

Šesta vežba

ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI ZA UŠTEDU ENERGIJE U POGONU SA PUMPOM PROMENOM BRZINE RADNOG KOLA PUMPE

1. UVOD

U ovoj laboratorijskoj vežbi vršiće se merenja karakterističnih veličina i određivanje osnovnih karakteristika u inteligentnom pumpnom sistemu sa standardnim frekventnim pretvaračem koji u sebi ima implementiran algoritam specijalno namenjen radu u pogonima sa pumpom. Cilj vežbe je da se steknu osnovna znanja o radu pogona sa pumpom i prouče mogućnosti za uštedu energije u ovom pogonu upotrebom frekventnog pretvarača, pomoću koga se može menjati brzina radnog kola pumpe. Dodatno, studenti imaju priliku da prouče način korišćenja i način rada jednog industrijskog frekventnog pretvarača. .

U vežbi će se realizovati kontrola protoka prigušenjem i promenom brzine radnog kola pumpe. Biće snimljene karakteristike pumpe i sistema, kao i oblast mogućih radnih tačaka pogona.

Za promenu brzine radnog kola pumpe koristiće se frekventni pretvarač iz koga se napaja trofazni asinhroni motor centrifugalne pumpe. Biće prikazane funkcije frekventnog pretvarača Danfoss VLT® AQUA Drive FC 202, koji je specijalno namenjen primeni u pumpnim aplikacijama, a koristi se u laboratorijskoj postavci ove vežbe. Detalji vezani za korišćenje ovog uređaja i odgovarajućeg softvera MCT 10, nalaze se na Internet prezentaciji Laboratorije za elektromotorne pogone <http://www.pogoni.etf.bg.ac.rs> (Lab.vežbe/Praktikumi: Elektromotorni pogoni: Šesta vežba: [programming guide AQUA.pdf](#), [design guide AQUA.pdf](#), [MCT 10 Set-up Software.pdf](#) i [Grundfoss CM1.pdf](#)).

Proračunom na osnovu rezultata merenja biće dokazana ušteda električne energije koja se ostvaruje primenom regulisanog pogona u odnosu na klasične metode kontrole i regulacije procesnih veličina, tj. protoka i pritiska.

2. TEORIJSKA OSNOVA

2.1 Pumpni sistemi

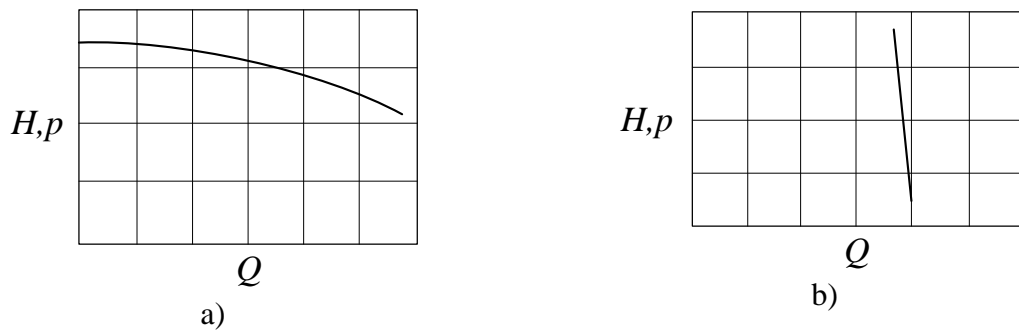
Pumpom se vrši transport ili kompresija fluida. Prvu pumpu je konstruisao Arhimed još u III veku pre nove ere. Pogoni sa pumpama predstavljaju jedan od najzastupljenijih elektromotornih pogona. Najveći broj pumpi se danas koristi za transport vode i to u komercijalnim i industrijskim objektima, sistemima za vodosnabdevanje pijaćom vodom, agrokulturi i industriji hrane. Prema najnovijim istraživanjima, oko 65% potrošnje energije elektromotora pripada pogonima pumpi, ventilatora i kompresora, što ukazuje na njihov značaj, kao i na značaj proučavanja mogućnosti za uštedu energije koja se može ostvariti u ovim pogonima.

2.2 Tipovi pumpi

Osnovna podela pumpi izvršena je prema konstrukciji radnog kola na klipne i rotacione pumpe, a takođe postoje i njihove brojne podvrste. Centrifugalne pumpe, kao podvrsta rotacionih pumpi, predstavljaju najzastupljenije pumpe. One su jednostavne konstrukcije i širokog opsega karakteristika, veoma su dobro opisane i testirane, robusne, efikasne i relativno jeftine za proizvodnju. Kod centrifugalnih pumpi, na tečnost između lopatica deluje

centrifugalna sila, usled čega ona teče radialno od sredine ka spoljnom delu lopatičnog kola. Pri prolasku kroz radno kolo pumpe tečnost dobija kinetičku energiju. Kod klipnih pumpi, pri svakom obrtaju rotora klip izbacuje određenu količinu fluida. Maksimalni pomeraj klipa obično može da se menja, čime se menja i karakteristika pumpe.

Najvažnija karakteristika pumpi je zavisnost napora (ili pritiska) od protoka pumpe, tj. zavisnost jediničnog rada koji pumpa vrši nad fluidom od zapremine fluida koju pumpa izbaci u jedinici vremena. U literaturi, napor se obično obeležava sa H i izražava se u metrima, dok se pritisak obeležava sa p i izražava u barima. Protok se obeležava sa Q i izražava se u kubnim metrima u sekundi. Centrifugalne i klipne pumpe, pored različite konstrukcije imaju i različite $Q-H$ ($Q-p$) karakteristike, kao što je prikazano na Slici 1.

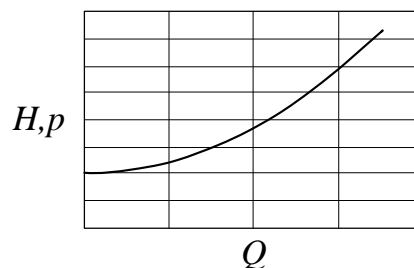


Slika 1. Karakteristika centrifugalne pumpe (a) i klipne pumpe (b)

2.3 Karakteristike hidrauličnog sistema

Karakteristika sistema koji pumpa napaja se takođe daje kao zavisnost napora (tj. pritiska) od protoka. Postoje dva oblika napora (pritiska) koji pumpa mora da savlada da bi fluid tekao: statički i frikcion (dinamički). Statički napor sistema predstavlja razliku nivoa tečnosti na početku i cilju, odnosno statička komponenta pritiska predstavlja razliku pritisaka na početku i na cilju. Ova komponenta napora (pritiska) ne zavisi od protoka. Frikciona (dinamička) komponenta napora (pritiska) sistema predstavlja jedinični rad potreban da bi se fluidu predala odgovarajuća kinetička energija i savladalo trenje fluida pri prolasku kroz cevi, ventile i ostalu opremu. Dinamička komponenta napora je najčešće srazmerna kvadratu protoka.

