

Dr. ERNEST BAZIJANAC
Fakultet prometnih znanosti
Zagreb, Vukelićeva 4

Prometna tehnika
Prethodno priopćenje
UDK: 621.436 : 629.1.05
Primljeno: 26.09.1994.
Prihvaćeno: 24.10.1994.

RAZVOJ SUSTAVA ZA INDICIRANJE STAPNOG MOTORA

SAŽETAK

Opisuje se sustav za mjerenje i modeli za obradu rezultata mjerenja razvijeni za potrebe identifikacije dizelskog motora s prednabijanjem. Mjerenje i obrada rezultata mjerenja potpomognuti su PC računalom.

1. UVOD

U radu se opisuje razvoj sustava za mjerenje indikatorskih parametara stapnoga dizelskog motora s prednabijanjem. Zbog velikog broja mjerenja i podataka koji se obično trebaju obraditi u takvim mjerenjima, sustavi za indiciranje motora su obvezno podržani računalom.

Sustav je razrađen i primijenjen za potrebe modifikacije i usavršavanja dizelskog motora nazivne snage od 735 kW na kojemu se trebao modificirati sustav za prednabijanje s pomoću turbokompresora.

Pretpostavka je da se mjerenje izvodi u klasičnoj ispitnoj postaji koja ima hidrauličnu kočnicu za mjerenje snage motora, opremu za mjerenje potrošnje goriva, te ostalu opremu koja se inače koristi u tvrtkama za remont motora gdje se mora snimati vanjska brzinska karakteristika generalno opravljenog motora. Stoga se ova oprema i način mjerenja ovdje ne opisuju!

Dakle, za identifikaciju motora potrebno je bilo razraditi sustave za mjerenje i metode obrade:

- indikatorskog dijagrama
- parametara sustava za prednabijanje.

Težište rada je opis sustava za mjerenje, a ne analiza i primjena rezultata koje slijede nakon provedenog mjerenja i obrade rezultata.

Opisani sustavi za mjerenje i modeli obrade razvijani su i primjenjivani u suradnji sa Sektorom za obrambene sustave Brodarskog instituta iz Zagreba.

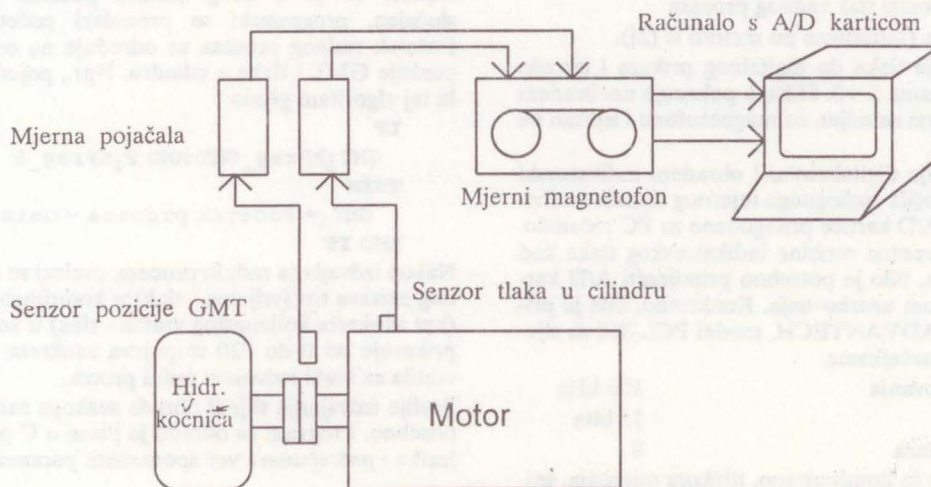
2. MJERENJE TLAKA U CILINDRU MOTORA - INDICIRANJE MOTORA

Mjerenjem tlaka u cilindru i kasnijom obradom izmjenjenih vrijednosti dobiva se najviše informacija o tijeku radnog procesa. Kod prednabijanja posebno je važno poznavati maksimalni tlak u cilindru jer su time značajno određena naprezanja temeljnih dijelova motora. Važni su i ostali podaci potrebni za optimalizaciju procesa, kao što su: početak izgaranja, položaj maksimalnog tlaka u odnosu na gornju mrtvu točku (GMT) itd.

