

## **VJEŽBA 10: KOČENJE MOTORA**

### **26. OPĆENITO O KOČENJU MOTORA**

#### **26.1 Uvod**

Kočenje motora, ili bilo kojeg pogonskog stroja (turbostrojevi, elektromotori..), spada u tehniku mjerenja. Ovim se mjerenjem u prvom redu određuje snaga stroja. Međutim, kako je motor s unutrašnjim izgaranjem vrlo kompleksan toplinski stroj, za definiranje njegovih karakteristika potrebno je izvršiti znatno više tehničkih mjerenja. Tako se, osim sile kočenja i brzine vrtnje motora mjere razni tlakovi, temperature, vrijeme potrošnje pogonskih sredstava (gorivo, ulje za podmazivanje), vibracije i sastav ispušnih plinova. Na temelju ovih mjerenja preračunavaju se veličine koje će jednoznačno služiti u definiranju karakteristika motora. Za sva ova mjerenja potrebna je kočnica, koja kočenjem dovodi motor u slično stanje opterećenja kao u eksploataciji.

#### **26.2 Primjena kočenja motora**

Kočenje motora primjenjuje se u:

- razvoju i istraživanju
- proizvodnji i završnoj kontroli
- održavanju

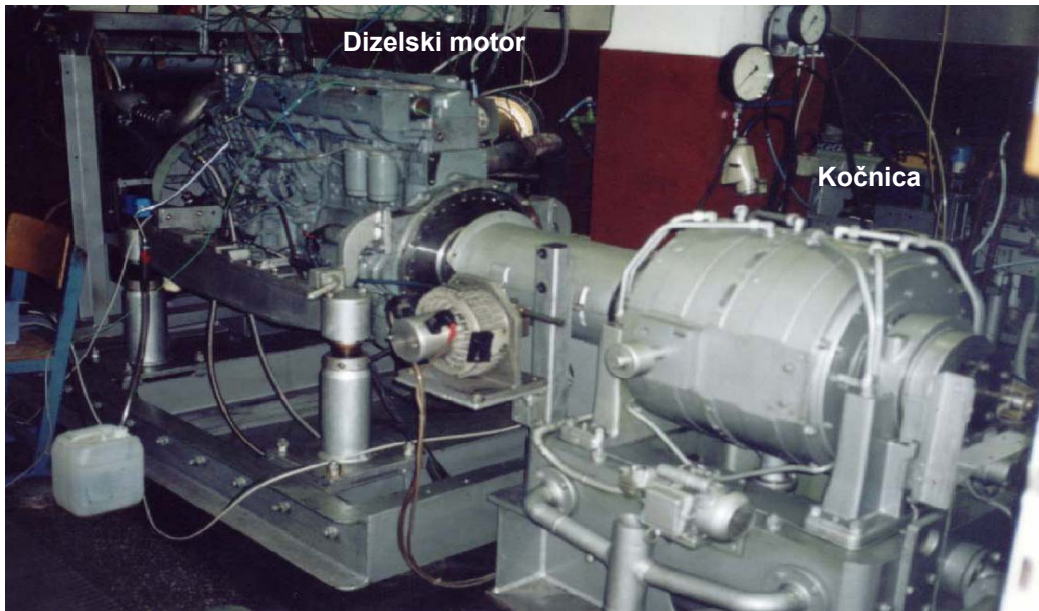
U razvojnim istraživanjima kočnice se koriste za:

- određivanje karakteristika motora (moguća opteretivost, ekonomičnost, ekološke karakteristike)
- provođenje trajnog ispitivanja uz simuliranje predvidivih pogonskih uvjeta
- ispitivanje različitih komponenti opreme: rasprskavača, visokotlačnih pumpi goriva, kompletnog sistema dobave goriva, uređaja za paljenje, regulatora brzine vrtnje, klipova, brtvila, ležajeva...
- ispitivanje pogonskih sredstava (gorivo, mazivo)
- ispitivanje spojki za vozila, pogonskih osovina, mjenjača...
- validaciju rezultata dobivenih računalnim simulacijama

U proizvodnji motora kočnice se koriste uglavnom za:

- uhadavanje motora
- regulaciju karakteristika
- završnu kontrolu karakteristika

U održavanju motora kočnice služe za provjeru i regulaciju karakteristika motora.



Sl. 26.1 - Motor spojen na kočnicu u laboratoriju

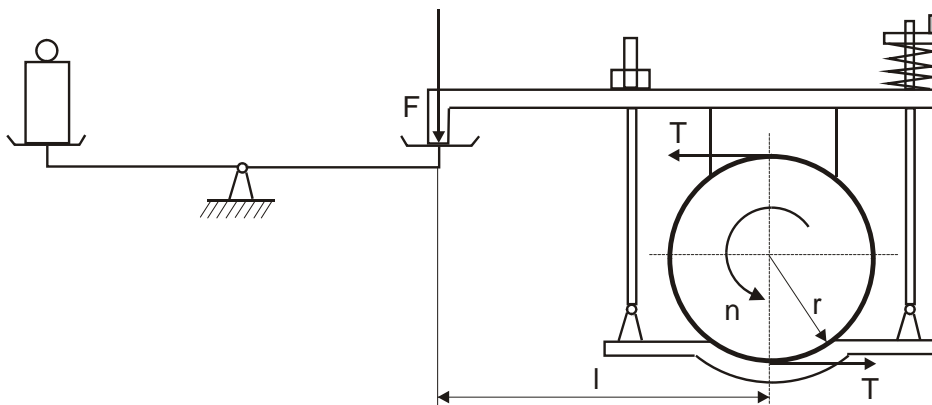
### 26.3 Kočnice

Razvijen je čitav niz kočnica koje se mogu podijeliti na:

- mehaničke kočnice
- hidrauličke kočnice
- električne kočnice
- pneumatske kočnice

#### Mehanička kočnica

Od mehaničkih kočnica napominje se Prony kočnica koja je prikazana na sl. 26.2



Sl.26.2 Prony mehanička kočnica

Snaga na vratilu kočnice je:

$$P = T 2 r \pi n \quad [\text{W}] \quad (26.1)$$

Iz sume momenata s obzirom na centar rotacije proizlazi:

$$T r = F l \quad [\text{Nm}] \quad (26.2)$$

Kombinacijom ova dva izraza slijedi izraz za snagu:

$$P = \frac{F l}{r} 2 r \pi n \quad [\text{W}] \quad (26.3)$$

gdje je:

$P$  [W] - snaga na vratilu kočnice

$T$  [N] - sila trenja

$r$  [m] - polumjer vratila

$n$  [ $\text{s}^{-1}$ ] - brzina vrtnje vratila

$F$  [N] - sila na kraku kočnice

$l$  [m] - duljina kraka kočnice

Iz ovoga izraza dobije se pojednostavljeni izraz sa prikladnijim veličinama:

$$P = \frac{F n l}{\frac{1000 \cdot 60}{2\pi}} \quad [\text{kW}] \quad (26.4)$$

U ovom izrazu se brzina vrtnje  $n$  uvrštava u [ $\text{min}^{-1}$ ].

Ako se odabere  $l = 0,9549$  [m] prethodni izraz se svodi na približan izraz:

$$P = \frac{F n}{10000} \quad [\text{kW}] \quad (26.5)$$

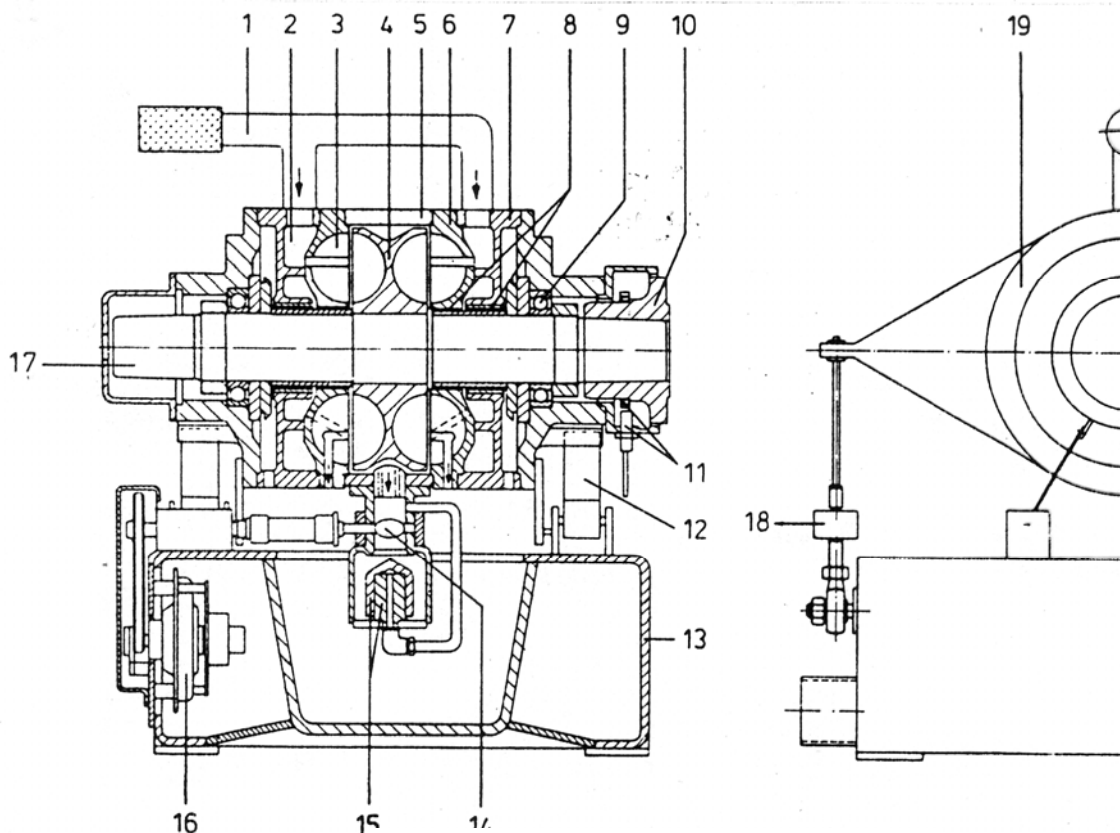
Sila  $F$  preko poluge stvara pritisak na vratilo kočnice te se kao posljedica javlja sila trenja na vratilu (sila kočenja). Sila kočenja stvara moment kočenja. Energija kočenja pretvara se u toplinu koja se odvodi rashladnim sredstvom. Mehaničke kočnice se rijetko upotrebljavaju zbog nedovoljne točnosti.

## Hidraulička kočnica

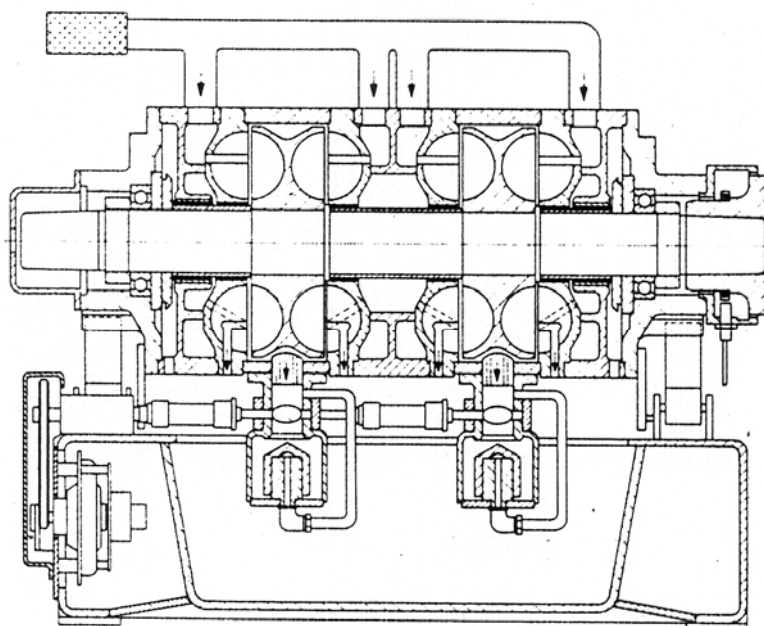
Hidraulička kočnica je znatno preciznija od mehaničke kočnice, te zbog toga ima široku primjenu, od najmanjih snaga pa sve do kočenja velikih sporohodnih brodskih motora. Ove kočnice rade na principu registriranja tlaka što ga voda iz rotora vrši na lopaticama statora. Ovdje se energija kočenja pretvara u toplinu koja se odvodi vodom za kočenje, odnosno kod ovakvih kočnica voda služi za kočenje i za hlađenje.

Hidraulička kočnica prikazana je na sl. 26.3. Osnovni elementi kočnice su stator i rotor u kojim se nalaze lopatice. Voda ulazi u sistem preko dovodne cijevi (1) ravnomjerno u prstenastu komoru (2), te kroz provrt u statorskoj lopatici u vrtložnu komoru (3). Rotor (4) rotira, vrtloži vodu u vrtložnoj komori i pretvara snagu kočenja u toplinu.

Moment kočenja ovisan je o stupnju punjenja vrtložnih komora. Punjenje se regulira preko ventila (14). Regulacija ventila izvodi se pomoću regulacijskog uređaja i njegovog pogona (16). Moment kočenja prenosi se od oscilirajućeg kućišta (19) preko poluge na davaču (18). Kako bi se kočile veće snage, rotor se dodaju aksijalno u paketu (sl. 26.4).

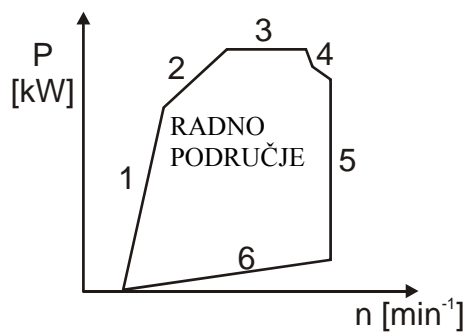


Sl. 26.3. - Shema hidraulične kočnice



Sl. 26.4. Hidraulična kočnica sa paketom aksijalno spojenih rotora

Ovakva kočnica ima i svoja ograničenja. Na Sl. 26.5. prikazan je radni dijagram hidraulične kočnice.



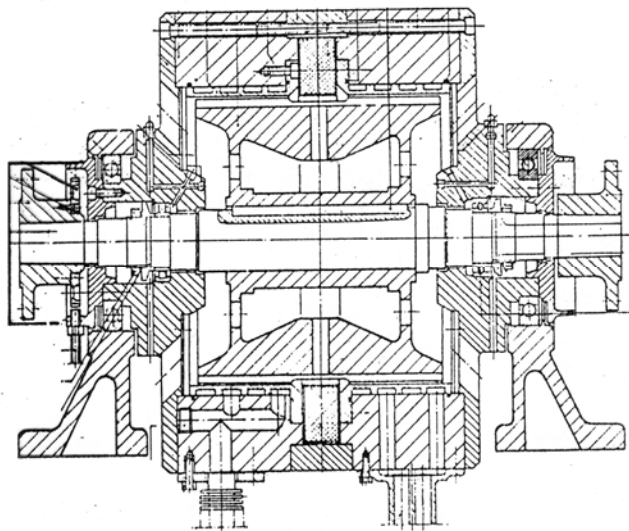
Sl. 26.5. Radni dijagram hidraulične kočnice

Pojedine linije predstavljaju ograničenje polja zbog:

- 1 - velika količina vode
- 2 - granica količine vode
- 3 - ograničenje protoka kroz dovodne i odvodne organe
- 4 - linija konstantne snage
- 5 - ograničenje brzine vrtnje rotora
- 6 - mala količina vode; ventilacija, trenje ležajeva (gubici)

## Električna kočnica

Električne kočnice se po principu rada mogu podijeliti na one koje rade kao generatori ili one koje rade na principu vrtložnih struja. Na sl. 26.6 prikazan je presjek kočnice koja radi po principu vrtložnih struja proizvođača "Hofmann".



Sl. 26.6 - Električna kočnica "Hofmann"

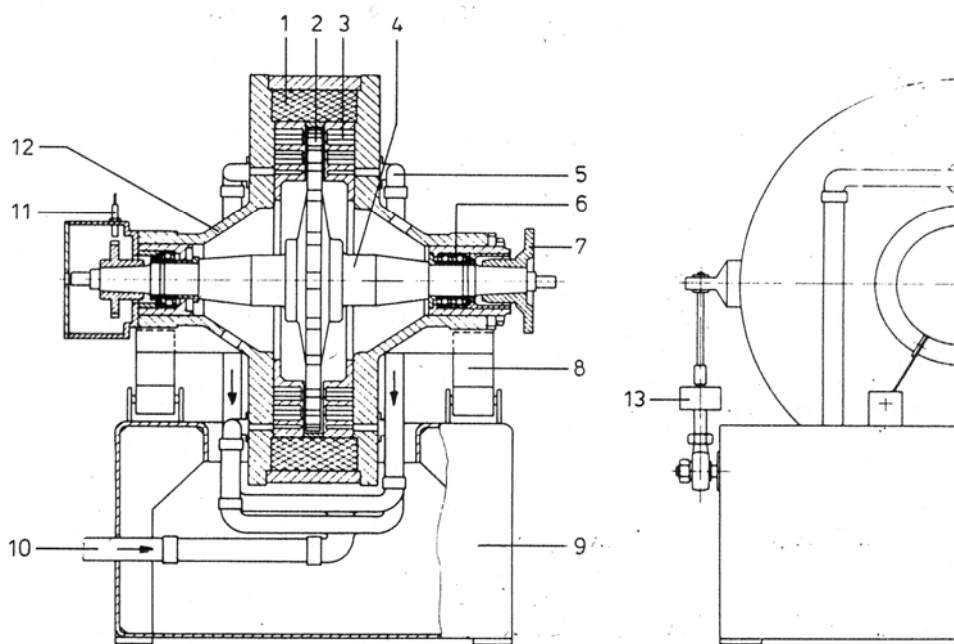
Princip rada je sljedeći: u statoru se nalazi uzбудni namotaj kroz koji teče istosmjerna struja. Ona stvara homogeno magnetsko polje čije su linije okomite na ozubljene plohe rotora. Zbog rotacije ozubljenog rotora nastaju na unutarnjoj strani statora vrtložne struje, koje sa svoje strane stvaraju magnetsko polje suprotno rotaciji rotora. Stoga rotor nastoji zarotirati stator u svom smjeru gibanja. Stator je povezan preko poluge na davač koji registrira silu, odnosno kočeni moment.

Na sl. 26.7 prikazana je slična kočnica proizvodnje "Shenk".

Kroz uzbudni namotaj (1) teče istosmjerna struja koja stvara magnetsko polje. Ozubljeni rotor (2), svojom vrtnjom, sječe magnetsko polje i u statorskom dijelu rashladnih komora (3) inducira se vrtložna struja koja stvara magnetsko polje i tako koči rotor (2, 4). Tijelo kočnice (12) povezano je preko poluge i davača sile (13), koji registrira silu kočenja odnosno moment.

Regulacija kočnice izvodi se regulacijom uzbudnog napona. Energija kočenja pretvara se u toplinu i odvodi rashladnom vodom kroz kanale u statoru.

Treba napomenuti da temperatura rashladne vode ne smije rasti iznad 45°C zbog intenzivnog stvaranja kamenca.



Sl. 26.7 - Električna kočnica "Shenk"

I u ovom slučaju mjeri se sila kočenja kako bi se mogla odrediti snaga kočenja:

$$P = M\omega \quad (26.6)$$

$$M = Fl \quad (26.7)$$

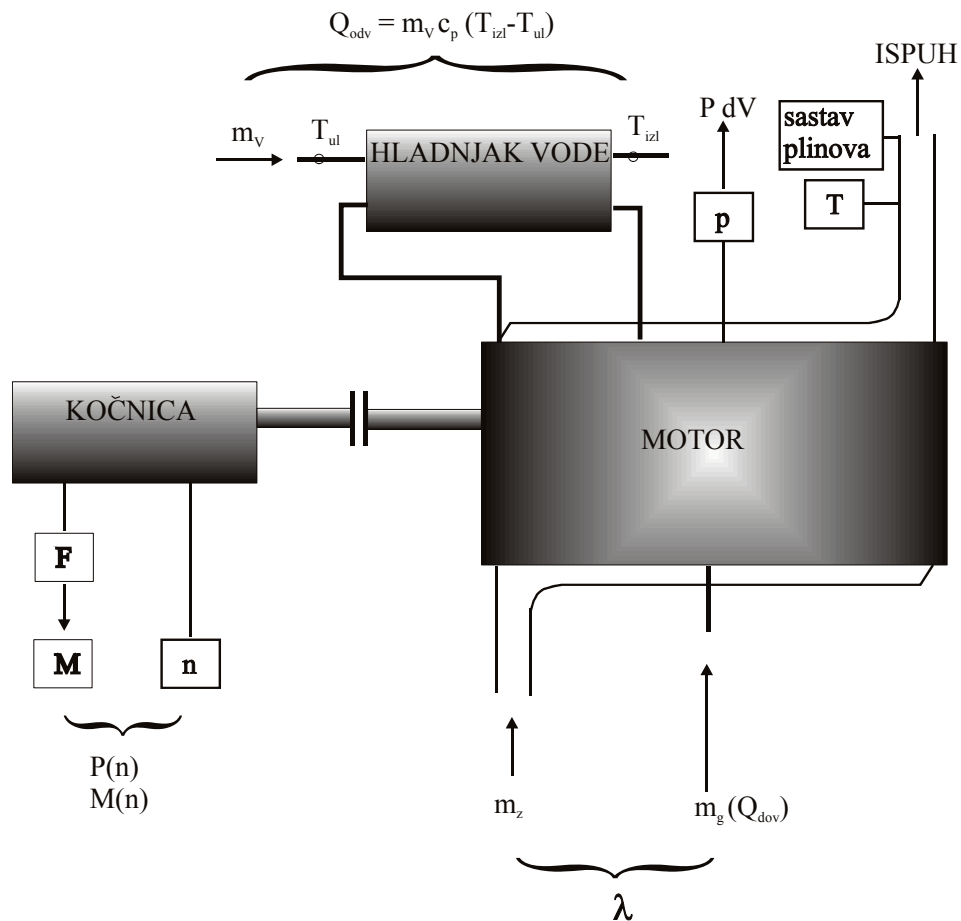
$$\omega = 2\pi n \quad (26.8)$$

gdje je:

- $P$  [W] - snaga
- $M$  [Nm] - moment
- $\omega$  [rad/s] - kutna brzina
- $F$  [N] - sila
- $l$  [m] - krak
- $n$  [s<sup>-1</sup>] - brzina vrtnje

## 26.4 Kočenje motora i mjerenje

Kočenje motora je kompleksno mjerenje pri kojem se mjeri puno različitih parametara (sl. 26.8):

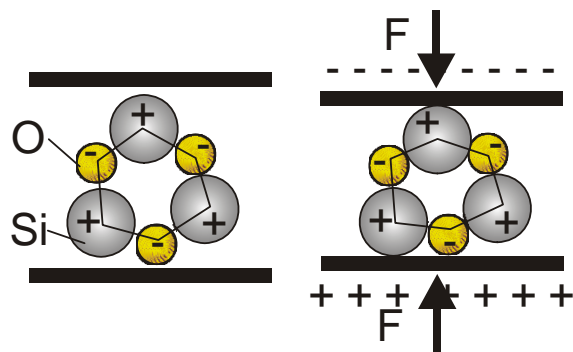


Sl. 26.8 - Shema spajanja kočnice, motora i mjernih uređaja

Danas se svi izmjereni parametri obrađuju pomoću računala te se kod ispitivanja koriste uređaji za akviziciju podataka. Kako davači daju analogni signal, a računala rade isključivo sa informacijama u digitalnom obliku, primjenjuje se analogni digitalni (AD) konverter. Analogni signali su kontinuirani pa mogu imati bilo koju od beskonačno mnogih vrijednosti. Digitalni signali su diskretni. AD konverter služi za pretvorbu analognih signala u digitalne. Ova oprema mora imati visoku rezoluciju kako bi mogla mjeriti male promjene napona, te veliku brzinu obrade signala kako bi mogla pratiti vrlo brze promjene. Na primjer ako se motor okreće brzinom od  $3000 \text{ min}^{-1}$ , znači da svake sekunde napravi 50 okretaja, što znači da svaki puni okretaj traje  $0.02 \text{ s}$ . Tlak se može povećati za 100 bar u  $10^0$  okreta, odnosno u  $0.02 \times 360 / 10 = 0.00056 \text{ s}$ .



Mjerenje sile: u tu svrhu najčešće se zbog točnosti mjerenja, koriste tenzometrijske trake. Princip rada se bazira na piezoelektričnom efektu, odnosno na svojstvu nekih materijala (na primjer kvarca  $\text{SiO}_2$ ) da se uslijed deformacije stvara napon, koji je proporcionalan sili (sl. 26.9). Poznajući silu i krak na kojoj djeluje, lako izračunamo okretni moment motora, koji pomnožen sa brzinom vrtnje daje snagu na vratilu.

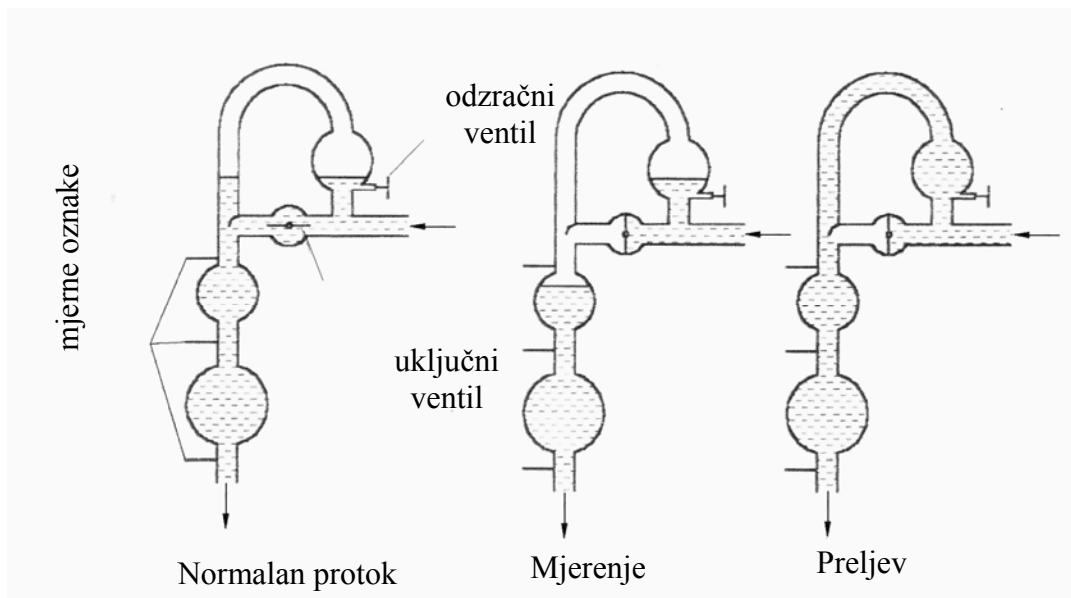


Sl. 26.9. Piezoelektrični efekt

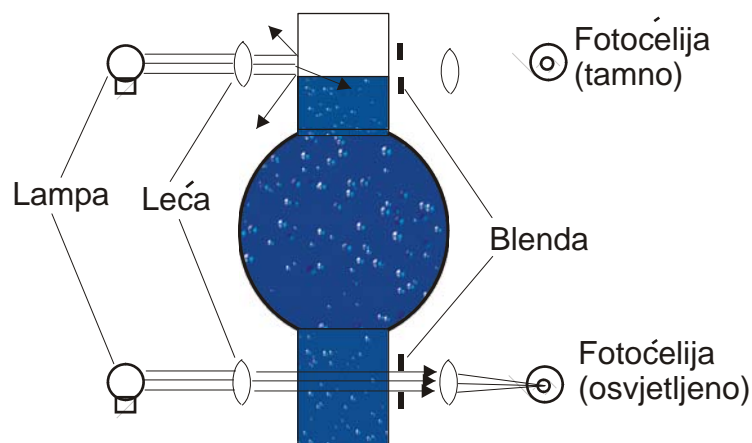
Mjerenje brzine vrtnje: mjeri se raznim tahometrima, mehaničkim ili električnim s induktivnim davačima, ili fotoelektričnim. Osim brzine interesantno je mjerenje položaja koljenastog vratila.

Mjerenje tlakova: najatraktivnije, ali i najzahtjevnije je mjerenje tlaka u cilindru koje se još naziva i indiciranje. Problem kod ovog mjerenja je što se velike promjene tlaka događaju u izuzetno kratkom vremenu, pa ih je teško pratiti. Osim toga, senzor treba biti vrlo kompaktan kako bi se mogao smjestiti što bliže cilindru kako ne bi došlo do kašnjenja mjerenog poremećaja tlaka ili do valnih pojava. To se uspješno rješava sa piezoelektričnim davačima tlaka. Indicirani tlak nam omogućuje, uz mjerenje kuta koljenastog vratila, izračun indiciranog rada i srednjeg efektivnog tlaka. Osim tlaka u cilindru, važni su i tlakovi različitih medija, koji se mjere raznim manometrima ili "U cijevima" punjenim vodom ili živom. Kod motora s prednabijanjem, mjeri se i tlak prednabijanja.

Mjerenje potrošnje: najvažnija je potrošnja goriva. Najefikasniji način je da se mjeri vrijeme potrebno da se potroši određena količina (volumen ili masa) goriva (sl. 26.10). To se može mjeriti ručno, ali preciznije je automatski pomoću fotočelija (sl. 26.11).



Sl. 26.10. Mjerenje potrošnje goriva



Sl. 26.11. Mjerenje potrošnje goriva pomoću fotoćelije

Osim goriva može se mjeriti i potrošnja (protok) zraka, rashladne vode i ulja za podmazivanje.

Mjerenje temperature: mjeri se temperatura raznih medija: rashladne vode, ulja za podmazivanje i ispušnih plinova. Ovo je vrlo važno za izračun odvedene topline. Ako mjerimo temperaturu medija (vode, ulja ili zraka) ispred i iza hladnjaka možemo odrediti

promjenu temperature. Poznavajući protok, specifičnu toplinu i promjenu temperature, lako je izračunati izmijenjenu toplinu, koju možemo kasnije upotrijebiti za bilancu energije:

$$\dot{Q} = \dot{M}c_p\Delta T \quad (26.9)$$

Mjerenje emisija: mjeri se sastav dimnih plinova. Ugljik - dioksid CO<sub>2</sub> i voda H<sub>2</sub>O su neizbježni i normalni produkti izgaranja. Interesantniji su nam ugljik - monoksid CO, CH<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, i čađa. Količina čađe se mjeri na način da se plinovi izgaranja usmjere na staklo pa se nakon određenog vremena uspoređuje prozirnost tog stakla sa staklima predviđenim za usporedbu.

### Standardi

Snaga motora koja je interesantna za proizvođača i za krajnjeg korisnika je snaga na spojci koja je direktno pričvršćena na zamašnjak. Radi jednoznačnosti snaga motora definira se standardom. U tu svrhu postoje standardi:

- općenito za snagu motora      ISO 3046
- za motore za vozila            DIN 70020
- za opću namjenu                DIN 6270
- hrvatski                            HRN M.F2.025
- talijanski                         CUNA (Commissione Unificazione Normalizzazione Autoveicoli)
- američki                            SAE (Society of Automotive Engineers)

Na primjer DIN 70020 definira faktor korekcije za korekciju snage motora ako se mjerenje obavlja u uvjetima okoline različitim od standardnih a koji utječu na performanse motora. Po ovom standardu polazni uvjeti su  $p_0=1,013\text{bar}$  i  $T_0=293\text{K}$ . Korigirana snaga je:

$$P_{\text{kor}} = k P \quad (26.10)$$

a faktor korekcije je:

$$k = \frac{P}{P_0} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (26.11)$$

pri čemu su  $p$  i  $T$  izmjereni tlak i temperatura a  $P$  izmjerena snaga motora.

## 27. LABORATORIJSKA VJEŽBA

### 27.1 Podaci o motoru, okolini i opremi

a) Mjerenje snage i potrošnje se vrši na dizelskom motoru Torpedo BT4L912 sljedećih karakteristika:

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| Promjer cilindra, $D$ | 0,102 m |
| Stapaj, $S$           | 0,120 m |
| broj cilindara, $z$   | 4       |

b) Indiciranje se vrši na dizelskom motoru MAN D 0826 LOH15 s direktnim ubrizgavanjem i 6 cilindara u liniji sljedećih karakteristika:

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Promjer cilindra, $D$                | 0,108 m   |
| Stapaj, $S$                          | 0,125 m   |
| Radius koljena, $R$                  | 0,0625 m  |
| Dužina ojnice, $L_{oj}$              | 0,1872 m  |
| Omjer polužja, $\lambda$             | $0,0625/0,1872 = 0,333867521$                           |
| Stupanj kompresije, $\varepsilon$    | 18  |
| Stapajni volumen (1 cilindar), $V_s$ | $0,00114511 \text{ m}^3$                                |
| Kompresijski volumen, $V_c$          | $V_c = V_s/(\varepsilon - 1) = 0.000067359 \text{ m}^3$ |

Uvjeti za vrijeme ispitivanja su bili: temperatura  $\vartheta = 24^\circ\text{C}$ , i atmosferski tlak  $p = 1,0119$  bar.

Korištena je hidraulička kočnica Zollner B-350 AC ( $400 \text{ KS}/6500 \text{ min}^{-1}$ ). Krak sile kočenja je duljine 0,9549 m. Tlak u cilindru mjeren je piezoelektričnim davačem.

Spremnik za mjerenje količine goriva ima obujam  $V_0 = 100 \text{ cm}^3$ . Izmjerena je gustoća goriva  $\rho_g = 830 \text{ kg/m}^3$ .

### 27.2 Opis vježbe

a) Motor Torpedo BT4L912 spojen je na kočnicu kao na shemi (slika 26.8). Upaljen je i postignuta je maksimalna brzina vrtnje bez opterećenja. Nakon toga se je sila kočenja postupno povećavala a brzina vrtnje padala. Mjerena je brzina vrtnje, sila kočenja, i vrijeme potrebno da se potroši gorivo u spremniku za mjerenje. Izmjereni podaci prikazani su u sljedećoj tablici:

Tab. 27.1. Podaci dobiveni mjerenjem

| $n$ (min <sup>-1</sup> ) | $F$ (kp) | $\tau$ (s) |
|--------------------------|----------|------------|
| 2300                     | 41,5     | 17,9       |
| 2200                     | 44,5     | 17,8       |
| 2000                     | 46,2     | 19,1       |
| 1800                     | 48,4     | 23,7       |
| 1600                     | 47       | 23,2       |
| 1500                     | 47       | 24,5       |
| 1400                     | 46,7     | 25,9       |
| 1200                     | 44,6     | 29,6       |
| 1000                     | 39,6     | 35,7       |

Potrebno je izraditi karakteristične dijagrame: ovisnost snage, momenta, srednjeg specifičnog tlaka i specifične potrošnje goriva o brzini vrtnje.

b) Indiciran je tlak u cilindru na motoru i mjerena položaj koljenastog vratila MAN D 0826 LOH15 za jednu radnu točku. Rezultati mjerenja priloženi su u Excell datoteci.

Potrebno je napraviti:

- $p, \varphi$  - dijagram
- $p, V$  - dijagram
- $p-V$  - dijagram, samo donji dio od izmjene radnog medija
- $\log p, \log V$  - dijagram

Odrediti:

- indicirani rad
- indiciranu snagu
- srednji indicirani tlak procesa
- indicirani stupanj djelovanja
- srednji efektivni tlak procesa
- efektivni stupanj djelovanja
- srednji tlak mehaničkih gubitaka
- mehanički stupanj djelovanja

### 27.3 Primjer obrade i prezentacije rezultata

a) Obrada rezultata dobivenih mjerenjem sile kočenja, brzine vrtnje i potrošnje za motor Torpedo BT4L912

U Excell datoteku u prva tri stupca upisati podatke o brzini vrtnje, o sili kočenja i o vremenu potrebnom da se potroši gorivo. U sljedećim stupcima izračunati:

Snagu:

$$P = \frac{Fn}{1360} \text{ [kW]}$$

faktor korekcije:

$$k = \frac{p}{p_0} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

korigiranu snagu:

$$P_{kor} = kP \text{ [kW]}$$

zakretni moment:

$$M = 9550 \frac{P_{kor}}{n} \text{ [Nm]}$$

ukupni radni volumen motora:

$$\Sigma V_h = \frac{D^2 \pi}{4} Sz \text{ [cm}^3\text{]}$$

srednji efektivni tlak:

$$p_e = \frac{1200 \cdot P_{kor}}{n \Sigma V_h} \text{ [bar]}$$

specifičnu potrošnju goriva:

$$g = \frac{V_0 \rho \cdot 3600}{\tau P_{kor}} \text{ [g/kW.h]}$$

potrošnju goriva po procesu:

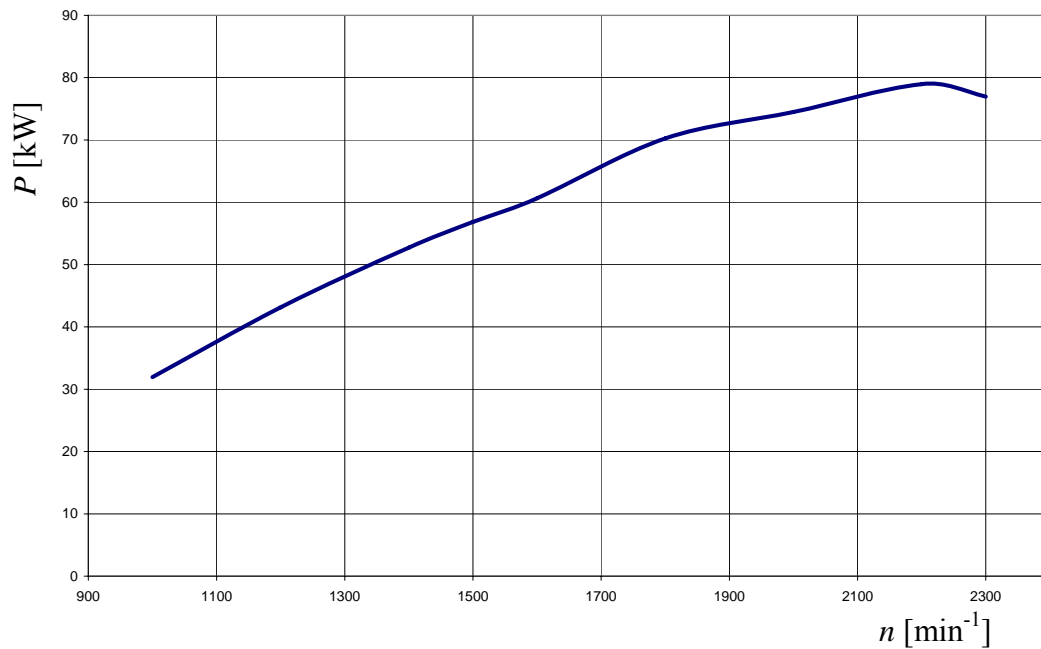
$$\beta = \frac{V \cdot 1000}{\frac{n}{2} \frac{\tau}{60} z} \text{ [mm}^3\text{/proc.]}$$

Iz ovih operacija rezultira sljedeća tablica:

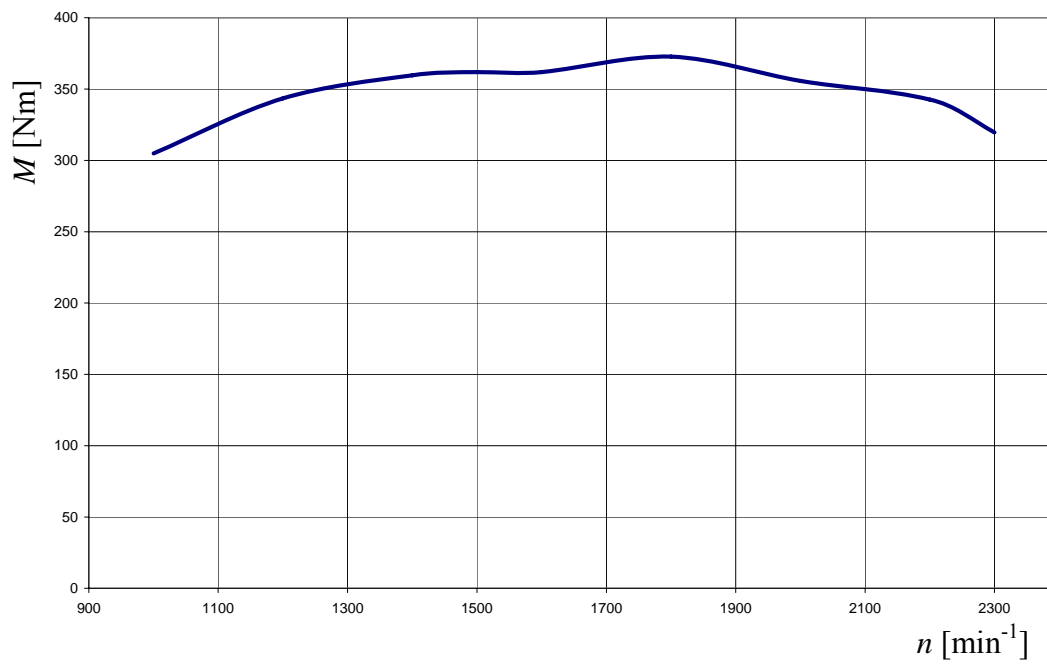
Tab. 27.2. Rezultati proračuna

| $n$<br>( $\text{min}^{-1}$ ) | $F$<br>(kp) | $\tau$<br>(s) | $P$<br>(kW) | $k$  | $P_{\text{kor}}$<br>(kW) | $M$<br>(Nm) | $\Sigma V_h$<br>(ccm) | $p_e$<br>(bar) | $g$<br>(g/kW.h) | $\beta$<br>( $\text{mm}^3/\text{proc}$ ) |
|------------------------------|-------------|---------------|-------------|------|--------------------------|-------------|-----------------------|----------------|-----------------|--|
| 2300                         | 41.5        | 18            | 70.18       | 1.10 | 76.97                    | 319.58      | 3.92                  | 10.24          | 216.88          | 72.87                                    |
| 2200                         | 44.5        | 18            | 71.99       | 1.10 | 78.94                    | 342.68      | 3.92                  | 10.98          | 212.64          | 76.61                                    |
| 2000                         | 46.2        | 17            | 67.94       | 1.10 | 74.51                    | 355.77      | 3.92                  | 11.40          | 234.52          | 87.72                                    |
| 1800                         | 48.4        | 24            | 64.06       | 1.10 | 70.25                    | 372.71      | 3.92                  | 11.94          | 179.47          | 70.32                                    |
| 1600                         | 47          | 23            | 55.29       | 1.10 | 60.64                    | 361.93      | 3.92                  | 11.60          | 212.40          | 80.82                                    |
| 1500                         | 47          | 25            | 51.84       | 1.10 | 56.85                    | 361.93      | 3.92                  | 11.60          | 214.54          | 81.63                                    |
| 1400                         | 46.7        | 26            | 48.07       | 1.10 | 52.72                    | 359.62      | 3.92                  | 11.52          | 218.83          | 82.74                                    |
| 1200                         | 44.6        | 30            | 39.35       | 1.10 | 43.16                    | 343.45      | 3.92                  | 11.00          | 233.91          | 84.46                                    |
| 1000                         | 39.6        | 36            | 29.12       | 1.10 | 31.93                    | 304.95      | 3.92                  | 9.77           | 262.12          | 84.03                                    |

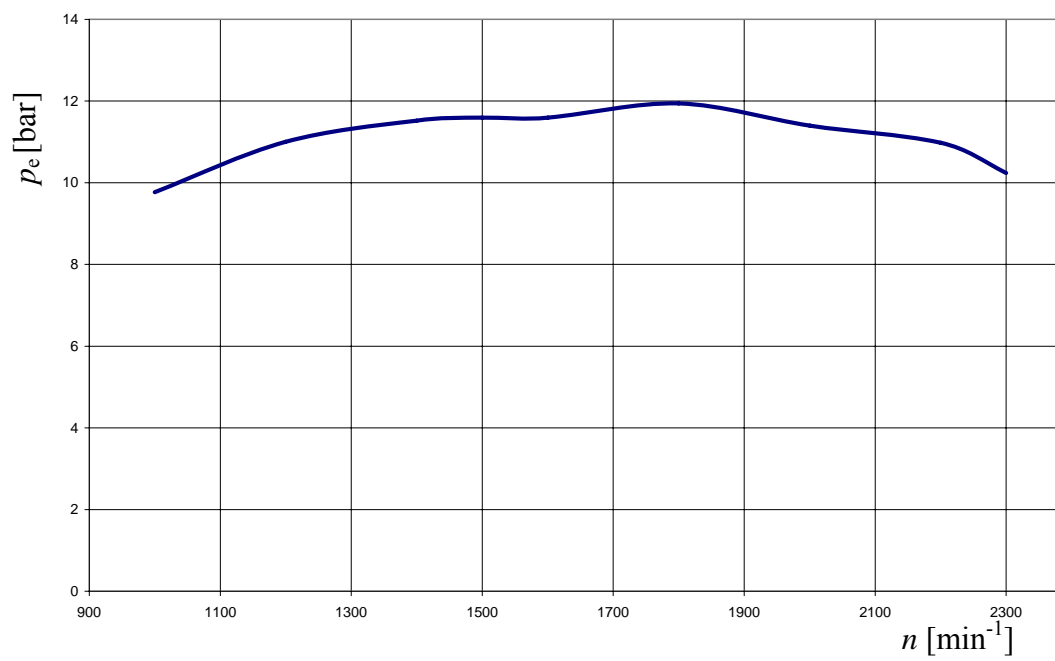
Iz ove tablice izrađeni su dijagrami:



Sl. 27.1. Snaga

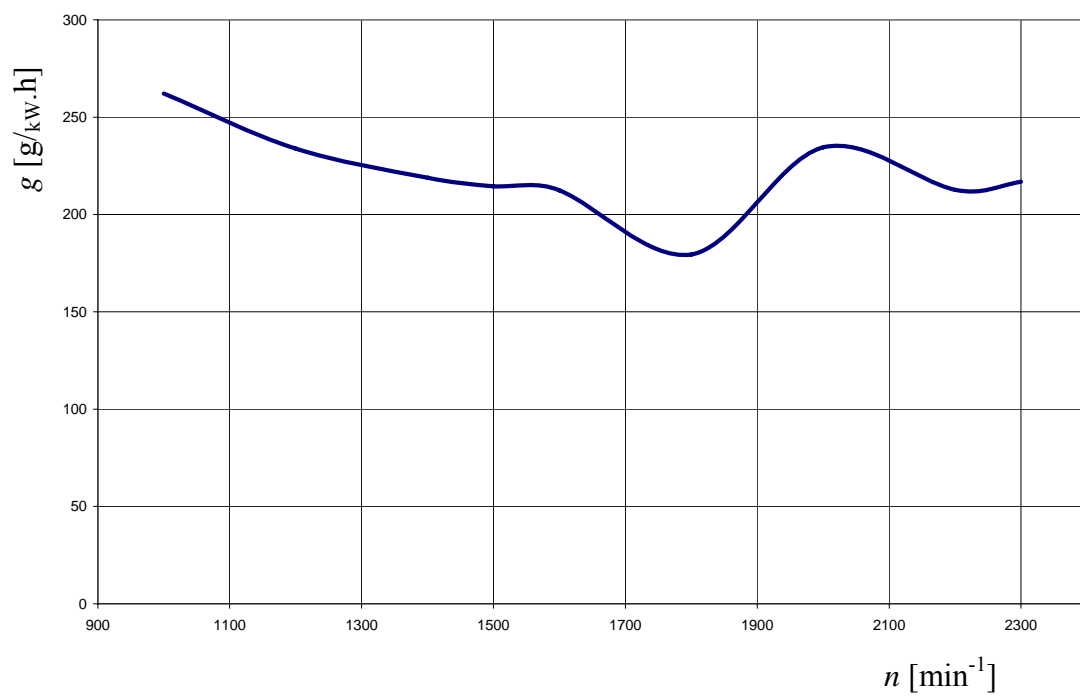


Sl. 27.2 Okretni moment

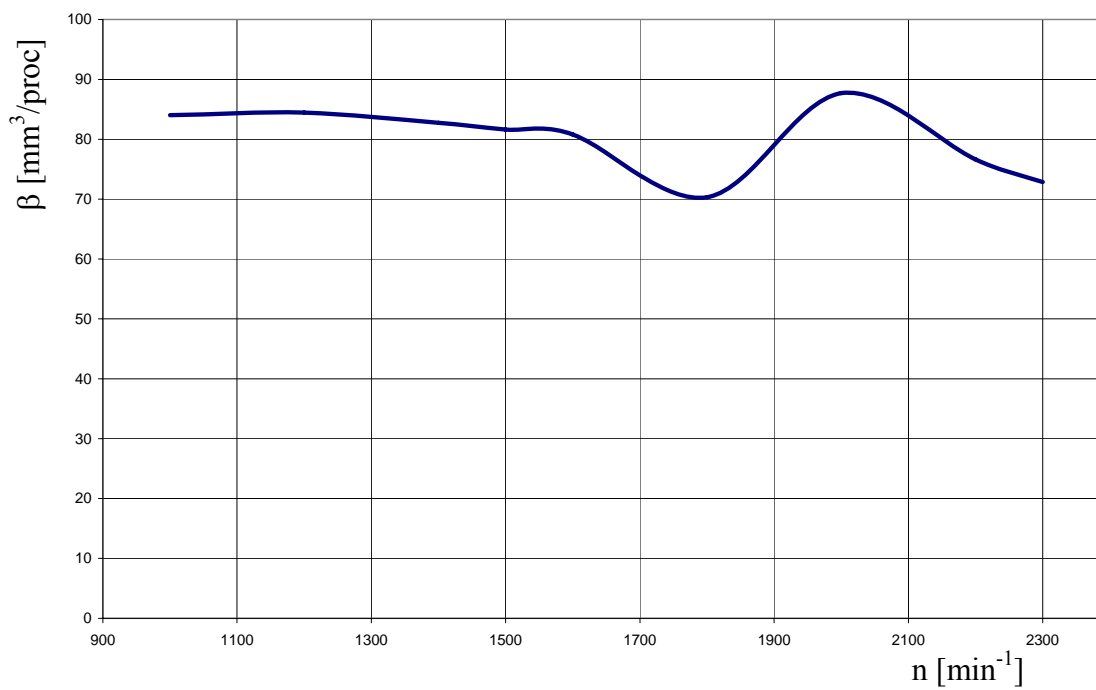


Sl. 27.3 Srednji efektivni tlak





Sl. 27.4 Specifična potrošnja goriva



Sl. 27.5. Potrošnja goriva po procesu

b) Obrada rezultata dobivenih indiciranjem na motoru MAN D 0826 LOH15 za radnu točku pri brzini vrtnje  $1200 \text{ s}^{-1}$  i silom kočenja  $102 \text{ N}$

Stupci u priloženoj Excell datoteci sadrže: indeks, kut koljenastog vratila u stupnjevima, napon koji daje piezo-davač tlaka, tlak u barima dobiven iz napona. Potrebno je izračunati kut u radijanima jer su trigonometrijske funkcije u Excellu definirane za kut u radijanima. U Excellu je izračunan hod klipa

$$x_A = r \left[ 1 + \frac{1}{\lambda} - \cos \varphi - \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi} \right]$$

i volumen za svaki kut

$$V(\varphi) = V_c + x_A \frac{D_{cil}^2 \cdot \pi}{4}$$

Pomoću ovih rezultata dobiveni su dijagrami.

Izračunati i indicirani rad:

$$W_i = \int p \cdot dV = \sum p \cdot dV = 217,945 \text{ [J]}$$

indiciranu snagu:

$$P_i = W_i \cdot z \cdot \frac{n}{30000 \cdot \tau} = 217,945 \cdot 6 \cdot \frac{1200}{30000 \cdot 4} = 13,077 \text{ [kW]}$$

pri čemu je  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ], a  $\tau = 2$  ili  $4$ , taktnost motora,

srednji indicirani tlak:

$$p_{sr,i} = \frac{W_i}{V_s} = \frac{217,945}{0,00114511 \cdot 100000} = 1,903267 \text{ [bar]}$$

dovedenu energiju gorivom:

$$Q_{dov} = \frac{m_g \cdot H_d \cdot \tau}{z \cdot n \cdot 60 \cdot 2} = \frac{3,47 \cdot 42700000 \cdot 4}{6 \cdot 1200 \cdot 60 \cdot 2} = 685,97 \text{ [J]}$$

indicirani stupanj djelovanja:

$$\eta_{ind} = \frac{W_i}{Q_{dov}} = \frac{217,945}{685,97} = 0,317719$$

efektivnu snagu za zadanu radnu točku:

$$P_{ef} = \frac{F \cdot n}{10000} = \frac{102 \cdot 1200}{10000} = 12,24 \text{ [kW]}$$

efektivni rad:

$$W_{ef} = P_{ef} \frac{\tau}{z \cdot 2 \cdot n} = 12,24 \cdot \frac{4 \cdot 1000 \cdot 60}{6 \cdot 2 \cdot 1200} = 204 \text{ [J]}$$

efektivni stupanj djelovanja:

$$\eta_{ef} = \frac{W_{ef}}{Q_{dov}} = \frac{204}{685,97} = 0,29739$$

mehanički stupanj djelovanja:

$$\eta_{ef} = \frac{\eta_{ef}}{\eta_{ind}} = \frac{0,29739}{0,317719} = 0,936016$$

srednji efektivni tlak:

$$p_{sr,ef} = \frac{1200 \cdot P_{ef}}{V_H \cdot n} = \frac{1200 \cdot 12,24}{6,87 \cdot 1200} = 1,781659 \text{ [bar]}$$

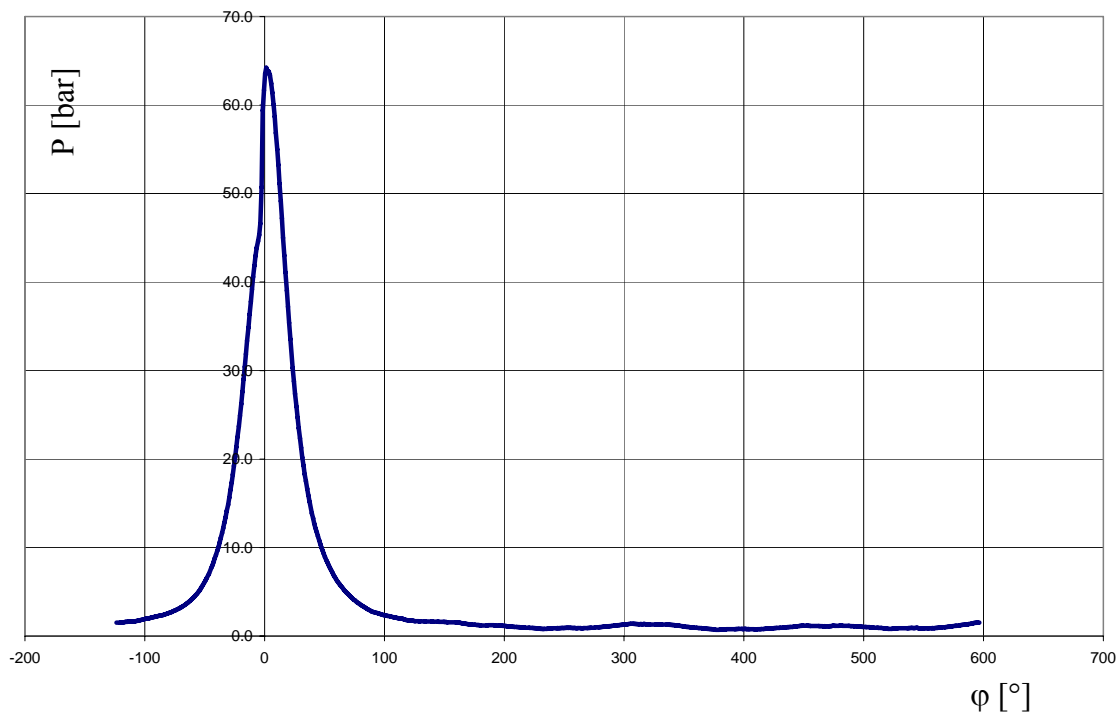
srednji tlak mehaničkih gubitaka:

$$p_{sr,meh} = p_{sr,i} - p_{sr,ef} = 1,903267 - 1,781659 = 0,121607 \text{ [bar]}$$

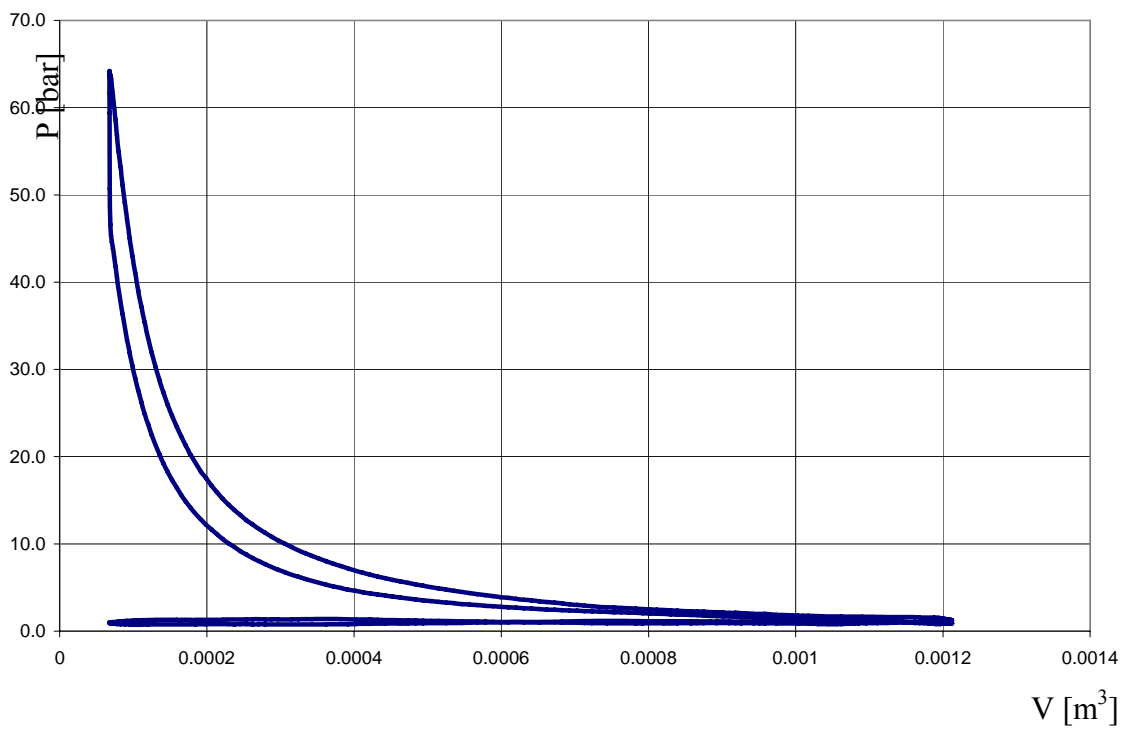
mehanički stupanj djelovanja:

$$\eta_{meh} = \frac{P_{ef}}{P_i} = \frac{12,24}{13,077} = 0,936$$

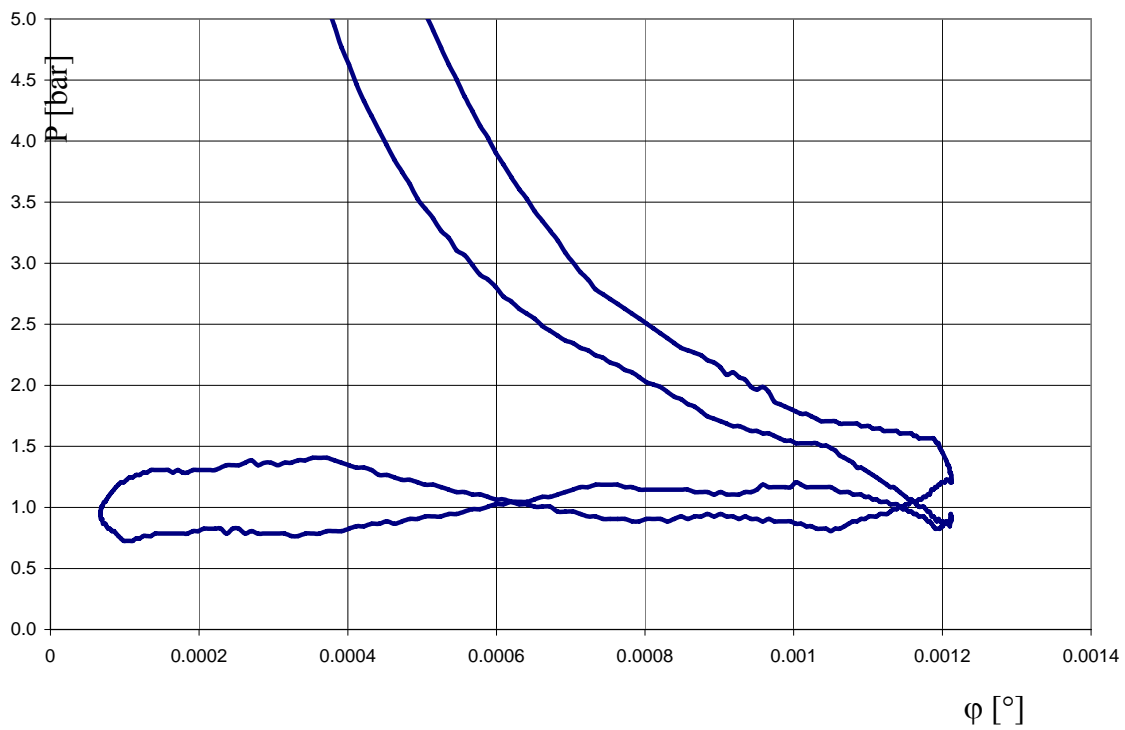
Dijagrami su prikazani u nastavku:



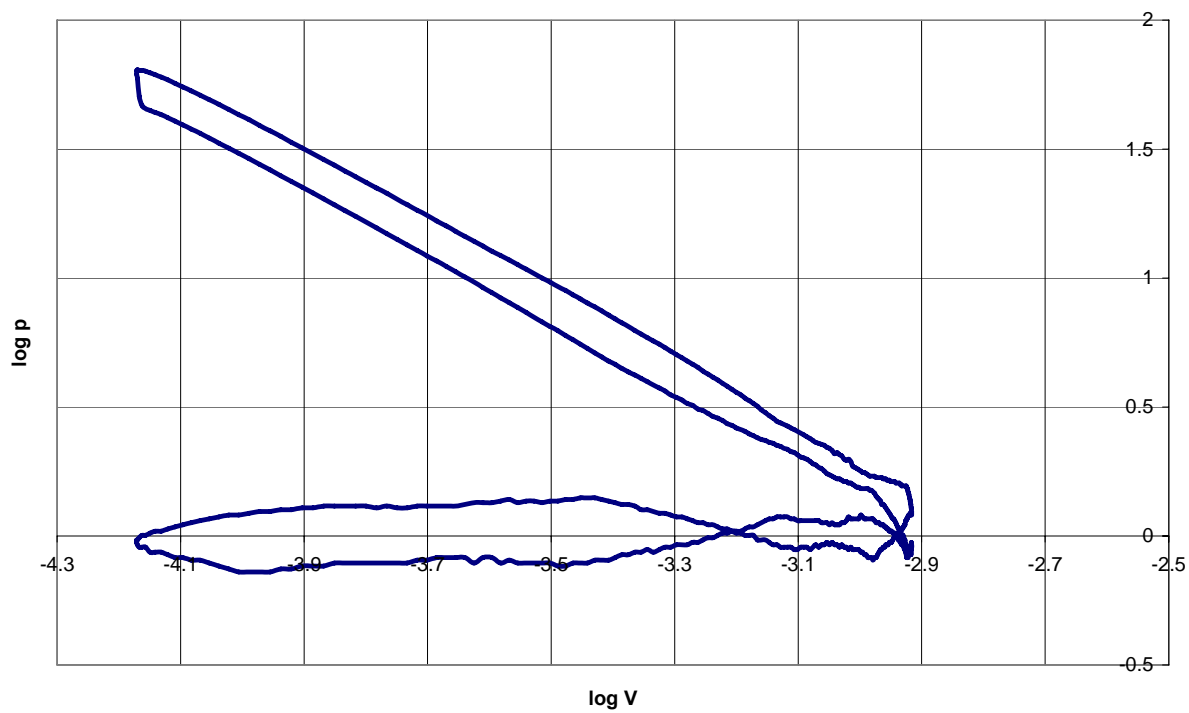
Sl. 27.6.  $p, \varphi$  - dijagram



Sl. 27.7  $p, V$  - dijagram



Sl. 27.8  $p, V$  - dijagram, uvećano područje izmjene radnog medija



Sl. 27.9  $\log p, \log V$  - dijagram