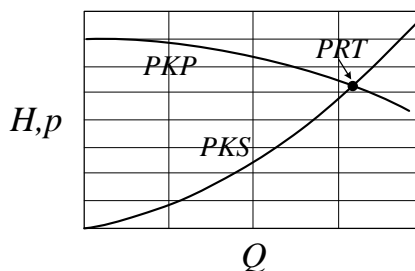
Većina sistema ima obe komponente napora (pritiska), mada postoje i takvi kod kojih je statička komponenta zanemarljiva. Na Slici 2. je prikazana karakteristika jednog sistema sa obe komponente napora (pritiska).



Slika 2. Karakteristika pumpnog sistema sa statičkom i frikcionom (dinamičkom) komponentom napora

Radna tačka u kojoj će raditi hidraulički sistem sa pumpom, nalazi se u preseku $Q-H$ ($Q-p$) karakteristike pumpe i ostatka pumpnog sistema. Prirodna radna tačka (PRT) centrifugalne pumpe definisana je presekom prirodne karakteristike pumpe (PKP) koja odgovara mrežnoj učestanosti napona napajanja motora pumpe i određena je samo konstrukcijom pumpe, i

prirodne karakteristike sistema (PKS), koja zavisi od poprečnog preseka cevovoda, dužine cevovoda, broja i lokacije kolena itd. Položaj prirodne radne tačke prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Položaj prirodne radne tačke kod sistema sa centrifugalnom pumpom

Mehanička snaga motora pumpe jednaka je proizvodu momenta na vratilu motora i ugaone brzine obrtanja,

$$P_m = P_{iz} = m \cdot \omega. \quad (1)$$

Hidraulička snaga pumpe je snaga koju je pumpa predala fluidu, a računa se na osnovu protoka, napora i specifične gustine fluida,

$$P_p = H \cdot \rho \cdot g \cdot Q = p \cdot Q. \quad (2)$$

Ukupan stepen korisnog dejstva pumpe predstavlja odnos između hidrauličke snage i električne snage motora P_{ul} , koja je od hidraulične snage veća za iznos gubitaka u motoru i u komponentama pumpe,

$$\eta_p = \frac{P_p}{P_{ul}}. \quad (3)$$

Gubici u pumpi obuhvataju zapreminske i mehaničke gubitke. Zapreminski gubici se izražavaju pomoću zapreminskog stepena korisnog dejstva pumpe, η_v . Mehanički gubici se javljaju u mehaničkim delovima kao što su zaptivači, ležajevi i spojnice, a izraženi su mehaničkim stepenom korisnog dejstva η_m .

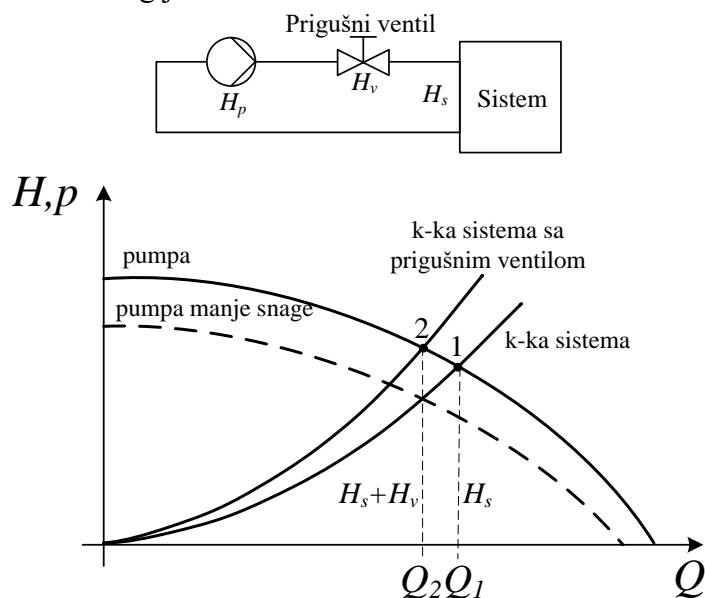
2.4 Interakcija pumpi i sistema

Centrifugalne pumpe se dimenzionišu za maksimalni protok u sistemu. Međutim, zahtevi sistema su često takvi da se protok menja u vremenu, te ga je potrebno regulisati. Regulaciju protoka moguće je ostvariti prigušenjem, premošćenjem (*bypass*-om) i promenom brzine radnog kola pumpe.

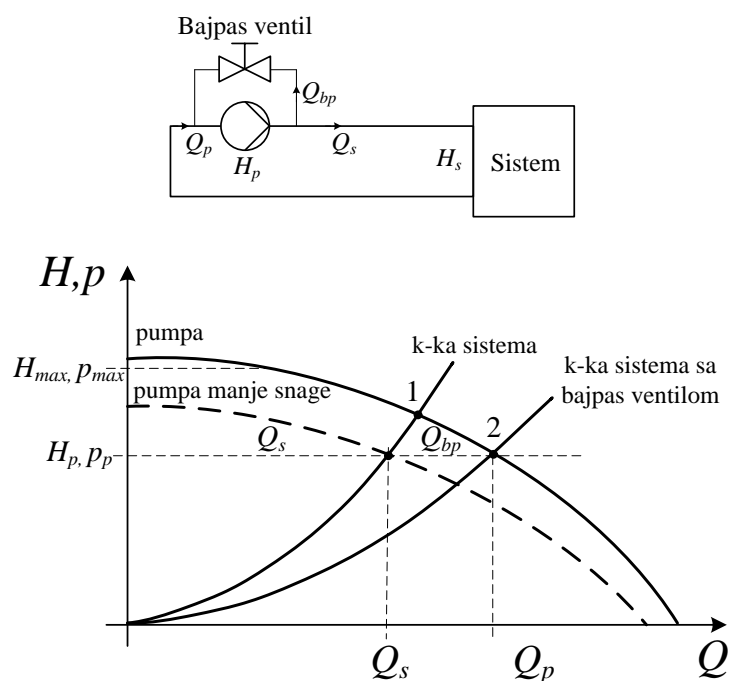
Regulacija protoka prigušenjem se realizuje različitim vrstama prigušivača, koji rade na principu smanjenja poprečnog preseka cevovoda u jednoj tački. Najčešće se koriste prigušni ventili koji se postavljaju na red sa pumpom. Pumpa radi na prirodnoj karakteristici, a zatvaranjem prigušnog ventila unosi se dodatni otpor u sistem (povećavaju se gubici u sistemu proporcionalni sa kvadratom protoka), smanjuje se protok, povećava napor (pritisak) i radna tačka pomera ulevo, kao što je prikazano na Slici 4. Ako se pumpa i ventil zamene pumpom manje snage, ona će biti u stanju da obezbedi potreban protok Q_2 , ali nižu visinu dizanja (pritisak) i naravno manju potrošnju energije.

