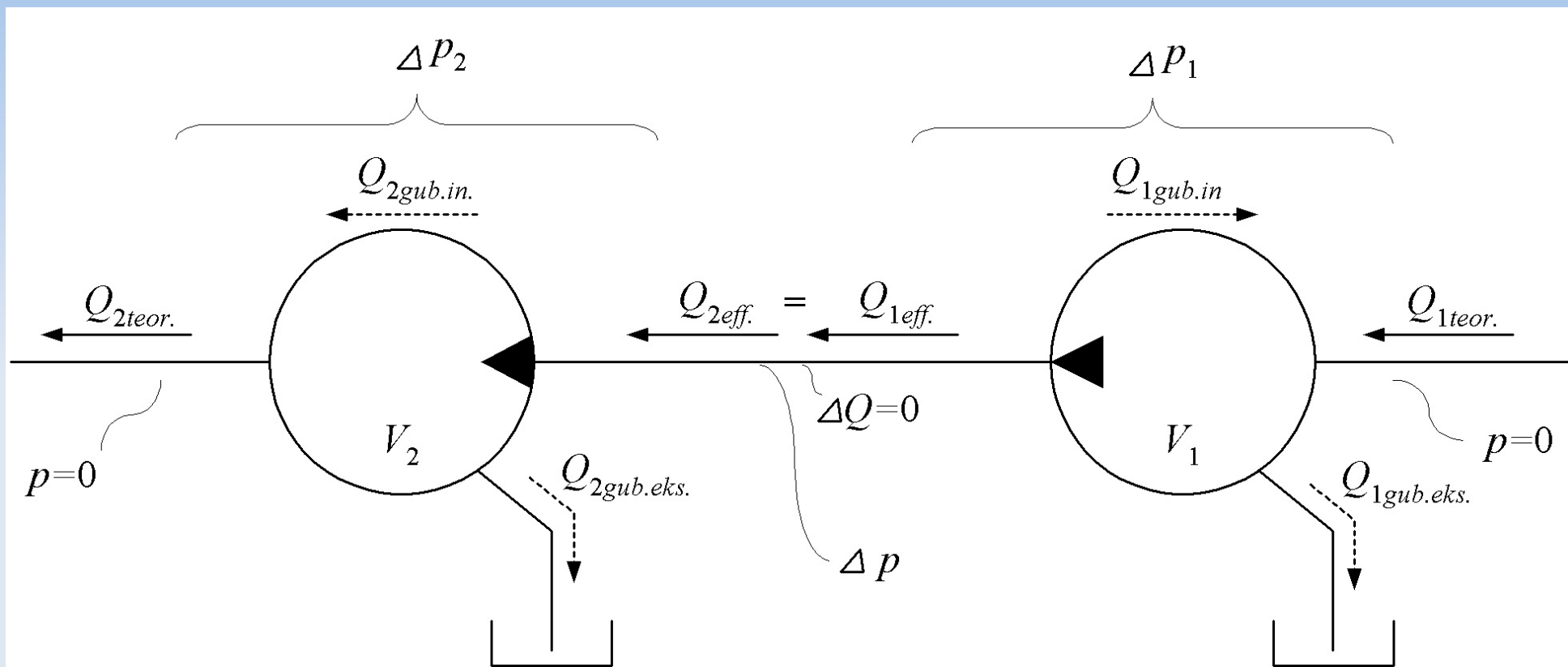


AUDITORNA VJEŽBA

STUPANJ KORISNOG DJELOVANJA

Mihael Cipek

STUPANJ KORISNOG DJELOVANJA



Dvije vrste gubitaka:

- Volumetrijski:
 - interni (curenje fluida unutar komponente, curenje među komorama...)
 - eksterni (curenje fluida u okolinu)
- Hidromehanički - trenje

STUPANJ KORISNOG DJELOVANJA

1) Volumetrijski gubici: $\eta_{vol} = \frac{Q_{izl}}{Q_{ul}}$

a) Pumpa: $Q_{1teor} = V_1 n_1$ $Q_{1eff} = Q_{1teor} \eta_{1vol}$

$$\eta_{1vol} = \frac{Q_{1eff}}{Q_{1teor}} = \frac{Q_{1teor} - Q_{1gub}}{Q_{1teor}}$$

b) Motor (Cilindar): $Q_{2teor} = V_2 n_2$

$$Q_{2eff} = \frac{Q_{2teor}}{\eta_{2vol}}$$

$$\eta_{2vol} = \frac{Q_{2teor}}{Q_{2eff}} = \frac{Q_{2teor}}{Q_{2teor} + Q_{2gub}}$$

3) Ukupni stupanj djelovanja:

$$\eta_{uk} = \eta_{meh} \cdot \eta_{vol} = \frac{P_{izl}}{P_{ul}}$$

$$\eta_1 = \frac{P_{1teor}}{P_{1eff}}$$

$$\eta_2 = \frac{P_{2eff}}{P_{2teor}}$$

2) Hidromehanički gubici: $\eta_{meh} = \frac{M_{izl}}{M_{ul}}$

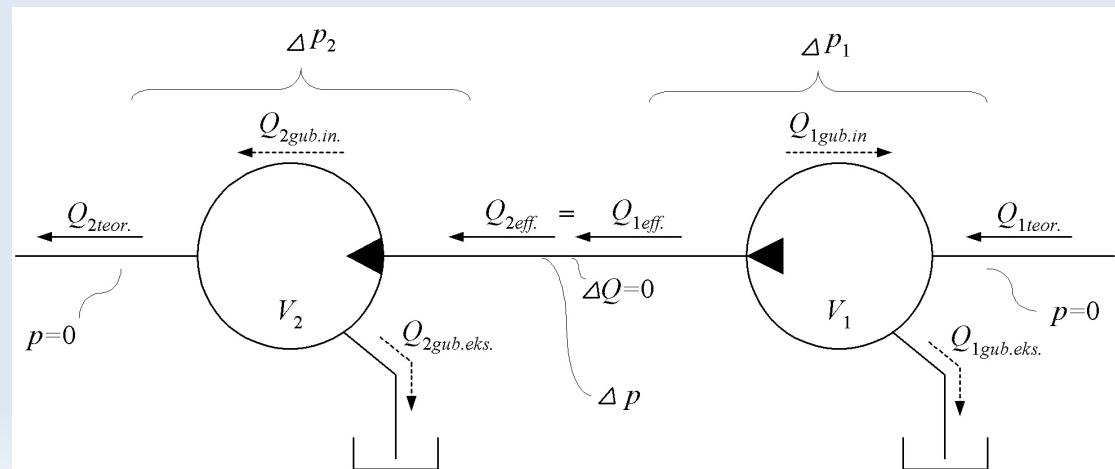
a) Pumpa: $M_{1teor} = \frac{\Delta p_1 V_1}{2 \pi}$ $M_{1eff} = \frac{M_{1teor}}{\eta_{1meh}}$

$$\eta_{1meh} = \frac{M_{1teor}}{M_{1eff}} = \frac{M_{1teor}}{M_{1teor} + M_{1gub}} \quad M_{1gub} - \text{trenje}$$

