

11. INDIKATOR ZA SNIMANJE DIJAGRAMA, INDIKATORSKI DIJAGRAMI, SREDNJI INDICIRANI TLAK, MIP KALKULATOR, ODREĐIVANJE INDI-CIRANE I EFEKTIVNE SNAGE MOTORA

Indikator za snimanje dijagrama (sl. 11.1) sastoji se od cilindra 1 u kojem je ugrađeno stapalce, a koji je opterećen oprugom određene jačine. Mjerilo opruge ovisi o visini radnog pritiska u cilindru motora. Ako je indikatorski pipac, odnosno ventil 2, otvoren plinovi će ulaziti u cilindar indikatora 1 i tlačiti na stapalce. Tlak ispušnih plinova svladava silu opruge i u ovisnosti o promjeni tlaka u radnom cilindru, polužje 4 bit će više ili manje pomaknuto prema gore. Konopac 5 bubnja 3 spojen je s polužjem stapnog mehanizma cilindra koji snimamo. Polužjem stapnog mehanizma i konopca 5 okreće se bubanj 3, na kojem je postavljen indikatorski papirić za snimanje dijagrama. Laganim pritiskom na pisaljku polužja 4, ona će upisati željeni dijagram na indikatorskom papiriću.



Sl. 11.1. Indikator

Prije snimanja dijagrama treba izvršiti predradnje:

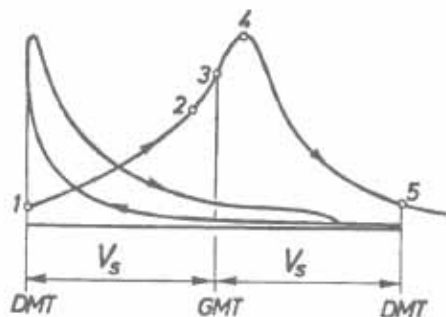
- indikator podmazati i propuhati indikatorski pipac
- stroj postaviti da razvija ekonomsku snagu, odnosno da ima ekonomski broj okreta
- indikator montirati na indikatorski pipac, a zatim postaviti papirić indikatora na njegov bubanj

- pomoću konopca spojiti polužje indikatora s polužjem stapnog mehanizma (konopac mora biti dobro nategnut)
- indikatorski pipac staviti u položaj da se može na papiriću indikatora ucrtati atmosferska linija
- pipac postaviti u položaj da se kompresijski prostor cilindra motora spoji s cilindrom indikatora i laganim pritiskom na pisaljku ucrtati jedan od ovih dijagrama: zatvoreni, otvoreni ili fazni, dijagram kompresije i ekspanzije čistog zraka ili dijagram kompresije i ekspanzije - okomice tlakova.

Na papiriću indikatora moraju biti upisani ovi podaci: ime broda, dan snimanja, strana i broj cilindra, jačina i smjer vjetra.

11.1 Zatvoreni dijagram

Zatvorenim dijagramom određuje se srednji indicirani tlak, odnosno indicirana snaga motora. Na brodu se snimaju samo visokotlačni dijagrami. Zatvoreni dijagram dvotaktnog sporohodnog motora prikazan je na sl. 11.2. Na istoj slici prikazan je i otvoreni (fazni) dijagram. Za snimanje tog dijagrama potreban je ugrađeni uređaj za snimanje. Ako uređaj nije ugrađen, dijagram se može snimati ručno, ali je za to potrebno iskustvo. Otvoreni dijagram može se snimiti uređajem za snimanje zatvorenog dijagrama, ali konopac za spoj polužja mora biti povezan s polužjem susjednog cilindra čija je ručica postavljena na 90° s ručicom koljenastog vratila cilindra koji snimamo. Iz otvorenog dijagrama može se očitati: krivulja kompresije 1—2, početak uštrcavanja 2, 2—3—4 paljenje i izgaranje uz nagli porast tlaka maksimalni tlak izgaranja 4, krivulja ekspanzije 4—5.



