

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**POSLIJEDIPLOMSKI STUDIJ  
"TEHNOLOŠKI SUSTAVI U POMORSKOM PROMETU"**

**Josip Orović**

**PRIPREMA I OPTIMIRANJE BRODSKIH  
PARNOTURBINSKIH POSTROJENJA**

**MAGISTARSKI RAD**

**Rijeka, svibanj 2006.**

# SADRŽAJ

Stranica

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD.....                                                                                      | 1  |
| 1.1. Predmet istraživanja.....                                                                    | 1  |
| 1.2. Svrha i ciljevi istraživanja.....                                                            | 1  |
| 1.3. Ocjena dosadašnjih istraživanja .....                                                        | 2  |
| 1.4. Metode istraživanja.....                                                                     | 3  |
| 1.5. Struktura rada.....                                                                          | 4  |
| 2. TOPLINSKI PROCESI PARNOTURBINSKIH POSTROJENJA .....                                            | 6  |
| 2.1. Termodinamički stupanj djelovanja idealnog procesa .....                                     | 9  |
| 2.2. Termodinamički stupanj djelovanja stvarnog procesa .....                                     | 9  |
| 2.3. Ukupni stupanj djelovanja toplinskog procesa .....                                           | 11 |
| 2.4. Potrošak pare, topline i goriva brodskog parnoturbinskog postrojenja ...                     | 17 |
| 2.5. Parnoturbinska postrojenja s oduzimanjem pare.....                                           | 20 |
| 3. UTJECAJ OSNOVNIH TOPLINSKIH VELIČINA NA EKONOMIČNOST RADA<br>PARNOTURBINSKOG POSTROJENJA ..... | 29 |
| 3.1. Utjecaj svježeg pare.....                                                                    | 29 |
| 3.2. Međupregrijavanje pare.....                                                                  | 37 |
| 3.3. Ovisnost ekonomičnosti pogona o konačnim parametrima pare.....                               | 43 |
| 3.4. Regenerativno zagrijavanje napojne vode.....                                                 | 46 |
| 4. ANALIZA I PRIPREMA PARNOTURBINSKOG POSTROJENJA KOD<br>TANKERA.....                             | 48 |
| 4.1. Postrojenje za proizvodnju pare.....                                                         | 48 |
| 4.2. Generator pare.....                                                                          | 50 |
| 4.3. Turbogenerator.....                                                                          | 52 |
| 4.4. Parne turbine pumpi tereta.....                                                              | 53 |
| 4.5. Priprema parnoturbinskog postrojenja.....                                                    | 56 |
| 5. ANALIZA I PRIPREMA PARNOTURBINSKOG POSTROJENJA KOD LNG<br>BRODOVA.....                         | 62 |
| 5.1. Sustav pare.....                                                                             | 62 |
| 5.2. Sustav kondenzata i napojne vode.....                                                        | 65 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Priprema parnoturbinskog postrojenja.....                                                          | 69  |
| 6. MODEL VIŠESTRUKÉ POLINOMIJALNE REGRESIJE.....                                                        | 76  |
| 6.1. Upotreba modela višestruke polinomijalne regresije u parnoturbinskom postrojenju.....              | 85  |
| 6.2. Upotreba modela višestruke polinomijalne regresije u parnoturbinskom postrojenju na tankeru.....   | 97  |
| 6.3. Upotreba modela višestruke polinomijalne regresije u parnoturbinskom postrojenju na LNG brodu..... | 102 |
| 7. ZAKLJUČAK.....                                                                                       | 110 |
| LITERATURA.....                                                                                         | 112 |
| POPIS SLIKA.....                                                                                        | 114 |
| POPIS TABLICA.....                                                                                      | 117 |
| POPIS PRIVITAKA.....                                                                                    | 118 |

## SAŽETAK

U radu su prikazane osnovne izvedbe i karakteristike brodskih parnoturbinskih postrojenja na brodovima za prijevoz sirove nafte i ukapljenog prirodnog plina.

Analizom brodskih parnoturbinskih postrojenja bez i s oduzimanjem pare razmatrana je iskoristivost pojedinog postrojenja te načini poboljšanja ekonomičnosti rada u ovisnosti o pogonskim radnim parametrima. Prikazan je utjecaj parcijalnih stupnjeva djelovanja na ukupni stupanj djelovanja parnoturbinskog postrojenja te načini poboljšanja ekonomičnosti rada parnoturbinskog postrojenja u ovisnosti o tlaku i temperaturi svježe pare, tlaku na izlazu iz turbine, međupregrijavanju pare, te o regenerativnom zagrijavanju napojne vode.

Analizom parnoturbinskih postrojenja kod tankera za prijevoz sirove nafte i LNG brodova prikazane su izvedbe i karakteristike takvih postrojenja te analizirani najznačajniji sustavi i uređaji za ispravan rad postrojenja. Sustavno su prikazani načini pripreme i upravljanja ovim postrojenjima u pojedinim fazama njihova rada.

Upotrebom matematičkog modela višestruke polinomijalne funkcionalne ovisnosti sadržaja pare i stupnja djelovanja parne turbine o jediničnom radu parne turbine i temperaturi pregrijane pare došlo se do rezultata koji pridonose određivanju optimalnoga rada parne turbine. Za određivanje aproksimacije funkcionalne zavisnosti varijabli modela koristila se metoda najmanjih kvadrata. To je metoda kod koje zbroj kvadrata odstupanja stvarnih vrijednosti od regresijskih vrijednosti ima minimum. Kao mjera preciznosti povezanosti koristili su se koeficijent determinacije i koeficijent korelacije.

Prema dobivenim rezultatima određeni su radni parametri koji se ne mogu mjeriti u pogonu, čime se omogućuje kvalitetan uvid u rad turbine i pruža mogućnost za njeno prilagođavanje u cilju optimizacije pogona. Dobiveni podaci iz regresijskog modela mogu se koristiti pri izradi računalnog programa za optimalno upravljanje brodskim energetske postrojenjem, čime se postiže ušteda goriva te maksimalna pouzdanost i raspoloživost postrojenja.



## SUMMARY

This paper deals with the basic designs and characteristics of marine steam turbine power plants used on crude oil tankers and LNG ships.

It also includes the analysis of marine steam turbine plants both with and without bleed steam system as well as some considerations on efficiency and cost-effectiveness of each plant operation with reference to their respective operating parameters. Further on, the paper sets out the influence of partial efficiency coefficients onto the overall efficiency of the steam turbine plant. Next, it presents a corresponding enhancement of the plant cost-effective operation with reference to pressure and temperature of superheated steam, condensing pressure, reheating and regenerative feedwater heating.

Analysing the marine steam turbine plants on crude oil tankers and LNG ships, the paper focuses on the basic designs and characteristics of those plants, most important systems and the essential – ancillary equipment needed for a smooth power plant operation. It also systematically shows the methods for an appropriate plant preparation and control in all conditions.

The results of mathematical models of non-linear polynomial function with wetness of steam and efficiency of steam turbine as dependant variables, and unit work and superheated steam temperature as independent variables can be used in defining the optimal steam turbine operation. The least square method was employed in the evaluation of functional interdependence of the variables. It is a method which minimises the squares of deviations between real and calculated values. In the evaluation of this method the determination and correlation coefficients were used.

Finally, the results can be applied both in defining the operational parameters for an optimised steam turbine operation and for designing of software for optimum management of marine energy systems. The latter would give rise to fuel savings and enable a maximum plant reliability and availability.