Regulacija protoka premošćenjem pumpe se realizuje bajpas ventilima, koji se postavljaju paralelno sa pumpom i na taj način vraćaju deo potisnutog fluida na usis pumpe. Kada je potrebno ostvariti manji protok, otvaranjem bajpas ventila deo tečnosti se vraća izvoru, a radna tačka se pomera udesno, kao što je prikazano na Slici 5. Često se koriste male bajpas linije, kako bi se zaštitila pumpa od rada na suvo. Takođe, zahtevani protok Q_s , se može

ostvariti pumpom manje snage bez bajpas ventila, a kao rezultat toga će biti manji protok i manja potrošnja električne energije.



Slika 4. Podešavanje karakteristike sistema prigušnim ventilom



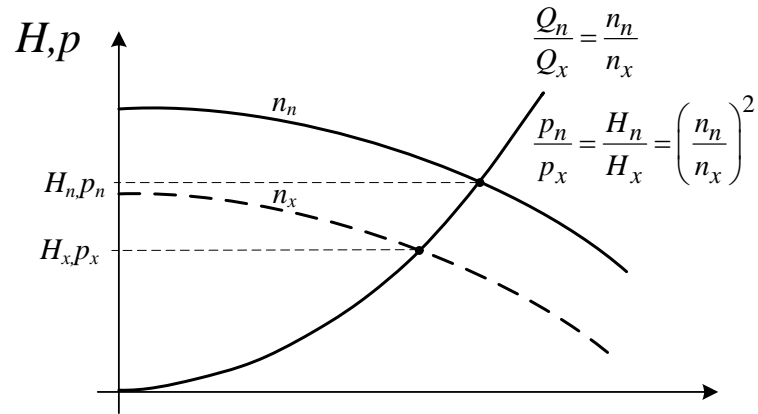
Slika 5. Podešavanje karakteristika bajpas ventilom

Kod centrifugalnih pumpi postoji veza između brzine radnog kola i visine vodenog stuba, odnosno pritiska. Pošto je brzina radnog kola određena brzinom obrtanja motora, promena brzine ima direktan uticaj na promene performansi pumpe. Karakteristike pumpe će se menjati sa promenom brzine prema relacijama (4), na osnovu čega se može kontrolisati rad pumpe pri različitim brzinama.

$$Q \sim n, p \sim n^2, H \sim n^2, P \sim n^3. \quad (4)$$

Iz navedenih relacija, imajući u vidu da efikasnost pumpe ostaje približno konstantna sa promenom brzine, može se zaključiti da se smanjenjem brzine mogu ostvariti značajne uštede energije.

Regulacija protoka promenom brzine radnog kola pumpe, čije se karakteristike menjaju kao što je prikazano na Slici 6, realizuje se primenom regulisanih elektromotornih pogona. Detaljno objašnjenje ovog načina regulacije protoka pomoću zakona sličnosti, dato je u nastavku (poglavljje 2.4.1).



Slika 6. Prilagođavanje karakteristika promenom brzine

Prva dva prikazana načina regulacije protoka u hidrauličkom sistemu sa pumpom su efikasna sa stanovišta regulacije protoka, ali ne i sa stanovišta potrošnje električne energije. Treći način je efikasan u oba pogleda. Takođe, nema dodatnih naprezanja mehaničke opreme usled povećanja pritiska, čime joj se produžuje vek trajanja.

2.4.1 Fizički zakoni kod centrifugalnih pumpi

Za opis rada centrifugalnih pumpi u bilo kojoj radnoj tački, u hidrauličkim sistemima sa konstantnim poprečnim presekom cevovoda i zanemarljivim statičkim pritiskom, mogu se koristiti zakoni sličnosti dati jednačinama od (5) do (7). Njihova grafička interpretacija prikazana je na Slici 7, sa koje se takođe vidi da ne dolazi do promene efikasnosti pumpe (η_p) pri promeni brzine radnog kola pumpe.

$$\frac{Q_n}{Q_x} = \frac{n_n}{n_x} \quad (5)$$

$$\frac{p_n}{p_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^2 \quad (6)$$

$$\frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^3 \quad (7)$$

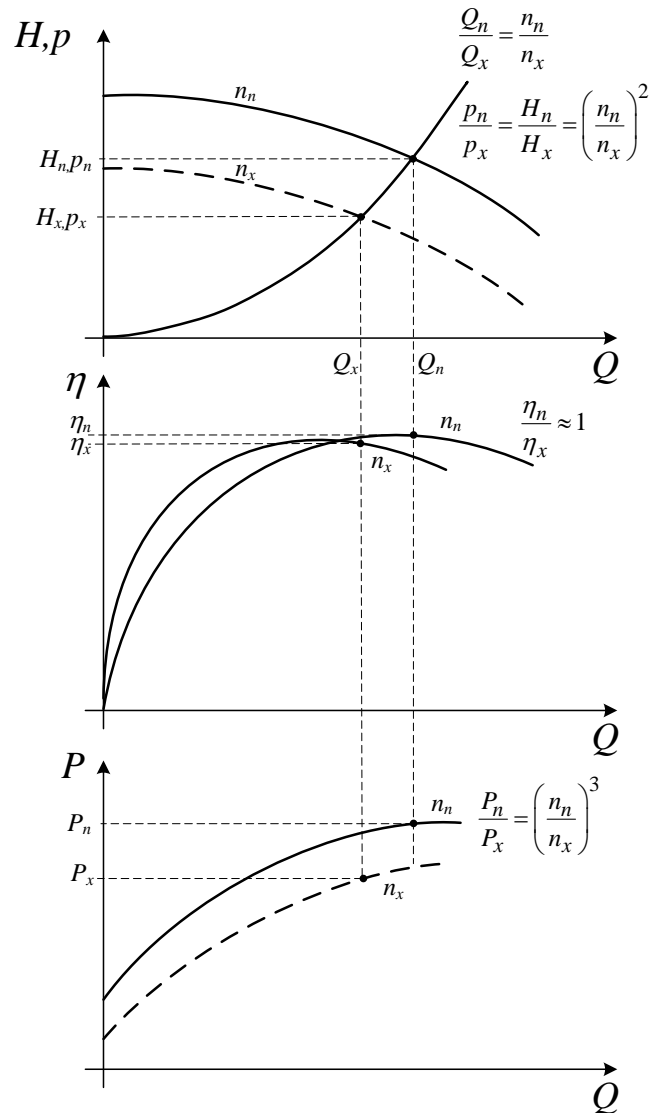
gde su:

Q – protok,

p – pritisak,

P – ulazna snaga,

n – brzina radnog kola pumpe.



