

PRILOG ISTRAŽIVANJU UTJECAJNIH PARAMETARA NA STUPANJ KORISNOSTI TURBOPUHALA BRODSKIH DIZEL MOTORA

CONTRIBUTION TO THE RESEARCH OF CONSIDERABLE PARAMETERS TO THE EFFICIENCY FACTOR OF THE MARINE DIESEL ENGINE TURBOBLOWERS

UDK 621.436
Stručni članak
Professional paper

Sažetak

Turbopuhalo u sustavu prednabijanja brodskih dizel motora znatno povećava ukupnu korisnost broskog motora, a utječe i na smanjenje eksploatacijskih troškova jer ostvaruje dovoljan pretičak zraka za izgaranje goriva.

Za proizvođače vrlo je važno ostvariti što veću korisnost turbopuhala, a za brodstrojare bitno je poznavanje međuovisnosti parametara koji utječu na ukupnu korisnost turbopuhala.

U radu je dan prikaz proračuna ukupne korisnosti turbopuhala, a uz pomoć računala dobiveni su rezultati proračuna korisnosti, za opterećenja motora 50%, 75%, 85% i 100 % eksploatacijske snage. Grafički su prikazane dobivene međuovisnosti parametara tlaka, temperature i opterećenja na ukupnu korisnost turbopuhala.

Summary

Turboblower in the pre-charging system of marine diesel engines substantially increases the total efficiency of the marine engine, reduces operating expenses and generates sufficient air in access for oil fuel combustion.

It is very important for the manufacturers to achieve maximum possible efficiency of turboblower, and for marine engineers to be acquainted with the inter-dependence of parameters which influence the total efficiency of turboblowers.

This article deals with the calculation of the total efficiency of turboblower and by means of computer the efficiency results have been obtained for loads of engine 50%, 75%, 85% and 100% of the operating power.

The obtained inter-dependence of parameters regarding pressure, temperature and loads to the total efficiency of turboblower have been shown on the diagram.

1. Uvod Introduction

Turbopuhalo u sustavu za prednabijanje dizel motora služi za:

- osiguranje dovoljnog pretička zraka za izgaranje uštrcanog goriva u cilindru motora;
- ispiranje prostora u cilindru od izgarnih plinova;
- hlađenje dijelova cilindra koji okružuju kompresijski prostor pa se omogućuje dobivanje maksimalne snage motora uz najmanji potrošak goriva.

Turbopuhalo se sastoji od turbine i kompresora koji su spojeni na zajedničko vratilo. Kompresor se pogoni turbinom, koja za svoj pogon koristi energiju ispušnih plinova motora. Komprimirani zrak nakon izlaska iz kompresora prolazi kroz izmjenjivač topline kako bi mu se umanjila temperatura i tako povećala gustoća.

Postoje dva sustava dovoda ispušnih plinova u turbinu i to: impulsni sustav i sustav s konstantnim tlakom.

* doc. dr. sci. Marijo Oršulić, dipl. ing.
Visoka pomorska škola u Splitu

** mr. sci. Gojimir Radica, dipl. ing.
Vanjski suradnik na Visokoj pomorskoj školi u Splitu

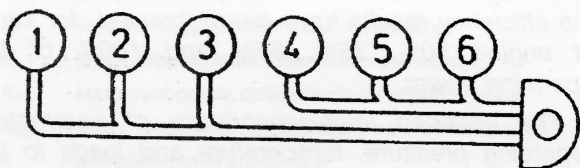
a) Impulsni sustav

Svaki cilindar ima odvojenu ispušnu cijev do turbine, pa se omogućuje iskorištenje tlačnih impulsa svakog cilindra koji nastaju pri otvaranju ispušnih ventila.

Pri određenim uvjetima ispušne cijevi mogu se međusobno povezati na zajedničku cijev kojom se ispušni plinovi dovode u turbinu, pa su se razvili sljedeći sustavi:

- konvencionalni impulsni sustav,
- sustav s pretvornikom impulsa i
- sustav s više impulsa.

Kod konvencionalnog impulsnog sustava povezane su ispušne cijevi onih cilindara čije se faze ispuha ne preklapaju. Optimalno povezivanje može se ostvariti samo ako je broj cilindara djeljiv s tri, tj. pri takvom povezivanju plinovi protječu kroz turbinu bez međusobnog utjecaja ispušnih plinova povezanih cilindara. Dovod plinova u turbinu nije jednolik, tj. postoje trenuci kada uopće nema protoka plinova na ulazu u turbinu, pa se zbog toga umanjuje stupanj korisnosti turbine. Na slici 1.1. prikazan je troimpulsni konvencionalni sustav za dovod ispušnih plinova u turbinu.



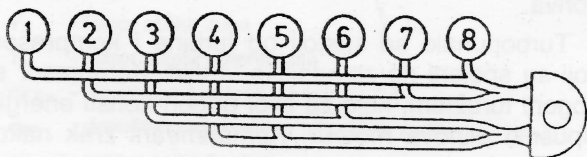
Slika 1.1. Troimpulsni sustav ispušnih plinova

Figure 1.1. Three-impulse system of exhaust gases

Sustav s pretvornikom impulsa omogućuje spajanje ispušnih cijevi dvaju cilindara kojima se intervali paljenja razlikuju za 1/2 radnog ciklusa. Neposredno pred ulaz plinova u turbinu ugrađuje se pretvornik impulsa (slika 1.2).