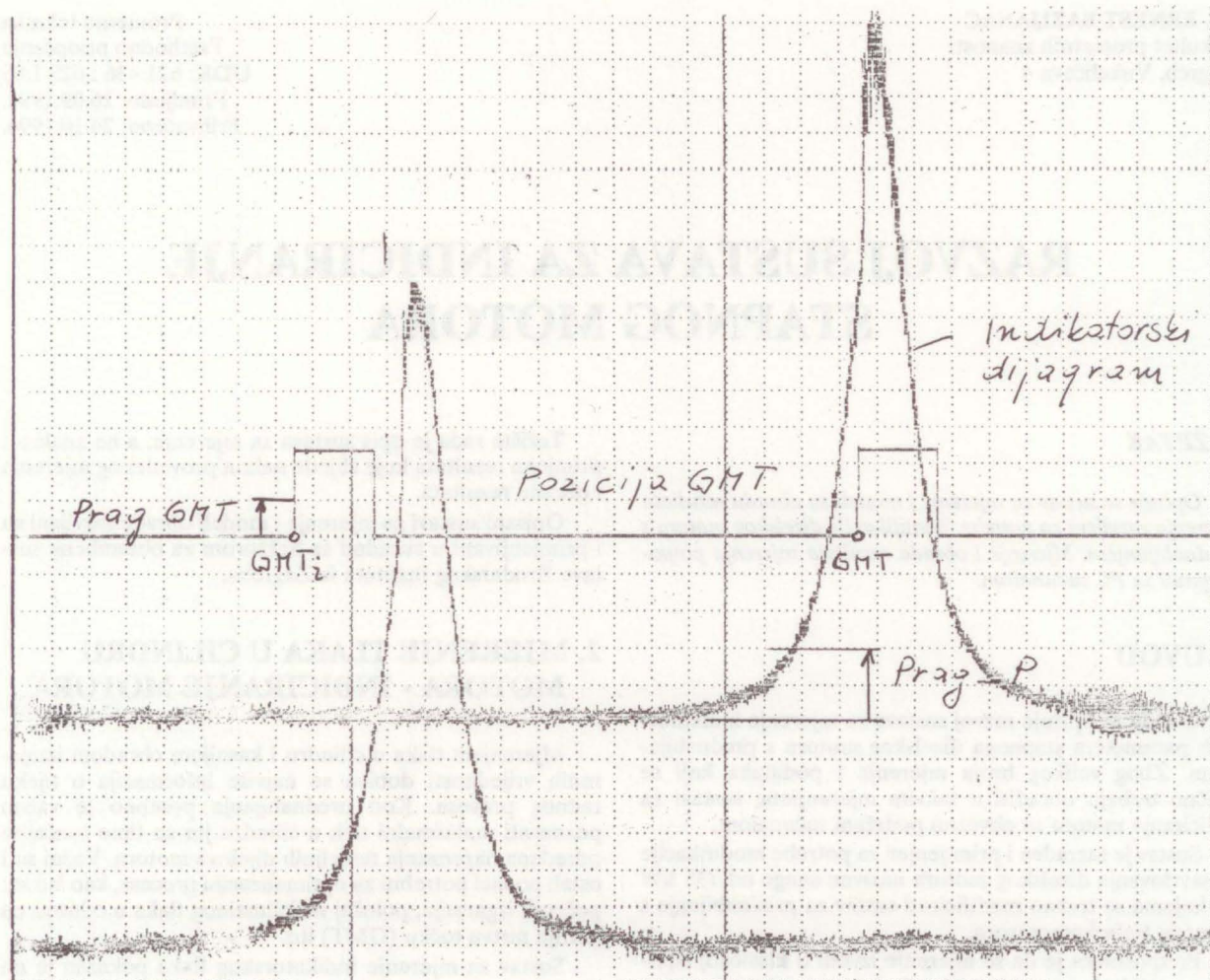
Sustav za mjerenje indikatorskog tlaka pokazan je na slici 1.

Tlak u cilindru mjeri se piezoelektričnim senzorom tlaka koji je ugrađen u glavu motora, a pozicija GMT se mjeri s pomoću induktivnog senzora.

Budući da se mjerenje obavlja u ispitnoj postaji i tek naknadno obrađuje, ovdje se primjenjuje postupak snimanja svih podataka mjerenja najprije na mjerni magnetofon, a tek naknadno podaci se digitaliziraju, pohranjuju u memoriju i obrađuju prema posebno izrađenom programu za tu svrhu [1].