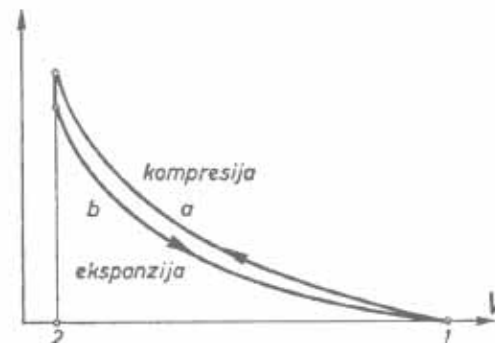
Sl. 11.2. Indicirani i fazni dijagram

11.2 Dijagram kompresije i ekspanzije čistog zraka

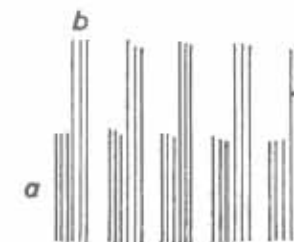
Ako je krivulja kompresije *a* (sl. 11.3) visoko iznad krivulje ekspanzije *b*, znak je da postoji gubitak zraka zbog propuštanja stapnih prstena, ventila, brtve glave ili bilo kojeg elementa koji mora nepropusno zatvarati kompresijski prostor. Nepravilna linija kompresije može biti i greška zbog neispravnosti indikatora.

11.3 Dijagram tlakova kompresije čistog zraka i tlakova izgaranja snimljen u obliku okomica

Okomice *a* označavaju tlakove kompresije čistog zraka, a okomice *b* tlakove izgaranja (sl. 11.4). Dopušteno odstupanje tlakova iznosi 5 do 10%.



Sl. 11.3. Dijagram kompresije i ekspanzije čistog zraka



Sl. 11.4. Dijagram kompresije i izgaranja (okomice)

11.4 Određivanje srednjeg indiciranog tlaka iz zatvorenog indiciranog dijagrama

Budući da je dijagram nepravilan geometrijski lik, njegova se površina može odrediti posredstvom više matematike, planimetriranjem površine ili empirijskim metodama. Površina dijagrama može se dakle odrediti:

- posredstvom više matematike
- planimetriranjem površine
- ili drugim metodama.

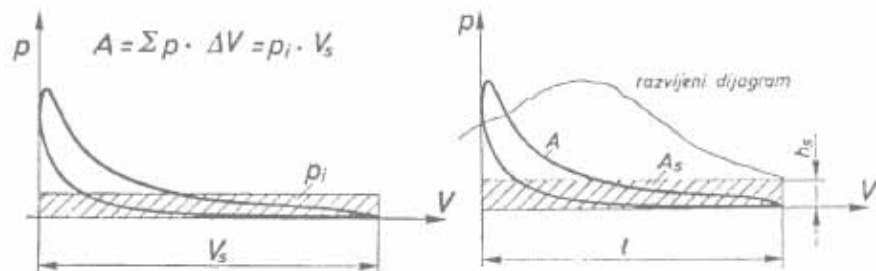
Najviše se upotrebljava planimetriranje površine dijagrama i to tako da se odredi površina 5 puta, zatim se zbroje i podjele sa 5. Tako se odredi srednja površina dijagrama (A_s) (sl. 11. 5):

$$A_s = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{5} \quad [mm^2].$$

Poznavajući srednju površinu i dužinu dijagrama (l), može se odrediti srednja visina izrazom:

$$h_s = \frac{A_s}{l} \quad [mm].$$

Nepravilna površina dijagrama pretvara se u pravokutnik.



Sl. 11.5. Zatvoreni dijagram motora

Srednji indicirani tlak dobiva se tako da se srednja visina (h_s) podijeli s mjerilom opruge, tj.

$$p_i = \frac{h_s}{m_0} 10^5 [\text{Pa}].$$

Mjerilo opruge (m_0) je veličina koja nam kaže za koliko se milimetara opruga stegne (skrati) ako na nju djeluje tlak 10^5 Pa. Mjerilo opruge za visokotlačne dijagrame iznosi od oko 0,2 do 1,5 mm, a za niskotlačne dijagrame od 15 do 20 mm.

1. *Primjer:* Izračunajte kolika će biti visina dijagrama ako je $m_0 = 0,7\text{mm}$ iz snimljenog dijagrama cilindra motora kod kojeg je maksimalni tlak izgaranja 6 MPa. Visina dijagrama je 42 mm.