Slika 7. Promene karakteristika centrifugalne pumpe sa promenom brzine radnog kola

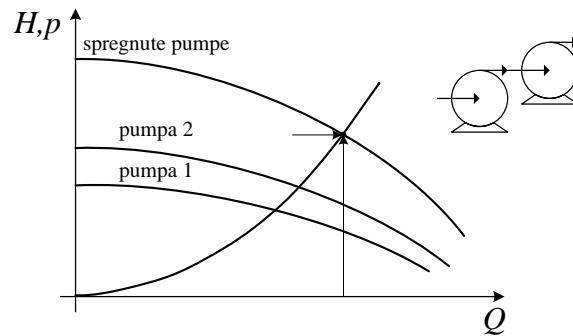
U pogonima sa centrifugalnim pumpama često je potrebna i regulacija pritiska. Stara rešenja za regulaciju pritiska podrazumevaju primenu ekspanzionih posuda. Veličina potrebne ekspanzione posude raste sa povećanjem protoka, te je za primenu ove metode potreban dodatni prostor, koji je često mnogo veći od same pumpe. Pored toga, ovakvo rešenje nije fleksibilno i ispunjenje novih uslova rada, ako nisu predviđeni projektom, zahteva nove investicije. Primenom frekventnih pretvarača koji rade u zatvorenoj povratnoj vezi po pritisku moguća je fleksibilna regulacija pritiska bez zahteva za dodatnim prostorom. Takođe, dinamika regulacije može se menjati bez dodatnih investicija.

Može se zaključiti da regulacija protoka promenom brzinom pumpe predstavlja jedan od najboljih metoda za upravljanje izlazom pumpi čije su prednosti: ušteda energije, povećanje pouzdanosti, uprošćavanje cevnog sistema (izbacivanje prigušnih i bajpas ventila), mogućnost mekog starta i zaustavljanja, kao i jednostavno održavanje.

2.5 Sprezanje pumpi

Pumpe mogu biti spregnute na dva načina, redno ili paralelno. Redna sprega se koristi kada jedna pumpa ne može da obezbedi dovoljan napor (pritisak), a korišćenje jedne veće pumpe nije izvodljivo. Efekat koji se postiže rednim sprežanjem pumpi je sabiranje njihovih

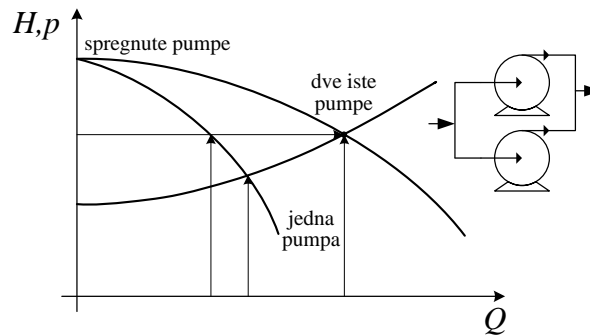
napora (pritisaka) pri istom protoku. Karakteristika dve redno spregnute pumpe prikazana je na Slici 8.



Slika 8. Karakteristika serijski spregnutih pumpi

U industriji se mnogo češće primenjuje paralelna sprega. Cilj paralelnog sprezanja pumpi je dobijanje većeg protoka pri istom naporu (pritisku). Zato se paralelna sprega često koristi u sistemima u kojima se zahtevani protok menja u širokim granicama. Takvi su mnogi sistemi vodosnabdevanja, naročito vodovod kod koga se potrošnja menja u toku dana kao i sezonski.

Kada se pumpe spregnu paralelno, ukupni protok se dobija kao suma pojedinačnih protoka, pri istom naporu (pritisku) koji je zajednički za sve njih. Karakteristika dve paralelno spregnute pumpe je prikazana na Slici 9.

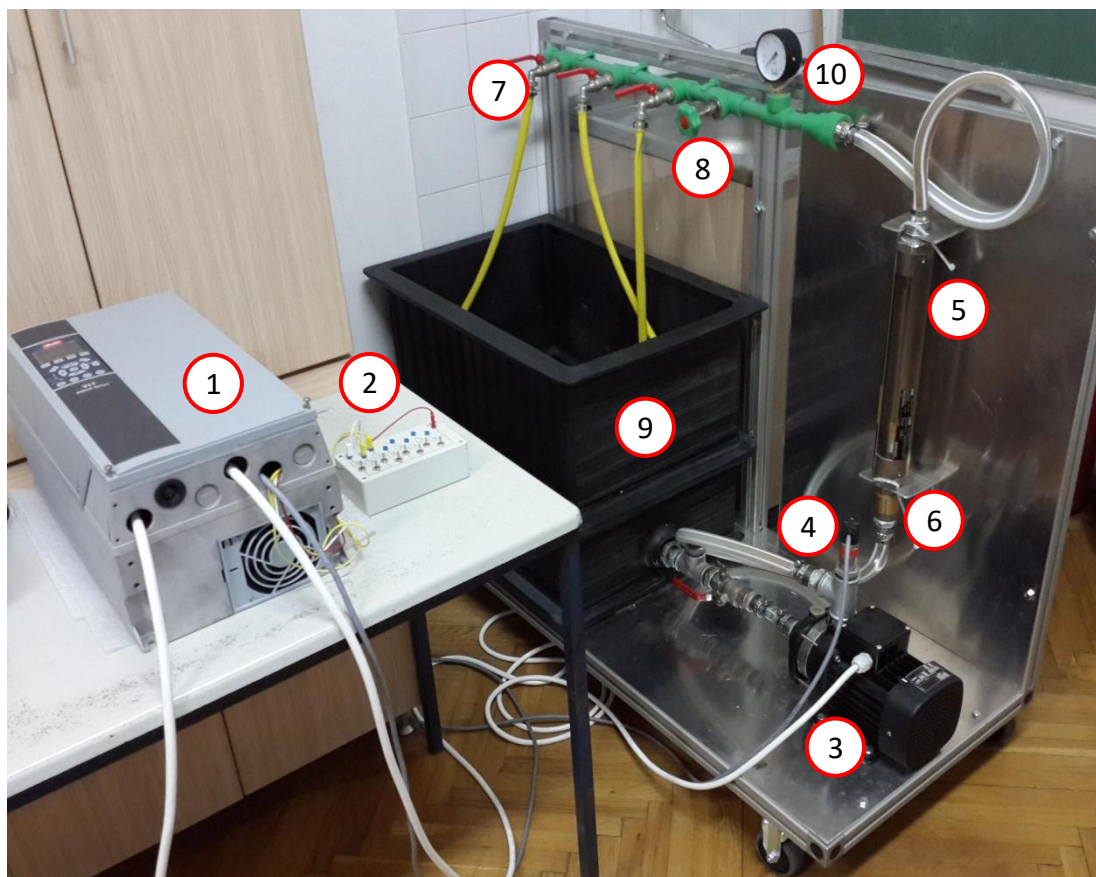


Slika 9. Karakteristika dve paralelno spregnute pumpe

3. OPIS VEŽBE

Na laboratorijskom modelu grupe, čiji su osnovni delovi sistem sa pumpom i frekventni pretvarač, potrebno je proučiti statičke režime rada pogona pri definisanim zadacima.

Cilj vežbe je da studenti primene stečena znanja iz teorijskog uvoda na konkretnom sistemu realizovanom u laboratoriji, prikazanom na Slici 10. Celokupan sistem se nalazi na pokretnim kolicima.