Slika 1.



Slika 2.

U ovom slučaju indikatorski dijagram je poslužio da se odrede sljedeći parametri radnog procesa:

- maksimalni tlak radnog procesa
- položaj maksimalnog tlaka radnog procesa u odnosu na GMT
- brzina porasta tlaka
- prosječni indikatorski tlak radnog procesa
- početak izgaranja (određivan po metodi iz [2]).

Put od snimanja tlaka do digitalnog prikaza i obrade predočen je na slikama 2. i 3. Slika 2. pokazuje neobrađeni indikatorski dijagram snimljen na magnetofonu i ispisan na svjetlosnom pisaču.

Slika 3. pokazuje digitalizirani i obrađeni indikatorski dijagram. Digitalizacija analognoga mjernog signala realizirana je s pomoću A/D kartice prilagođene za PC računalo. S obzirom na frekventne osobine indikatorskog tlaka kod brzohodnih motora, bilo je potrebno primijeniti A/D karticu s većom brzinom uzorkovanja. Konkretno, bila je primijenjena kartica ADVANTECH, model PCL-818 sa sljedećim temeljnim značajkama:

- | | |
|--------------------------|---------|
| - učestalost uzorkovanja | 100 kHz |
| - rezolucija | 12 bita |
| - broj analognih ulaza | 8 |

Na magnetofon se kontinuirano, tijekom mjerenja, snimaju dva signala: signal tlaka i signal pozicije GMT (sl. 2.).

Zbog toga je tijekom digitalizacije i obrade digitaliziranih signala sljedeći:

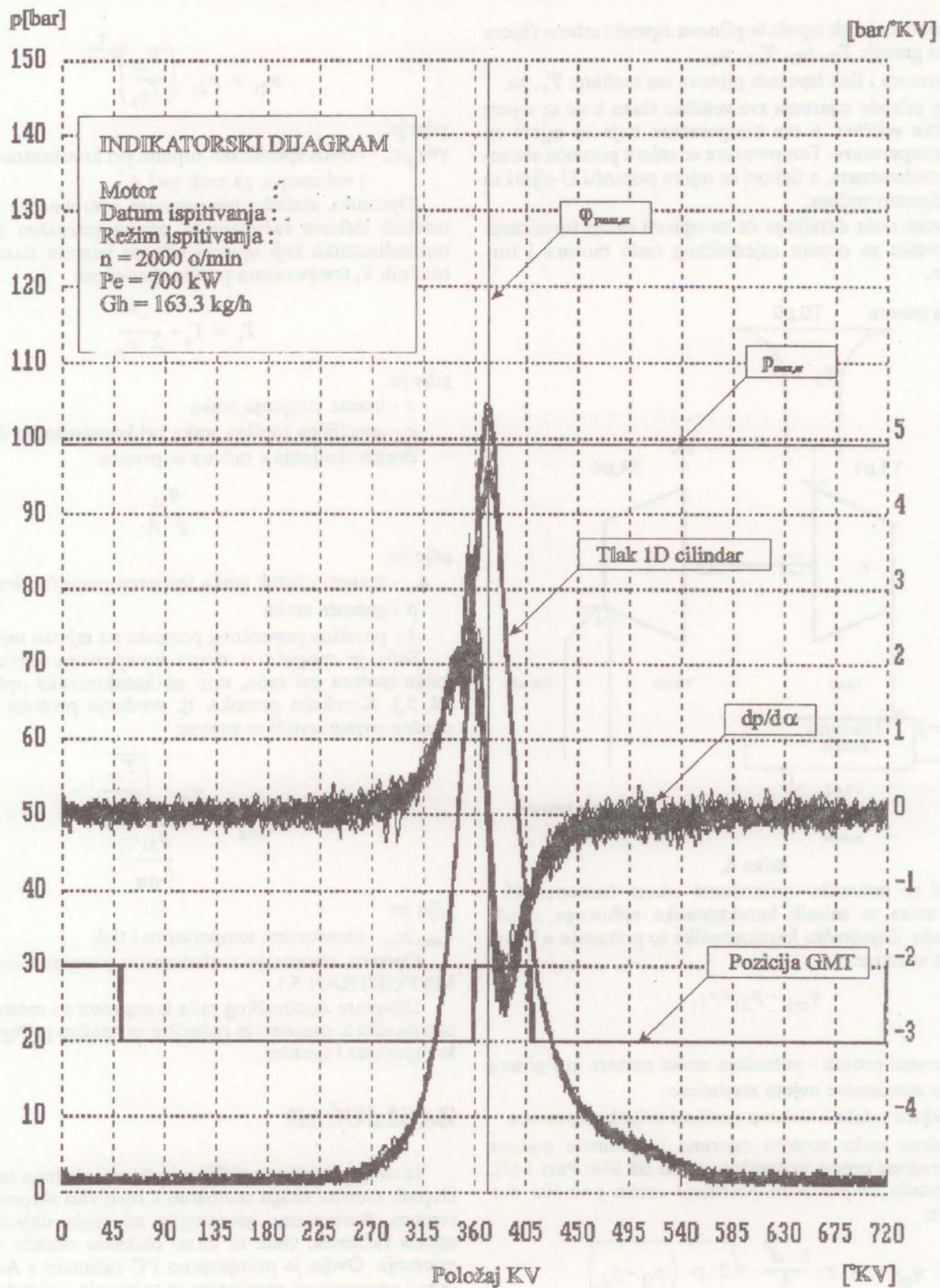
- Na temelju brzine vrtnje motora zadaje se vrijeme trajanja digitalizacije tako da minimalni broj digitaliziranih radnih procesa bude najmanje 10, kako bi se mogla raditi statistička obrada radnih procesa.
- Budući da je u ovom sustavu početak digitalizacije slučajna, programski se pronalazi početak procesa. Početak radnog procesa se određuje na osnovi signala pozicije GMT i tlaka u cilindru. Npr., pojednostavnjeno bi taj algoritam glasio:

```

IF
  GMTi ≥ Prag_GMT AND Pi ≤ Prag_P
THEN
  GMTi = Početak procesa - usis
END IF