Ako se povezuju ispušne cijevi za četiri cilindra njihovi intervali paljenja su 1/4 radnog ciklusa.

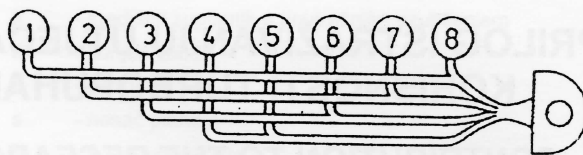
Primjena ovakvog sustava pogodna je za 4, 8 i 16 cilindarske motore.



Slika 1.2. Sustav ispušnih plinova s pretvornikom impulsa

Figure 1.2. Exhaust gas system with impulse converter

Sustav s više impulsa ima isto djelovanje kao i sustav s pretvornikom impulsa, a može se primijeniti za bilo koji broj cilindara. Povezuju se najmanje četiri cijevi na jedan ulaz u turbinu preko pretvornika impulsa. Ovakvim načinom povezivanja izbjegava se međusobno miješanje plinova (slika 1.3).



Slika 1.3. Sustav ispušnih plinova s više impulsa

Figure. 1.3. Multi impulse exhaust gas system

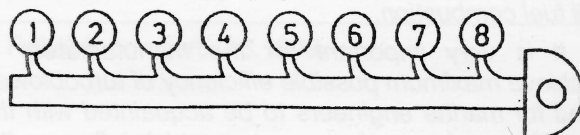
Optimalni rezultati impulsnih sustava ispušnih plinova mogu se postići samo ako se prilagode intervali ispuha, pa je prikladan za četvorotaktne motore i dvotaktne motore koji imaju ispušne ventile.

b) Sustav s konstantnim tlakom

Ispušne cijevi cilindara spojene su na zajednički ispušni kolektor, pa se kinetička energija ispušnih plinova na izlazu iz cilindara pretvara u energiju tlaka i toplinsku energiju (slika 1.4).

Turbina se pogoni pri konstantnom tlaku ispušnih plinova u ispušnom kolektoru, što je za turbinu veoma povoljno. Dopuštene su promjene tlaka ispušnih plinova u kolektoru $\pm 10\%$.

Kod dvotaktnih motora energija ispušnih plinova pri manjim opterećenjima motora nije dovoljna za ostvarivanje potrebnog tlaka zraka za ispiranje, pa se povećanje tlaka zraka može ostvariti prigradenim pihalima ili se kod motora s križnom glavom koristi donja strana stapa za tlačjenje zraka.



Slika 1.4. Sustav ispušnih plinova s konstantnim tlakom

Figure 1.4. Constant pressure exhaust gas system

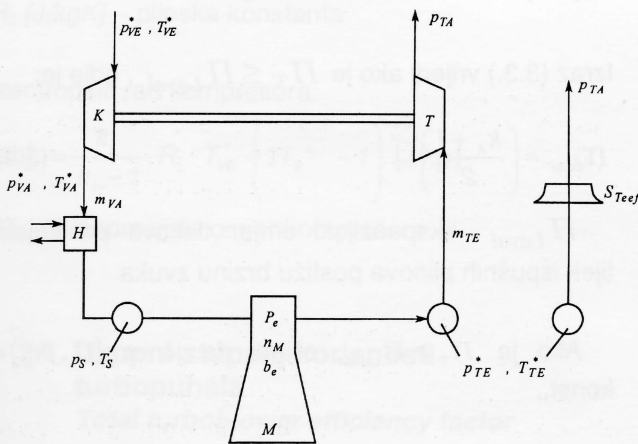
2. Proračun stupnja korisnosti turbopuhala

Turboblower efficiency factor calculation

2.1. Proračun osnovnih parametara turbopuhala

Turboblower basic parameters calculation

Na slici 5. prikazana je shema sustava prednabijanja dvotaktnog sustava s konstantnim tlakom ispušnih plinova.



M – motor T – turbina
 K – kompresor H – hladnjak zraka

Slika 2.1. Shema sustava prednabijanja dvotaktnog motora

Figure 2.1. Scheme of two-stroke engine pre-charging system

Oznake parametara na slici 2.1. su:

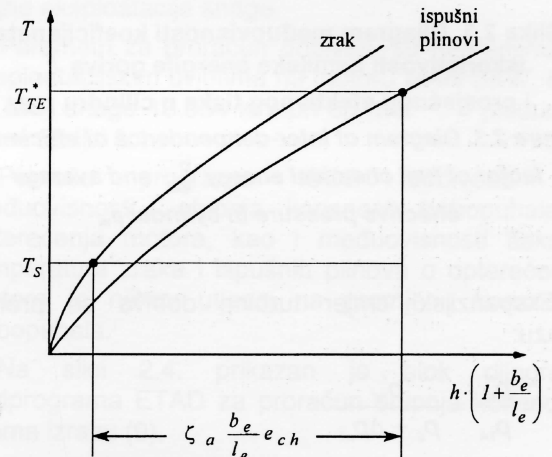
- $p_{VE} [bar]$, $T_{VE} [K]$ - ukupni tlak i temperatura zraka na ulazu u kompresor
- $p_{VA} [bar]$, $T_{VA} [K]$ - ukupni tlak i temperatura zraka na izlazu iz kompresora
- $m_{VA} [kg/s]$ - protok zraka na izlazu iz kompresora
- $p_s [bar]$, $T_s [K]$ - statički tlak i temperatura ispravnog zraka
- $P_e [kW]$ - izlazna snaga motora
- $n_M [min^{-1}]$ - brzina vrtnje motora
- $b_e [kg/kWh]$ - specifični potrošak goriva
- $p_{TE} [bar]$, $T_{TE} [K]$ - ukupni tlak i temperatura ispušnih plinova