Slika 10: : 1. Frekventni pretvarač, 2. Komandni pult, 3. Pumpa, 4. Senzor pritiska, 5. Senzor protoka, 6. Nepovratni ventil, 7. Tri slavine, 8. Prigušni ventil, 9. Rezervoar od 120 litara, 10. Manometar

Maksimalni protok pri svim otvorenim slavinama i pri učestanosti napajanja motora pumpe od 50 Hz iznosi 85% maksimalnog protoka koji meri senzor protoka. S druge strane, maksimalni pritisak u sistemu iznosi 1,8 bar i nastaje pri učestanosti napajanja motora pumpe od 50 Hz i svim zatvorenim slavinama.

3.2 Frekventni pretvarač

Korišćeni frekventni pretvarač pripada specijalizovanoj seriji pretvarača za primenu u hidrauličnim i pneumatskim sistemima, i proizvodi se u opsegu snaga od 0,25 do 1400 kW. Nominalni podaci pretvarača koji se koristi u vežbi su dati u Tabeli 1.

Aktivna snaga	0,55 kW	max. izlazna učestanost	590 Hz
Napon (fazni)	200 – 240 V	Izlazni napon	0 – 100% ulaznog napona
Faktor snage	> 0,98	Broj digitalnih ulaza	6
Učestanost napajanja	50 Hz	Broj analognih ulaza	2

Tabela 1. Nazivni podaci korišćenog frekventnog pretvarača

3.3 Pumpa

Pumpa i motor su komplet danskog proizvođača „Grundfos“ sa oznakom CM1-2 A-R-A-E-AQQE F-A-A-N. Prva dva slova govore o tome da se radi o centrifugalnoj modularnoj pumpi (CM – Centrifugal Modular). Prvi broj označava nominalni protok u kubnim metrima po času, pri napajanju pumpe iz mreže (50 Hz), zaokružen na prvu nižu celobrojnu vrednost. U ovom slučaju to je 1 m³/h. Broj 2 predstavlja broj impelera. Značenje preostalih brojeva i slova u oznaci pumpe, dato je u katalogu proizvođača.

Motor je trofazni asinhroni i u postavci laboratorijske vežbe, njegovi su namotaji spregnuti u zvezdu. Osnovni podaci o motoru su dati u Tabeli 2.

Nazivni napon	3x 220-240 / 380-415 V
Nazivna učestanost	50 Hz
Nazivna snaga	0,45 kW
Nazivna struja	2,0-2,2 / 1,0-1,2

Tabela 2: Osnovni podaci o motoru

Proizvođač je definisao nazivnu radnu tačku na karakteristici zavisnosti pritiska od protoka pri brzini od 50 Hz. Nazivni pritisak je 1147 mbar-a, pri nazivnom protoku od 1,7 m³/h.

3.4 Senzor pritiska

U okviru laboratorijske postavke vežbe upotrebljen je senzor pritiska proizvođača Danfoss, tipa MBS 3000 (puna oznaka konkretnog modela je MBS3000-1611-1AB04) koji može da meri pritisak u opsegu od 0 do 4 bar ($\pm 0,5\%$). Signal koji se dobija na izlazu je strujni u opsegu od 4 mA do 20 mA, a napon napajanja je 10-30V. Zavisnost struje na izlazu od pritiska koji se meri je linearna.

3.4 Senzor protoka - rotametar

Senzor protoka je proizvod kompanije „ABB“ i nosi oznaku D10A11. Radi se o meraču protoka – rotametri koji se sastoji od staklene cevi debljine jednog inča (2,54 cm) i plovka. Na sebi poseduje linearnu skalu za protok od 10 do 100%. Poseduje takođe oznaku za 0% protoka, tako da je moguće utvrditi kada nema protoka, ali nije moguće precizno meriti

protoke između 0 i 10%. Merenjima u laboratoriji određeno je da za maksimalnu vrednost skale (100%) protok iznosi $2,66 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2,66/3,6 \text{ l/s}$).

Potrebno je napomenuti da maksimalni pritisak koji ovaj merač može da izdrži iznosi 14 bar-a.

3.5 Ostala oprema

Cevna instalacija sa ventilima, senzorima, pumpom i rezervoarom je data na Slici 14. Slavine su namenjene podešavanju protoka u toku eksperimenata. Ventil (4) se može koristiti kao prigušni ventil. Pokazivač pritiska je postavljen iz sigurnosnih razloga. Ventil (9) se koristi da bi se prekinuo dovod vode do pumpe.

4. ZADATAK

- a) Sprovesti proceduru automatske adaptacije pretvarača u odnosu na priključeni motor.
- b) Snimiti sledeće karakteristike:
 1. p - Q karakteristike pumpe i sistema.
 2. Familiju radnih karakteristika pumpe u funkciji protoka za različite brzine radnog kola, tj. za različitu učestanost napajanja pumpe (25, 30, 35, 40, 45 i 50) Hz i familiju radnih karakteristika za tri različita sistema, koji se dobijaju na sledeći način: sve slavine otvorene (I sistem), druga i treća slavina zatvorene (II sistem).
 3. Zavisnost snage i momenta pumpe od protoka, u slučaju regulacije protoka promenom brzine radnog kola pumpe i u slučaju regulacije protoka prigušenjem.
- c) Uporediti dva načina regulacije protoka sa stanovišta potrošnje električne energije. Izvršiti regulaciju protoka prigušenjem, tako što će se u sistemu u kome su sve slavine otvorene (sistem I) zatvoriti prigušni ventil i podesiti vrednost protoka od 63%. Istu vrednost protoka, zatim treba ostvariti podešavanjem brzine radnog kola pumpe. Odrediti potrebnu snagu za navedene slučajeve u kojima se ostvaruje isti protok.

5. POSTUPAK

Laboratorijski model, na kome se izvodi vežba sastoji se od sistema za kruženje vode sa pumpom, u koji su ugrađeni senzori protoka i pritiska i slavine kojima se može menjati karakteristika hidrauličkog sistema. Pumpu pokreće trofazni asinhroni motor, koji se napaja preko frekventnog pretvarača. Postoji mogućnost kontrole protoka prigušenjem i promenom brzine radnog kola pumpe.

Frekventnim pretvaračem se može upravljati ručno, preko lokalnog upravljačkog panela (Hand on) ili daljinski (Auto on). Daljinski se može upravljati sa komandne table preko analognih i digitalnih ulaza/izlaza ili serijski, korišćenjem različitih komunikacionih protokola. Izabrano je da se cela vežba izvodi upravljanjem sa lokalnog panela, a da se parametri frekventnog pretvarača podešavaju pomoću računara i MCT 10 softvera, korišćenjem USB veze sa pretvaračem. Pre početka merenja prvo treba kompletirati proceduru za puštanje u rad.

a) Procedura puštanja u rad:

Uključiti pretvarač dovođenjem na nominalni mrežni napon. Pokrenuti MCT 10 softver na računaru. USB kablom povezati računar i frekventni pretvarač i uraditi sledeće:

- Izabrati opciju *Serial*
- Izabrati opciju *Scan for active drives*

- Kada MCT 10 softver prepozna priključeni frekventni pretvarač na *USB1* portu, levim klikom miša na znak „+” ispred oznake *All Parameters*, dobiće se spisak svih parametara u pretvaraču, organizovanih u parametarske grupe, dok se desnim klikom miša na oznaku *All Parameters* dobija spisak svih parametara u pretvaraču, organizovanih u četiri setup-a. Treba izabrati *Setup 1* za aktivni (parametar P0-10 *Active Setup 1*) i dalja podešenja parametara vršiti u okviru njega. Kako je u trenutku prepoznavanja priključenog pretvarača softver učitao parametre iz pretvarača, potrebno je samo prekontrolisati vrednosti bitnih parametara:

- U parametru P0-01 izabrati SRPSKI - izbor jezika za prikazivanje poruka na ekranu lokalnog upravljačkog panela
- U parametru P1-00 izabrati OPEN LOOP - podešavanje brzine u otvorenoj sprezi.
- U parametru P1-01 izabrati VVC+
- U parametru P1-03 izabrati VARIABLE TORQUE
- Uneti nominalnu snagu motora (sa pločice) u parametar (u daljem tekstu samo P) P120 (0.45 kW)
- Uneti nominalni napon u P1-22 (400 V)
- Uneti nominalnu učestanost u P1-23 (50 Hz)
- Uneti nominalnu struju u P1-24 (1.20 A)
- Uneti nominalnu brzinu u P1-25 (2900 rpm)
- Uneti broj polova motora u P1-39 (2)
- Izabrati u P1-29 AMA → ENABLE COMPLETE AMA, opcija kojom se dozvoljava adaptacija (određivanje parametara) motora. Na pretvaraču treba pritisnuti taster *Hand ON*. Kada se adaptacija uspešno završi, pojaviće se *Pritisnuti [OK] za završetak AMA* i kao potvrdu tada treba pritisnuti taster OK. Doći će do automatske promene svih parametara motora u aktivnom setup-u. Nove vrednosti treba upisati u izveštaj (P1-30 do P1-36).

Zatim treba podesiti način upravljanja sa lokalnog upravljačkog panela pritiskom na taster *Hand on* taster na panelu (ili izborom opcije *LOCAL* u parametru P3-13) i podesiti prikaz željenih veličina na lokalnom upravljačkom panelu na sledeći način:

- U parametru P0-20 izabrati *Analog Input 54* - ispisuje se vrednost signala sa senzora pritiska [mA]. Oduzimanjem početne vrednosti u iznosu od 4mA od merene vrednosti i množenjem sa konstantom $C=250\text{mbar/mA}$ dobija se vrednost pritiska u [mbar].
- U parametru P0-21 izabrati *Motor Shaft Power [kW]*.
- U parametru P0-22 izabrati *Motor Current [A]*.
- U parametru P0-23 izabrati *Frequency [Hz]*.

Takođe treba podesiti prikaz vremenskih dijagrama željenih veličina (moment i brzina) u MCT 10 softveru na sledeći način:

Izabere se opcija *Project, New, Scope Folder*.

Levim klikom miša na znak „+” ispred opcije *Project*, bira se *New Folder 1, Network*, a zatim levim klikom miša na znak „+” ispred opcije *USB1* prikazuje se oznaka priključenog pretvarača. Levim klikom miša na ovu oznaku, otvara se ekran u kome se dvoklikom miša na željenu veličinu vrši njen izbor za prikaz na vremenskom dijagramu. Npr:

1 Torque %/div (20, 0)

Desnim klikom miša na *Ch1*, bira se *Properties* i podešava se vremenska osa (*sec/div 5s*)

Desnim klikom miša na prazno polje ispod oznake *Ch1*, bira se opcija *Add channel*, zatim se dvoklikom miša bira druga veličina čiji će se vremenski dijagram prikazivati na ekranu, npr:

2 Speed rpm/div (600, 0)

Desnim klikom miša na *Ch2*, podešava se vremenska osa (*sec/div 5s*).

3 Analog Input 54 mA/div (2, 0)

Desnim klikom miša na *Ch2*, podešava se vremenska osa (*sec/div 5s*).

Ovim je završena procedura puštanja u rad i priprema za merenja koja će se vršiti u nastavku.

b) Snimanja karakteristika pumpe i sistema

1. *Postupak snimanja karakteristika sistema* - Maksimalno otvoriti slavine (sistem I), tako da se obezbedi maksimalni protok u sistemu. Frekventni pretvarač podesiti da radi na učestanosti od 50 Hz (mrežna učestanost). Pustiti pogon u rad. Prilikom snimanja karakteristika očitavaju se učestanost, protok, pritisak, moment i mehanička snaga motora pumpe. Protok se očitava sa odgovarajućeg senzora, mehanička snaga i pritisak sa displeja frekventnog pretvarača, a moment i brzina sa vremenskog dijagrama koji se prikazuje pomoću softvera MCT 10 na ekranu računara. Takođe treba meriti utrošenu električnu snagu pogona pumpe P_{ul} mernim instrumentom na tabli sa koje se napaja frekventni pretvarač. Očitani rezultati se upisuju u Tabelu 6.1.

Postupak ponoviti za još nekoliko nižih učestanosti (npr. 40, 35, 30 i 25 Hz). Vratiti učestanost na 50 Hz. Zatvoriti drugu i treću slavinu (II sistem) i očitati rezultate za prethodno podešavane učestanosti.

2. *Postupak snimanja karakteristika pumpe* - Maksimalno otvoriti slavine (sistem I), tako da se obezbedi maksimalni protok u sistemu. Frekventni pretvarač podesiti da radi na učestanosti od 50 Hz (mrežna učestanost). Pustiti pogon u rad. Prilikom snimanja karakteristika očitavaju se učestanost, protok, pritisak, moment i mehanička snaga motora pumpe. Meriti i utrošenu električnu snagu pogona pumpe P_{ul} mernim instrumentom na tabli sa koje se napaja frekventni pretvarač. Protok se očitava sa odgovarajućeg senzora, mehanička snaga i pritisak sa displeja frekventnog pretvarača, a moment i brzina sa vremenskog dijagrama koji se prikazuje pomoću softvera MCT 10 na ekranu računara. Očitani rezultati se upisuju u Tabelu 6.2.

Zatvaranjem slavinu podešavati vrednost protoka sa korakom približno jednakim 10% i za svako podešenje očitati vrednosti veličina koje se mere. Postupak ponoviti za nekoliko nižih vrednosti protoka u opsegu od 10 do 100%. Podesiti učestanost na 45 Hz (40, 35, 30 i 25Hz) i ponoviti postupak merenja. Rezultate merenja upisati u Tabelu 6.2.

c) Procena uštede električne energije

Izvršiti regulaciju protoka prigušenjem, tako što će se u sistemu u kome su sve slavine otvorene (sistem I) zatvoriti prigušni ventil i podesiti zadata vrednost protoka od 63%. Istu vrednost protoka, zatim treba podesiti podešavanjem brzine radnog kola pumpe. Na osnovu dobijenih rezultata objasniti uštedu električne energije pri regulaciji protoka promenom brzine pumpe. Na odgovarajućem dijagramu obeležiti grafički ekvivalent uštede snage koji se dobija kao razlika snage koja se troši pri kontroli protoka prigušenjem u odnosu na snagu koja se troši pri kontroli protoka smanjenjem brzine, za zadatu vrednost protoka. Izračunati uštedu energije u toku jedne godine, ako pumpa radi 20 sati dnevno. Komentarisati.