b) Motor (Cilindar): $M_{2teor} = \frac{\Delta p_2 V_2}{2 \pi}$

$$M_{2eff} = M_{2teor} \eta_{2meh}$$

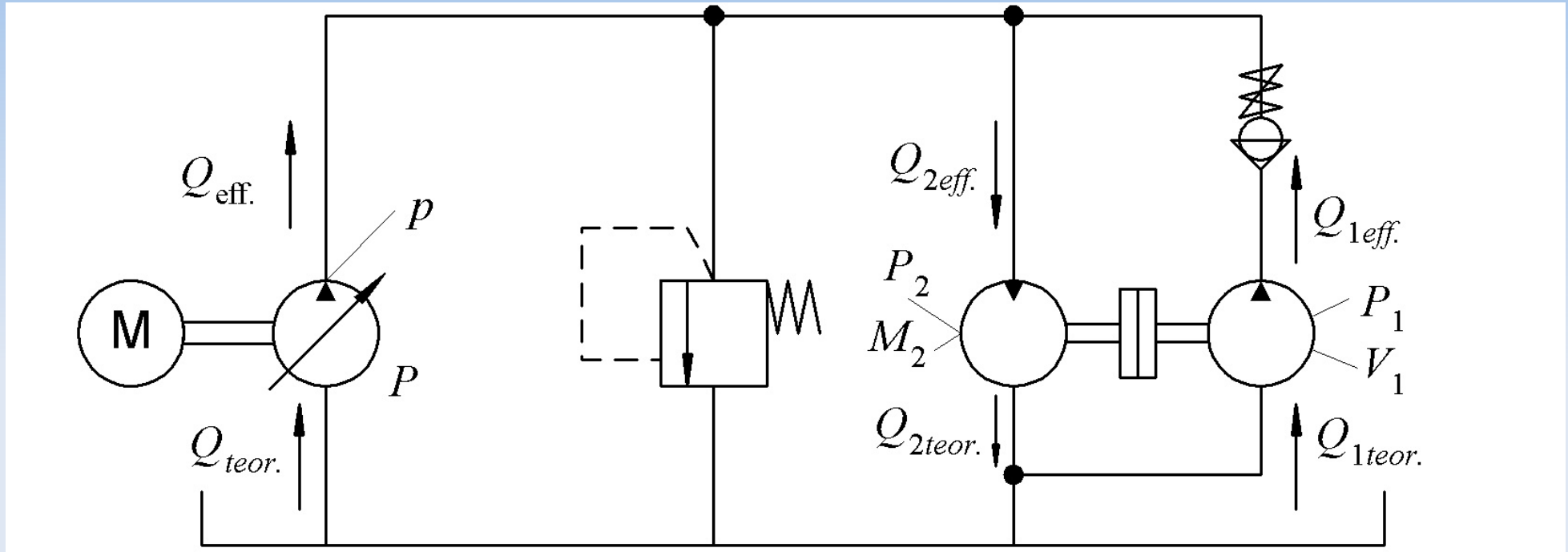
$$\eta_{2meh} = \frac{M_{2eff}}{M_{2teor}} = \frac{M_{2teor} - M_{2gub}}{M_{2teor}}$$



Zadatak

1:

1. Odrediti maksimalan protok pumpe P (Q_{eff}), tako da se osigura brzina vrtnje motora M₂ i pumpe P₁ od $n = 800 \text{ min}^{-1}$.
2. Odrediti snagu elektromotora M.



ZADANO:

Pumpa 'P': $\eta_{meh}=0.91$; $\eta_{vol}=0.92$;

Motor 'M2': $n = 800 \text{ min}^{-1}$; $V_2=250 \text{ cm}^3$

$\eta_{2meh}=0.915$; $\eta_{2vol}=0.93$;

Pumpa 'P1': $V_1=167 \text{ cm}^3$

$\eta_{1meh}=0.92$; $\eta_{1vol}=0.94$;

1. Odrediti maksimalan protok pumpe P (Q_{eff}), tako da se osigura brzina vrtnje motora M₂ i pumpe P₁ od $n = 800 \text{ min}^{-1}$.
2. Odrediti snagu elektromotora M.

1.

$$\eta_1 = \eta_{1\,vol} \, \eta_{1\,meh} = \frac{Q_{1\,eff}}{Q_{1\,teor}} \cdot \frac{M_{1\,teor}}{M_{1\,eff}}$$

$$\eta_2 = \eta_{2vol} \eta_{2meh} = \frac{Q_{2teor}}{Q_{2eff}} \cdot \frac{M_{2eff}}{M_{2teor}}$$

$$Q_{1\text{teor}} = V_1 \cdot n = 0.167 \cdot 800 = 133,6 \quad dm^3/min$$

$$Q_{1eff} = Q_{1teor} \cdot \eta_{1vol} = 133,6 \cdot 0,94 = 125,5 \quad dm^3/min$$

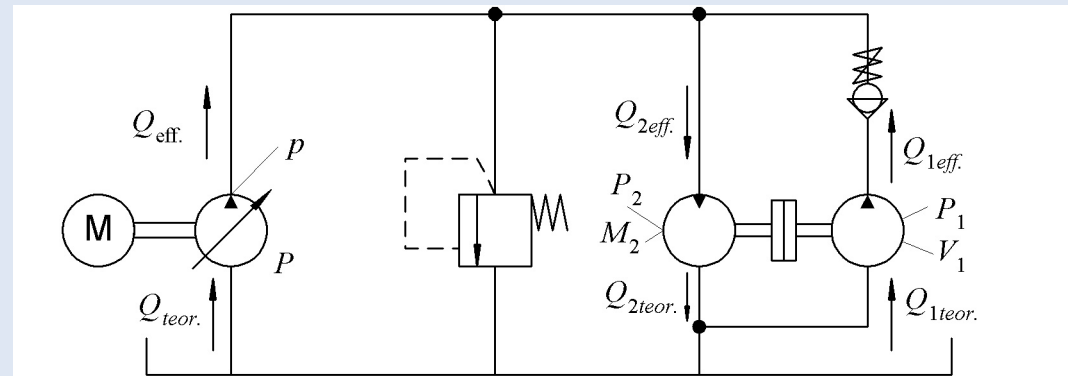
$$Q_{2_{teor}} = V_2 \cdot n = 0.25 \cdot 800 = 200 \quad dm^3/min$$

$$Q_{2eff} = \frac{Q_{2teor}}{\eta_{2vol}} = \frac{200}{0,93} = 215 \quad dm^3/min$$

$$Q_{eff} = Q_{2eff} - Q_{1eff} = 215 - 125,5 = 89,5 \quad dm^3/min$$

2.

