated and measured ship hull natural frequencies is achieved.

*Key words: propeller and engine excitation, ship hull and substructure vibrations, FEM*

## **INTEGRALNI POSTUPAK ZA ANALIZU VIBRACIJA BRODA**

### **Sažetak**

Postupak je ilustriran na primjeru broda za prijevoz kemikalija od 49500 dwt. Proračun vibracija uključuje određivanje uzbudnih sila vijka i odziv broda na uzbuđu vijka i motora. Vibracije broskog trupa analizirane su pomoću 1D modela MKE, a vibracije brodske konstrukcije pomoću kombiniranog 3D i 1D modela krmenog dijela broda odnosno preostalog dijela trupa. Analiza je provedena za brod u balastu i potpuno natovareni brod te za nepoduprti i poduprti motor. Dobiveni rezultati pokazuju da je razina vibracija pobuđenih motorom visoka te je preporučena ugradnja kompenzatora vibracija. Mjerenje vibracija izvršio je Brodarski Institut – Zagreb za vrijeme pokusne plovidbe. Postignuto je dobro slaganje izračunatih i izmjerenih prirodnih frekvencija broskog trupa.

*Gljučne riječi: uzbuđa vijka i motora, vibracije trupa i podstruktura, MKE analiza*

Helena GALIĆ, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb,  
Hrvatska, galichelena@gmail.com  
Joško PARUNOV, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb,  
Hrvatska, jparunov@fsb.hr

## **ODREĐIVANJE J-FAKTORA KOD GLOBALNIH VERTIKALNIH VIBRACIJA BRODSKOG TRUPA**

### **Sažetak**

Dodatna hidrodinamička masa vertikalnih vibracija broskog trupa premašuje istisninu broda, te ima značajan utjecaj na iznos prirodnih frekvencija vibriranja trupa. Tradicionalno se dodatna masa uključuje u vibracijski model određivanjem sekcijske dodatne mase za dvodimenzionalne poprečne presjeke uzduž broda te očitanjem  $J$ -faktora trodimenzionalnog strujanja dobivenog za rotacioni elipsoid. Cilj ovog rada je ustanoviti točnost tako određenog  $J$ -faktora za realne brodske forme.  $J$ -faktor za realne brodske forme dobiven je analizom slobodnih vibracija metodom konačnih elemenata šest brodova uključujući tankere, kontejnerske brodove te jedan ratni brod. Dodatna masa je pri tom određena primjenom metode rubnih elemenata.  $J$ -faktori određeni tradicionalnim postupkom su uspoređeni s numeričkim vrijednostima te su izvedeni odgovarajući zaključci.

*Ključne riječi: dodatna masa, vertikalne vibracije, J-faktor, metoda rubnih elemenata*

## **DETERMINATION OF J-FACTOR FOR GLOBAL VERTICAL HULL- GIRDER VIBRATION**

### **Summary**

Added mass of vertical vibration of ship hull often exceeds the displacement of the ship and has a significant impact on the natural frequencies of hull girder vibration. Traditional method for calculating added mass includes determination of two-dimensional coefficient for cross-sectional segments along the ship with the correction for three-dimensional flow using  $J$ -factors.  $J$ -factors have been calculated analytically for simplified hull forms as rotational ellipsoid. The aim of the present paper is to verify accuracy of such determined  $J$ -factor for realistic ship forms. Calculation of  $J$ -factor for real hull forms is performed by finite element analysis of the six ships model including tankers, container ships and one warship. Added mass is determined using boundary element method.  $J$ -factors calculated by traditional procedure are compared with numerical values and corresponding conclusions are drawn.

*Key words: added mass, vertical vibration, J-factor, boundary element method*

Jerolim ANDRIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, Croatia, jerolim.andric@fsb.hr

Karlo PIRIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, Croatia.

Pero PREBEG, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, Croatia.

Vedran ŽANIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, Croatia.

Lukša RADIĆ, Navis Consult d.o.o., part of Rolls-Royce Marine, Rijeka, Croatia.

Tonči PIROVIĆ, CADCON d.o.o, Pula, Croatia.

## FEM BASED STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF MEGA-YACHT

### Abstract

Based on GA plan developed by VEGAYACHT and the initial structural design made by Navis Consult and CADCON Pula, structural analysis and optimization (by direct calculations) of a 100m long mega-yacht is presented. Structural design procedure follows Lloyd Register Rules (LR SDA guidelines for passenger ships). Application of in-house developed design support system (DeSS) during all design phases (concept, preliminary and detail) was based on following goals: reduction of structural weight, VCG position, vibrations levels and, in parallel, increase of overall structural safety.

*Key words: mega yacht, structural design and optimization, FEM, LR rules, design support system*

## STRUKTURNA ANALIZA I OPTIMIZACIJA MEGA-JAHTE PRIMJENOM MKE

### Sažetak

Prema VEGAYACHT-ovom generalnom planu i inicijalnom projektu konstrukcije Navis Consult i CADCON Pula, provedena je analiza i optimizacija konstrukcije 100m duge mega-jahte primjenom direktnih kalkulacija. Primijenjena projektna procedura slijedila je pravila Lloyd Register (LR) za direktni proračun putničkih brodova (LR SDA guidelines for passenger ships). Primjena vlastito razvijenog sustava za projektiranje kroz sve projektne faze (konceptualna, preliminarna i detaljna) bila je bazirana na sljedećim ciljevima: minimizaciji mase konstrukcije i vertikalnog položaja težišta, smanjenju razine vibracija, te povećanju ukupne sigurnosti konstrukcije.

*Ključne riječi: mega-jahta, strukturna analiza i optimizacija, MKE, LR Pravila, projektni sustav*

Pero PREBEG, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, pero.prebeg@fsb.hr  
Jerolim ANDRIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, jerolim.andric@fsb.hr  
Maja PLAVŠIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, majaplavsic36@gmail.com

## **UTJECAJ GRANIČNE ČVRSTOĆE BRODSKOG TRUPA NA PROJEKTIRANJE GLAVNOG REBRA TANKERA PREMA HARMONIZIRANIM PRAVILIMA (IACS CSR BC&OT)**

### **Sažetak**

Jedan od glavnih kriterija pri projektiranju konstrukcije glavnog rebra tankera jest zadovoljenje uzdužne granične čvrstoće trupa broda. Stupanjem na snagu harmoniziranih zajedničkih pravila za projektiranje konstrukcije brodova za prijevoz rasutog tereta i tankera za prijevoz nafte Međunarodnog udruženja klasifikacijskih društava (IACS CSR BC & OT), taj kriterij se proširio na provjeru i u oštećenim stanjima broda. U radu je provedena studija utjecaja kriterija granične čvrstoće trupa broda na dimenzije konstrukcijskih elemenata trupa broda na primjeru tankera uobičajene topologije i geometrije. Pri tome je provedena višeciljna optimizacija konstrukcije sa ciljem minimizacije mase te maksimizacije graničnog momenta savijanja pomoću programa DeMak i modula LUSA. Iz dobivene Pareto fronte slijedi da je kritično ograničenje za ovu konstrukciju tankera kriterij podobnosti graničnog momenta savijanja za neoštećeni model u slučaju progiba. U radu je ujedno provedena i usporedba proračuna granične čvrstoće broda pomoću programskog modula LUSA i programa MARS, klasifikacijskog društva Bureau Veritas, na primjeru nekoliko rješenja s Pareto fronte.

*Ključne riječi: granična čvrstoća trupa broda, višekriterijsko projektiranje, optimizacija*

## **INFLUENCE OF HULL GIRDER ULTIMATE STRENGTH TO THE STRUCTURAL DESIGN OF A MIDSHIP SECTION OF OIL TANKER ACCORDING TO HARMONIZED RULES (IACS CSR BC&OT)**

### **Abstract**

Hull girder ultimate strength is one of the main criteria in structural design of oil tanker midship section. The new, Harmonized Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers prescribes an additional check of hull girder ultimate strength in damaged conditions, which additionally emphasize importance of this criteria. This paper presents the result of the case study on influence of this criteria to the structural dimensions of one ordinary oil tanker. The study includes multiobjective optimization of the oil tanker midship section structure using programs DeMak and LUSA, where minimization of structural weight and maximization of hull girder ultimate strength are used as objectives. Resulting Pareto frontier shows that the critical criterion for this tanker structural design is sagging hull girder ultimate strength in intact condition. The paper also presents the comparison of the calculated values of hull girder ultimate strength by the program LUSA with the results of Bureau Veritas classification society program MARS for several designs from resulting Pareto frontier.

*Key words: hull girder ultimate strength, multi-criteria decision making, structural optimization*

Jerolim ANDRIĆ, jerolim.andric@fsb.hr, Pero PREBEG, Karlo PIRIĆ, Stanislav KITAROVIĆ, Tomislav STIPIĆ, Vedran ŽANIĆ University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, Croatia, Predrag ČUDINA, Ana BEZIĆ, Jadroplov d.o.o, Split, Croatia, Josip ANDRIŠIĆ, Uljanik d.d, Pula, Croatia

## **STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A BULK CARRIER ACCORDING TO IACS CRS-BC**

### **Abstract**

Structural design of the bulk carriers is performed according to the IACS Common Structural Rules (CSR-BC valid until July 2015 and currently valid H-CSR BC&OT). Direct strength analysis based on the three hold FE model of the cargo area was mandatory for all vessels above the 150 m in length.. To allow designer to fully realize all benefits of the direct strength analysis embedded into the formal optimization procedure, in-house structural design system was developed. It combines several commercial and in-house developed modules containing CRS-BC requirements (loads, feasibility), MAESTRO design system, multi-criteria optimization system DEMAK and interactive environment shell for data pre/post-processing. The developed design system was used for the structural design of bulk carriers (Newbuildings 725-726) to be built in ULJANIK Group shipyard 3.MAJ in Rijeka and the main results and achievements are presented in the paper. Beside shipyard and faculty design teams, the ship-owner team was actively involved in the design process with intention to introduce the best practice regarding the existing ships to the new design solution.

*Key words: structural optimization, FEM, bulk carrier structure, CSR-BC*

## **OPTIMIZACIJA KONSTRUKCIJE BRODA ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA PREMA IACS CSR-BC PRAVILIMA**

### **Sažetak**

Projektiranje konstrukcije brodova za rasuti teret provodi se prema IACS zajedničkim Pravilima (CSR-BC do srpnja 2015. i trenutno važećim H-CSR BC&OT). Pri tom je direktni proračun čvrstoće, temeljen na MKE modelu tri skladišta u području teretnog prostora, obavezan za sve brodove iznad 150m duljine. Da bi se omogućilo racionalno projektiranje konstrukcije korištenjem metode konačnih elemenata (MKE) integrirane u optimizacijsku procedure, razvijen je sustav za projektiranje konstrukcije sastavljen od više modula: modul koji sadrži zahtjeve CSR-BC Pravila (opterećenja, podobnost), programski paket MAESTRO (modul za modeliranje i MKE proračun), programski paket DEMAK za višekriterijsku optimizaciju te interaktivna programska ljuška za manipulaciju podacima i obradu rezultata. Razvijeni projektni sustav je korišten za projektiranje konstrukcije broda za rasuti teret (novogradnja 725-726 u brodogradilištu 3. MAJ, Rijeka -ULJANIK Grupa), te su u članku prikazani najvažniji rezultati projekta. Osim projektnih timova brodogradilišta i fakulteta u projektnom procesu je aktivno sudjelovao i brodovlasnik s ciljem implementacije iskustava iz prakse korištenja takvih brodova u novo projektno rješenje. Razvijena metodologija omogućava brodogradilištu i brodovlasniku da u potpunosti kontroliraju projekt konstrukcije trupa broda, te samostalno iznađu prihvatljiva projektna rješenja.