6. IZVEŠTAJ

a) Parametri motora:

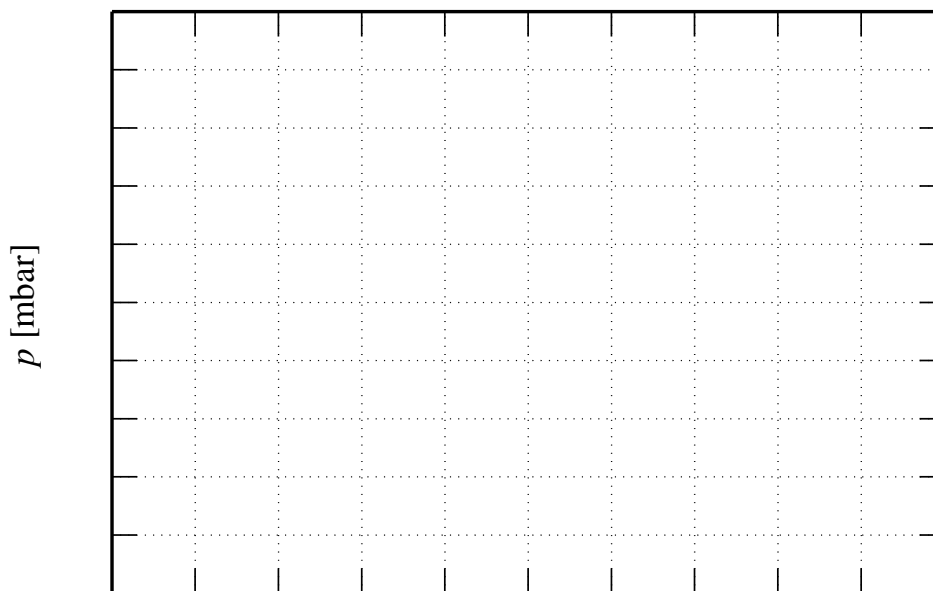
R_s [Ω]	R'_r [Ω]	X_s [Ω]	$X'_{\gamma r}$ [Ω]	X_m [Ω]	R_m [Ω]

b) Snimanje karakteristika sistema i pumpe.

b1).Snimanje karakteristika sistema.

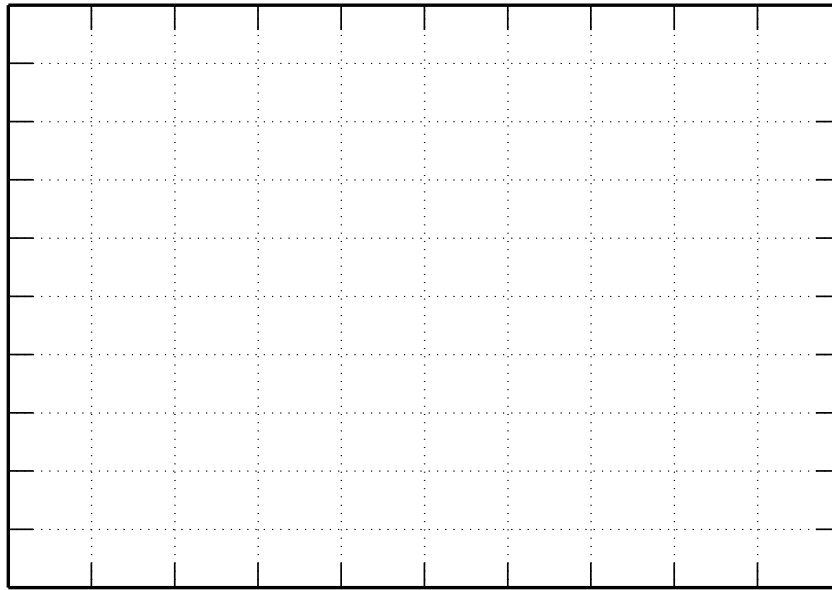
Tabela 6.1

Položaj slavina	Učestanost	50	45	40	35	30	25
	[Hz]						
I	Q [%]						
	p [mbar]						
	P [kW]						
	P_{ul} [kW]						
	m [%]						
	n [o/min]						
II	Q [%]						
	p [mbar]						
	P [kW]						
	P_{ul} [kW]						
	m [%]						
	n [o/min]						



Q [%]
Karakteristike sistema I i II

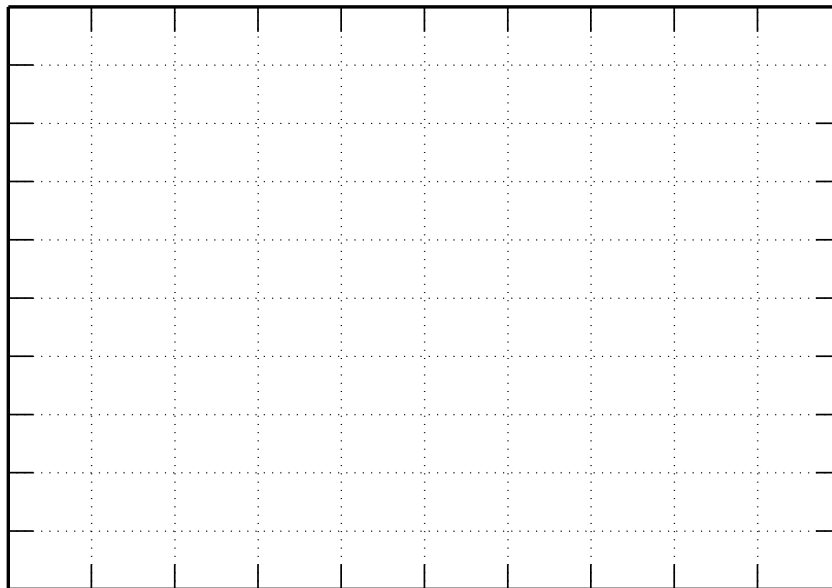
n [o/min], m [%], P_{ul} [kW]



Q [%]