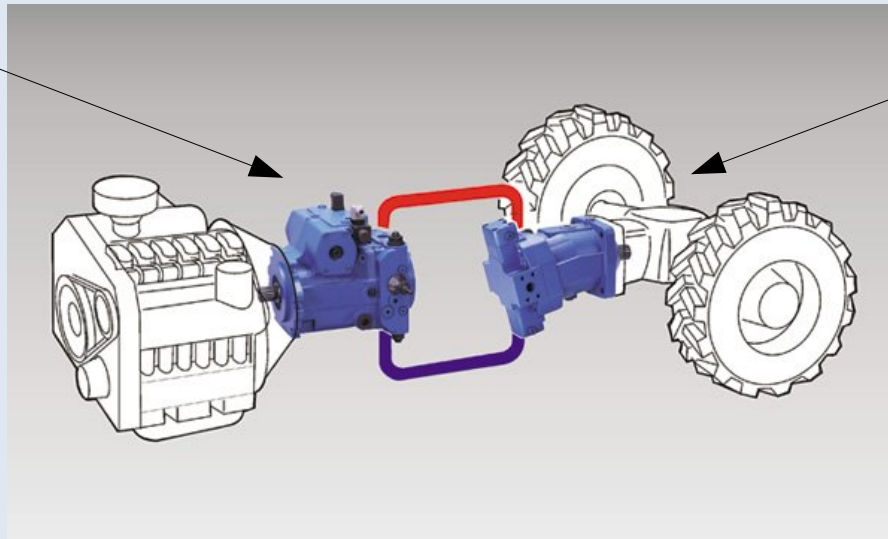
$$P_{mot} = \frac{Q_{eff} p}{\eta_{meh} \eta_{vol}} = \frac{89,5 \cdot 200}{0,91 \cdot 0,92} = 35,6 \quad kW$$



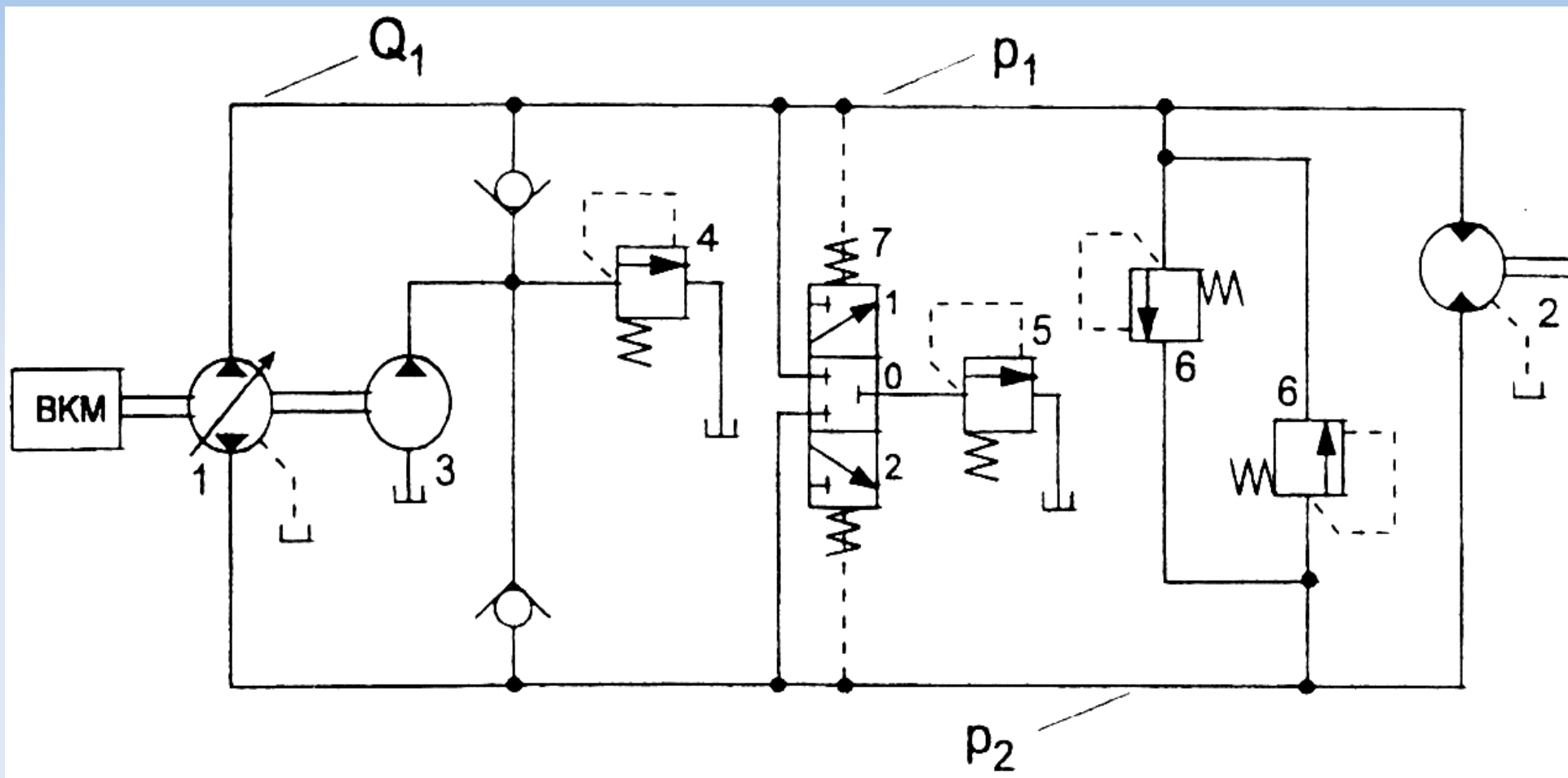
Zadatak 2:

HIDROSTATIČKI PRIJENOSNIK

- HDRAULIČKA PUPMA VARIJABILNOG VOLUMENA
- HDRAULIČKI MOTOR KONSTANTNOG VOLUMENA



SHEMA:



- 1 – Pumpa varijabilnog volumena
- 2 – Hidromotor konstantnog volumena
- 3 – Napojna pumpa (izmjena ulja, nadomještanje iscurenog ulja)
- 4 – Tlačni ventil, 5 – Tlačni ventil za povrat ulja
- 6 – Tlačni ventil za zaštitu od preopterećenja
- 7 – Ventil za ispiranje

Zadano:

Brzina vrtnje diesel motora: $n = 2000$ o/min

Tražena radna brzina hidromotora s konstantnim volumenom: $n_2 = 800$ o/min

Radni volumen motora $V_2 = 50$ cm³

Pumpa varijabilnog volumena postavljena je na volumen definiran kutom zakretne ploče $\alpha = Q_1/Q_{1.\max} = 0.4$