$m_{TE} [kg/s]$ - protok ispušnih plinova na ulazu u turbinu

$p_{TA} [bar]$ - statički tlak ispušnih plinova na izlazu iz turbine

$S_{Teff} [m^2]$ - ekvivalentni presjek sapnice turbine

Temperatura ispušnih plinova na ulazu u turbinu T_{TE} , može se približno odrediti pomoću dijagrama prikazanog na slici 2.2.



Slika 2.2. Dijagram međuovisnosti entalpija i temperatura za zrak i ispušne plinove

Figure 2.2. Diagram of inter-dependence of entropy and temperature of air and exhaust gases

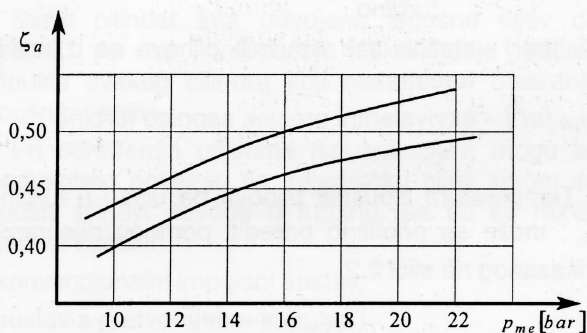
Pomoću jednadžbe (1) može se proračunati entalpija ispušnih plinova na ulazu u turbinu h_{TE} :

$$h_{TE} = \frac{h_s + \xi_a \frac{b_e}{l_e} e_{ch}}{1 + \frac{b_e}{l_e}} \quad [J/kg] \quad (1)$$

gdje je:

- $h_{TE} [J/kg]$ - entalpija ispušnih plinova na ulazu u turbinu
- $h_s [J/kg]$ - entalpija ispravnog zraka
- ξ_a - koeficijent iskoristivosti kemijske energije goriva u ispušnim plinovima
- $b_e [kg/kWh]$ - specifična potrošnja goriva
- $l_e [kg/kWh]$ - specifična potrošnja zraka
- $e_{ch} [J/kg]$ - donja ogrjevna vrijednost goriva

Vrijednost koeficijenta ξ_a može se odrediti pomoću dijagrama prikazanog na slici 2.3. ako se mjerenjem dobije prosječni efektivni tlak u cilindru motora.



Slika 2.3. Dijagram međuovisnosti koeficijenta iskoristivosti kemijske energije goriva ξ_a i prosječnog efektivnog tlaka u cilindru p_m
Figure 2.3. Diagram of inter-dependence of efficiency factor of fuel chemical energy ξ_a and average effective pressure in cylinder p_m

Ekspanzijski omjer turbine dobiva se prema izrazu:

$$\Pi_T = \frac{p_{TE}^*}{p_{TA}} = \frac{p_{TE}^*}{p_o + \Delta p_{nT}} \quad (2)$$

gdje je:

Π_T - ekspanzijski omjer turbine

p_{TE}^* [bar] - ukupni tlak ispušnih plinova na ulazu u turbinu

p_{TA} [bar] - statički tlak ispušnih plinova na izlazu iz turbine

p_o [bar] - atmosferski tlak

Δp_{nT} [bar] - pad tlaka u turbini

Ekvivalentni presjek sapnice turbine je:

$$S_{Teff} = \frac{m_{TE} \cdot \sqrt{R_A \cdot T_{TE}^*}}{p_{TE}^* \cdot \psi_m(\Pi_T, k_A)} \quad [m^2] \quad (3)$$

Vrijednosti u izrazu (3) dobivaju se prema izrazima:

$$T_{TE}^* = T_{TE} - \Delta T_{GE} \quad (3.1)$$

$$m_{TE} = \frac{(l_o + b_o) \cdot P_o}{3600} \quad (3.2)$$

$$\psi(\Pi_T, k_A) = \sqrt{\frac{2 \cdot k_A}{k_A - 1} \cdot \left(\Pi_T^{\frac{2}{k_A}} - \Pi^{\frac{(k_A+1)}{k_A}} \right)} \quad (3.3)$$

gdje je:

S_{Teff} [m²] - ekvivalentni presjek sapnice turbine

m_{TE} [kg/s] - protok ispušnih plinova na ulazu u turbinu

R_A [J/kgK] - plinska konstanta ispušnih plinova

p_{TE}^* [bar] - ukupni tlak ispušnih plinova na ulazu u turbinu

T_{TE}^* [K] - temperatura ispušnih plinova iza ulaznog kućišta turbine

T_{TE}^* [K] - temperatura ispušnih plinova na ulazu u turbinu

ΔT_{GE} [K] - smanjenje temperature ispušnih plinova u ulaznom kućištu turbine

$\psi_m(\Pi_T, k_A)$ - funkcija međuovisnosti ekspanzijskog omjera turbine Π_T i srednjeg izentropskog koeficijenta ispušnih plinova k_A

l_o [kg/kWh] - specifična potrošnja zraka

b_o [kg/kWh] - specifična potrošnja goriva

P_o [kW] - izlazna efektivna snaga motora

Izraz (3.3.) vrijedi ako je $\Pi_T \leq \Pi_{Laval}$, gdje je:

$$\Pi_{Laval} = \left(\frac{k_A + 1}{2} \right)^{\frac{k_A}{k_A - 1}} \quad (3.4)$$

Π_{Laval} - ekspanzijski omjer tlakova pri kojem tijekom ispušnih plinova postiču brzinu zvuka

Ako je $\Pi_T \geq \Pi_{Laval}$, slijedi da je $\psi_m(\Pi_T, k_A) = \text{konst.}$

Toplinski pad u turbini dobiva se prema izrazu:

$$\Delta h_{st}^* = \frac{k_A}{k_A - 1} \cdot R_A \cdot T_{TE}^* \cdot \left(1 - \Pi_T^{\frac{1-k_A}{k_A}} \right) \left[\frac{J}{kg} \right] \quad (4)$$

Ukupni kompresijski omjer kompresora:

$$\Pi_V = \frac{p_{VA}^*}{p_{VE}^*} = \frac{p_s + \Delta p_k + \Delta p_{dinVA}}{p_o - \Delta p_{VE}^* - \Delta p_{VV}^*} \quad (5)$$

gdje je:

p_{VA}^* [bar] - tlak na izlazu iz kompresora

p_{VE}^* [bar] - tlak na ulazu u kompresor

p_s [bar] - ukupni statički tlak

Δp_k [bar] - pad tlaka u rashladniku zraka

Δp_{dinVA}^* [bar] - gubitak dinamičkog tlaka na izlazu iz kompresora

p_o [bar] - okolni tlak

Δp_{VE}^* [bar] - pad tlaka na ulazu u kompresor (filter)

Δp_{VV}^* [bar] - pad tlaka u kanalu na ulazu u kompresor

Volumetrijski protok zraka korigiran na 15°C (288,15 K)

$$V_{288,15} = \frac{m_{VA}}{\rho_{VE}} \cdot \sqrt{\frac{288,15}{T_{VE}}} \quad [m^3 / s] \quad (6)$$

$$V_{288,15} = \frac{m_{VA} \cdot R_L \cdot \sqrt{288,15 \cdot T_{VE}}}{\rho_{VE}} \quad [m^3 / s] \quad (6.1)$$

$$m_{VA} = \frac{l_o \cdot P_o}{3600} \quad [kg/s] \quad (6.2)$$

gdje je:

m_{VA} [kg/s] - protok zraka na izlazu iz kompresora

ρ_{VE} [kg/m³] - gustoća zraka na ulazu u kompresor

T_{VE} [K] - temperatura zraka na ulazu u kompresor

R_L [J/kgK] - plinska konstanta

Izentropski rad kompresora:

$$\Delta h_{sv} = \frac{k_L}{k_L - 1} \cdot R_L \cdot T_{VE} \cdot \left(\Pi_V^{\frac{k_L - 1}{k_L}} - 1 \right) \quad [J/kg] \quad (7)$$

Π_V - kompresijski omjer kompresora

2.1. Ukupni stupanj korisnosti turbopuhala

Total turboblower efficiency factor

Ukupni stupanj korisnosti turbopuhala određuje se omjerom izentropske snage kompresora i izentropske snage turbine:

$$\eta_{TP} = \frac{m_{VA} \cdot \Delta_{sv}}{m_{TE} \cdot \Delta_{st}} \quad (8)$$

Uz izraze: (6.2), (7), (3.2) i (4) ukupni stupanj korisnosti turbopuhala prelazi u oblik:

$$\eta_{TP} = \frac{1}{\left(1 + \frac{b_o}{l_o} \right)} \cdot \frac{\frac{k_L}{k_L - 1} \cdot R_L \cdot T_{VE} \cdot \left(\Pi_V^{\frac{k_L - 1}{k_L}} - 1 \right)}{\frac{k_A}{k_A - 1} \cdot R_A \cdot T_{TE} \cdot \left(1 - \Pi^{\frac{1 - k_A}{k_A}} \right)} \quad (9)$$

3. Proračun stupnja korisnosti turbopuhala uz pomoć računala

Turboblower efficiency factor calculation by computer

Za proračun je korišten program ISOD, koji je napravljen u FORTRAN 77 jeziku. Programom se izračunavaju bitni parametri dijagnostičkog sustava

(snaga, potrošnja goriva, korisnost motora i turbopuhala, tlakovi, temperature), kao i međuovisnost različitih parametara, a dobivaju se upozorenja za slučajeve prijelaza dopuštenih vrijednosti pojedinih parametara.

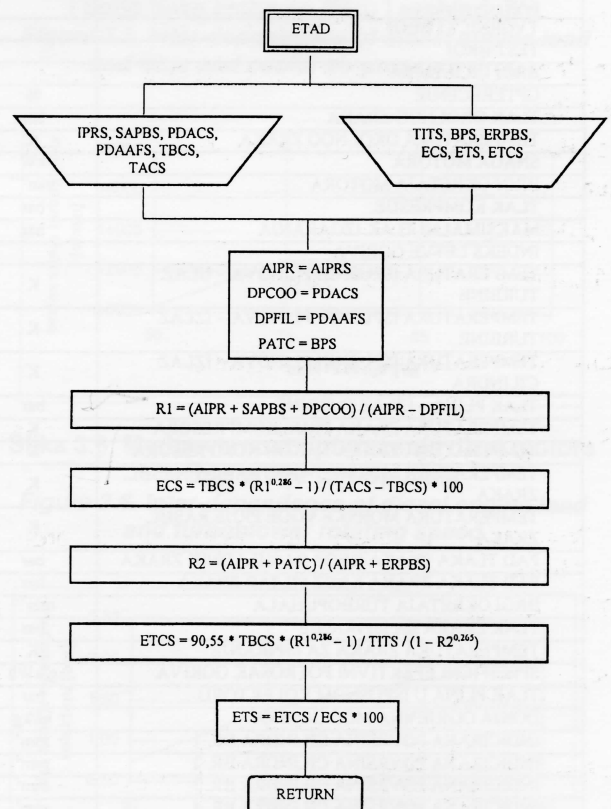
Unutar programa ISOD postoje dva podprograma i to: INDPD, koji služi za izračunavanje indicirane snage motora i mehaničke korisnosti motora i podprogram ETAD koji služi za izračunavanje korisnosti turbopuhala.

Proračun stupnja korisnosti turbopuhala izveden je za opterećenje motora 50%, 75%, 85% i 100% trajne eksploatacije snage.

Parametri za proračun dobiveni su mjerenjima u eksploatacijskim uvjetima na motoru MAN B&W, 6 S 70 MC, snage 13.354 kW pri 85 min⁻¹, a prikazani su na tablici 3.1.

Pomoću programa ISOD dobivene su međuovisnosti stupnja korisnosti turbopuhala i opterećenja motora, kao i međuovisnosti tlaka i temperatura zraka i ispušnih plinova o opterećenju motora te njihov utjecaj na promjenu korisnosti turbopuhala.

Na slici 2.4. prikazan je blok dijagram podprograma ETAD za proračun stupnja korisnosti prema izrazu (9).



Slika 2.4. Blok dijagram podprograma ETAD za proračun stupnja korisnosti turbopuhala

Figure 2.4. Block diagram of the ETAD sub-program for the calculation of turboblower efficiency factor

Algoritam podprograma ETAD:

$$\eta_{TP} = 90,55 \cdot T_0 \cdot (R1^{0,286} - 1) / T_{IPTU} / (1 - R2^{0,286})$$

$$\eta_k = T_0 \cdot (R1^{0,286} - 1) / (T_{IPRU} - T_0) \cdot 100$$

$$\eta_T = (\eta_{TP} / \eta_k) \cdot 100$$

$$R1 = (p_0 + p_{IZ} + dp_{RZ}) / (p_0 - dp_{FZ})$$

$$R2 = (p_0 + p_{IPTI}) / (p_0 + p_{IPK})$$

gdje je:

η_{TP} [%] - korisnost turbopuhala

η_k [%] - korisnost kompresora

η_T [%] - korisnost turbine

T_0 [K] - okolna temperatura

T_{IPTU} [K] - temperatura ispušnih plinova ispred turbine

T_{IPRU} [K] - temperatura zraka nakon kompresora

p_0 [bar] - okolni tlak

p_{IZ} [bar] - tlak zraka za ispiranje

dp_{RZ} [bar] - pad tlaka kroz rashladnik zraka

dp_{FZ} [bar] - pad tlaka kroz filter zraka

p_{IPTI} [bar] - tlak na izlazu iz turbine

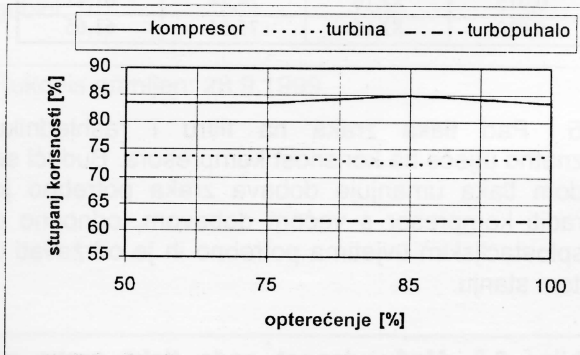
dp_{IPK} [bar] - tlak plina u ispušnom kolektoru

Tablica 3.1. Izvješće o parametrima motora pri 50%, 75%, 85% i 100 % opterećenje

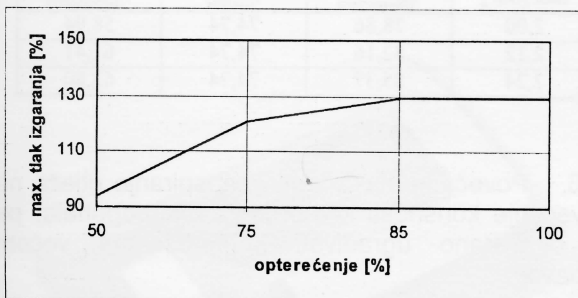
Table 3.1. Report on engine parameters at loads of 50%, 75%, 85% and 100%

ULAZNI PODACI		50% OPT	75% OPT	85% OPT.	100% OPT.
VELIČINA	JEDINICA	VRIJEDNOST	VRIJEDNOST	VRIJEDNOST	VRIJEDNOST
DATUM		190291	190291	190291	190291
SAT		0845	0915	1000	1100
TVORNICKI BROJ		368	368	368	368
TEST BROJ		1	2	3	4
BROJ CILINDARA		6	6	6	6
OPTEREĆENJE	%	50	75	85	100
TLAK OKOLNOG ZRAKA	bar	1,028	1,028	1,029	1,029
TEMPERATURA OKOLNOG ZRAKA	K	287,00	291,00	292,00	296,00
SNAGA MOTORA	kW	6688,00	10037,00	11359,00	13354,00
BROJ OKRETAJA MOTORA	min ⁻¹	67,10	77,20	80,50	85,00
TLAK KOMPRESIJE	bar	67,00	90,17	100,00	111,67
MAKSIMALNI TLAK IZGARANJA	bar	93,83	120,50	129,00	129,00
INDEKS LETVE GORIVA		62,33	77,00	82,00	90,50
TEMPERATURA ISPUŠNIH PLINOVA – ULAZ TURBINE	K	583,00	618,00	638,00	683,00
TEMPERATURA ISPUŠNIH PLINOVA – IZLAZ TURBINE	K	518,00	513,00	523,00	543,00
TEMPERATURA ISPUŠNIH PLINOVA – IZLAZ CILINDRA	K	540,00	562,17	573,00	619,67
TLAK PLINA – IZLAZ TURBINE	bar	0,0060	0,0080	0,012	0,015
TEMPERATURA ZRAKA PRIJE KOMPRESORA	K	288,00	291,00	292,00	295,00
TEMPERATURA ZRAKA NAKON KOMPRESORA	K	353,00	393,00	408,00	431,00
TEMPERATURA MORSKE VODE NAKON RASHL. ZRAKA	K	297,00	301,00	306,00	316,00
TEMPERATURA MORSKE VODE PRIJE RASHL. ZRAKA	K	284,00	284,00	284,00	284,00
PAD TLAKA ZRAKA KROZ RASHLADNIK ZRAKA	bar	0,0010	0,0020	0,0040	0,0050
PAD TLAKA ZRAKA KROZ FILTER ZRAKA	bar	0,0015	0,0020	0,0025	0,0030
BROJ OKRETAJA TURBOPUHALA	min ⁻¹	10300,00	13100,00	13500,00	15100,00
TLAK ZRAKA ZA ISPIRANJE	bar	0,85	1,48	1,80	2,12
TEMPERATURA ZRAKA ZA ISPIRANJE	K	295,00	294,00	304,00	310,00
SPECIFIČNI EFEKTIVNI POTROŠAK GORIVA	g/kWh	165,17	163,30	165,00	165,90
TLAK PLINA U ISPUŠNOM KOLEKTORU	bar	0,77	1,39	1,71	1,93
DONJA OGRJEVNA MOĆ GORIVA	kJ/kg	42446,00	42446,00	42446,00	42446,00
INDICIRANA POVRŠINA CILINDRA BR. 1	mm ²	360,00	360,00	360,00	360,00
INDICIRANA POVRŠINA CILINDRA BR. 2	mm ²	360,00	360,00	360,00	360,00
INDICIRANA POVRŠINA CILINDRA BR. 3	mm ²	360,00	360,00	360,00	360,00
INDICIRANA POVRŠINA CILINDRA BR. 4	mm ²	360,00	360,00	360,00	360,00
INDICIRANA POVRŠINA CILINDRA BR. 5	mm ²	360,00	360,00	360,00	360,00
INDICIRANA POVRŠINA CILINDRA BR. 6	mm ²	360,00	360,00	360,00	360,00
CILINDARSKA KONSTANTA	kW	1,71513	1,71513	1,71513	1,71513
KONSTANTA OPRUGE INDIKATORA	bar/mm	0,30	0,30	0,30	0,30
DULJINA INDIKATORSKOG DIJAGRAMA	mm	76,00	76,00	76,00	76,00

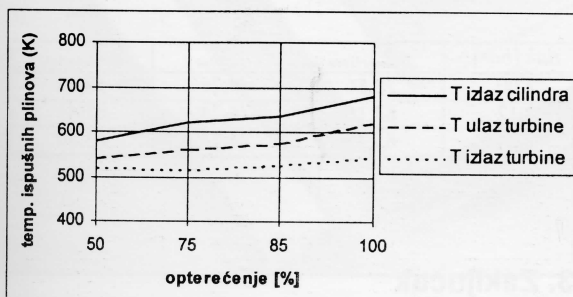
3.1. Grafički prikaz dobivenih međuvisnosti opterećenja motora na ukupnu korisnost turbopuhala i na parametre tlaka i temperatura ispušnih plinova i zraka
Diagrams of obtained inter-dependence of engine load to the total turboblower efficiency and to the pressure and temperature parameters of exhaust gases and air



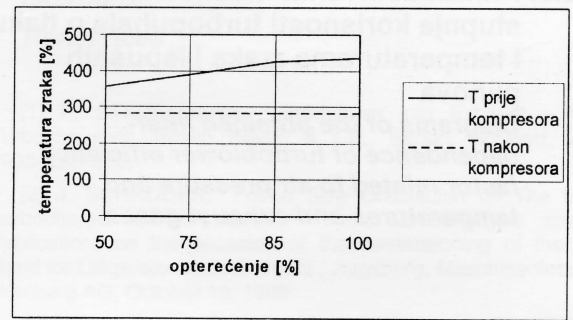
Slika 3.1. Međuvisnost opterećenja dizel motora i stupnja korisnosti turbopuhala
Figure 3.1. Inter-dependence of diesel engine load and turboblower efficiency factor



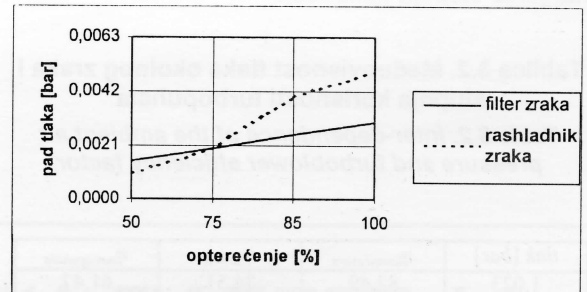
Slika 3.2. Međuvisnost opterećenja dizel motora i maksimalnog tlaka izgaranja
Figure 3.2. Inter-dependence of diesel engine load and maximum combustion pressure



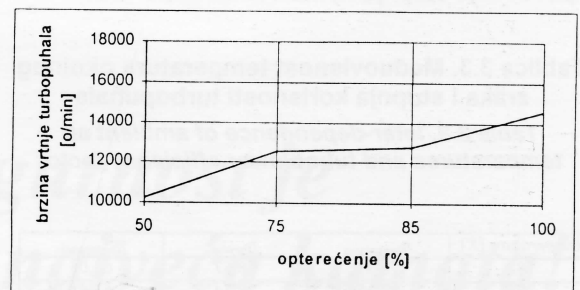
Slika 3.3. Međuvisnost opterećenja dizel motora i temperatura ispušnih plinova
Figure 3.3. Inter-dependence of diesel engine load and exhaust gas temperatures



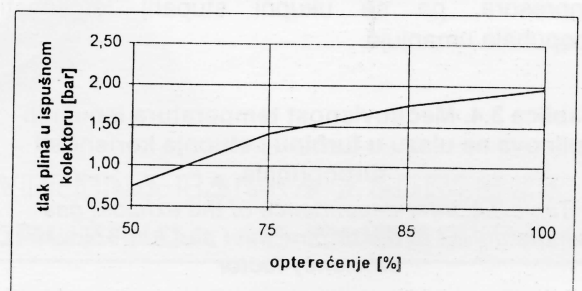
Slika 3.4. Međuvisnost opterećenja dizel motora i temperatura zraka na ulazu i izlazu iz kompresora
Figure 3.4. Inter-dependence of diesel engine load and the compressor inlet and outlet air temperatures



Slika 3.5. Međuvisnost opterećenja dizel motora i pada tlaka zraka na filteru i rashladniku
Figure 3.5. Inter-dependence of diesel engine load and filter and cooler air pressure drop



Slika 3.6. Međuvisnost opterećenja dizel motora i brzine vrtnje turbopuhala
Figure 3.6. Inter-dependence of diesel engine load and turboblower rotating speed



Slika 3.7. Međuvisnost opterećenja dizel motora i tlaka zraka za ispiranje
Figure 3.7. Inter-dependence of diesel engine load and scavenge air pressure

3.2. Prikazi dobivenih međuovisnosti stupnja korisnosti turbopuhala o tlaku i temperaturama zraka i ispušnih plinova

Diagrams of the obtained inter-dependence of turboblower efficiency factor related to air pressure and temperatures and exhaust gases

Proračunom ukupnog stupnja korisnosti turbopuhala pri 100 % opterećenja motora prema izrazu (9) mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Povećanje tlaka okolnog zraka utječe na smanjenje stupnja korisnosti.

Tablica 3.2. Međuovisnost tlaka okolnog zraka i stupnja korisnosti turbopuhala

Table 3.2. Inter-dependence of the ambient air pressure and turboblower efficiency factor

tlak [bar]	$\eta_{\text{kompresora}}$	η_{turbine}	$\eta_{\text{turbopuhala}}$
1,023	82,49	74,51	61,47
1,029	82,16	74,74	61,41
1,035	81,82	74,97	61,34

2. Povećanje temperature okolnog zraka utječe na povećanje stupnja korisnosti turbopuhala.

Tablica 3.3. Međuovisnost temperatura okolnog zraka i stupnja korisnosti turbopuhala

Table 3.3. Inter-dependence of ambient air temperatures and turboblower efficiency factor

temperatura [K]	$\eta_{\text{kompresora}}$	η_{turbine}	$\eta_{\text{turbopuhala}}$
288	76,33	78,67	60,05
296	82,16	74,74	61,41
304	90,65	69,83	63,30

3. Povećanje temperature ispušnih plinova na ulazu u turbinu umanjuje stupanj korisnosti kompresora, pa se ukupni stupanj korisnosti turbopuhala umanjuje.

Tablica 3.4. Međuovisnost temperatura ispušnih plinova na ulazu u turbinu i stupnja korisnosti turbopuhala.

Table 3.4. Inter-dependence of the exhaust gas temperatures at the turbine inlet and turboblower efficiency factor

temperatura [K]	$\eta_{\text{kompresora}}$	η_{turbine}	$\eta_{\text{turbopuhala}}$
663	82,16	76,99	63,26
683	82,16	74,74	61,41
703	82,16	72,61	59,66

4. Tlak ispušnih plinova na izlazu iz turbine nema većeg utjecaja na stupanj korisnosti turbopuhala.

Tablica 3.5. Međuovisnost tlaka ispušnih plinova na izlazu iz turbine i stupnja korisnosti turbopuhala

Table 3.5. Inter-dependence of the exhaust gas pressure at the turbine outlet and turboblower efficiency factor

tlak [bar]	$\eta_{\text{kompresora}}$	η_{turbine}	$\eta_{\text{turbopuhala}}$
0,010	82,16	74,44	61,16
0,015	82,16	74,74	61,41
0,020	82,16	75,04	61,65

5. Pad tlaka zraka na filtru i rashladniku neznatno utječe na korisnost kompresora. Budući se padom tlaka umanjuje dobava zraka potrebno je ugraditi kompresor s većom dobavom, odnosno u eksploatacijskim uvjetima potrebno ih je održavati u čistom stanju.

Tablica 3.6. Međuovisnost pada tlaka zraka na ulazu u kompresor i stupnja korisnosti turbopuhala

Table 3.6. Inter-dependence of air pressure drop at the compressor inlet and turboblower efficiency factor

tlak [bar]	$\eta_{\text{kompresora}}$	η_{turbine}	$\eta_{\text{turbopuhala}}$
2,00	78,86	74,74	58,94
2,12	82,16	74,74	61,41
2,24	85,37	74,74	63,80

6. Povećanje tlaka zraka za ispiranje utječe na povećanje korisnosti kompresora i turbopuhala, pa je opravdano ugrađivati kompresor s većom dobavom

Tablica 3.7. Međuovisnost tlaka zraka za ispiranje i stupnja korisnosti turbopuhala

Table 3.7. Inter-dependence of scavenge air pressure and turboblower efficiency factor

tlak [bar]	$\eta_{\text{kompresora}}$	η_{turbine}	$\eta_{\text{turbopuhala}}$
2,00	78,86	74,74	58,94
2,12	82,16	74,74	61,41
2,24	85,37	74,74	63,80

3. Zaključak Conclusion

Stupanj korisnosti turbopuhala ovisan je o stupnju korisnosti turbine i stupnju korisnosti kompresora. Parametri tlaka i temperatura zraka i ispušnih

plinova znatno više utječu na stupanj korisnosti turbine ili kompresora nego na ukupni stupanj korisnosti turbopuhala. Prikazani dijagrami i tablice međuovisnosti tih parametara o stupnjevima korisnosti i opterećenju pokazuju strojaru u eksploatacijskim uvjetima kojim optimalnim vrijednostima parametara zraka i ispušnih plinova treba težiti. Održavanjem filtra i rashladnika zraka čistim, omogućuje se povećanje tlaka ispirnog zraka, pa se stvaraju preduvjeti dobrog izgaranja goriva i ostvarenje povoljnog stupnja korisnosti turbopuhala.

Posebno je važno održavati lopatice turbine i kompresora čistim kako bi se smanjili unutarnji gubici.

Rukopis primljen: 28.9.1999.

Literatura

References

[1] F. STADELMANN, "Introduction into Exhaust – Gas Turbocharging", Brown Boveri & CIE, Baden, Schweiz, ZTV 2900-9.83-500.

[2] J. SCHRÖDER, "Frame Size Graduation Of The MAN Turbocharger Series", MAN – Main Turbochargers special Publications on the occasion of the commissioning of the test stand for Large size turbochargers, Augsburg, Maschinenfabrik – Nürnberg AG, October 13, 1982

[3] "Brown Boveri Review", No 5, Volume 68, Baden, May 1981

[4] "Marine Propulsion Systems – An Outlook", MAN B&W Diesel A/S, P.3 - 97.11 Reg. no: 24 – 231, Copenhagen, November, 1997.

[5] Instrukcijska knjiga MAN B&W za dizel motore serije MC, Edition 6, Volume 1, MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, 1998.

PRIVREDNA BANKA ZAGREB *d.d.*



***Sigurnost je
najveća kamata!***

**PRIVREDNA BANKA ZAGREB *d.d.*
PODRUŽNICA 15 DUBROVNIK**