2. *Primjer:* Izračunajte udaljenost između linije usisa ispuha ako je tlak ispušnih plinova $0,2 \cdot 10^5$ Pa, tlak usisnog zraka $0,3 \cdot 10^5$ Pa, a dijagram se snimio s mjerilom opruge $20 \text{ mm} = 10^5$ Pa.

$$x_u = 20 \cdot 0,2 = 4 \text{ mm}$$

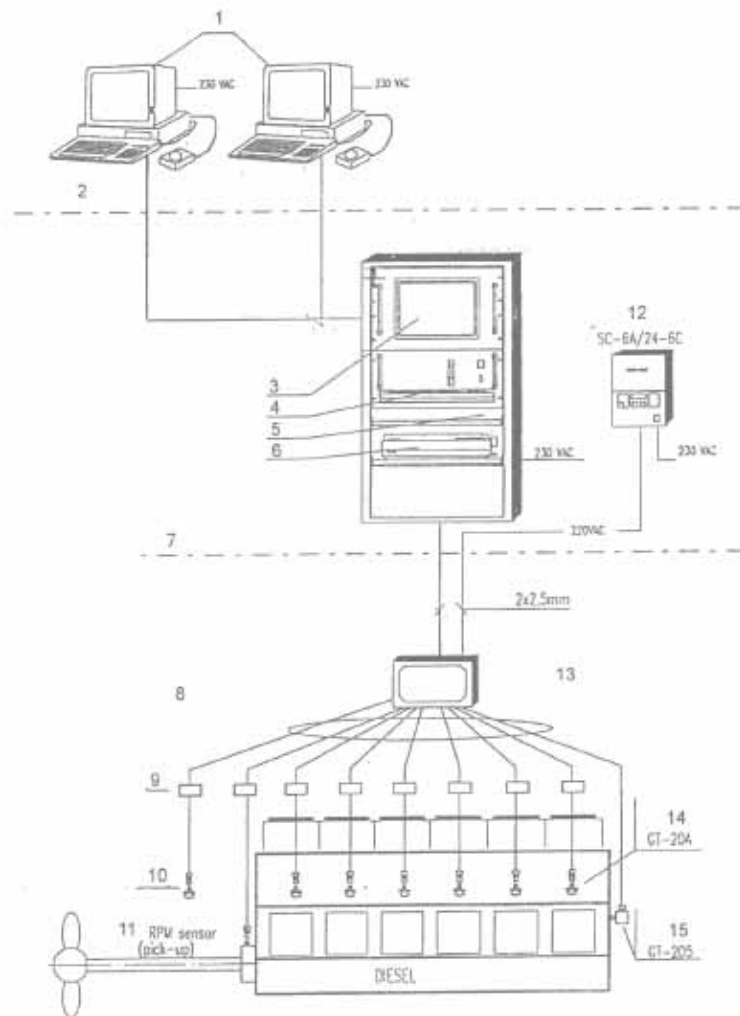
$$x_i = 20 \cdot 0,3 = 6 \text{ mm}$$

Udaljenost između linije usisa i ispuha je 10 mm.

Ako bi se mjerilo opruge za niskotlačne dijagrame upotrijebilo kao za visokotlačne, linije ispuha i usisa bile bi premalo udaljene jedna od druge i ne bi se mogle očitati površine koje te dvije linije zatvaraju s atmosferskom linijom.

11.5 Određivanje tlakova pomoću MIP kalkulatora NK - 100

MIP kalkulator je središnji dio sustava održavanja dizel-motora. Uz upotrebu tlaka i magnetskih senzora u cilindru motora je moguće mjeriti i registrirati (tiskati) tlak izgaranja, tlak uštrcavanja goriva, tlak kompresije i srednji indicirani tlak. Kao alternativan operativan uvjet moguća je kontrola stapnih prstenova, a uz instalaciju programa PD - 100, može se i približe dijagnosticirati i izvesti stvarno stanje motora.



Sl. 11.6. MIP kalkulator

NK - 100 sustav je za izvođenje specifičnih točaka:

- APC se upotrebljava za konačno predočenje vremena
- kalkulatorski grafički pisac
- jedan ili više dodatnih NK - 110 za signalizaciju raznih parametara motora
- jedinica za oksprbljivanje snagom (24 V)
- senzor za mjerenje tlaka u cilindru, tlaka uštrcavanja i tlaka ispušnog zraka
- magnetska čegrtaljka za mjerenje broja okretaja i položaja stapa u cilindru
- indukcijski senzor za kontrolu funkcije stapnih prstenova

1-Dodatna postaja PC-a; 2-kontrolna kabina van strojarnice; 3-ekran; 4-tastatura; 5-tragač (za pratiti kružni tok); 6-pisac; 7-kontrolna kabina u strojar-

nici; 8-strojarnica; 9-signal pretvarač; 10-osjetnik uštrcavanja goriva; 11-senzor broja okretaja (pik-up); 12-snaga napajanja; 13-strojno procesni signali; 14-osjetnik tlaka u cilindru; 15-osjetnik tlaka ispirog zraka.

Ovdje je moguće spojiti i druge terminale (PC_s) na sustav lokalne mreže i omogućiti prijenos, čitanje nadnevka i prikaz krivulja.

NK - 100 terminal može biti spojen u MITS (Mornarski internacionalni standard) standard mreže i tada se može ostvariti komunikacije u sustavima.

Sljedeći podaci nam stoje na raspolaganju:

Cilindrični tlačni senzor:

- MIP (srednji indicirani tlak)
- P_{max} (maksimalni tlak izgaranja)
- P_{comp} (maksimalni tlak kompresije)
- P_{exp} (tlak na ekspanzijskoj krivulji 36° poslije GMT)
- αP_{max} (kut gdje P_{max} dostiže propisanu vrijednost poslije GMT)
- Load. (opterećenje cilindra u kW)
- tlak u pojedinim točkama krivulje otklona ručke koljenastog vratila

Senzori tlaka goriva:

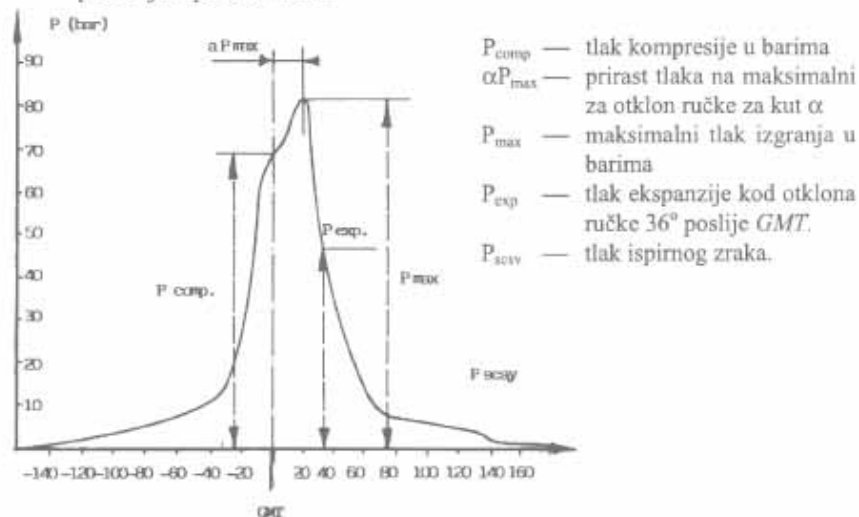
- FP_{max} (maksimalni tlak uštrcavanja)
- FP_{open} (tlak uštrcavanja kad se ventil goriva otvori)
- FP_{ref} Tlak uštrcavanja za određeni zub na čegrtaljki (pik - up)
- $P_{open}/\alpha P_{ref}$ (prirast tlaka za α kut otklona ručke)
- G (trajanje perioda uštrcavanja)
- tlak u bilo kojoj točki, tj. za bilo koliki kut otklona ručke

Senzor tlaka ispirog zraka:

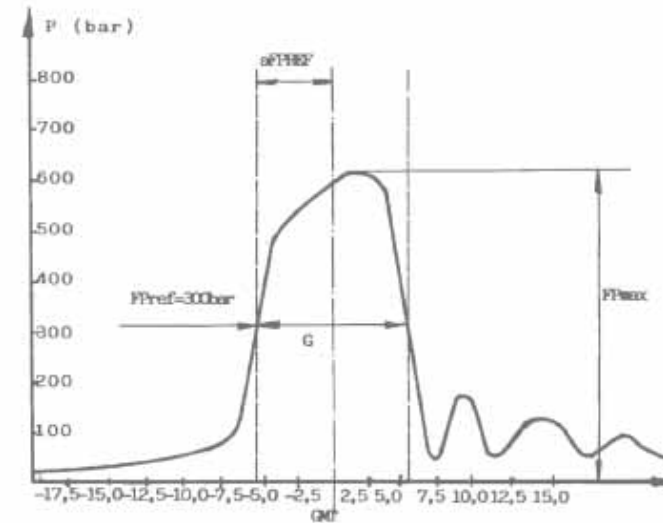
- P_{scav} (tlak ispirog zraka)

Senzor za mjerenje kuta otklona koljenastog vratila:

- RPM (broj okretaja motora)
- položaj stapa u cilindru



Sl. 11.7. Krivulja tlakova u radnom cilindru



Sl. 11.8. Krivulja uštrcavanja goriva

FP_{ref} — početak uštrcavanja - 300 bara

αP_{ref} — prirast tlaka na kutu α otklona ručke od početka uštrcavanja do GMT

FP_{max} — maksimalni tlak uštrcavanja

G — vrijeme uštrcavanja u stupnjevima otklona ručke koljenastog vratila

11.6 Indicirana snaga motora

Snaga motora može se izračunati iz mehaničkog rada. Poznato je da je mehanička radnja svladavanja sile na određenom putu, tj.:

$$W = F \cdot s \text{ [Nm]},$$

a učinak je izvršena radnja u jedinici vremena, tj.:

$$P = \frac{W}{t} \left[\frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right].$$

Ako se izvrši rad od 1 000 Nm u sekundi, učinak tog rada je 1 kW. Da bi se mogla odrediti indicirana snaga motora, potrebno je poznavati silu koja vlada na stapu u toku ekspanzije plinova. Ta sila mijenja svoju veličinu od maksimalne, kod maksimalnog tlaka izgaranja, do minimalne vrijednosti pri kraju ekspanzije. Za proračun snage uzima se kao da je sila na stapu konstantnog intenziteta za vrijeme cijelog hoda stapa, jer je p_{si} proračunat iz indiciranog dijagrama, konstantna veličina. Sila na stapu u taktu ekspanzije može se odrediti izrazom:

$$F = A \cdot p = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{si} \text{ [N]}.$$

Radnja izvršena za jedan radni hod stapa:

$$W = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} p_{si} \cdot s \text{ [Nm]}.$$

a indicirana snaga za n okreta koljenastog vratila i radnost motora i može se odrediti prema jednadžbi:

$$P_i = F \cdot s \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{1000} \cdot i \cdot z \text{ [kW]},$$

ili

$$P_i = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{si} \cdot s \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{1000} \cdot i \cdot z \text{ [kW]}.$$

Primjer: Izračunajte indiciranu snagu jednoradnog četverotaktnog motora ako su poznate ove veličine:

$p_{si} = (50 \cdot 10^4 \text{ Pa})$, $s = 100 \text{ mm}$, $D = 70 \text{ mm}$, $n = 4\,000$ okreta u minuti. Motor ima 4 cilindra.

Rješenje: $P_i = 25,6 \text{ kW}$

Primjer: Izračunaj indiciranu snagu jednoradnog dvotaktnog motora ako su poznati ovi parametri $s = 2\,600 \text{ mm}$, $D = 600 \text{ mm}$, $p_{si} = 22,10^5 \text{ Pa}$, $n = 120 \text{ o/min}$. Motor ima 5 cilindra.

Rješenje: $P_i = 16\,130 \text{ kW}$.

Radnost motora i je broj koji kaže koliko motor ima radnih taktova ekspanzije plinova izgaranja za vrijeme jednog okreta koljenastog vratila. Za četverotaktni jednoradni motor $i = \frac{1}{2}$, a za dvotaktni jednoradni $i = 1$. Za dvotaktni dvoradni $i = 2$. Za četverotaktne dvoradne $i = 1$, ali se ti motori više ne proizvode. Kod određenog tipa motora pojedini faktori u jednadžbi ne mijenjaju se, pa se mogu izračunati, a dobivena vrijednost služi kao konstanta C . Ako je poznata konstanta, izraz indicirane snage svodi se na:

$$P_i = C \cdot p_{si} \cdot n \text{ [kW]}.$$

11.7 Efektivna snaga motora

Efektivna je snaga na spojci koljenastog vratila, a može se matematički odrediti ili mjeriti kočenjem pomoću hidrauličke, Pronijeve ili elektromagnetne kočnice. Da bi se matematički mogla odrediti efektivna snaga, mora biti poznat

srednji efektivni tlak (p_{se}). Srednji efektivni tlak odgovara umnošku srednjeg indiciranog tlaka (p_{si}) i mehaničkog stupnja djelovanja (η_m):

$$p_{se} = p_{si} \cdot \eta_m \text{ [Pa]}.$$

Jednadžba efektivne snage odgovara izrazu:

$$P_e = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot p_{se} \cdot \frac{s \cdot n}{1000 \cdot 60} \cdot i \cdot z \text{ [kW]}.$$

Za određivanje efektivne snage dvotaktnog jednoradnog motora proizvođači motora najčešće upotrebljavaju izraz:

$$P_e = \frac{V \cdot p_{se} \cdot n}{60000} \text{ [kW]}.$$

Primjer: Izračunajte efektivnu snagu dvotaktnog jednoradnog motora promjera cilindra 900 mm, hoda stapa 1500 mm, srednjeg indiciranog tlaka $7 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, mehaničkog stupnja djelovanja 0,9. Motor ima sedam cilindra i pri minimalnoj snazi okrene se 111 puta u minuti.

$D = 900 \text{ mm} = 0,9 \text{ m}$,

$s = 1\,500 \text{ mm} = 1,5 \text{ m}$,

$P_e = 7 \cdot 10^5 \cdot 0,9 = 6,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$,

$$P_e = \frac{V \cdot p_{se} \cdot n}{60000} \cdot 7 = 7781,37 \text{ [kW]}.$$

11.8 Mjerenje efektivne snage kočenjem

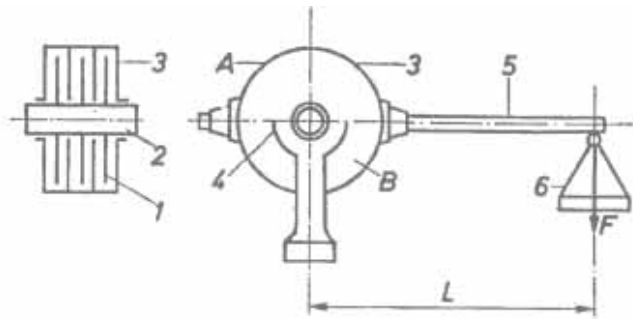
Motor okreće osovinu 2 na kojoj se nalaze lopatice 1. Rotirajuće lopatice zahvaćaju vodu i nastaje zakretni moment statora 3, koji se može slobodno okretati oko osovine 2. Zakretnom momentu, stvorenom od rotirajuće vode na lopaticima statora, suprotstavlja se zakretni moment koji nastaje silom F na dužini l (sl.11.9).

$$F \cdot l = \frac{P_e}{\omega} \cdot 1000,$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ s}^{-1},$$

$$F \cdot l = \frac{P_e}{n} \cdot 9554,$$

$$P_e = \frac{F \cdot l \cdot n}{9554} \text{ [kW]}.$$



Sl. 11.9. Hidraulička kočnica

1-lopatice rotora; 2-osovina rotora; 3-stator; 4-postolje kopče; 5-poluga statora; 6-uteg; *AB*-oznaka presjeka; *L*-dužina poluge; *F*-sila na kraku *L*

Obično se u praksi dužina poluge 5 uzima 0,9554 m, tako da jedndžba dobiva konačni oblik:

$$P_e = F \cdot n \cdot 10^{-4} [\text{kW}].$$

Primjer: Izračunajte efektivnu snagu motora ako dinamometar pokazuje silu 200000 N, a brojač okreta 120 okreta u minuti.

$$P_e = 200\,000 \cdot 120 \cdot 10^{-4},$$

$$P_e = 2\,400 \text{ kW}$$

Pitanja za ponavljanje

1. Koji se dijagrami snimaju kod brodskih motora; kojom se napravom snima i po kojem postupku?
2. Što je srednji indicirani tlak i kako se matematički može odrediti?
3. Što je mjerilo opruge indikatora i koliko je mjerilo kod visokotlačnih, a koliko kod niskotlačnih dijagrama?
4. Napišite i objasnite izraz za proračun indicirane snage motora.
5. Što je srednji efektivni tlak i kako se može odrediti? Napišite i objasnite izraz za proračun efektivne snage motora.
6. Prikažite grafički i odredite matematički toplinsku iskoristivost motora SUI?
7. Nacrtajte i objasnite dijagram opterećenja i promjene stupnjeva djelovanja za jedan dizel-motor.
8. Kako se određuje snaga svakog cilindra motora? Kolika su dopuštena odstupanja snage po cilindru?
9. Koji se parametri mogu snimiti s MIP kalkulatorom NK - 100?
10. Što predstavlja dijagram Sl. 11.7.?
11. Što nam kaže krivulja uštrcavanja goriva (Sl. 11.8)?