*Ključne riječi: optimizacija konstrukcije, MKE, konstrukcija broda za rasuti teret, CSR-BC Pravila*

Adel EL-SALEH, Fakultet strojarstva i brodogradnje sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb

Kalman ŽIHA, Fakultet strojarstva i brodogradnje sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb, [kziha@fsb.hr](mailto:kziha@fsb.hr)

Boris LJUBENKOV, Fakultet strojarstva i brodogradnje sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb

Janoš KODVANJ, Fakultet strojarstva i brodogradnje sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb

## **PREMA SMANJENJU NEIZVJESNOSTI PRORAČUNA STRUKTURNE POUZDANOSTI GRANIČNE ČVRSTOĆE BRODSKOG TRUPA**

### **Sažetak**

U ovom se članku ispituju utjecaji mehaničkih svojstava brodograđevnog čelika i njihove statističke razdiobe na pouzdanost proračuna granične uzdužne čvrstoće broskog trupa. Za proračun granične uzdužne čvrstoće se primjenjuje iterativno-inkrementalni postupak prema preporukama IACS-a. Za proračun pouzdanosti se koristi probabilistička formulacija granične uzdužne čvrstoće broskog trupa, a za čije se rješenje koriste napredne metode proračuna pouzdanosti. U članku se pokazuje važnost ovisnosti pouzdanosti broskog trupa o statističkoj varijabilnosti mehaničkih svojstava brodograđevnog čelika te ukazuje na mogućnosti povećanja pouzdanosti broskog trupa u službi kontrolom kvalitete ugrađenih materijala tijekom proizvodnje trupa u brodogradilištima.

*Gljučne riječi: brodski trup, granična čvrstoća, pouzdanost, kontrola kvalitete*

## **TOWARDS DIMINUTION OF UNCERTAINTIES IN CALCULATIONS OF STRUCTURAL RELIABILITY OF ULTIMATE STRENGTH OF THE SHIP'S HULL**

### **Abstract**

This paper investigates the effects of mechanical properties of shipbuilding steels and their statistical distributions on the reliability of ultimate longitudinal strength calculations of the ship's hull. The ultimate longitudinal strength calculation is performed by using the iterative-incremental method according to IACS recommendations. The reliability calculations use the probabilistic formulation of ultimate longitudinal strength. The solutions of the reliability problems are derived by employing the advanced first order reliability method. The paper demonstrates the dependence of reliability calculations on statistical variability of shipbuilding steels and point towards structural reliability enhancement of ships in service by quality control of in-built materials during the production of the ship's hull in shipyards.

*Key words: ship hull, ultimate strength, reliability, quality control*

Branka BUŽANČIĆ PRIMORAC, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Split, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split, branka@fesb.hr

Joško PARUNOV, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, jparunov@fsb.hr

## RESIDUAL STRENGTH OF RANDOMLY DAMAGED OIL TANKER

### Abstract

The aim of this paper is to develop probabilistic model of the reduction of the residual ultimate strength of oil tanker following random grounding and collision damages. The approach is based on Monte Carlo (MC) simulation using probability distributions of damage parameters proposed by International Maritime Organization (IMO). Reduction of ultimate strength in the case of grounding is calculated using concept of grounding damage index (GDI), assuming grounding on the conically shaped rock. Progressive collapse analysis (PCA) using MARS software is employed for residual strength assessment in case of collision, employing damage box concept. Influence of rotation of the neutral axis is approximately taken into account for collision damage. Probability distributions are intended for structural reliability assessment of damaged oil tanker.

*Key words: damaged oil tanker, ultimate strength, collision, grounding*

## PREOSTALA ČVRSTOĆA SLUČAJNO OŠTEĆENOG TANKERA ZA PRIJEVOZ NAFTE

### Sažetak

Cilj ovoga rada je razviti vjerojatnosni model preostalog graničnog momenta savijanja tankera oštećenog sudarom ili nasukavanjem. Pristup se zasniva na Monte Carlo (MC) simulaciji, koristeći raspodjelu vjerojatnosti parametara oštećenja prema Međunarodnoj pomorskoj organizaciji (IMO). Smanjenje granične čvrstoće kod nasukavanja računa se koristeći se pojmom pokazatelja oštećenja (grounding damage index, GDI), pretpostavljajući nasukavanje broda na koničnu stijenu. Kod sudara, preostala granična čvrstoća se određuje metodom progresivnog kolapsa, koristeći program MARS i tzv. „damage box“ pristup. Utjecaj rotacije neutralne osi je približno uzet u obzir za slučaj oštećenja sudarom. Rezultati ovog proračuna su namijenjeni procjeni vjerojatnosti sloma strukture oštećenog brodskog trupa.

*Ključne riječi: oštećeni tanker, granična čvrstoća, sudar, nasukavanje*

Miloš BALUNOVIĆ, as2con-Alveus d.o.o., Rijeka, milos.balunovic@as2con.com  
Darko BURLOVIĆ, as2con- Alveus d.o.o., Rijeka, darko.burlovic@as2con.com  
Darko FRANK, as2con- Alveus d.o.o., Rijeka, darko.frank@as2con.com  
Arijana MILAT, as2con- Alveus d.o.o., Rijeka, arijana.milat@as2con.com

## REVIEW OF COMPOSITE REPAIRS OF SHIP STRUCTURES

### Abstract

Today's merchant and passenger vessels operate in harsh environment, enduring corrosion and cyclic loads. This can lead to the development of local defects which, if not detected and properly repaired in time, can grow to critical lengths and result in catastrophic structural failures. The traditional ways to deal with such problems are: welding in the cracks in a panel or replacement of the whole parent panel itself, that can be time-consuming and costly. An effective alternative is composite patching, which prevents crack growth and extends the lifetime of the repaired structure. This method is faster, exhibits good fatigue resistance, does not cause stress concentrations and results in low added weight, while reducing the repair cost and time. Research suggests that the fatigue life of metal plates can be extended by at least 3 times, by applying the patch. Tests prove their effectiveness due to lower strain values when compared to unpatched cracks and the method is not considered to have negative effects on the environment.

*Key words: composite patch, patch repair, ship repair, crack repair, composite strengthening*

## OSVRT NA KOMPOZITNE POPRAVKE BRODSKIH STRUKTURA

### Sažetak

Današnji trgovački i putnički brodovi prometuju u teškim uvjetima, podložni koroziji i cikličkim opterećenjima. To može voditi razvoju lokalnih pukotina koje, ako se ne detektiraju i poprave na vrijeme, mogu narasti do kritičnih dužina i rezultirati ozbiljnijim strukturalnim oštećenjima. Tradicionalni načini za rješavanje takvih problema su: zavarivanje pukotina u metalu ili zamjena cijelog oštećenog dijela što iziskuje puno vremena uz veći trošak. Učinkovita alternativa je popravak kompozitnim zakrpama koji sprječava rast pukotine i produžuje životni vijek popravljene strukture. Ova metoda je brža, pokazuje dobru otpornost na zamor, ne uzrokuju koncentraciju naprezanja te dovodi do smanjenja težine uz reduciranu cijenu i trajanje popravka. Istraživanja pokazuju da se zamorni vijek metalnih panela može produžiti barem tri puta s primjenom zakrpa. Testovi su dokazali njihovu učinkovitost zbog nižih vrijednosti deformacije u odnosu na nezakrpne pukotine i također, smatra se da ova metoda nema negativan učinak na okoliš.

*Ključne riječi: kompozitne zakrpe, popravak zakrpom, popravak broda, popravak pukotine, kompozitno ojačanje*

**Tehnologija, materijali,  
zaštita i održavanje**

***Technology, materials,  
protection and maintenance***

Matko BALIĆ, Brodosplit d.d., Put Supavla 21, matko.balic@brodosplit.hr, Split, Hrvatska  
Kristina KORUN CURIĆ, Brodosplit d.d., Put Supavla 21, kristina.korun-curic@brodosplit.hr, Split, Hrvatska  
Boris LJUBENKOV, FESB, Ruđera Boškovića 32, boris.ljubenkov@fesb.hr, Split, Hrvatska  
Darko TOMAŠEVIĆ, FESB, Ruđera Boškovića 32, darko.gala1@gmail.com, Split, Hrvatska

## **OKRETANJE BLOKOVA U PREDMONTAŽNOJ RADIONICI POMOĆU UŠKI I ČETIRI STOPE**

### **Sažetak**

Kod izrade blokova velikih dimenzija u brodogradnji nužno je okretanje bloka radi zavarivanja elemenata strukture u povoljnijem položaju. Ova operacija ovisi o tehnološkim mogućnostima brodogradilišta. Kada u predmontažnoj radionici nema dizalica velikih nosivosti koji sekciju mogu okrenuti u zraku potrebno je izraditi pomoćne naprave.

U brodogradilištu se za okretanje sekcija dvodna koriste zakretaljke oblika pužnice. U projektu Vrata Venecije visina blokova je duplo veća, a problem je što su visine blokova različite, pa je bilo nužno razmotriti postupak okretanja koji bi se mogao koristiti kod blokova različitih visina.

U radu će se prikazati postupak okretanja blokova pomoću uški za okretanje i četiri stope te će se za predloženo rješenje definirati svi pomoćni elementi i potrebni proračuni.

*Ključne riječi: predmontaža, okretanje blokova, uške, stope*

## **TURNING OF THE BLOCKS IN A SUB-ASSEMBLY WORKSHOP USING LUGS AND FOUR FEET**

### **Abstract**

Turning of the blocks is necessary operation during the sub-assembly phase because the structure elements welding will be done in a better position. This operation depends on shipyard technological possibilities. If there are no cranes with sufficient capacity in the sub-assembly workshop, it is necessary usage of the auxiliary devices for successful turning operation.

Usually, turning of the double bottom sections in the shipyard has done by special helix shape devices. The helix shape devices are not appropriate in a new project because of different heights of the blocks. Therefore, development of the new turning procedure is required.

The paper presents blocks turning procedure using lugs and four feet. The definition of all auxiliary elements and necessary calculations for suggested solution will be presented.

*Key words: sub-assembly, block turning, lugs, feet*

*Dijana PRAŽIĆ, Uljanik d.d., 51000 Rijeka, Liburnijska 3, dijana.prazic@uljanik.hr  
Nenad VUKAS, Uljanik d.d., 51000 Rijeka, Liburnijska 3, nenad.vukas@uljanik.hr  
Helena SALAMON, Uljanik d.d., 51000 Rijeka, Liburnijska 3, helena.salamon@uljanik.hr*

## **TEHNOLOGIJA GRADNJE BRODA ZA PRIJEVOZ RASUTOG TERETA S INTEGRIRANIM SUSTAVOM ZA SAMOISKRAJ**

### **Sažetak**

U 'Brodogradilištu 3.MAJ' gradi se brod za prijevoz rasutog tereta s integriranim sustavom za samoiskrcaj, prvi tog tipa na ovim prostorima. Namijenjen je prijevozu žita, ugljena, željezne rudače, kamena i soli, a ploviti će u području Velikih jezera (Kanada). Po cijeloj duljini teretnog prostora, ispod skladišta tereta, ugraditi će se sustav za samostalni iskrcaj tereta koji se sastoji od hidrauličnih vrata, uzdužnih konvejera, poprečnih konvejera, C-elevatora i konvejera iskrcajne zakretne grane. Koncept gradnje broskog trupa maksimalno je prilagođen zahtjevima točnosti ugradnje specifičnih komponenti opreme, te funkcionalnosti sustava za samoiskrcaj u cjelini. U radu je opisana predviđena tehnologija gradnje broda, s naglaskom na prostor skladišta tereta.