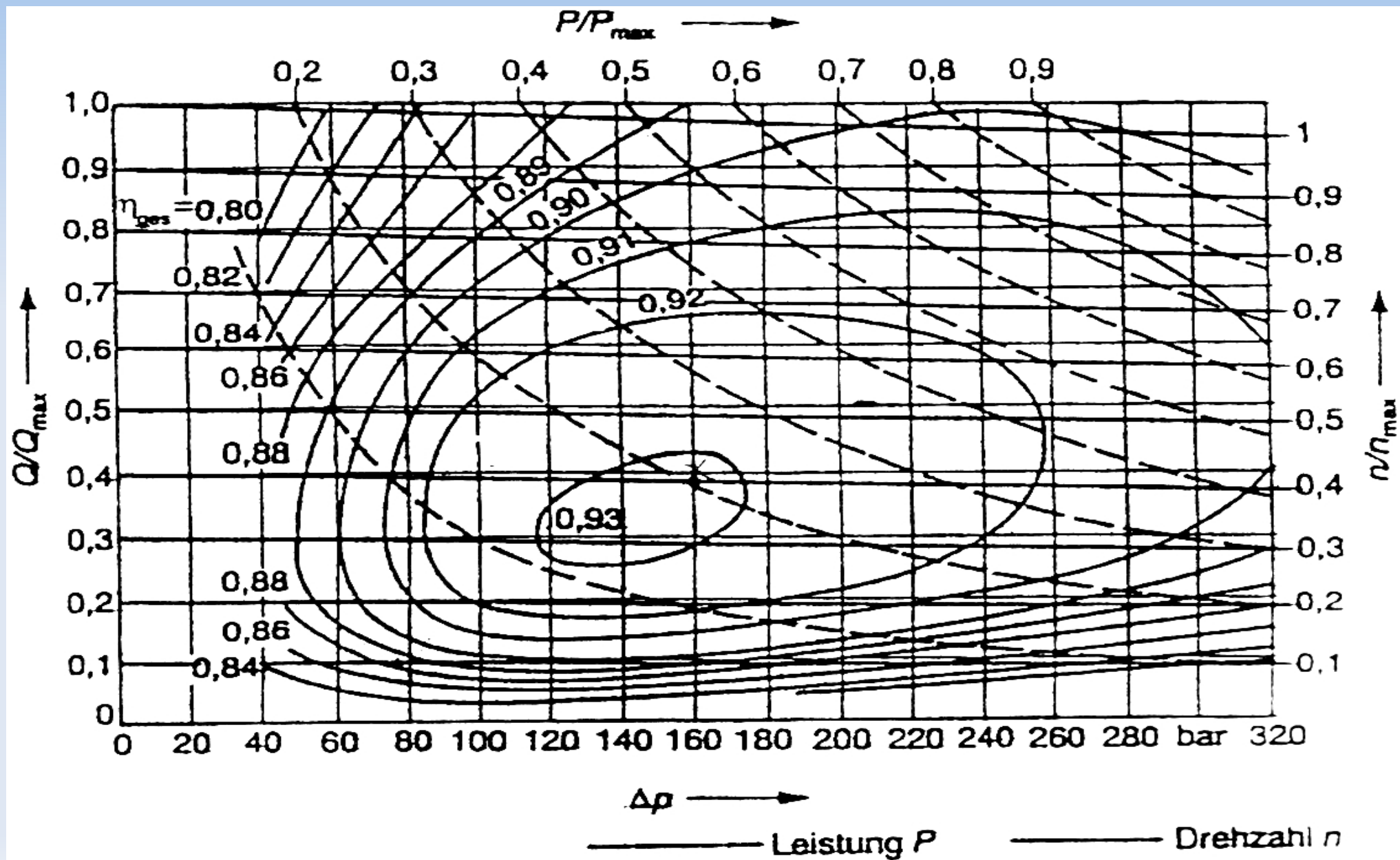
Tlak $p_1 = 160$ bar, $p_2 \cong 0$ bar, ostale gubitke pada tlaka zanemariti

Volumetrijski i hidrodinamički stupanj djelovanja motora su u odabranoj danoj točki jednaki $\eta_{uk} = \eta_{vol} \eta_{hm}$

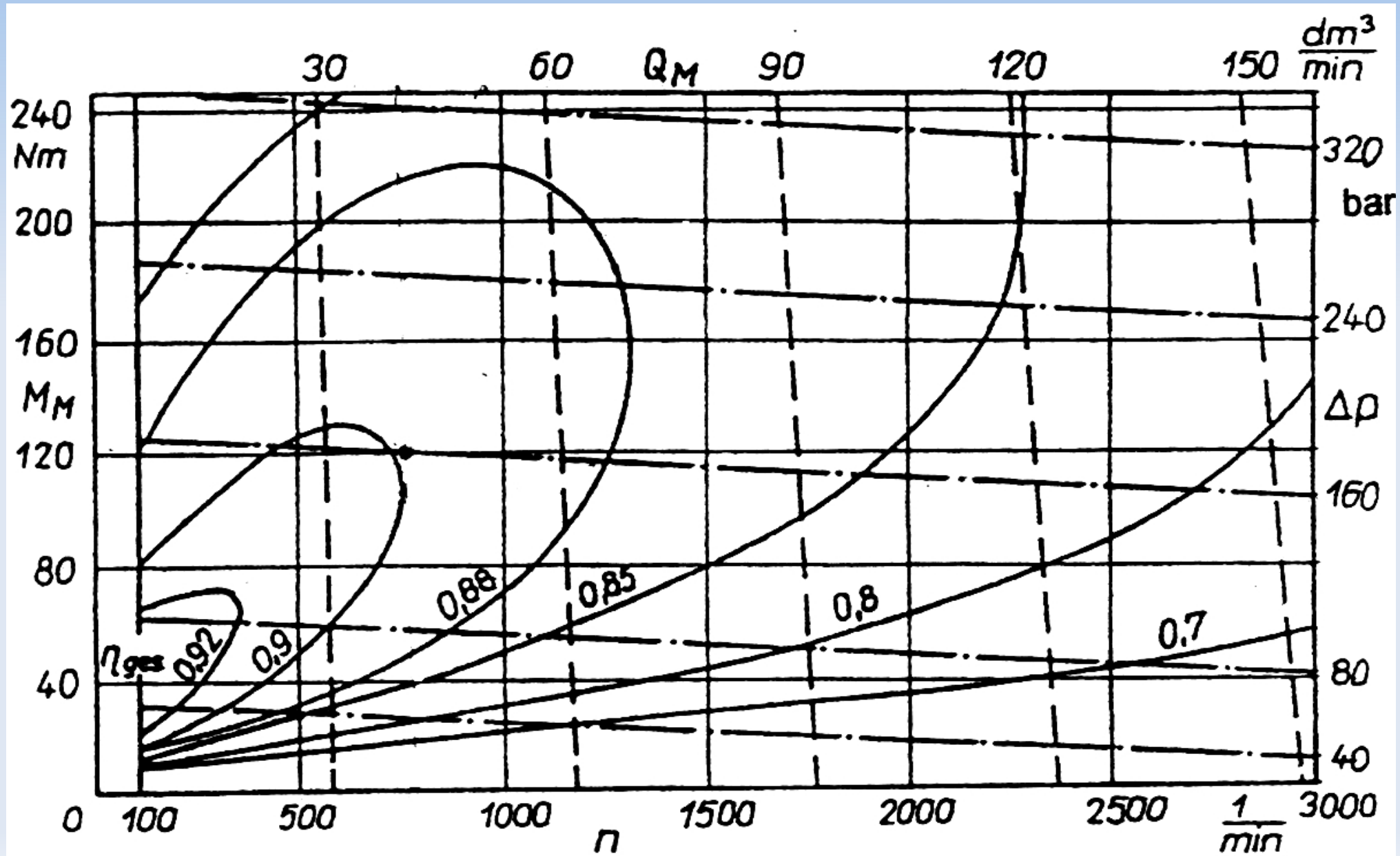
Stupanj djelovanja napojne pumpe $\eta_{uk.napajanja} = 0.98$

Stupnjeve djelovanja za pumpu i motor odrediti iz sljedećih dijagrama:

HIDRAULIČKA PUMPA VARIJABILNOG VOLUMENA



HIDRAULIČKI MOTOR KONSTANTNOG VOLUMENA



Potrebno je odrediti:

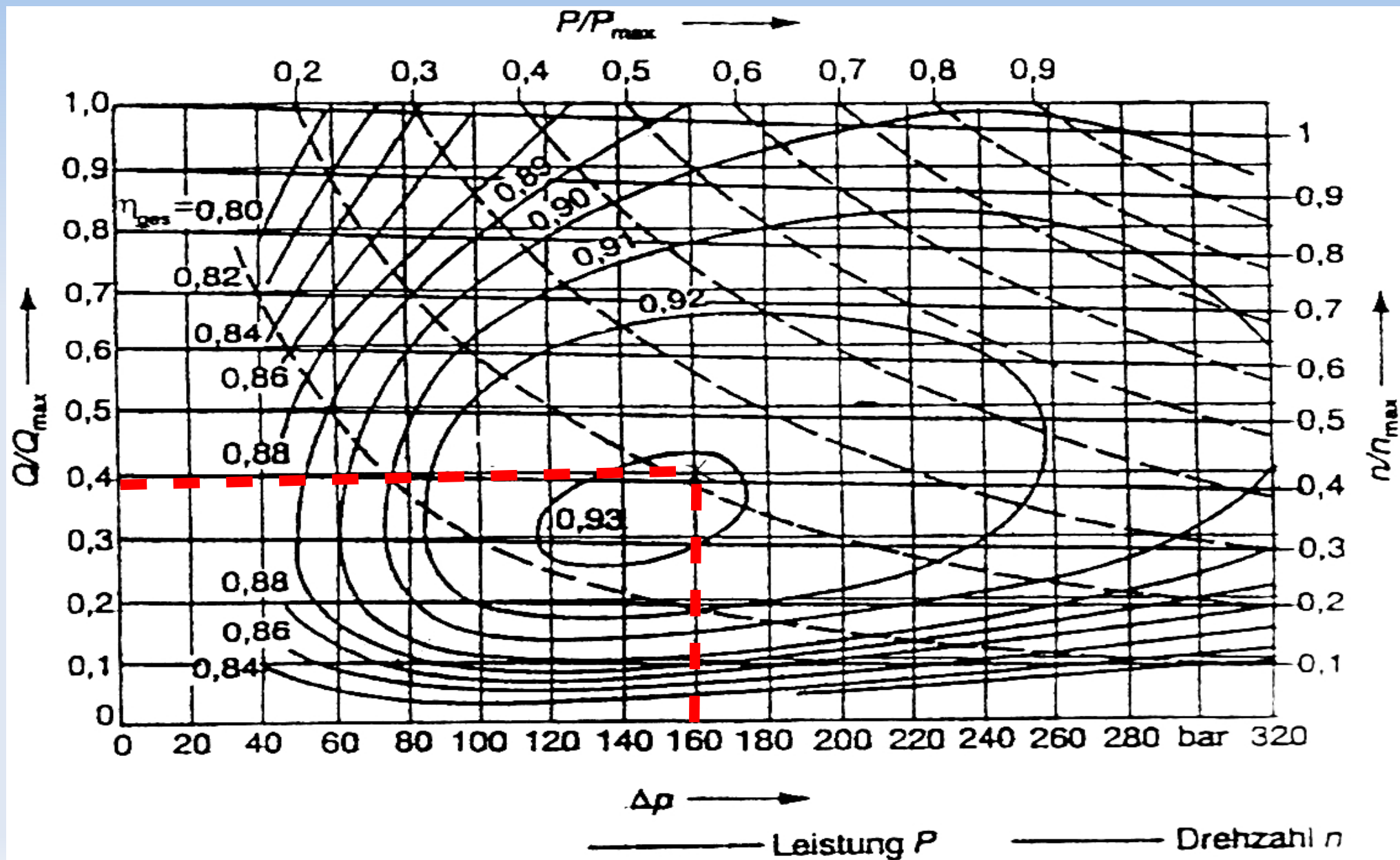
- a) Koliki je maksimalni volumen pumpe $V_{1.\max}$?
- b) Koliki je ukupni stupanj djelovanja prijenosnika η_{uk} ?
- c) Koliki bi bio ukupni stupanj djelovanja prijenosnika ako bi se radni tlak povećao na $p_1 = 320$ bar?

a)

$$\alpha = Q_1 / Q_{\max} = 0.4$$

$$p_1 = 160 \text{ bar}$$

$$\eta_{1. uk} = 0.93$$



a) Za radne parametre:

$$\alpha = Q_1 / Q_{\max} = 0.4$$

$$p_1 = 160$$

iz dijagrama se može očitati ukupan stupanj djelovanja hidrodinamičke pumpe:

$$\eta_{1.uk} = 0.93 \text{ (očitano)}$$

Budući da je zadano da su hidromehanički i volumetrijski stupanj djelovanja jednaki, slijedi:

$$\eta_{1.uk} = \eta_{1.vol} \eta_{1.hm} = \eta_{1.vol}^2 = \eta_{1.hm}^2 \Rightarrow$$

$$\eta_{1.vol} = \eta_{1.hm} = \sqrt{\eta_{1.uk}} = \sqrt{0.93} = 0.964$$

Prema danom volumenu hidromotora $V_2 = 50 \text{ cm}^3$ i brzini vrtnje $n_2 = 800 \text{ o/min}$ može se izračunati teorijski protok motora:

$$Q_{2.teor} = V_2 \cdot n_2 = 50 \cdot 800 = 40\,000 \text{ cm}^3/\text{min} = 40 \text{ dm}^3/\text{min}$$

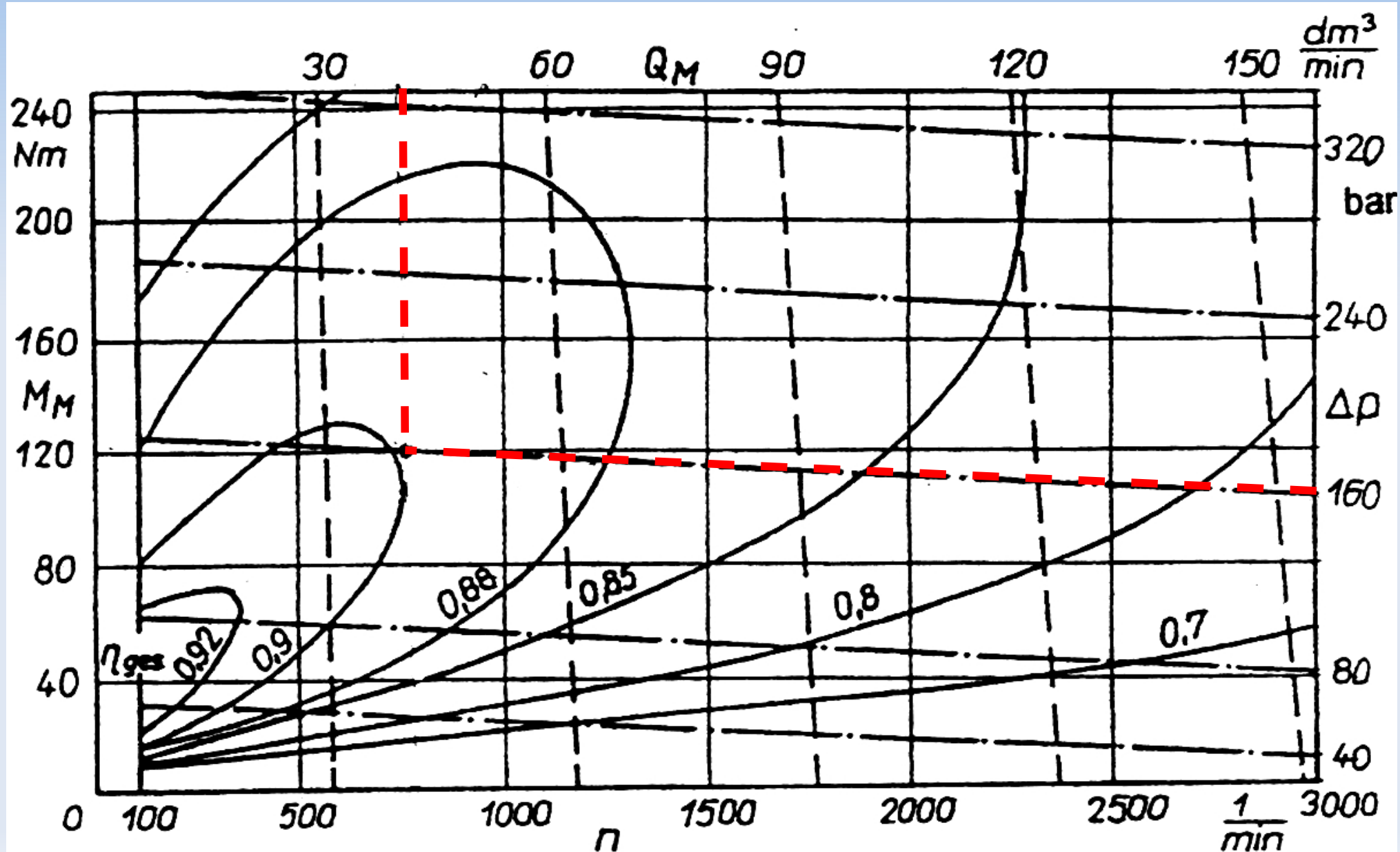
Stupanj djelovanja motora može očitati iz dijagrama za teorijski protok $Q_{2.teor}$ i pad tlaka $\Delta p = 160 \text{ bar}$:

a)

$$Q_{2.\text{teor}} = 40 \text{ dm}^3/\text{min}$$

$$\Delta p = 160 \text{ bar}$$

$$\eta_{2.uk} = 0.9$$



Iz dijagrama je očitano ukupni stupanj djelovanja:

$\eta_{2.uk}=0.9$ prema tome je volumetrijski stupanj djelovanja motora:

$$\eta_{2.vol} = \eta_{2.hm} = \sqrt{\eta_{2.uk}} = \sqrt{0.9} = 0.948$$

Efektivni (stvarni) protok koji je potrebno dovesti motoru kako bi brzina vrtnje bila jednaka traženoj od 800 o/min iznosi:

$$Q_{2.ef} = \frac{Q_{2.teor}}{\eta_{2.vol}} = \frac{40}{0.948} = 42.16 \quad dm^3/min$$

Efektivni protok $Q_{1.ef}$ odgovara efektivnom protoku motora $Q_{2.ef}$:

$$Q_{1.ef} = Q_{2.ef} = 42.16 \quad dm^3/min$$

Sada kada imamo protok pumpe za $\alpha = 0.4$ možemo odrediti maksimalan protok $Q_{1.\max}$ iz čega slijedi traženi $V_{1.\max}$ (maksimalni volumen pumpe). Kako je $\alpha = Q_1 / Q_{1.\max}$ vrijedi za teorijske vrijednosti $Q_1 = Q_{1.\text{teor}}$ pa je potrebno pomoću volumetrijskog stupnja djelovanja pumpe odrediti teorijski protok:

$$Q_1 = Q_{1.\text{teor}} = \frac{Q_{1.\text{ef}}}{\eta_{1.\text{vol}}} = \frac{42.16}{0.964} = 43.734 \quad dm^3/min$$

sada se može odrediti $Q_{1.\max}$:

$$Q_{1.\max} = \frac{Q_{1.\text{teor}}}{\alpha} = \frac{43.734}{0.4} = 109.34 \quad dm^3/min$$

Iz toga slijedi maksimalni volumen $V_{1.\max}$:

$$V_{1.\max} = \frac{Q_{1.\max}}{n} = \frac{109.34}{2000} = 0.05467 \quad dm^3 = 54.67 \quad cm^3$$

b) Ukupni stupanj djelovanja za danu radnu točku iznosi:

$$\eta_{uk} = \eta_{1.uk} \cdot \eta_{2.uk} \cdot \eta_{uk.napajanja} = 0.93 \cdot 0.9 \cdot 0.98 = 0.82 = 82 \%$$

c) Za tlak $p_1 = 320$ bar, i $\eta_{uk.napajanja}=0.98$ iz dijagrama se može očitati: $\eta_{1.uk}=0.91$, $\eta_{2.uk}=0.87$,

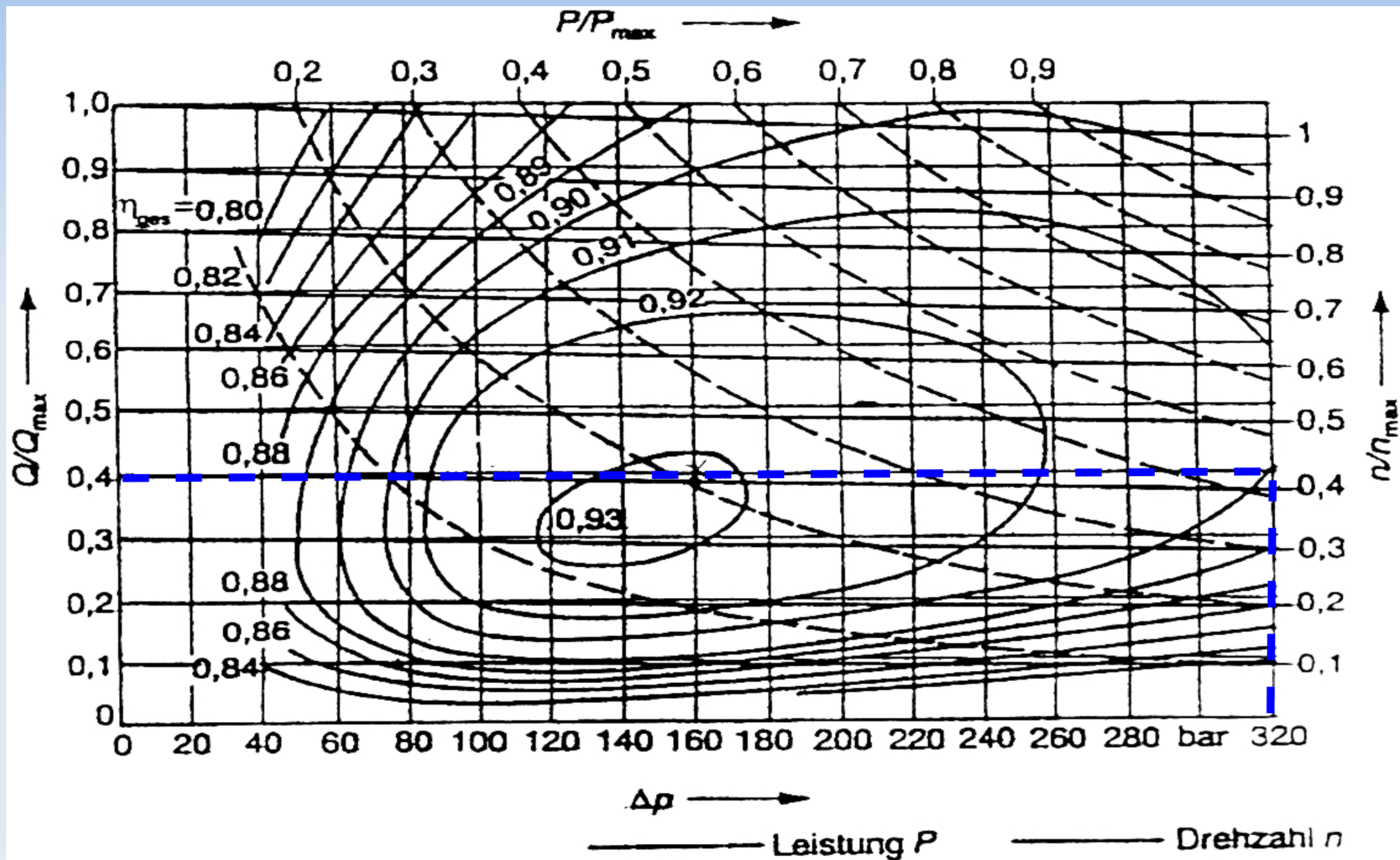
$$\eta_{uk} = \eta_{1.uk} \cdot \eta_{2.uk} \cdot \eta_{uk.napajanja} = 0.91 \cdot 0.87 \cdot 0.98 = 0.78 = 78\%$$

c)

$$\alpha = Q_1 / Q_{\max} = 0.4$$

$$p_1 = 320 \text{ bar}$$

$$\eta_{1. uk} = 0.91$$

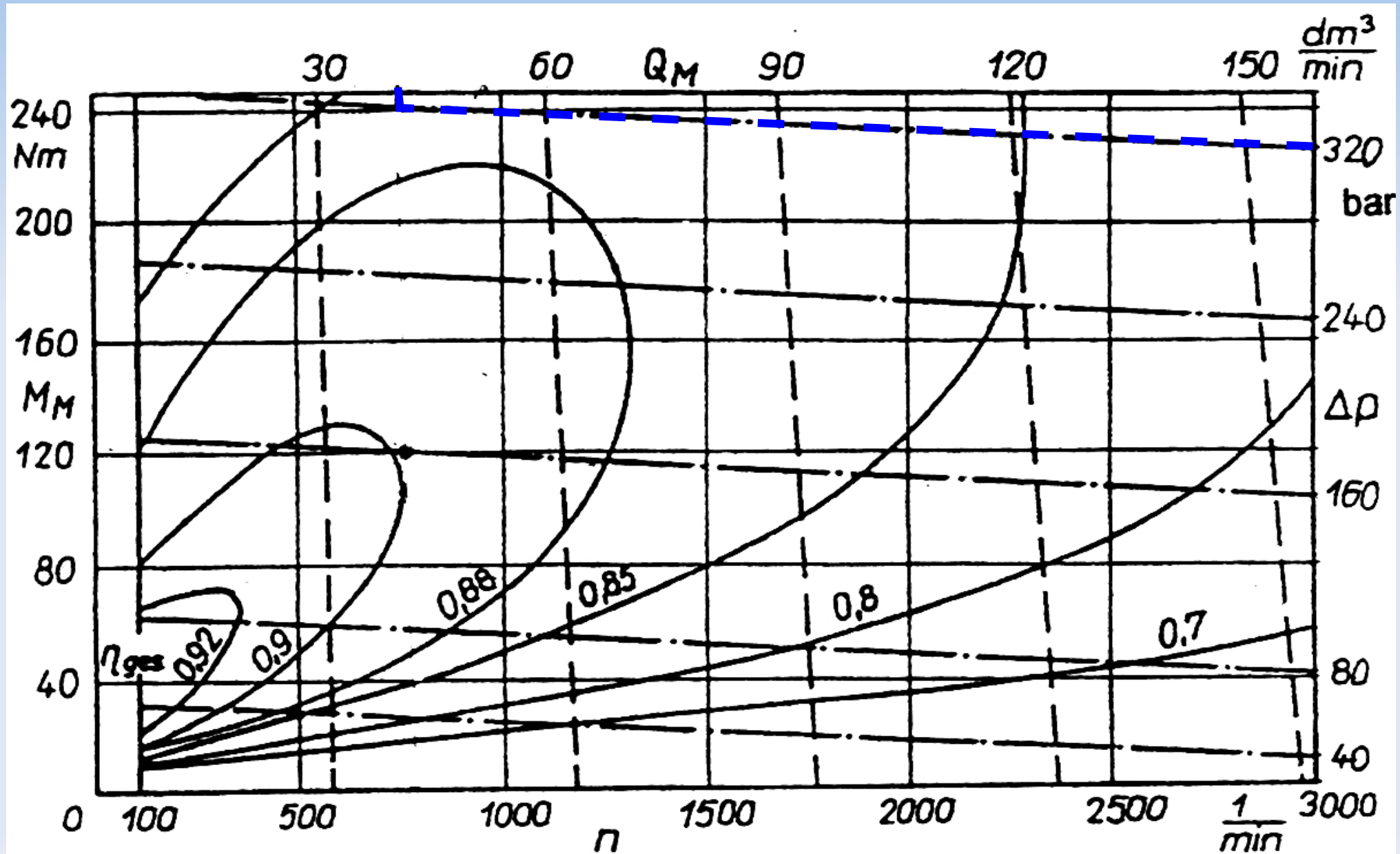


c)

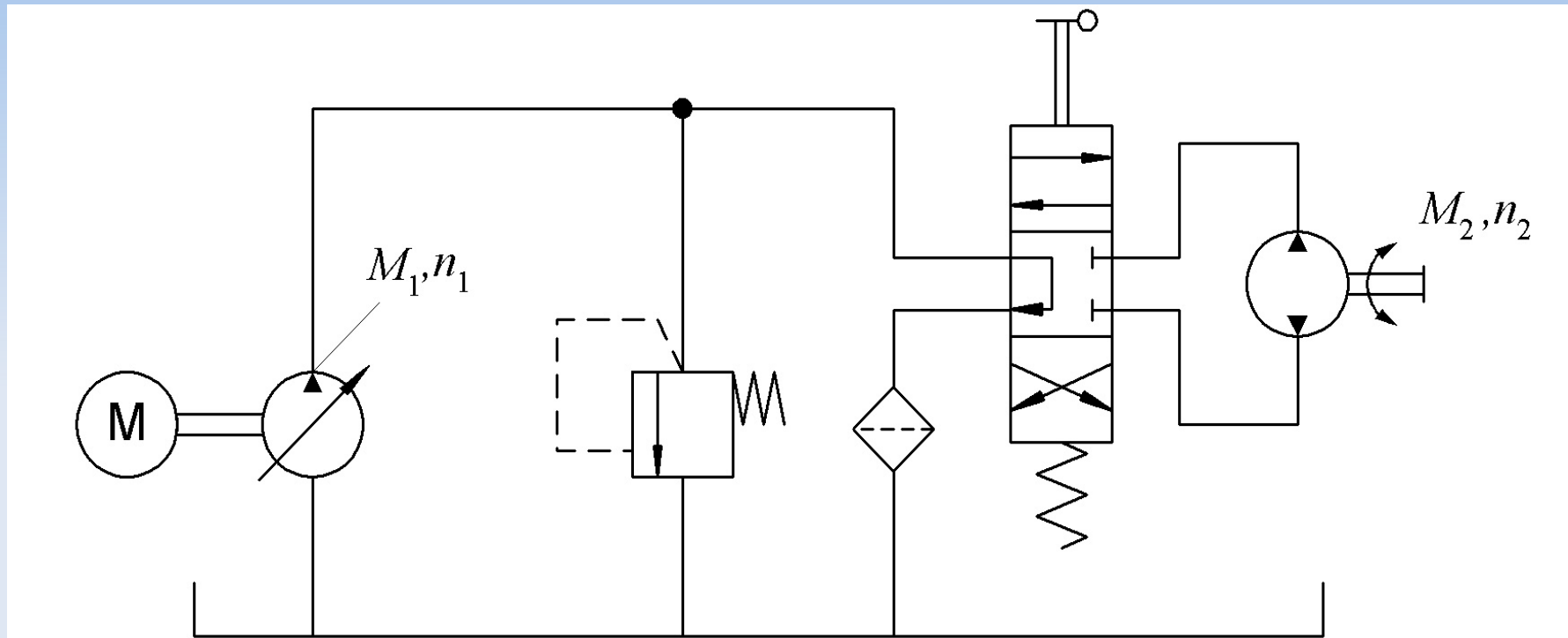
$$Q_{2.\text{teor}} = 40 \text{ dm}^3/\text{min}$$

$$\Delta p = 320 \text{ bar}$$

$$\eta_{2.uk} = 0.87$$



Zadatak 3: HIDROSTATIČKI PRIJENOSNIK ZA POGON VOZILA



ZADANO:

Pumpa 'P1': $V_1 = 28,1 \text{ cm}^3$
 $\eta_{1meh} = 0,94$; $\eta_{1vol} = 0,96$;

Motor 'M2': $V_2 = 28,1 \text{ cm}^3$
 $\eta_{2meh} = 0,92$; $\eta_{2vol} = 0,98$;

Gubici u ventilu i cjevovodima zanemarivi !

Traži se:

1. Koliki je pad tlaka na motoru M2 u trenutku kada je postignut maksimalni vanjski moment motora $M_{2max} = 100 \text{ Nm}$?
2. Koliko u tom slučaju iznosi potrební protok pumpe ako broj okretaja motora M2 iznosi $n_2 = 1500 \text{ min}^{-1}$?
3. Za koliko se postotaka % α pri tome mora zakrenuti potisna ploča pumpe, ako pogonski broj okretaja pogonskog motora M iznosi $n_1 = 1800 \text{ min}^{-1}$?
4. Koliko tada iznosi maksimalni potrební moment za pumpu?
5. Koliko iznosi ukupna korisnost prijenosnika?

1. Koliki je pad tlaka na motoru M2 u trenutku kada je postignut maksimalni vanjski moment motora $M_{2max} = 100 \text{ Nm}$?

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{Q_2 \cdot \Delta p \cdot \eta_{2vol} \cdot \eta_{2meh}}{2\pi n_2} \qquad Q_2 = \frac{V_2 n_2}{\eta_{2vol}}$$

$$M_2 = \frac{\Delta p \cdot \eta_{2vol} \cdot \eta_{2meh}}{2\pi n_2} \cdot \frac{V_2 n_2}{\eta_{2vol}} = \frac{\Delta p \cdot \eta_{2meh} \cdot V_2}{2\pi}$$

$$\Delta p = \frac{2\pi M_2}{\eta_{2meh} \cdot V_2} = \frac{100 \cdot 2 \cdot \pi}{0,92 \cdot 28,1 \cdot 10^{-6}} = 24304445 \text{ Pa} \quad \Rightarrow \Delta p = 243 \text{ bar}$$

2. Koliko u tom slučaju iznosi potrební protok pumpe ako broj okretaja motora M2 iznosi $n_2 = 1500 \text{ min}^{-1}$?

Kako nema curenja ulja u cjevovodima i ventilima protok ulja kroz motor je jednak protoku kroz pumpu!

$$Q_{2\text{eff}} = Q_{1\text{eff}}$$

$$Q_{2\text{eff}} = \frac{V_2 n_2}{\eta_{2\text{vol}}} = \frac{28,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1500}{0,98} = 43 \text{ dm}^3/\text{min} = 43 \text{ l/min}$$

$$\Rightarrow Q_{1\text{eff}} = 43 \text{ l/min}$$

3. Za koliko se postotaka % α pri tome mora zakrenuti potisna ploča pumpe, ako pogonski broj okretaja pogonskog motora M iznosi $n_1 = 1800 \text{ min}^{-1}$?

$$Q_{1\text{eff max}} = V_1 \cdot n_1 \cdot \eta_{1\text{vol}} = 28,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 \cdot 0,96 = 48,56 \text{ dm}^3 / \text{min}$$

$$\alpha = \frac{Q_{1\text{eff}}}{Q_{1\text{eff max}}} = \frac{43}{48,56} = 0,886 = 88,6 \%$$

4. Koliko tada iznosi maksimalni potrební moment za pumpu?

$$M_{1eff} = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{Q_{1eff} \cdot \Delta p}{2\pi n_1 \eta_{1vol} \eta_{1meh}} \quad Q_{1eff} = V_1 n_1 \eta_{1vol}$$

$$M_{1eff} = \frac{V_1 n_1 \eta_{1vol} \cdot \Delta p}{2\pi n_1 \eta_{1vol} \eta_{1meh}} = \frac{V_1 \cdot \Delta p}{2\pi \eta_{1meh}}$$

$$M_{1eff(\alpha)} = \frac{V_1 \cdot \Delta p \alpha}{2\pi \eta_{1meh}} = \frac{243 \cdot 10^5 \cdot 28,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,886}{2\pi 0,94} = 102,43 \quad Nm$$

5. Koliko iznosi ukupna korisnost prijenosnika?

$$\eta_{ukupno} = \frac{P_{izlaz}}{P_{ulaz}}$$

$$P_{izlaz} = M_2 \cdot \omega_2 = M_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_2$$

$$P_{ulaz} = M_1 \cdot \omega_1 = M_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_1$$

$$\eta_{ukupno} = \frac{M_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_2}{M_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{M_2 n_2}{M_1 n_1} = \frac{100 \cdot 1500}{102,43 \cdot 1800} = 0,81356 = 81,4 \%$$

ili:

$$\eta_{uk} = \eta_{1vol} \cdot \eta_{1meh} \cdot \eta_{2vol} \cdot \eta_{2meh} = 0,92 \cdot 0,98 \cdot 0,94 \cdot 0,96 = 0,8136 = 81,4 \%$$