```

- Nakon izdvajanja radnih procesa, prelazi se iz koordinatnog sustava t-p (vrijeme - tlak) u koordinatni sustav α-p (kut zaokreta koljenastog vratila - tlak) u kojemu se tlak prikazuje od 0 do 720 stupnjeva zaokreta koljenastog vratila za svaki izdvojeni radni proces.
- Poslije izdvajanja slijedi obrada svakoga radnog procesa posebno. Program za obradu je pisan u C programskom jeziku i proračunava već spomenute parametre.



Slika 3.

3. MJERENJA PARAMETARA SUSTAVA ZA PREDNABIJANJE

Za potpunu analizu radnog procesa potrebno je poznavati i parametre sustava za prednabijanje. Uobičajen postupak izbora turbopuhala je sljedeći:

- Na temelju analitičkih metoda iz postojećega proizvodnog programa određenog proizvođača izabere se određena kombinacija turbopuhala.

- Analitičkim putem izabrana turbopuhala podvrgavaju se ispitivanju na motoru.

Za potrebe ocjene prilagođenosti turbopuhala motoru, mjere se sljedeće veličine (sl. 4.):

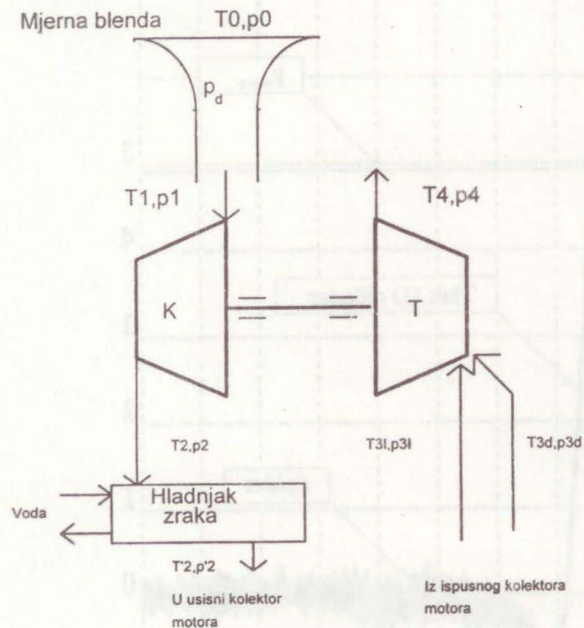
- temperatura i tlak okoline: t_0, p_0
- maseni protok zraka pomoću mjerne blende: q_m
- temperatura i tlak ispred kompresora T_1, p_1
- temperatura i tlak iza kompresora: T_2, p_2
- temperatura i tlak iza hladnjaka zraka: T'_2, p'_2

- temperatura i tlak ispušnih plinova ispred turbine (lijeva i desna grana): $T_{13}, p_{13}, T_{d3}, p_{d3}$

- temperatura i tlak ispušnih plinova iza turbine: T_4, p_4

Zbog prirode mjerenja sve veličine tlaka koje se mjere su statičke veličine, a sve temperature koje se mjere su totalne temperature. Temperature se mjere pomoću senzora - termoelemenata, a tlakovi se mjere pomoću U-cijevi sa živom odnosno vodom.

U ovom radu detaljnije će se opisati samo formiranje karakteristike za ocjenu zajedničkog rada motora i turbopuhala.



Slika 4.

Da bi se potvrdila optimalnost izbora turbopuhala i motora, mora se snimiti karakteristika njihovoga zajedničkog rada. Zajednička karakteristika se prikazuje u koordinatnom sustavu:

$$q_{mk} - p_{2t}/p_{1t}$$

gdje je:

q_{mk} - maseni protok - potrošnja zraka motora korigirana na standardne uvjete atmosfere

p_{2t}/p_{1t} - odnos totalnih tlakova poslije i prije kompresora

Potrošnja zraka motora mjerena je pomoću mjerne blende izrađene prema britanskoj normi BS 848: Part 1 [3]. Opća formula za proračun potrošnje zraka pomoću ove metode je:

$$q_m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_0 - p_d)}$$

gdje je:

d - nazivni promjer mjerne blende

ε - faktor ekspanzije

α - faktor protoka

ρ - gustoća zraka

p_0, p_d - atmosferski tlak i tlak u blendi (sl. 5.)

Totalni tlakovi se računaju na osnovi [4]:

$$p_{1t} = p_{1s} \cdot \left(\frac{T_{1t}}{T_{1s}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$p_{2t} = p_{2s} \cdot \left(\frac{T_{2t}}{T_{2s}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

gdje je:

$\gamma = c_p/c_v$ - odnos specifičnih toplina pri konstantnom tlaku i volumenu, za zrak $\gamma = 1,4$

Općenito, statičke temperature potrebne za proračun totalnih tlakova računaju se prema poznatim zakonima termodinamike koji opisuju odnose između statičkih T_s i totalnih T_t temperatura prema sljedećem:

$$T_t = T_s + \frac{v^2}{2 \cdot c_p}$$

gdje je:

v - brzina strujanja zraka

c_p - specifična toplota zraka pri konstantnom tlaku

Brzina strujanja v računa se prema:

$$v = \frac{q_m}{\rho \cdot A}$$

gdje je:

q_m - maseni protok zraka izmjeren pomoću blende

ρ - gustoća zraka

A - površina poprečnog presjeka na mjestu mjerenja

Sada je moguće u mapu kompresora ucrtati radne točke motora pri radu, npr. na karakteristici opterećenja (sl. 5.). Korekcija protoka, tj. svodenje protoka na standardne uvjete izvodi se prema:

$$q_{mk} = \frac{q_m \cdot \sqrt{\frac{T_{1t}}{T_{stn}}}}{\frac{p_{1t}}{p_{stn}}}$$

gdje je:

T_{stn}, p_{stn} - standardna temperatura i tlak

Opisana obrada je realizirana u programskom jeziku MS FORTRAN 5.1.

Dijagram zajedničkog rada kompresora i motora pokazan na slici 5. osnovno je polazište za analizu prilagodivosti kompresora i motora.

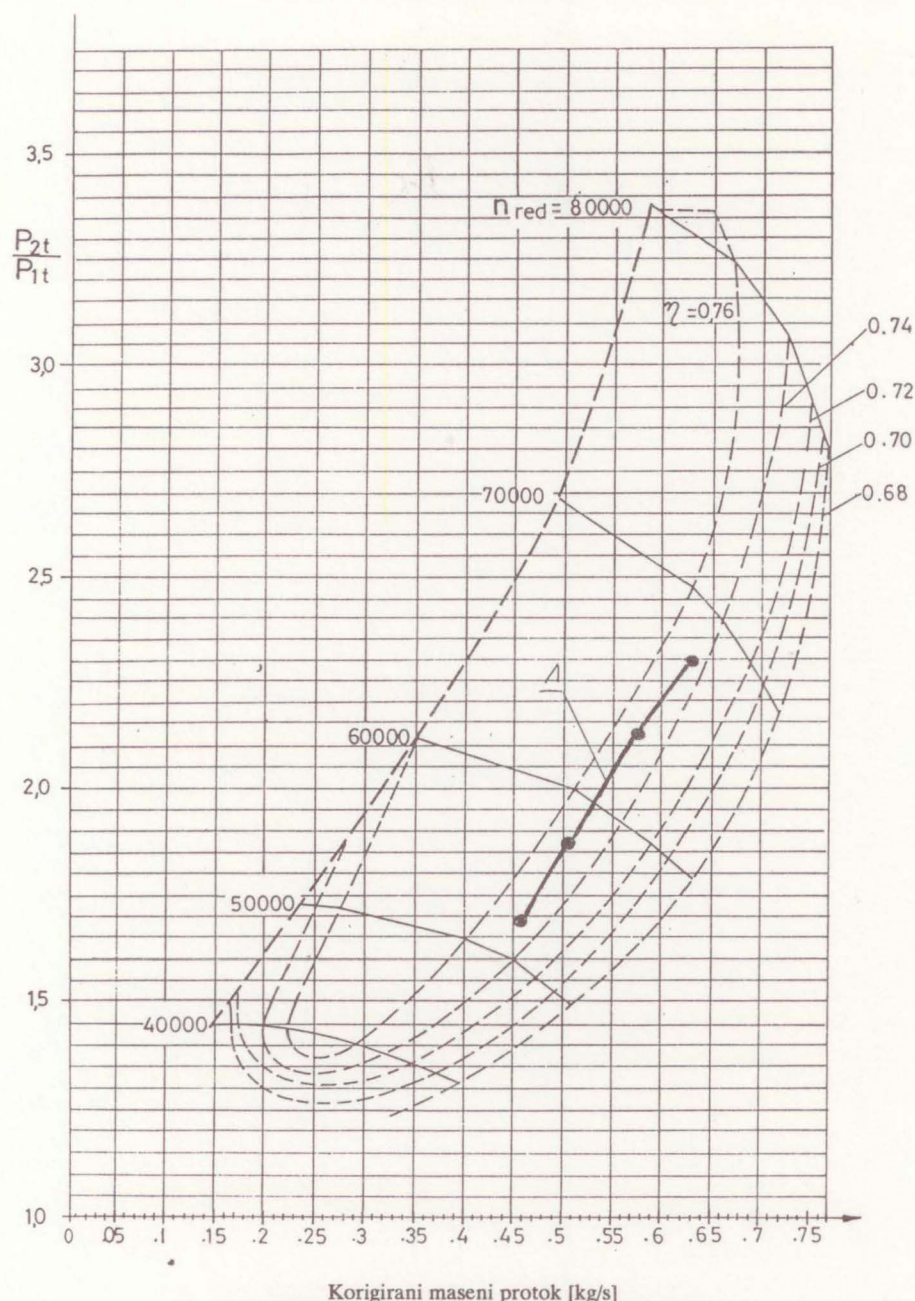
ZAKLJUČAK

U ovog priopćenja vidljivo je da se i složena ispitivanja stapnih motora mogu realizirati s relativno skromnom opremom. Suvremena tehnologija mjerenja uključuje primjenu računala, čime se bitno olakšava obrada rezultata mjerenja. Ovdje je primjenjeno PC računalo s A/D karticom i programom razvijenim za mjerenje i obradu indikatorskih veličina i parametara sustava za prednabijanje. Time je izbjegnuta nabavka skupih specijaliziranih i zatvorenih sustava za takvu vrstu mjerenja i obrade rezultata.

SUMMARY

PISTON ENGINE PERFORMANCE INDICATION DEVELOPMENT SYSTEM

The paper deals with the respective measurement system and models for measurement results processing as developed for the requirements of identification of the Diesel engine with



Slika 5.

supercharging. Subject measurement and measurement results processing have been PC-aided.

LITERATURA

- [1] E. BAZIJANAC i grupa autora: Identifikacija dizel motora. Brodarski institut, Zagreb, 1994.
- [2] E. BAZIJANAC: Višegorivna svojstva dizel-motora. Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1985.
- [3] BS 848; Part 1: Fans for general purposes. British Standards Institution, 1980.
- [4] K. ZINER: Aufladung von Verbrennungsmotoren. Springer-Verlag, Berlin, 1980.