*Ključne riječi: tehnologija gradnje, rasuti teret, samoiskrcaj, konvejer*

## **BUILDING TECHNOLOGY OF SELFUNLOADING BULK CARRIER**

### **Abstract**

A Selfunloading Bulk Carrier, first of its kind in this area, is under construction in '3.MAJ Shipyard'. The ship is designed for transportation of grain, coal, iron ore, stone and salt and will operate in Great lakes region (Canada). Through the whole cargo space, under cargo holds, selfunloading system will be installed. The system is composed of hydraulic gates, longitudinal conveyors, cross conveyors, C-loop elevator and discharge boom conveyor. Hull building concept is fully adjusted to requested mounting accuracy of specific system components as well as functionality of selfunloading system itself. The paper describes shipbuilding technology, with an accent on cargo area.

*Key words: building technology, bulk, selfunloading, conveyor*

Ivan JURAGA, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb, [ivan.juraga@fsb.hr](mailto:ivan.juraga@fsb.hr)

Ivan STOJANOVIĆ, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb, [ivan.stojanovic@fsb.hr](mailto:ivan.stojanovic@fsb.hr)

Andrea KOVAČ, Conmar d.o.o., Marina Držića 8, Split, [andreakovac39@gmail.com](mailto:andreakovac39@gmail.com)

## **ZAŠTITA PODVODNOG DIJELA BRODSKOG TRUPA PREMAZIMA**

### **Sažetak**

Nekvalitetni premazi ili njihovo nepravilno nanošenje mogu dovesti do korozijskih procesa koji slabe konstrukciju broda. Osim korozije, nakon porinuća brod postaje podložan obraštanju (*engl. fouling*). Ako podvodni dio brodskog trupa nije pravilno zaštićen dolazi do gomilanja naslaga koje uzrokuju povećanje otpora kao i mogućnosti oštećenja premaza što opet može dovesti do korozijskih procesa. S ekonomskog pogleda dodatna masa uslijed obraštaja uzrokuje smanjenje brzine i povećanje potrošnje goriva koja za sobom povlači veće novčane gubitke. U radu su teorijski obrađene i eksperimentalno ispitane dvije vrste antivegetativnih premaza, samopolirajući i premazi s topljivom matricom kako bi se dobio uvid u protuobraštajna svojstva premaza, njihovu korozijsku otpornost i otpornost na katodno odvajanje uslijed rada katodne zaštite. Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu i na terenu u brodogradilištu „Brodotrogir“ u Trogiru.

*Ključne riječi: brod, obraštanje, antivegetativni premazi, ispitivanje*

## **UNDERWATER SHIP HULL COATING SYSTEM**

### **Abstract**

Coating systems with poor quality or their incorrect application can lead to corrosion processes which could weaken the structure of the ship. Beside corrosion, after launching ship becomes subject of fouling. If underwater ship hull is not protected properly it can lead to accumulation of mass that causes an increase in resistance and the possibility of coating damage which can also lead to corrosion processes. From an economic view additional weight due fouling causes reduction in speed and increase fuel consumption, which entails greater financial losses. In this paper antifouling coatings are analyzed theoretically and tested experimentally on two types of antifouling, self-polishing and coatings with soluble matrix. Experimental part was made to gain insight into the properties of antifouling coatings, their resistance to corrosion and resistance to cathodic separation due to work cathodic protection. The survey was conducted in the Laboratory for the protection of materials at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb and on the field in the shipyard "Brodotrogir" in Trogir.

*Key words: ship, fouling, antifouling coatings, research*

Neven HADŽIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, [neven.hadzic@fsb.hr](mailto:neven.hadzic@fsb.hr)

Marko TOMIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, [marko.tomic@fsb.hr](mailto:marko.tomic@fsb.hr)

Saša MATIĆ, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, I. Lučića 5, 10000 Zagreb

## **ANALYTICAL METHODS IN SHIP PRODUCTION ENGINEERING**

### **Summary**

Production engineering analytical methods, based on sound mathematical principles, are commonly applied in analysis, design and decision making of different production system in order to enhance its productivity and gained profit. An outline of the simplest Bernoulli production line formulation and the most important resulting performance measures is presented in this paper following the probability and Markov chain theory used in stochastic processes modeling. The presented theory is applied in case of serial plate prefabrication line commonly sighted in every Croatian shipyard based on the declared capacities and operative characteristics. Finally, performance measures, i.e. production rate, work in process and probabilities of blockages and starvations are determined for the considered case.

*Key words: ship production, production system analysis, production system design, production rate, workshop*

## **ANALITIČKE METODE U ANALIZI I PROJEKTIRANJU BRODOGRAĐEVNOG PROIZVODNOG PROCESA**

### **Sažetak**

Analitičke metode imaju važnu ulogu u analizi i projektiranju različitih proizvodnih sustava. Također, njihovom se primjenom omogućuje sofisticirano vođenje procesa kako bi se ostvarila veća produktivnosti i u konačnici značajniji profit. U ovom je radu, na temelju teorije vjerojatnosti, stohastičkih procesa i Markovljevih lanaca, dan pregled formulacije najjednostavnijeg modela Bernoullijeve proizvodne linije kao i najvažnijih parametara proizvodnje. U konačnici, prikazana teorija je ilustrirana primjerom analize linije predobrade limova na temelju deklariranih i operativnih karakteristika strojeva i međuskladišta te su određeni osnovni proizvodni parametri poput proizvodnosti, broja poluproizvoda te vjerojatnosti blokade i praznog hoda strojeva.

*Ključne riječi: brodograđevni proizvodni proces, analiza proizvodnog sustava, projektiranje proizvodnog sustava, proizvodnost, brodograđevna radiona*

Mihovil DEKARIS, BRODOTROGIR d.d, Put brodograditelja 16. HR 21220 Trogir, Hrvatska  
mihovil.dekaris@brodotrogir.hr

Stipan ŠODA-COTIĆ, BRODOTROGIR d.d, Put brodograditelja 16. HR 21220 Trogir,  
Hrvatska, stipan.soda-cotic@brodotrogir.hr

## **POMICANJE OPREMLJENOG NADGRAĐA TANKERA KLIZANJEM PO GREDEMA U SVRHU OTVARANJA PROLAZA ZA UGRADNJU GLAVNOG POGONSKOG STROJA**

### **Sažetak**

Članak opisuje tehnološki postupak pomicanja opremljenog nadgrađa tankera za iznos jedne njegove duljine (12 metara) u svrhu stvaranja prolaza za ugradnju glavnog pogonskog stroja u strojarnicu broda. Postupak se planira provesti na novogradnji chemical tankera koji je upravo u gradnji na navozu brodogradilišta Brodotrogir. Brodogradilište Brodotrogir nema montažnu dizalicu dovoljne nosivosti kojom je moguće na trup montirati kompletno opremljeno nadgrađe. Zbog toga se uranjeno opremljeno nadgrađe na trup montira u 3 uranjeno opremljena bloka. Konačno spajanje i opremanje će se dakle izvesti na samom trupu na navozu u cijelosti osim zavarivanja spoja sa 1. katom nadgrađa. Klizanje se izvodi na dvije posebno ugrađene čelične grede. Nakon što se ugradi glavni stroj nadgrađe se klizanjem vraća na svoje mjesto. Ovim postupkom se omogućava kasna ugradnja glavnog pogonskog stroja bez prevelikog odgađanja roka isporuke broda.

*Ključne riječi: nadgrađe, montaža, glavni stroj, klizanje*

## **TANKER SUPERSTRUCTURE SKIDDING TO OPENING ENTRANCE FOR EMBEDDING OF MAIN ENGINE**

### **Abstract**

Scope of this article is technological procedure of skidding of completed chemical tanker superstructure over two steel girders from its original position approximately 12 meters forward onto ship hull positioned at slipway. This procedure is planned to perform on current chemical tanker newbuilding at Brodotrogir Shipyard slipway. Whole superstructure is to be positioned onto the ship hull in 3 pre-outfitted blocks because of main crane insufficient capacity. The rest of mounting and outfitting procedure have to be performed onto the slipway before main engine embedding onto the ship hull. Superstructure skidding forward have to be performed to open entrance for main engine room in last possible moment without excessive delay of ship delivery.

*Key words: superstructure, assembly, main engine, skidding*

## **MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI KAO POMOĆ U PRILAGODBI BRODOGRAĐEVNOG PROCESA ZA VANBRODOGRAĐEVNE PROJEKTE**

### **Sažetak**

Brodogradilišta u Europi kontinuirano rade na zadovoljenju različitih zahtjeva kupaca, stoga analiziraju postojeći proces izrade međuproizvoda za brod tako i za razne tipove vanbrodgrađevnih konstrukcija. Brodogradilište koje se analizira u članku proizvodi tankere, brodove za prijevoz rasutih tereta, ro-ro brodove i brodove za prijevoz teških tereta. Uprava brodogradilišta otvorena je za mogućnost izgradnje vanbrodgrađevnih konstrukcija uz maksimalnu iskoristivost postojećih proizvodnih resursa. U radu se analizira proces izrade međuproizvoda za zaštitnu konstrukciju Venecijanske luke, tzv. „MOSE Project -Vrata Venecije“ Mapiranjem toka vrijednosti postojećih resursa brodogradilišta. Razmatrajući principe Lean proizvodnje prezentirane su postojeće proizvodne linije te su predstavljena određena poboljšanja u budućoj mapi toka vrijednosti. Dok postojeći sustav proizvodi proizvode koji zadovoljavaju kvalitetu i trajanje tijekom gradnje, buduća mapa toka vrijednosti smanjuje gubitke. To rezultira povećanjem učinkovitosti proizvodnje i smanjenjem utroška radnih sati što smanjuje ukupne troškove. Primjenom Mapiranja toka vrijednosti postojeći brodgrađevni resursi mogu se prilagoditi različitim vanbrodgrađevnim projektima uz konkurentnost u kvaliteti, cijeni i isporuci vanbrodgrađevnih konstrukcija.

*Ključne riječi: mapiranje toka vrijednosti, vitka proizvodnja, međuproizvodi, vanbrodgrađevne konstrukcije, brodogradilište*

## **VALUE STREAM MAPPING TO TRANSFORM SHIPBUILDING PROCESS FOR MULTIPLE INDUSTRIAL CONSTRUCTIONS**

### **Abstract**

Shipyards in Europe in order to keep their production process, continuously working to meet the requests of a variety of customers, must analyze ways in using the present production process for the assembly of interim products for vessels as well as other types of industrial constructions of civil engineering. The shipyard management is open-minded about meeting the needs of the civil engineering construction industry, while making maximum use of the present facilities. In this article is analyzed the process of assembling interim products of a subsea construction for protection Venetian harbour called: "MOSE Project", by using a Value stream mapping (VSM) of present shipyard facilities. The present production lines are explained and certain realistic enhancements are drawn up and illustrated in a future improved VSM. While the present building process produces a product which meet quality and production time of customer, the future proposed system illustrated in future VSM will reduce non-value added activities as well. This result increases production efficiency and decrease the man-hours.

*Key words: value stream mapping, lean manufacturing, interim products, civil engineering, shipbuilding*

Miroslav RANDIĆ, HRVATSKI REGISTAR BRODOVA, područni ured Rijeka, Čandekova 8b, 51000 Rijeka, miroslav.randic@crs.hr

Duško PAVLETIĆ, Tehnički fakultet, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, duskop@riteh.hr

Florian SEDMAK, ULJANIK Grupa, Brodogradilište "3. MAJ", Liburnijska 3, 51000 Rijeka, florian.sedmak@3maj.hr

## **UTVRĐIVANJE UTJECAJNIH PARAMETARA NA KVALITETU ZAVARENOG SPOJA PRIMJENOM POTPUNOG PLANA POKUSA**

### **Sažetak**

U radu su analizirani rezultati dobiveni ispitivanjima montažnih zavarenih spojeva metodama bez razaranja na dvije teglenice građene u jednom hrvatskom brodogradilištu. Analiza je provedena s tri ulazna faktora koji su mijenjani u dva nivoa tijekom montaže sekcija na teglenicama, ulazni faktori su: prostor zavarivanja (otvoren / zatvoren prostor), položaj zavarivanja (vodoravan / okomit položaj) i iskustvo zavarivača (iskusan / neiskusan zavarivač). Izlazni podatak iz procesa je udio duljine zavara na kojima se rade popravci uslijed utvrđenih pogrešaka u odnosu na ukupno snimljenu duljinu zavara, izraženo u postocima. Provedena je analiza utjecaja ulaznih parametara procesa na izlaze primjenom potpunog plana pokusa.

*Ključne riječi: potpuni plan pokusa, pogreške u zavarenim spojevima, teglenica*

## **ANALYSIS OF INFLUENTIAL PARAMETERS ON WELD QUALITY BY APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENTS**

### **Abstract**

The analysed results presented in this paper were obtained by the non-destructive testing of assembled welded joints on two barges constructed in a Croatian shipyard. The analysis was carried out with three input parameters, which varied in two levels during the assembling of barge sections, the input parameters being the following: welding location (open / closed space), welding position (horizontal / vertical position) and welder's experience (experienced / inexperienced welder). The outcome process data is the length of the weld with defects requiring repair in relation to the total tested length of the weld, expressed in percentage. The analysis of the influence of input parameters on the process outputs was carried out by the design of experiment (DOE) method.

*Key words: design of experiment, defects in welded joints, barge*

Marin BISTRIČIĆ, USCS d.o.o., Flaciusova 1 Pula, [marin.bisticic@uscs.hr](mailto:marin.bisticic@uscs.hr)  
Gordan ŠIKIĆ, USCS d.o.o., Flaciusova 1 Pula, [gordan.sikic@uscs.hr](mailto:gordan.sikic@uscs.hr)  
Milan MILANOVIĆ, USCS d.o.o., Flaciusova 1 Pula, [milan.milanovic@uscs.hr](mailto:milan.milanovic@uscs.hr)

## **APLIKACIJA ZA IZRADU TEHNOLOŠKE RAŠČLANE MODELA SEKCIJE**

### **Sažetak**

Unutar ULJANIK Grupe do nedavno je tehnološku raščlanu sekcije definirao konstruktor koji je zadužen za modeliranje i izradu radioničke dokumentacije. Ovakvim načinom rada konstruktor nije trebao čekati tehnologa da završi sa tehnološkom raščlanom kako bi dovršio radioničku dokumentaciju, a to je ujedno značilo i ukupno skraćanje vremena izrade dokumentacije. S obzirom da je definiranje tehnološke raščlane u domeni tehnologa, a i kako bi se smanjilo opterećenje konstruktora, u suradnji sa Sektorom plana i tehnologije ULJANIK Grupe, napravljen je dodatak za Drafting aplikaciju. Pomoću tog modula tehnolog može definirati tehnološku raščlanu modela sekcije u trenutku određenog stupnja gotovosti modela, dok konstruktor istovremeno nastavlja dalje sa modeliranjem.

U članku su prikazane funkcionalnosti aplikacije sa opisanim ključnim dijelovima, navedeni su problemi koje je trebalo riješiti i dane su smjernice za daljnji razvoj aplikacije.

*Gljučne riječi: ShipExplorer, Drafting, razmjena podataka, organizacija rada*

## **THE APPLICATION FOR THE TECHNOLOGICAL HIERARCHY DEFINITION OF SECTION MODEL**

### **Abstract**

In the ULJANIK Group, the technological hierarchy definition for a specific section was performed by the designer who is in charge of the modelling and workshop drawings generation. In that way the designer didn't have to wait for the technologists to finish with technological hierarchy definition, which led to the reduction of the total time for workshop drawings production. Since the technological hierarchy definition actually belongs to the technology domain and also to relieve the strain on the designer, in cooperation with the Department of plan and technology of the ULJANIK Group, the module for Drafting application was created. This module gives the technologist the possibility to define the technological hierarchy for the section model at various levels of model completion, while at the same time designer continues with modelling.

The article shows the main module functionalities, altogether with the module key parts description. The problems we encountered during the development are discussed and the guidelines for the future application development are pointed out.

*Key words: ShipExplorer, Drafting, data exchange, work organization*

## **NASTAMBA NA PLATFORMI ZA BUŠENJE: PROJEKTIRANJE, TRANSPORT I UGRADNJA**

### **Sažetak**

U radu će se prikazati rješavanje problema postavljanja modula nastambe na dva konzolna nosača platforme za bušenje razmaknuta 15.24 m poštujući pri tom uvjete zaštite okoliša i dozvoljene progibe. Radi transporta, nastamba je podijeljena u dvije strukturno i energetski potpuno odjeljene cijeline koje će se nakon transporta spojiti na licu mjesta. Istovremeno će biti predloženi proračuni strukture, podizanja i transporta potpuno opremljene strukture s roštilja izrade na transportni brod i s broda na bušeću platformu prema propisima Nobel Denton.

*Ključne riječi: nastamba, bušeća platforma, transport*

## **THE ACCOMODATION MODULES FOR DRILING UNIT: DESIGN, TRANSPORT AND ASSEMBLING**

### **Abstract**

The paper will present solution to the problem of how to built accommodation block on the drilling units supported by two cantilever girders spaced 15.24 m respecting the given environmental loading condition and permissible deflection. For transport reason, accommodation block is fully divided in two independent parts structurally and energetically which will be assembled on site. At the same time be presented calculation of structure during building and transportation for the fully outfitted module, following the Nobel Denton rules.

*Key words: accommodation, drilling unit, transport*

Davor MIMICA, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka,  
mimica.davor@gmail.com

Damir KOLIĆ, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, dkolic@riteh.hr  
Nikša FAFANDJEL, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka,  
niksaf@riteh.hr

## **MAPA TOKA VRIJEDNOSTI KAO ALAT ZA POBOLJŠANJE UTOVARA CEMENTA NA BROD ZA RASUTI TERET**

### **Sažetak**

Cilj ovog rada je koristiti alate Lean (vitkog) pristupa u projektiranju i poboljšavanju proizvodnog procesa, prvenstveno mapiranje toka vrijednosti (Value Stream Mapping – VSM) na poboljšanje proces utovara cementa u brodove za rasuti teret u svrhu omogućavanja predmetnoj tvornici da poveća maksimalni kapacitet broda na koji se cement može puniti a time i proširi prisutnost na svjetskom tržištu. VSM metoda se koristi u gotovo svim industrijama u svrhu povećanja proizvodnosti smanjivanjem gubitaka i uvođenjem poboljšanja. Analizom postojećeg stanja procesa utovara broda mapira se tok vrijednosti te se uvođenjem poboljšanja eliminiraju uska grla i nedostaci te se izrađuje mapa vrijednosti poboljšanog stanja. U radu ukratko je opisan opći proces proizvodnje cementa i u predmetnoj tvornici te proces utovara cementa na brod. Nakon analize postojećeg stanja napravljena je transformacija u buduće poboljšano stanje koji omogućuje utovar i do četiri puta veći brod, 17% brže od trenutnog stanja, a time se povećava ukupna količina dostavljenog proizvoda – cementa, a time i ukupna dobit.

*Ključne riječi: mapiranje toka vrijednosti, vitka proizvodnja, brod za rasuti teret*

## **VALUE STREAM MAPPING TO IMPROVE LOADING OF CEMENT ONTO A BULK CARRIER**

### **Abstract**

The aim of this thesis is to use a Lean aproach to the design and improvement of the production process, which first includes value stream mapping (VSM) in order to improve the loading of cement onto bulk carriers with the purpose of enabling the subject cement factory to increase maximum capacity of vessels that are to be loaded. In this way the presence of the competitiveness of the cement factory in the world cement market will be increased. The VSM method is used in virtually all industries with the aim of increasing production efficiency through the elimination of wastes and by introducing improvements. Through the analysis of the present state of cement loading onto ships, a value stream map is drawn, thereby making it evident where bottlenecks and other wastes exist. This allows for the creation of a new and improved future state map. In the thesis the generic cement production process is discussed, while for the subject factory, the ship loading process is deeply covered. After analyzing the present state map, a transformation plan to the future improved state which enables loading onto a vessel with four times greater deadweight capacity, while increasing the loading speed to 17 percent. In this way the total amount of cement being produced and sold is increased, thereby also increasing the company's profits.

*Key words: value stream mapping, lean manufacturing, bulk carriers*

**Brodsko strojarstvo, elektrotehnika,  
automatizacija i oprema broda**

***Marine engineering,  
electrical engineering,  
automation and ship equipment***

Tomislav MRAKOVČIĆ, University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka, Croatia, tomislav.mrakovcic@riteh.hr

Ozren BUKOVAC, University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka, Croatia, ozren.bukovac@riteh.hr

Jasna PRPIĆ-ORŠIĆ, University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka, Croatia, jasnapo@riteh.hr

## **NUMERICAL SIMULATION OF TWO-STROKE LOW SPEED TURBOCHARGED ENGINE IN HEAVY SEA CONDITIONS**

### **Abstract**

Two-stroke low speed turbocharged engines are the most common marine propulsion machinery of modern cargo ships. These engines use constant pressure turbocharging system that has very favourable characteristics for operation of the ship in a stable load conditions. Main engine loads change significantly during navigation in adverse weather conditions and in some extreme cases can lead to engine stopping. This paper presents a numerical simulation of two-stroke low speed turbocharged engine in the heavy sea conditions. The numerical model that describes the operation of the main propulsion engine is based on zero-dimensional model of the internal combustion engine. Analysis of the turbocharger behaviour with normal and reduced turbine flow cross-section is also performed. In this way, main propulsion engine peak performances can be examined and optimized in extreme navigation conditions without any risk to the ship, crew or cargo safety.