Familija karakteristika za sistem I

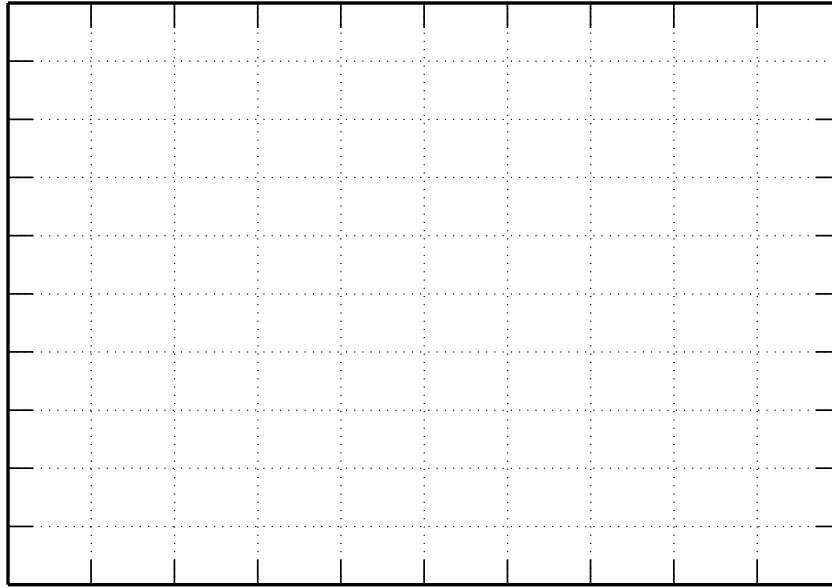
n [o/min], m [%], P_{ul} [kW]



Q [%]

Familije karakteristika za sistem II

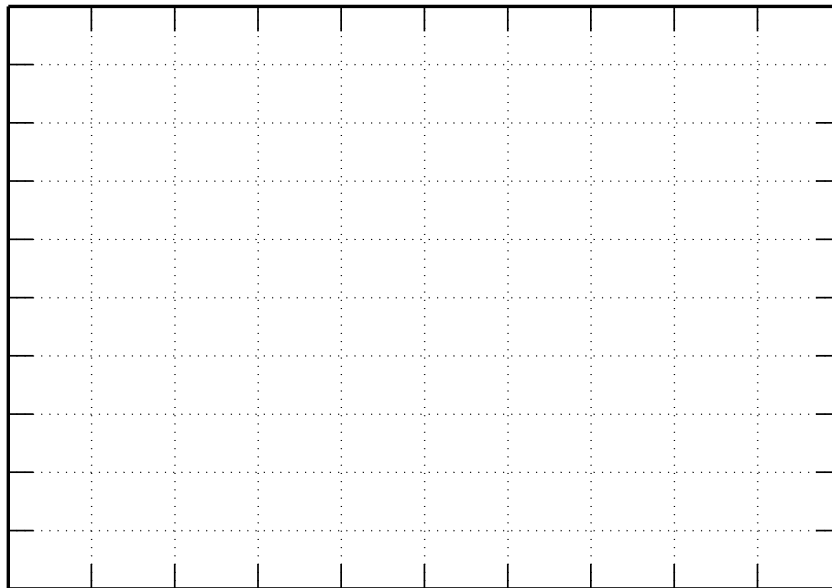
p [mbar]



Q [%]

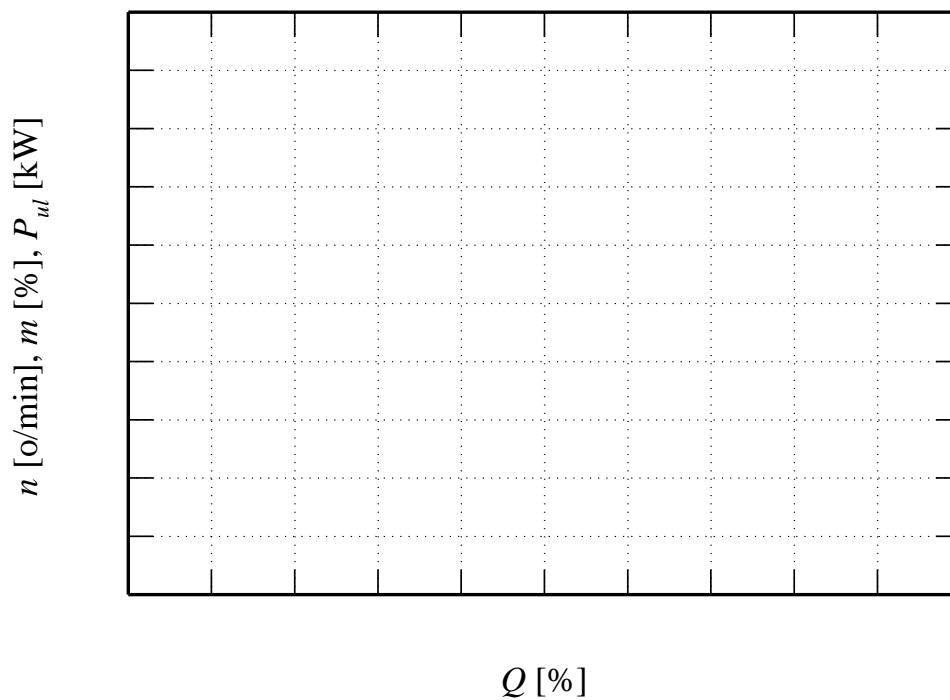
Familija karakteristika centrifugalne pumpe za različite učestanosti

n [o/min], m [%], P_{ut} [kW]



Q [%]

Karakteristike pumpe pri učestanosti napajanja od 50Hz



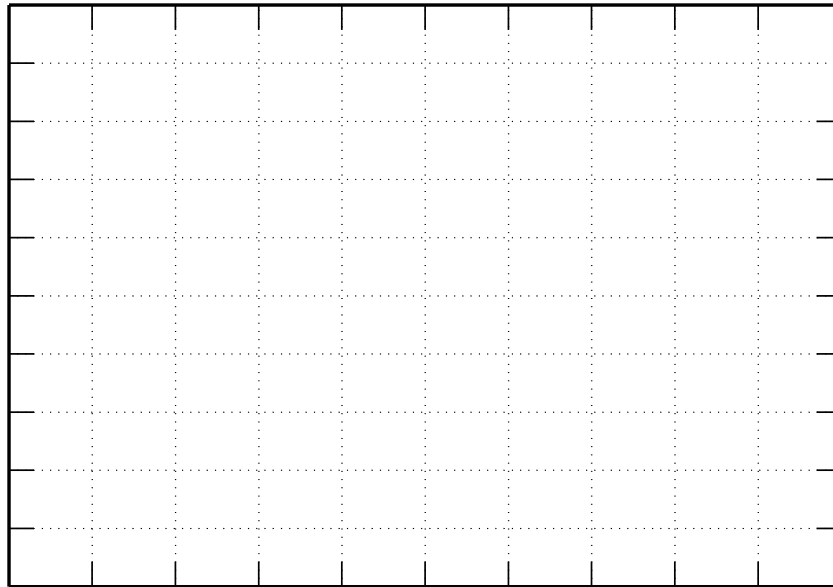
Karakteristike pumpe pri učestanosti napajanja od 30Hz

c) *Procena uštede električne energije*

Regulacija protoka prigušenjem	Q [%]	
	p [mbar]	
	P [kW]	
	P_{ul} [kW]	
	m [%]	
	n [o/min]	
Regulacija protoka promenom brzine	Q [%]	
	p [mbar]	
	P [kW]	
	P_{ul} [kW]	
	m [%]	
	n [o/min]	

Proračun uštede:

p [mbar]



Q [%]

Komentar: