

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

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

Kristian Blasig

**ANALIZA PROCESA U CILINDRU DIZELSKOG
MOTORA POMOĆU INDIKATORSKOG
DIJAGRAMA**

MAGISTARSKI RAD

Rijeka, listopad 2011.

SAŽETAK

U radu je prikazana analiza radnog procesa sporookretnog dizel motora na osnovu rezultata dobivenih programom za simulaciju. Osnovne podatke koje koristi simulacijski program su podaci tlakova u cilindru motora dobiveni postupkom indiciranja. Simulacija se izvršila za motor MAN B&W 6S60ME-C koji za ubrizgavanje i otvaranje/zatvaranje ispušnih ventila koristi elektro-hidraulički sustav upravljan putem elektronike i za motora MAN B&W 5S60MC-C kod kojega se za ubrizgavanje i aktiviranje pogona ispušnih ventila koristi energija bregaste osovine.

Rezultati dobiveni simulacijom korišteni su za opis radnog procesa spomenutih motora. Također, rezultate je moguće iskoristiti u svrhu ocijene radnog procesa u cilindru motora ili kao pomoć pri dijagnosticiranju kvarova na sistemu ubrizgavanja, aktiviranja pogona ispušnih ventila, sistemu ispiranja i prednabijanja.

SUMMARY

This paper shows the analysis of the working process of a two stroke slow-turning Diesel engine, based on the results gathered with the help of a simulation program. The basic data used by the program are pressures data in the cylinder gained with the indication. The simulation was done for the MAN B&W 6S60ME-C engine, which uses electronically operated electro-hydraulic system for the fuel injection and opening/closing of the exhaust valves, and for the MAN B&W 5S60MC-C, which uses the energy of the camshaft for fuel injection and activation of the exhaust valves.

The results from the simulation are used for the description of the work process of the aforementioned engines. Likewise, these results can be used to evaluate the operating process in the cylinder or as a help when diagnosing malfunctions in the injection system, activation of the exhaust valves, scavenging and turbocharging systems.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Obrazloženje predmeta istraživanja	1
1.2. Postavljanje cilja istraživanja	3
1.3. Dosadašnje spoznaje	4
1.4. Metode istraživanja	6
1.5. Struktura magistarskog rada	7
2. PROCESI UBRIZGAVANJA GORIVA	
I IZGARANJA U DIZELSKOM MOTORU	9
2.1. Teoretske osnove procesa ubrizgavanja	20
2.2. Izgaranje u dizelskom motoru	26
2.2.1. Matematički opis izgaranja	32
2.3. Izmjena radnog medija u sporookretnom 2T dizelskom motoru	36
2.4. Dijagrami za opis procesa u cilindru motora	38
2.4.1. Dijagram promjene tlaka	39
2.4.2. Dijagram brzine promjene tlaka	41
2.4.3. Promjena temperature u cilindru	42
2.4.4. Promjena toplinskog toka na stjenku cilindra	44
2.4.5. Dijagram brzine oslobađanja topline iz izmjerjenog indikatorskog dijagrama	47
2.4.6. Dijagram ukupno dovedene topline gorivom	52
3. INDIKATORSKI DIJAGRAM – POKAZATELJ RADA MOTORA	54
3.1. Svrha indiciranja u cilindru motora	54
3.2. Uređaji za indiciranje u cilindru motora	60
4. MOTOR S ELEKTRONSKI UPRAVLJANIM SUSTAVOM	
UBRIZGAVANJA MAN B&W 6S60ME-C	63
4.1. Općenito o motoru serije ME-C	63
4.2. Upravljački sustav motora	70
4.2.1. Sustav upravljanja i kontrole procesa ubrizgavanja	78

4.2.2. Sustav upravljanja ispušnih ventila	81
4.2.3. Sustav za određivanje položaja koljenastog vratila	82
4.3. Analiza radnog procesa motora na osnovu snimljenih indikatorskih dijagrama	84
4.3.1. Snimanje dijagrama na motoru MAN B&W 6S60ME-C	85
4.3.2. Opis postupka i validacija simulacijskog modela za analizu radnog procesa	89
4.3.3. Analiza snimljenih dijagrama prikupljenih tijekom eksploatacije motora	95
4.3.3.1. Analiza dijagrama snimljenih pri različitim režimima rada motora	96
4.3.3.2. Analiza dijagrama snimljenih tijekom režima smanjene emisije dušičnih oksida	105
4.3.4. Određivanje stupnja optimalnosti procesa na osnovu potrošnje goriva	116
 5. ANALIZA INDIKATORSKOG DIJAGRAMA MOTORA MAN B&W 5S60MC-C I USPOREDBA S INDIKATORSKIM DIJAGRAMOM MOTORA MAN B&W 6S60ME-C.....	123
5.1. Analiza indikatorskih dijagrama snimljenih na motoru MAN B&W 5S60MC pri različitom opterećenju	123
5.2. Analiza dijagrama pojedinačnih cilindara za opterećenje od 67% MCR	131
5.3. Usporedba indikatorskih dijagrama MAN S60ME-C i S60MC-C	135
5.3.1. Analiza područja ubrizgavanja i izgaranja	142
5.3.2. Analiza područja otvaranja ispušnog ventila	144
 6. ZAKLJUČAK	147
 Popis literature	149
Popis oznaka i kratica	154
Popis indeksa	157

Popis slika	159
Popis tablica	163