*Key words: two-stroke low speed engine, numerical simulation, engine zero-dimensional model*

## **NUMERIČKA SIMULACIJA RADA DVOTAKTNOG SPOROHODNOG MOTORA U OTEŽANIM UVJETIMA PLOVIDBE**

### **Sažetak**

Dvotaktni sporohodni motori s prednabijanjem najzastupljeniji su brodski porivni strojevi suvremenih brodova. Ovi motori koriste sustav prednabijanja konstantnim tlakom koji ima izuzetno pogodne karakteristike za pogon broda pri stabilnim opterećenjima. Dinamika opterećenja glavnog pogonskog motora značajno se mijenja pri plovidbi u nepovoljnim vremenskim uvjetima te u pojedinim ekstremnim situacijama može doći i do zaustavljanja pogonskog stroja. U ovom je radu prikazana numerička simulacija rada dvotaktnog sporohodnog motora s prednabijanjem u otežanim uvjetima plovidbe. Numerički model koji opisuje rad glavnog pogonskog motora temeljen je na nultodimenzionalnom modelu motora s unutarnjim izgaranjem. U radu je istraženo i ponašanje turbopuhala s normalnom i smanjenom površinom protočnog presjeka turbine. Na ovaj se način mogu ispitati i optimizirati vršne karakteristike glavnog pogonskog motora u ekstremnim uvjetima plovidbe bez rizika za sigurnost broda, posade ili tereta.

*Ključne riječi: dvotaktni sporohodni motor, numerička simulacija, nultodimenzionalni model motora*

*Ivica ANČIĆ, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, ivica.ancic@fsb.hr*

*Ante ŠESTAN, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, ante.sestan@fsb.hr*

*Nikola VLADIMIR, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5, 10000 Zagreb, nikola.vladimir@fsb.hr*

## **ZNAČAJKE ENERGETSKIH SUSTAVA SUVREMENIH RO-RO PUTNIČKIH BRODOVA**

### **Sažetak**

Ograničen i dobro poznat akvatorij plovidbe (a ponekad i sama ruta plovidbe) brodova za obalnu plovidbu daje mogućnost optimiranja njihovog brodskog energetskeg sustava (BES) kako bi se njihov štetni utjecaj na okoliš u životnom vijeku broda sveo na minimum. Ti se brodovi razlikuju od prekoceanskih po tome što plove na kraćim rutama uz češći i dulji boravak u lukama. To podrazumijeva češće manevriranje kao i dulji rad motora pri minimalnom opterećenju, u uvjetima koji su za dizelski motor daleko od optimalnih. Stoga se kod tih brodova u cilju povećanja energetske učinkovitosti i ekološke prihvatljivosti BES-a kao prihvatljiva alternativa ističu integrirani energetske sustavi (IES). Posebnu ulogu imaju i primjena alternativnih goriva kao i inovativne energetske učinkovite tehnologije.

U ovome je radu prikazana analiza značajki BES-a suvremenih ro-ro putničkih brodova, tj. brodova isporučenih unazad 15 godina. Analiza je obuhvatila sve posebnosti i specifičnosti tog tipa brodova. To je preduvjet za provođenje analiza energetske učinkovitosti i utjecaja na okoliš u okviru postojeće regulative, ali i u okviru očekivanih izmjena pravila za energetske učinkovitost brodova.

*ključne riječi: EEDI, ro-ro putnički brodovi, energetska učinkovitost, ekološka prihvatljivost*

## **ENERGY AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MODERN RO-RO PASSENGER SHIPS**

### **Abstract**

Ships intended to sail in short-sea shipping are usually designed for some specific routes. Their routes are generally shorter and they spend a lot of time in ports. Because of that, such ships need to have very good maneuvering abilities. Their engines operate more often at minimal and maximum load, which is far from optimum. This allows optimizing their power system with the aim to minimize the environmental impact. As a viable alternative many ships have integrated power systems. These systems have higher energy efficiency and lower environmental impact.

In this paper an analysis of ro-ro passenger ships power systems is performed. The analysis includes ships delivered in the last 15 years and indicates particularities and specificities of this ship type. This analysis is a prerequisite for conducting other analysis concerning ship energy efficiency and environmental impact within the current and future regulation.

*Key words: EEDI, ro-ro passenger ships, energy efficiency, environmental impact*

Nikola MATULIĆ *University of Split, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split, CROATIA, nimatulic@gmail.com*

Gojmir RADICA, *University of Split, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split, CROATIA, gojmir.radica@fesb.hr*

Nikola RAČIĆ, *University of Split, Faculty of Maritime Studies, Ruđera Boškovića 37, 21000 Split, CROATIA, nikola@pfst.hr*

## **PREDNABIJANI MOTOR SA ODVOJENIM TURBINSKIM REGENERATIVNIM SUSTAVOM**

### **Sažetak**

Današnje tehnologije kod motora s unutrašnjim izgaranjem koje se koriste za ispunjavanje emisijskih normi, smanjenje potrošnje goriva i poboljšanje performansi su varijabilna kontrola faze i podizanja usisnih i ispušnih ventila, direktno ubrizgavanje i super/turbo punjenje. Ovaj rad će se bazirati na izradi modela i verifikaciji hibridnog koncepta benzinskog brodskog porivnog motora gdje turbina i kompresor rade neovisno jedno o drugome što omogućava drugačiji dizajn turbine te na kraju veću rekuperaciju kinetičke energije ispušnih plinova. Doprinos ovog rada je hibridni koncept koji dovodi do povećanja ukupne efikasnosti porivnih sustava.

*Gljučne riječi: hibridni koncept motora, turbinsko-motorni regenerativni sustav*

## **SUPERCHARGED ENGINE USING TURBINE STANDALONE EXHAUST GAS RECUPERATION SYSTEM**

### **Abstract**

Variable valve timing, variable valve lift, direct injection and super/turbo-charging are today's technologies used for fulfilling emission norms, reducing fuel consumption and improving the performance of the gasoline internal combustion engines. This paper is based on 1D CFD engine model which was used for the hybrid concept verification of a gasoline marine propulsion engine where the turbine and compressor are not mechanically connected which allows different turbine design than needed in conventional turbo-charger which allows more kinetic energy recuperation from exhaust gases. Contribution of the paper is the hybrid concept that increases the overall efficiency of the propulsion system.

*Key words: hybrid engine, exhaust gas recuperation*

Gojmir RADICA, FESB, UNIVERSITY OF SPLIT, Ruđera Boškovića 32, 21000 Split, CROATIA, gojmir.radica@fesb.hr

Branko LALIĆ, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Ruđera Boškovića 37, 21000 Split, CROATIA, blalic@pfst.hr; nikola@pfst.hr

Nikola RAČIĆ, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Ruđera Boškovića 37, 21000 Split, CROATIA, blalic@pfst.hr; nikola@pfst.hr

## **MODELLING AND ANALYSIS OF TWO STROKE LOW SPEED DIESEL ENGINE**

### **Abstract**

This paper explores the marine two-stroke low speed diesel engines characteristics. Marine diesel engine regulations have been established and parameters influencing exhaust emission have been defined. The simulation model of the marine two-stroke low speed diesel engine has been developed. Furthermore, the comparison of numerical and experimentally obtained data was performed. An analysis of the influential parameters on engine characteristics such as compression ratio, exhaust valve timing and fuel injection timing has been performed. The obtained results have been compared and conclusions have been drawn.

*Key words: two-stroke slow speed marine diesel engines modelling, exhaust emissions*

## **MODELIRANJE I ANALIZA RADNOG PROCESA DVOTAKTNOG SPOROHODNOG DIZELSKOG MOTORA**

### **Sadržaj**

Ovaj rad istražuje karakteristike brodskih dvotaktnih sporokretnih dizelskih motora. Pravila za brodske dizelske motore su uspostavljena i definirani su parametri koji utječu na emisiju. Razvijen je simulacijski model broskog sporokretnog dvotaktnog dizelskog motora. Izvršena je usporedba numeričkih i eksperimentalno dobivenih podataka. Valjanost modela, koja je potrebna za daljnju analizu ispušnih plinova, je postignuta na 100% opterećenja. Odstupanja dobivena u realnom motoru i modelu su u rasponu od 2% do 7%.

*Ključne riječi: modeliranje sporokretnog dvotaktnog dizelskog motor, ispušne emisije.*

Igor LALOVIĆ, Uljanik, d.d., Flaciusova 1, Pula, Hrvatska, igor.lalovic@uljanik.hr  
Vito RADOLOVIĆ, Uljanik, d.d., Flaciusova 1, Pula, Hrvatska, vito.radolovic@uljanik.hr  
Josip ANDRIŠIĆ, Uljanik, d.d., Flaciusova 1, Pula, Hrvatska, josip.andrisic@uljanik.hr

## **FP7 RESEARCH PROJECT SHOPERA**

### **Abstract**

In attempt of reducing combustion emissions from ships, International maritime Organization (IMO) adopted Resolutions on energy efficiency of ships. Provisions indicate the reduction of required Energy-Efficiency Design Index (EEDI) through several phases which prompts designers to put even more effort in optimising ship designs, but generally results in reduction of ships' speed and power. The main raised concern is regarding safety of ships in terms of sufficient propulsion power and steering devices capability to maintain the manoeuvrability in adverse conditions. The last was further considered at IMO (Marine Environment Protection Committee - MEPC 64/4/13) and adopted in Resolution MEPC.232(65) for some ship types. The aim of the SHOPERA project is to prepare new guidelines for minimum required propulsion power and steering capability of ships in adverse condition based on holistic approach considering energy efficiency, safety and economy of ship design and operation. This paper provides a general overview of the work done divided between 21 EU partners involved in the SHOPERA project with the final scope of submitting research results summary and developed guidelines to IMO for further consideration.

*Key words: EEDI, manoeuvrability in adverse conditions, holistic optimisation, ship safety*

## **FP7 ISTRAŽIVAČKI PROJEKT SHOPERA**

### **Sažetak**

U nastojanju smanjivanja brodskih emisija produkata izgaranja, International maritime Organization (IMO) usvaja rezolucije o energetskej efikasnosti brodova. Odredbe ukazuju na smanjenje zahtijevanog Energy-Efficiency Design Index (EEDI) kroz nekoliko faza što primorava projektante da ulože dodatan napor u optimiranju brodova, ali općenito rezultira smanjenjem brzine i pogonske snage brodova. Kao rezultat toga, nameće se pitanje sigurnosti brodova u smislu dovoljne propulzijske snage i sposobnosti kormilarskog uređaja da zadrže upravljivost broda u teškom stanju mora. Potonje je dodatno razmatrano u IMO-u (Marine Environment Protection Committee - MEPC 64/4/13) i usvojeno u rezoluciji MEPC.232(65) za određene tipove brodova. Cilj projekta SHOPERA je pripremiti nove smjernice za minimalnu zahtijevanu propulzijsku snagu i upravljivost brodova u uvjetima teškog mora koje se temelje na holističkom pristupu uzimajući u obzir energetskej efikasnost, sigurnost i ekonomičnost brodova u projektnoj fazi i eksploataciji. U ovom radu dan je pregled provedenih istraživanja i dobivenih zaključaka na kojima je radio 21 partner projekta SHOPERA sa ciljem i podnošenja dobivenih rezultata i smjernica IMO-u na daljnje razmatranje.

*Ključne riječi: EEDI, upravljivost na teškom moru, holističko optimiranje, sigurnost broda*

**Osnivanje brodova i  
specijalnih objekata**

***Design of ships and  
special waterborne vessels***

Vittorio BUCCI, University of Trieste, Department. of Engineering and Architecture, Via Valerio 10, 34127 Trieste, Italy, vbucci@units.it  
Alberto MARINO, University of Trieste, Department. of Engineering and Architecture, Via Valerio 10, 34127 Trieste, Italy, marino@units.it  
Francesco MAURO, University of Trieste, Department. of Engineering and Architecture, Via Valerio 10, 34127 Trieste, Italy, fmauro@units.it  
Carlo NASSO University of Trieste, Department. of Engineering and Architecture, Via Valerio 10, 34127 Trieste, Italy, nassocarlo88@gmail.com

## **EVACUATION ANALYSIS FOR PASSENGER SHIPS: A NEW MANDATORY STEP FOR THE EARLY-STAGE DESIGN**

### **Abstract**

Modern passenger ships must be safe in event of fire or flooding. On this basis, a set of stringent international Regulations has been issued to improve the intrinsic survival capability of a ship. Indeed, specific SOLAS Regulations, commonly known as "Safe Return to Port", are addressed towards design criteria able to guarantee adequate functionality of the ship when a casualty occurs. The main objective is to permit either a return to port by means of own propulsion system or an orderly evacuation of the persons on board. Since December 2006 IMO introduced the basic concepts on this topic, which has been subjected to continuous evolutions through the introduction of new specific requirements. Nowadays, this matter has become of primary importance even in the early-stage design. Indeed, the new amendments to SOLAS Regulation II-2/13.3.2.7 issued on May 2016 made the evacuation analysis mandatory for both new and existing passenger ships since the early steps in the project. In this paper, the new IMO revised Guidelines have been analyzed, and a case study for the evacuation of a 3600-person cruise ship has been carried out by means of both simplified and advanced methods.

*Key words: Evacuation analysis, Ship Safety, Safe Return to Port, Evacuation duration.*

## **ANALIZA EVAKUACIJE PUTNIČKIH BRODOVA: NOVI OBVEZUJUĆI KORAK U RANOJ FAZI PROJEKTIRANJA**

### **Sažetak**

Moderni putnički brodovi moraju biti sigurni u slučaju požara ili naplave. Kako bi se to osiguralo izdan je skup striktnih međunarodnih propisa s ciljem poboljšanja sposobnosti preživljavanja broda. Donesene su posebne odredbe SOLAS-a pod nazivom "Siguran povratak u luku" s kojima se kroz projektne kriterije željelo osigurati odgovarajuću funkcionalnost broda u slučaju nezgode. Glavni cilj odredbi je omogućiti povratak u luku putem vlastitog porivnog sustava ili urednu evakuaciju osoba na brodu. Od prosinca 2006. godine IMO je dao osnovne principe za rješavanje ovog problema koji su se s vremenom mijenjali s obzirom na uvođenje novih specifičnih zahtjeva. Danas je rješavanje ovog problema od primarne važnosti, čak i u ranoj fazi projektiranja, tako da imamo nove izmjene i dopune SOLAS-a sadržane u propisu Regulation II-2 / 13.3.2.7 izdanom u svibnju 2016. godine, gdje se zahtjeva obvezna analiza evakuacije za postojeće i nove putničke brodove već u ranim fazama projekta. U ovom radu analizirane su nove IMO revidirane smjernice i dana je studija slučaja za evakuaciju 3600 osoba s putničkog broda, a koja je provedena pomoću pojednostavljene i napredne metode.

*Gljučne riječi: analiza evakuacije, sigurnost broda, siguran povratak u luku, trajanje evakuacije*

Viktor LOŽAR, Zagreb, lozarviktor@googlemail.com  
Vedran SLAPNIČAR, University of Zagreb Faculty of Mechanical Engineering and Naval  
Architecture, Ivana Lučića 5, Zagreb, vedran.slapnicar@fsb.hr

## **SOLUTION FOR INTER-CONNECTING AND SUPPLYING ADRIATIC ISLANDS**

### **Abstract**

The main objective of this work was to develop and define a transportation solution for inter-connecting and supplying Adriatic islands with Adriatic ports. Foundations of the method are: (a) Determination of cargo: Determination of factors for the goods conversion - "values to mass factors", (b) Selection of supply policy: selection of the route, schedule and duration of the voyage for the determination of the required speed and required vessel capacity, (c) Cost estimation of ship transport, which provides justification for the project and its comparison with the conventional truck transport. This approach has opened variety of solutions for the problem of supplying Croatian islands and at end the preliminary design of supply ship is given.

*Key words: Inter-connecting of islands, Island supply, Supply policy, Adriatic islands, Supply ship*

## **RJEŠENJE ZA MEDUSOBNO POVEZIVANJE I OPSKRBU JADRANSKIH OTOKA**

### **Sažetak**

Glavni cilj ovog rada bio je razviti i definirati transportno rješenje za povezivanje i opskrbu jadranskih otoka s lukama na Jadranu. Temelji metode su: (a) Određivanje količine tereta. Izračunavanje faktora pomoću kojih se preračunavaju vrijednosti grupe proizvoda u njegovu masu proizvoda, (b) Odabir strategije opskrbe. Izbor rute, raspored plovidbe te trajanje plovidbe što nam omogućuje uvid u procjenu potrebne brzine i potrebnog kapaciteta broda, (c) Procjena troškova prijevoza brodom koja omogućuje opravdanost projekta i njegovu usporedbu s dosadašnjem uobičajenim transportom tereta kamionima. Ovakav pristup je otvorio i pogled na niz rješenja problematike opskrbe hrvatskih otoka, a na kraju dan idejni projekt broda za opskrbu.

*Ključne riječi: povezivanje otoka, opskrba otoka, strategija opskrbe, jadranski otoci, brod za opskrbu*

Izvor GRUBIŠIĆ, CIMB, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, izvor.grubisic@fsb.hr  
Vedran SLAPNIČAR, FSB, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, vedran.slapnicar@fsb.hr  
Ivan MUNIĆ, FSB, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, ivan.munic@fsb.hr  
Luka MUDRONJA, PFST, Ruđera Boškovića 37, 21000 Split, luka.mudronja@pfst.hr

## **POMORSKA BAŠTINA I PRAKTIČNA EDUKACIJA**

### **Sažetak**

Očuvanje pomorske baštine kao dijela cjelokupnog kulturnog nasljeđa jednog naroda ima važnu ulogu u formiranju identiteta i prenošenju iskustva na nove generacije studenata. Istovremeno je niz djelatnosti u području male brodogradnje postalo zanimljivo kao predmet sustavnog proučavanja, te je tako pobudilo interes studenata za tehničke, tehnološke i inženjerske probleme struke. Spajanjem ovih dviju komponenti potaknuta je organizacija Ljetne škole male brodogradnje koja bi obuhvatila tehnički i kulturni aspekt djelatnosti. Od 2013. do 2016. godine održane su 4 ljetne škole na kojima je ukupno 40 studenata steklo praktični uvid u probleme gradnje i projektiranja malih brodova. Istovremeno su temeljito upoznali tradicijske brodove te proveli praktična mjerenja forme na njima. Rezultati studentskog rada pokazani su putem kompjuterski izglađenih nacрта brodskih linija koji ujedno služe očuvanju informacija o brodovima za koje postoji ozbiljna opasnost da se u potpunosti izgube i nestanu.

*Ključne riječi: ljetna škola, mala brodogradnja, brodograđevna baština, brodska forma, praktični rad*

## **MARITIME HERITAGE AND HANDS-ON EDUCATION**

### **Abstract**

Preservation of maritime heritage, as part of the total cultural heritage of any nation, has important role in forming identity and transferring experiences from the past to the next generation of students. At the same time different activities in the field of boatbuilding and naval architecture of small craft is rising student interest in the technical and engineering aspect of small craft. Joining the two components an idea of organizing Summer schools was formulated. From 2013 to 2016 four Summer schools were organized in which a total of 40 students acquired practical and theoretical insight into problems of designing and building of boats and small craft. Participating in the school activities the students got firsthand experience of traditional boats and vessels and measured their form. The results of the measurement are presented as computer faired standard hull lines drawings that will preserve the information of the ships that may decay in the future.

*Key words: summer school, boatbuilding, maritime heritage, hull form, hands-on approach*

Miro BUGARIN, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Splitu, R.Boškovića 32, 21000 Split, Miro.Bugarin@fesb.hr

Željko DOMAZET, red.prof. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Splitu, R.Boškovića 32, 21000 Split, Zeljko.Domazet@fesb.hr

Francisko LUKŠA, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Splitu, R.Boškovića 32, 21000 Split, Francisko.Luksa@st.t-com.hr

## **TEMELJNE POSTAVKE STRUKTURALNOG DIZAJNA MALIH ALUMINIJSKIH PLOVILA**

### **Sažetak**

Aluminij je gotovo idealan materijal za gradnju malih plovila, a u novije vrijeme pokazuje se i velikih brodova raznih funkcionalnih namjena. Lagan je, ekonomičan, jednostavan za održavanje, dosta dobro otporan na koroziju, manje osjetljiv na oštećenja, jednostavan u reparaciji u odnosu na druge materijale u brodogradnji. U brodogradnji u Hrvatskoj još uvijek nije prihvaćen kao dovoljno „dobar materijal“. Izgradnja malih plovila u stakloplastici zahtjeva izradu ponekad skupih kalupa, rad u kontroliranim uvjetima s vrlo opasnim kemikalijama. U namjeri da aluminij kao materijal, posebice u maloj brodogradnji, bude više prihvaćen, ovim radom nastojalo se pokazati temeljene pretpostavke strukturnog dizajna aluminijskih plovila duljine do 24m. U radu su predstavljeni osnovni koncepti u postupku odabira aluminijskih slitina u definiranju strukturnih komponenti malih plovila, kao i konstrukcijske preporuke i pojednostavljene strukturne analize u njihovom strukturalnom. Pri tome je dat osvrt na EU(ISO) normative koji se koriste u gradnjih malih aluminijskih plovila.

*Gljučne riječi: mala maluminijska plovila, aluminijske legure, ekstrudirani profili, zavarivanje*

## **THE BASIC PRINCIPLES OF STRUCTURAL DESIGN SMALL ALUMINUM BOATS**

### **Abstract**

Aluminum may be the ideal boatbuilding material: it's light, economical, maintenance-free, nearly impervious to corrosion, less easily damaged and more easily repaired than any other material used for building boats. These facts aren't lost on the boatbuilding industry: more boats are built from aluminum than from any other material. Its ease of forming and working make aluminum an ideal material for mass production requiring relatively low-skilled labor. These same-qualities make aluminum just as desirable for one-off builders as for mass producers. Building in fiberglass requires a climate-controlled workspace, frequent exposure to hazardous chemicals. Therefore, in order to aluminum as a material, especially in a small shipbuilding, to be able more accepted, in this paper was intended to show the assumptions based structural design aluminum boats of up to 24m. The paper presents the basic concepts in the selection process of aluminum alloys in defining the structural components of small boats, as well as the design recommendations and simplified structural analysis in their structural. It is gives review to the EU (ISO) norms that are used in the construction of small aluminum boats.

*Key words: small aluminum boats, extruded profiles, welding*

## THE LATEST ADVANTAGES IN SHIPBUILDING CAD SYSTEMS

### Abstract

The shipbuilding industry has varied widely throughout history. This paper traces the history of ship design since Roman times, when ship designers began to use curves for drawing frames, through the Venetian techniques (XIII-XVI centuries) reusing templates, to the most modern methods for ship design with CAD/CAM Systems.

Throughout the first half of the 20th century, ships were getting bigger; so it was necessary to work on larger scales. The templates allowed working on different scales, such as widely used 1:10 scale. But with growing ship size, the moment came it was no longer practical to use templates. This happened at a time when the first computers came to our industry, promoting the development of ship design CAD systems.

The new CAD Systems offer a comprehensive process for the design and construction of ships, offshore platforms and submarines, with the help of computers. There are many advantages of using CAD in shipbuilding: ease of design, speed of construction, use and reuse of information, etc. It is expected that in the future CAD tools will advance further and allow greater information management and virtual access through smart devices. In general, CAD systems provide tangible benefits while the process is optimized, reducing design time and production, and therefore costs.

*Key words: shipbuilding CAD system, Product Lifecycle Managements, virtual reality*

## NAJNOVIJA DOSTIGNUĆA U RAZVOJU BRODOGRAĐEVNIH CAD SUSTAVA

### Sažetak

Brodograđevna industrija značajno se je mijenjala kroz povijest. Ovaj rad prati povijest projektiranja brodova od Rimskog doba, kad su projektanti brodova počeli koristiti krivulje za crtanje brodskih rebara, preko Venecijanske tehnike korištenja predložaka (XIII.-XVI. stoljeće) do modernih metoda projektiranja brodova primjenom CAD/CAM sustava.

Kroz prvu polovicu dvadesetog stoljeća brodovi su postajali sve veći te je postalo neophodno raditi sa sve većim mjerilima. Predložci su dozvoljavali rad s različitim mjerilima, pa tako i sa često korištenim mjerilom 1:10. No s porastom veličine brodova, postalo je nepraktično koristiti predloške. To se dogodilo otprilike u vrijeme kad su se prva računala počela koristiti u industriji, što je potaklo razvitak brodograđevnih CAD sustava.

Novi CAD sustavi omogućuju sveobuhvatan proces projektiranja i izgradnje brodova, podmornica i pučinskih objekata, pomoću računala. Postoje mnoge prednosti korištenja CAD u brodogradnji: jednostavnost projektiranja, brzina izrade projekta, korištenje i ponovna uporaba informacija, itd. Očekuje se da će u budućnosti CAD alati dalje napredovati i omogućiti kvalitetnije upravljanje informacijama i virtualni pristup preko pametnih uređaja. Općenito, CAD sustavi pružaju opipljive koristi, a proces je optimiziran uz smanjenje vremena projektiranja i proizvodnje, a time i troškova.

*Ključne riječi: brodograđevni CAD sustavi, cjeloživotno upravljanje proizvodom, virtualna stvarnost*

Fai CHENG, *fai.cheng@lr.org*

Ivy FANG, *ivy.fang@lr.org*

Jose Gonzalez CELIS, *Jose.GonzalezCelis@lr.org*, *Lloyd's Register Global Technology Centre, Southampton Boldrewood Innovation Campus, Burgess Road, Southampton SO16 7QF, United Kingdom.*

## GLOBAL MARINE TECHNOLOGY TRENDS 2030 COMMERCIAL SHIPPING

### Abstract

The shipping industry will need to reconsider its business model with regards to ship design, construction and operation. As the global economy continues to expand, the demand for products will become more intense. Customers are sharp, technologically astute with a number of parameters affecting their behaviours; price, environmental responsibility and schedule reliability being some indicative examples. The Global Marine Technology Trends 2030 report outlines the eight technologies that could form the scene of shipping in future, based on their commercial feasibility, potential marketability and transformational impact. These are robotics, advanced materials, satellite communications, smart ships, data analytics, sensors, hybrid propulsion, and integrated shipbuilding. Lloyd's Register unveils the vision for technological change in the global shipping for 2030; a better connected, digital world where people, software and hardware will be closely integrated. Current paper employs 'TechnoMax' scenarios to offer readers an indication of the potential maximum technology uptake, relevant to the four dominant market sectors of bulk carriers, tankers, containerships and gas carriers.

*Key words: TechnoMax Ships, transformational, robotics, big data, cyber security*

## GLOBALNI POMORSKI TEHNOLOŠKI TRENDOVI U TRGOVAČKOM BRODARSTVU DO 2030. GODINE

### Sažetak

Pomorska industrija bi trebala razmotriti svoj poslovni model koji se odnosi na projektiranje, konstrukciju i upravljanje brodovima. Budući da je globalna ekonomija u stalnom porastu, potražnja za proizvodima će biti još veća. Kupci su zahtjevni i tehnološki potkovani, s nizom parametara koji utječu na njihovo ponašanje kao što su cijena, briga za okoliš i pouzdani rokovi koji su samo indikativni pokazatelji. Dokument „Izviješće globalnih pomorskih tehnoloških trendova u trgovačkoj mornarici do 2030.“ (eng. *The Global Marine Technology Trends 2030*) navodi osam tehnologija koje bi mogle imati utjecaj na brodarstvo u budućnosti, na temelju njihove ekonomske isplativosti te potencijalne tržišnosti i transformacijskog utjecaja. To su robotika, napredni materijali, satelitske komunikacije, pametni brodovi, analitika podataka, senzori, hibridni pogon i integrirana brodogradnja. *Lloyd Register* je predstavio viziju tehnološke promjene u globalnom brodarstvu za 2030. godinu, bolje povezani digitalni svijet u kojem će ljudi, softver i hardver biti tijesno povezani. Ovaj rad koristi *TechnoMax* scenarij kako bi ponudio čitateljima naznaku najvećeg mogućeg rasta tehnologije relevantne za četiri dominantna broderska tržišna sektora: za rasute terete, tankere, kontejnerske brodove i brodove za prijevoz plina.

*Ključne riječi: TechnoMax brodovi, transformacijska robotika, velika količina podataka, kibernetička sigurnost*

**Organizacija i ekonomija  
brodograđevne industrije**

***Organisation and economics  
of shipbuilding***

Duško PAVLETIĆ, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka,  
dusko.pavletic@riteh.hr

Toni VIDOLIN, 3. MAJ Brodogradilište d.d., Liburnijska 3, Rijeka, toni.vidolin@uljanik.hr

Mladen ŠUPER, 3. MAJ Brodogradilište d.d., Liburnijska 3, Rijeka,  
mladen.super@uljanik.hr

Željko VUČKOVIĆ, 3. MAJ Brodogradilište d.d., Liburnijska 3, Rijeka,  
zeljko.vuckovic@uljanik.hr

## **ISHODI UČENJA I POTREBE TRŽIŠTA RADA – PRIMJER IZ PODRUČJA ZAVARIVANJA**

### **Sažetak**

U Republici Hrvatskoj provodi se reforma obrazovnog sustava, s ciljem povezivanje obrazovanja s tržištem rada, temelj koje je Hrvatski kvalifikacijski okvir. Poseban naglasak HKO stavlja na **ishode učenja**, odnosno, kompetencije koje je osoba stekla učenjem i dokazala nakon postupka učenja kao i njihove usklađenosti s potrebama tržišta rada. U radu su prikazani rezultati istraživanja provedenog u sklopu projekta ME4CataLogue o poželjnim i nedostajućim kompetencijama prvostupnika i magistara strojarstva. Također, prikazani su rezultati tematskog vrednovanja diplomskih studija na Sveučilištu u Rijeci, a vezani uz procjenu nastavnika i studenata o zastupljenosti praktične nastave i stjecanja praktičnih kompetencija tijekom studija. Na primjeru iz zavarivačkog inženjerstva ispitana je usklađenost definiranih ishoda učenja na Tehničkom fakultetu u Rijeci i stvarnih potreba za takvim znanjima završenih studenata kod zapošljavanja u brodogradnji.

*Gljučne riječi: ishodi učenja, tržište rada, brodogradnja, zavarivanje*

## **LEARNING OUTCOMES AND LABOUR MARKET NEEDS – WELDING ENGINEERING EXAMPLE**

### **Abstract**

Currently, in Republic of Croatia, the education system is under reform. Main goal of the reform is to better link education with the labour market. The basis for the reform is Croatian Qualification Framework (CQF), which places special emphases on learning outcomes, competences that a person has acquired through learning and their compliance with labour market needs. The paper presents the results of research conducted within the ME4CataLogue project concerning desirable and missing competencies of bachelors and masters of mechanical engineering as well as results of the thematic evaluation of graduate studies at the University of Rijeka, related to the assessment of teachers and students on the representation of practical training and acquisition of practical competence during the study. On the case of welding engineering the compliance of defined learning outcomes at the Faculty of Engineering and real need for such knowledge in shipbuilding industry is tested.

*Key words: learning outcomes, labour market, shipbuilding, welding engineering*

*Tanja GORTAN, Uljanik d.d., Flaciusova 1, Pula, tanja.gortan@uljanik.hr*

*Ines RAIC SUDAR, Uljanik d.d., Flaciusova 1, Pula, ines.raic-sudar@uljanik.hr*

*Aleksandar BUDISAVLJEVIĆ, Uljanik d.d., Flaciusova 1, Pula,*

*aleksandar.budisavljevic@uljanik.hr*

*Nikolina ABRAMOVIĆ, Uljanik d.d., Flaciusova 1, Pula, nikolina.abramovic@uljanik.hr*

*Mihaela NAČINOVIĆ, Uljanik d.d., Flaciusova 1, Pula, mihaela.nacinovic@uljanik.hr*

## **UTJECAJ ULJANIK GRUPE NA HRVATSKO GOSPODARSTVO**

### **Sažetak**

U radu je prikazan značaj ULJANIK Grupe u hrvatskom gospodarstvu koji se odražava kroz vrijednost knjige narudžbi prema izračunu efekta multiplikatora. Brodograđevna industrija je složen sustav koji se razvijao godinama - brodogradilište, proizvođači opreme, prateća industrija, projektni uredi, Hrvatski registar brodova, Brodarski institut, Hrvatska Brodogradnja – Jadranbrod, fakulteti i dr., te zapošljava velik broj radnika, a svojim multiplikatorskim efektom održava i potiče razvitak zemlje.

*Gljučne riječi: ULJANIK Grupa, knjiga narudžbi, gospodarstvo, efekt multiplikatora*

## **INFLUENCE OF THE ULJANIK GROUP ON CROATIAN ECONOMY**

### **Abstract**

The paper presents influence of the ULJANIK Group on Croatian economy, which is reflected through the order book based on the multiplier effect calculation. Shipbuilding industry is an extensive system that has been developing for years and includes shipyards, equipment producers and suppliers, supporting industries, design offices, Croatian Register of Shipping, Shipping Institute, Croatian Shipbuilding Corporation - Jadranbrod, faculties and others. The industry employs a large number of workers and through its multiplier effect supports and stimulates national economy.

*Key words: ULJANIK Group, order book, economy, multiplier effect*

Ante ČAGALJ, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Split, R. Boškovića 32, 21000 Split, ante0cagalj@gmail.com

Roko MARKOVINA, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Split, R. Boškovića 32, 21000 Split, roko.markovina@fesb.hr

Ivica VEŽA, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Split, R. Boškovića 32, 21000 Split, iveza@fesb.hr

## **INTEGRACIJSKI PROCESI U BRODOGRADNJI**

### **Sažetak**

U cilju povećanja konkurentnosti i opstanka na globalnom svjetskom tržištu posljednjih desetljeće trend je prema povezivanju pojedinih poduzeća, najčešće na regionalnoj razini. Povezivanje se odvija kako u vertikalnim tako i u horizontalnim poslovnim procesima. Ovaj trend prisutan je u brodograđevnoj industriji. U radu će biti prikazano poslovno povezivanje u brodograđevnoj djelatnosti kroz koncentraciju na temeljne kompetencije brodogradilišta, te razvoj outsourcinga pri odvijanju procesa umrežavanja svih sudionika u brodograđevnoj djelatnosti. Obradit će se primjer povezivanja Sjeverno jadranskih brodogradilišta (Uljanik i 3. maj), te potencijalna mogućnost povezivanja Južnih brodogradilišta.

*Ključne riječi: poslovno povezivanja, brodogradnja, temeljne kompetencije*

## **INTEGRATION PROCESSES IN SHIPBUILDING**

### **Abstract**

In order to increase competitiveness and survival on the global market, trend toward connecting of individual companies, mostly at the regional level is present during last decades. Connecting takes place both in vertical and in horizontal business processes. This trend is also present in the shipbuilding industry. This paper will show business connecting in the shipbuilding industry through focus on the core competencies of the shipyard, and the development of outsourcing in the unfolding process of networking of all participants in the shipbuilding industry. Case study which deals with connecting the North Adriatic shipyards (Uljanik and May 3) is shown, together with the potential to connect southern Croatian shipyards.

*Key words: business connections, shipbuilding, core competencies*

## UPRAVLJANJE PROJEKTIMA U BRODOGRADNJI

### Sažetak

Upravljanje projektima - Project Management, u različitim je oblicima vrlo čest u brodogradnji, ovisno o tehničkim i poslovnim specifičnostima svakog od projekta, kao i tehnološkim, organizacijskim i poslovnim karakteristikama i specifičnostima pojedinog brodogradilišta ili brodograđevnog poslovno-proizvodnog sustava.

U radu se opisuju specifičnosti uvjeta poslovanja trenutnog razdoblja u brodogradnji i razlozi primjene projektnog menadžmenta u takvim okolnostima, osnovni oblici projektnog menadžmenta, te primjeri iz brodograđevne prakse s opisanim specifičnostima svakog od njih, kao i elementi o kojima ovisi kvalitetno upravljanje projektima u okviru cjeline brodograđevnog poslovno-proizvodnog sustava.

Zaključno se definiraju uvjeti za uspješno upravljanje projektima u brodogradnji, te se ukazuje na smjerove razvoja upravljanja projektima u promjenljivom poslovnom okruženju.

*Ključne riječi: brodogradnja, poslovno-proizvodni sustav, upravljanje projektima*

## PROJECT MANAGEMENT IN THE SHIPBUILDING

### Abstract

Project management is very common in various forms in shipbuilding, depending on the technical and business particularities of each project, as well as on the technological, organizational and business characteristics of individual shipyard or shipbuilding business-production systems.

This paper describes the particularities of business conditions in actual situation and reasons for the application of project management in such circumstances, basic models of project management, examples from shipbuilding practice, as well as influenced elements for successful project management in shipbuilding business-production system.

Finally, the paper defines conditions for successful project management in shipbuilding and points the direction of further project management development in the changing business environment.

*Key words: shipbuilding, business-production-system, project management*

Marina VUKMAN, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, vukman.marina@gmail.com

Damir KOLIĆ, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, dkolic@riteh.hr  
Nikša FAFANDJEL, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, niksaf@riteh.hr

## DFP ANALIZA IZRADE PANELA U BRODOGRADNJI

### Sažetak

Temeljna komepetancija brodograđevne industrije uključuje sastavljanje panela. Ravni paneli sadrže više od 60% sastav komercijalnih brodova. Logično je započeti analizu ove važne proizvodne linije kao i konfiguraciju sastava međuproizvoda radi otkrivanja koje izmjene mogu dovesti do poboljšane proizvodnje kroz smanjenja efektivnih sati. Tehnike iz projektiranja za proizvodnju DFP se koriste u mnogim industrijama diljem svijeta s ciljem izgradnje proizvoda koji će zadovoljiti ne samo Brodovlasnika i Klasifikacijsko društvo nego će isto biti maksimalno usklađeno sa postrojenjima brodogradilišta na takav način da će postojati balansirano taktno vrijeme sa malim brojem zastoja. Tkd. radnici neće biti niti previše niti premalo opterećeni tako da izrada međuproizvoda će teći po planu. U ovom radu, studija slučaja izrade panela teglenice za prijevoz asfalta je napravljen. DFP analiza omogućuje otkrića efektivnih sati svake panele, kao i taktno vrijeme tijekom izrade na liniji za izradu panela. Kao rezultat, omogućeno je dovođenja preporuka za najbolju praksu tijekom izrade međuproizvoda kao i samog projektiranja međuproizvoda s ciljem da se olakša proizvodnji i tako smanje troškove brodogradilištu.

*Ključne riječi: projektiranje za proizvodnju, najbolja brodograđevna praksa, brodogradnja*

## DFP ANALYSIS OF PANEL ASSEMBLY IN SHIPBUILDING

### Abstract

The shipbuilding industry's production core competence includes panel assembly. Since flat panels make up well over 60% of a commercial ships interim product content, it is logical to analyze this important assembly line as well as its interim product configuration range in order to determine, what changes can be made in order to improve the production by decreasing assembly man-hours. Design for production techniques are used in multiple industries around the world with the aim of making a quality product that will satisfy not only the Customer and the Classification Society requirements and expectations, but also be compliant with the shipyard production facilities in such a way that there will be a balanced takt time with no bottlenecks. Likewise, workers will not be overworked or underworked and the interim product assembly will work according to plan. In this paper, a case study is made of the interim products of an asphalt barge in a commercial shipyard. DFP analysis leads to determination of the man-hours of each panel, as well as the takt time along the panel assembly line. As a result it is possible to draw best practice recommendations for future improvements of the panel assembly line as well as interim product design with the aim of easing production which decreases the total production costs.

*Key words: design for production, best practice, shipbuilding*

## **RECENZENTI / REVIEWERS**

Vesna Alar  
Ivica Ančić  
Jerolim Andrić  
Dario Ban  
Josip Bašić  
Branko Blagojević  
Ivan Čatipović  
Nastia Degiuli  
Roko Dejhalla  
Goran Đukić  
Izvor Grubišić  
Neven Hadžić  
Damir Kolić  
Zoran Kožuh  
Severino Krizmanić  
Dunja Legović  
Boris Ljubenkov  
Gojko Magazinović  
Ivana Martić  
Vladimir Medica  
Ivan Munić  
Duško Pavletić  
Pero Prebeg  
Jasna Prpić-Oršić  
Gojmir Radica  
Smiljko Rudan  
Vedran Slapničar  
Ivan Stojanović  
Ante Šestan  
Marko Tomić  
Zdenko Tonković  
Anton Turk  
Pero Vidan  
Natalija Vitali  
Nenad Vulić  
Hinko Wolf  
Albert Zamarin  
Kalman Žiha

## INDEKS AUTORA / AUTHOR INDEX

Abramović, N.....	68
Ančić, I.....	55
Andrić, J.....	36, 37, 38
Andrišić, J.....	38, 58
Andrun, M.....	24
Balić, M.....	43
Balunović, M.....	41
Ban, D.....	27
Baroni, C.....	19
Bašić, J.....	24, 27
Benić, N.....	16
Bezić, A.....	38
Bistričić, M.....	50
Blagojević, B.....	20, 24
Bucci, V.....	18, 60
Budisavljević, A.....	68
Bugarin, M.....	63
Bukovac, O.....	54
Burlović, D.....	41
Bužančić Primorac, B.....	40
Cerni, P.....	18
Cheng, F.....	65
Čagalj, A.....	69
Čudina, P.....	38
Ćatipović, I.....	10, 14
Degiuli, N.....	10, 11, 12
Dejhalla, R.....	15
Dekaris, M.....	47
Domazet, Ž.....	63
Dundara, Đ.....	28
El Saleh, A.....	39
Fafandjel, N.....	52, 71
Fang, I.....	65
Farkas, A.....	11
Frank, D.....	41
Galić, H.....	35
Galletta, M.....	31
García-Amorena García, D.O.....	20
Gatin, I.....	21, 22
Gonzalez Celis, J.....	65
Gortan, T.....	68
Grubišić, I.....	62
Guedes Soares, C.....	17
Hadžić, N.....	34
Jasak, H.....	21, 22
Juraga, I.....	45
Jurišić, P.....	33
Kaprantsev, S.V.....	29
Katalinić, M.....	23
Kitarović, S.....	38

Kodvanj, J.....	39
Kolić, D. ....	52, 71
Korun Curić, K. ....	43
Kovač, A. ....	45
Kuzmanović, O. ....	28
Lalić, B. ....	57
Lalović, I. ....	58
Legittimo, C.M.....	19
Legović, D.....	15
Ložar, V. ....	61
Lukša, F. ....	63
Ljubenkov, B. ....	39, 43
Mandić, D. ....	16
Marino, A.....	60
Markovina, R. ....	69
Martić, I. ....	10, 12, 13
Matić, S. ....	46
Matulić, N. ....	56
Mauro, F. ....	18, 26
Milanović, M.....	50
Milat, A. ....	41
Mimica, D. ....	52
Mrakovčić, T.....	54
Mudronja, L. ....	23, 62
Munić, I.....	62
Nabergoj, R.....	26
Načinović, M. ....	68
Nasso, C.....	60
Palaversa, M.....	32
Parunov, J. ....	23, 33, 35, 40
Pavletić, D. ....	49, 67
Perez Fernandez, R. ....	64
Pirić, K. ....	36, 38
Pirović, T.....	36
Plavšić, M. ....	37
Pražić, D. ....	44
Prebeg, P.....	32, 36, 37, 38
Prosinečki, T.....	13
Prpić, T. ....	70
Prpić-Oršić, J.....	16, 17, 25, 54
Račić, N. ....	56, 57
Radica, G. ....	56, 57
Radić, L.....	36
Radić, Ž.....	16
Radolović, V. ....	28, 56
Raić-Sudar, I. ....	68
Randić, M. ....	49
Reina, C. ....	19
Rudan, S. ....	31
Salamon, H.....	44
Sedmak, F.....	49
Senjanović, I. ....	34

Slapničar, V. ....	61, 62
Stanić, V. ....	48
Stipić, T. ....	38
Stojanović, I. ....	45
Šarić, B. ....	24
Šestan, A. ....	55
Šetka, V. ....	24
Šikić, G. ....	50
Šoda-Cotić, S. ....	34, 47, 51
Šojat, B. ....	22
Šuper, M. ....	67
Togunjac, A. ....	29
Tomašević, D. ....	43
Tomić, M. ....	34, 46
Valčić, M. ....	25
Veža, I. ....	69
Vidan, P. ....	23
Vidolin, T. ....	67
Vishnevsky, L.I. ....	29
Vitali, N. ....	17
Vladimir, N. ....	34, 55
Vlašić, D. ....	12
Vučković, Ž. ....	67
Vukas, N. ....	44
Vukčević, V. ....	21, 22
Vukman, M. ....	71
Zotti, I. ....	18, 19
Žanić, V. ....	32, 36, 38
Žiha, K. ....	39