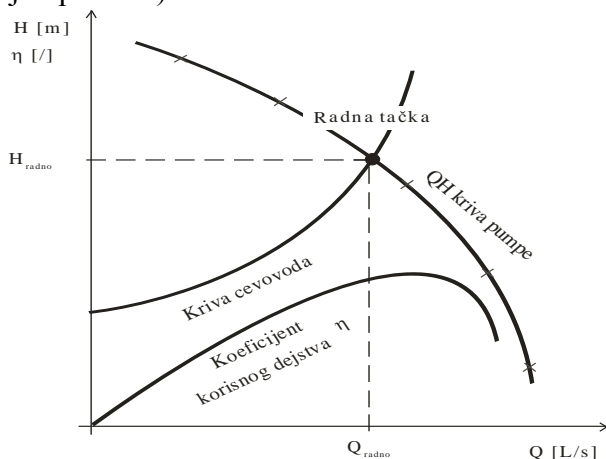


VEŽBA 3

Naziv vežbe	ODREĐIVANJE Q-H KRIVE PUMPE
Trajanje vežbe	2 časa
Potrebno predznanje	Osnovni pojmovi iz hidraulike i fizike
Broj studenata	5
Cilj vežbe	U ovoj vežbi studenti imaju cilj da odrede Q-H krivu pumpe i da obrade dobijene rezultate. Merenje visine dizanja pumpe se izvodi pomoću manometra koji je postavljen na potisu pumpe. Merenje protoka se obavlja pomoću elektromagnetnog merača. Nakon obavljenog merenja Q-H krive pumpe potrebno je premeriti dužine i prečnike cevi u laboratoriji kako bi se napravio model mreže u EpaNet-u. Potrebno je obraditi greške merenja i fitovati krivu drugog ili trećeg stepena (onu koja se bolje slaže) koja će predstavljati Q-H krivu pumpe.

TEORIJSKE OSNOVE

U ovoj vežbi je potrebno odrediti **Q-H** zavisnost pumpe stare više godina. U toku životnog veka pumpe njene se karakteristike menjaju usled trošenja radnog kola, grejanja ležajeva, itd. Da bi se rad pumpe mogao precizno kontrolisati i da bi se moglo upravljati pumpom potrebno je poznavanje **Q-H** zavisnosti pumpe (zavisnost između visine dizanja i protoka).



Slika 1. Q-H kriva pumpe, kriva cevovoda i kriva koeficijenta korisnog dejstva pumpe

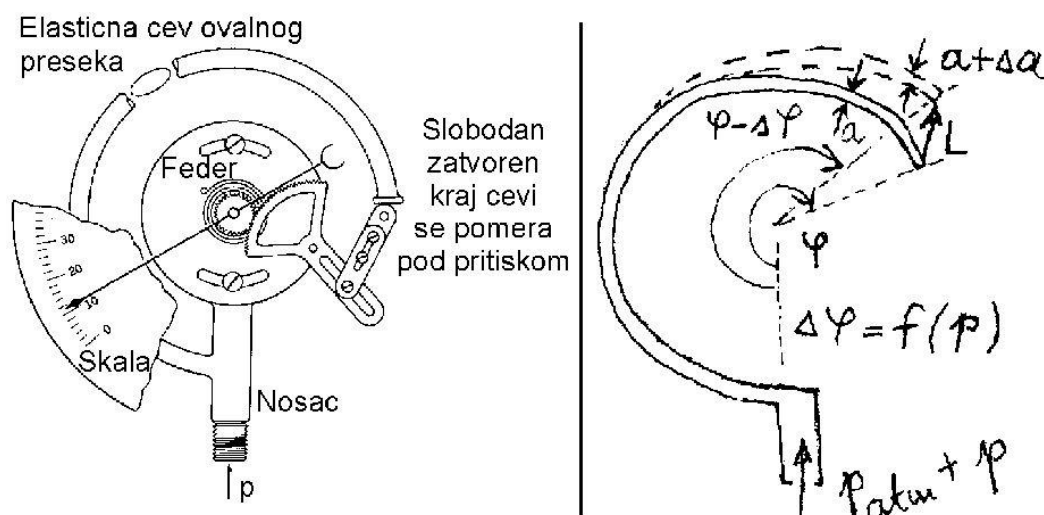
Način određivanja visine dizanja pumpe pri određenom protoku zavisi od karakteristika cevovoda od kog se sastoji laboratorijska instalacija. Promenom otvorenosti zatvarača menja se i kriva cevovoda čime se dobijaju nove radne tačke.

Postupak određivanja Q-H krive pumpe zahteva određeni broj merenja visine dizanja pumpe (razlika energije u presecima neposredno nizvodno i uzvodno od pumpe) i protoka koji ide kroz pumpu, tj. više radnih tačaka. Merenje visine dizanja pumpe obavlja se merenjem pritiska na potisnom delu pumpe i proračunom energije na usisu pumpe preko poznatih jednačina, korišćenjem podataka o protoku.

Merenje pritiska

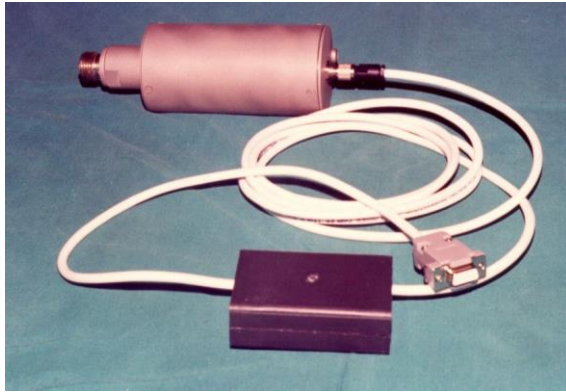
Merenje pritiska obavlja se pomoću mehaničkog manometra sa Burdonovom cevi čiji je princip rada zasnovan na uspostavljanju veze (funkcionalne zavisnosti) između deformacije na manometru i pritiska koji vrši tu deformaciju. Pritisak koji vrši deformaciju ovakvog manometra je hidrostatički pritisak p iako je na ulazu u cev apsolutni pritisak $p_{aps} = p + p_{atm}$, ali se p_{atm} poništava sa atmosferskim koji deluje svuda oko manometra. Ukoliko bi se manometar nalazio u nekom drugoj sredini (npr. zatvoren u kućištu u kom je vakuum onda je neophodno uzeti u obzir i atmosferski pritisak)

$$\frac{\Delta a}{a} = -\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = k \cdot p$$



Slika 2. Princip rada manometra sa Burdonovom cevi (predavanja D. Prodanović)

Mana ovakvog mernog uređaja je što ne postoji način za povezivanje na računar i akviziciju podataka. Zbog toga se, u zavisnosti od kompleksnosti problema, koriste logeri pritiska koji u sebi imaju senzor pritiska i logger za registrovanje podataka. Ovakvi sistemi se lako povezuju na računare što omogućava relativno jednostavan prenos podataka i njihovu obradu. Zbog toga se za slučajeve kada je potrebno kontinualno meriti pritiske u cevovodu pod pritiskom u nekom dužem periodu koriste logeri pritiska. Princip rada ovih senzora pritiska najčešće je zasnovan na piezorezistivnom efektu, tj. na promeni otpornosti provodnika pri deformaciji. Oba opisana postupka za merenje pritiska su posredna merenja, tj. merenje pritiska odvija se preko merenja neke druge veličine iz koje se ne može nekom jednačinom jednostavno doći do vrednosti pritiska.



Slika 3. Loger pritiska sa serijskom vezom na računar



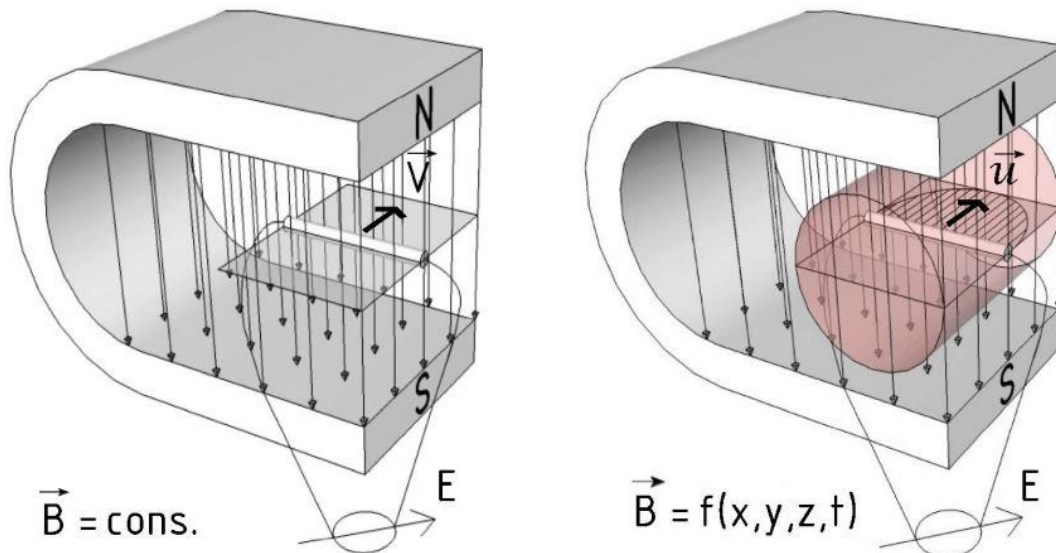
Slika 4. Loger pritiska sa radio vezom na računar

Merenje protoka u sistemu pod pritiskom

Protok u sistemima pod pritiskom takođe se može meriti na više načina. U ovoj vežbi protok u cevovodu pod pritiskom će se meriti primenom elektromagnetnog merača protoka. Princip rada EM merača protoka zasniva se na Faradejevom zakonu indukcije: „Ako se provodnik dužine l kreće u homogenom magnetnom polju \vec{B} brzinom \vec{v} na krajevima žice indukuje se elektromotorna sila intenziteta E “. U slučaju merenja protoka u cevovodu magnetno polje se pravi oko cevi, a „žica“ je provodni fluid (npr. voda) koja se kreće nekom brzinom.

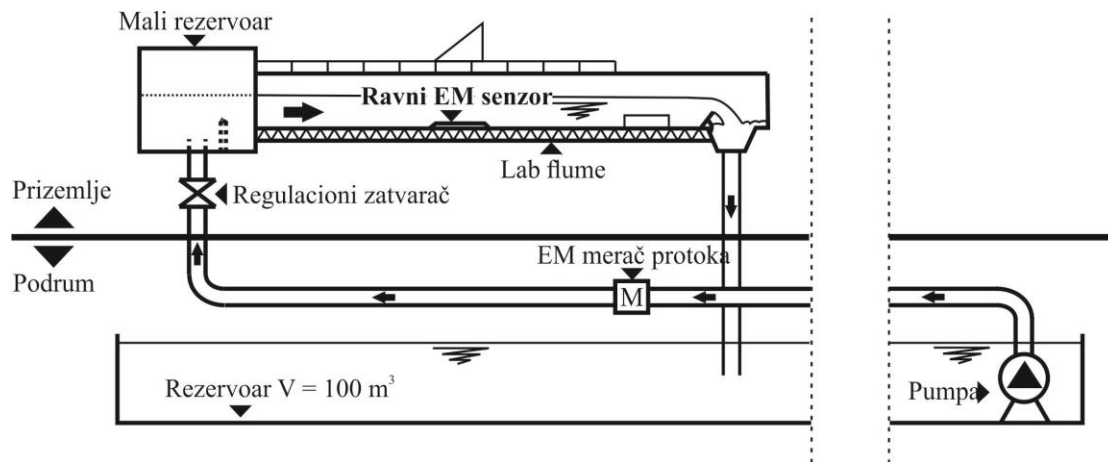
$$E = \int_l \vec{B} \times \vec{v} \cdot d\vec{l}$$

EM merač protoka je takođe uređaj kojim se protok meri posredno, preko elektromotorne sile (napon), pa je i njega potrebno kalibrisati.



Slika 5. Faradejev zakon

POSTUPAK IZRADE VEŽBE



Slika 6. Shema instalacije

Vežba se izvodi na postojećoj pumpi i cevovodu u podrumu laboratorije. Sistem pod pritiskom se sastoji od velikog rezervoara iz kog izlazi usisna cev ka pumpi, pumpe proizvođača Ebara Espana Bombas, potisnog cevovoda i rezervoara na kraju cevovoda koji se nalazi na višem nivou (spratu) laboratorije. Na potisnom cevovodu pumpe postavljen je manometar/logger pritiska kojim se meri visina dizanja pumpe. Energija na usisnoj strani pumpe se dobija rešavanjem Bernulijeve jednačine od rezervoara do pumpe. Na nizvodnom delu cevovoda nalazi se elektromagnetni merač protoka. Na osnovu izmerenih vrednosti pritiska na potisu i energije na usisu pumpe potrebno je odrediti visinu dizanja pumpe za nekoliko vrednosti protoka i pri tome formirati Q-H krivu pumpe.

Visina dizanja pumpe se računa na osnovu izmerenih pritisaka na potisu pumpe pomoću manometra i energije u preseku uz pumpu na usisnoj cevi.

$$H_p = Z_{man} + \frac{p_{man}}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_{potis}^2} - E_{usis}$$

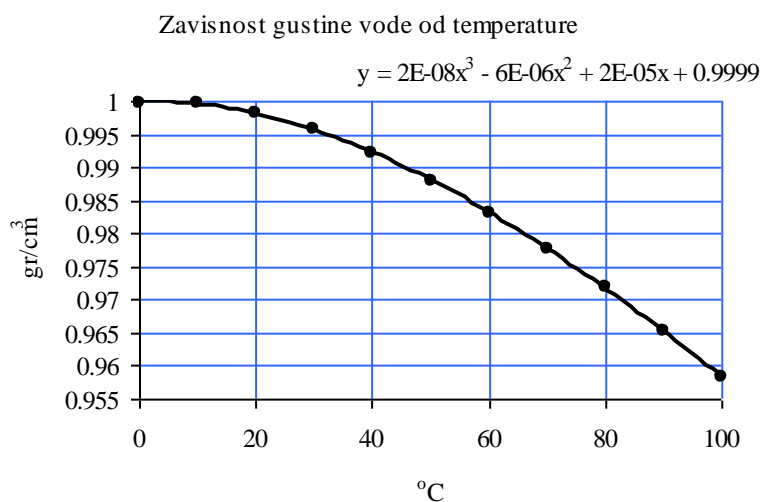
$$E_{usis} = Z_{dr} - \left(\lambda_{usis} \frac{L_{usis}}{D_{usis}} + \sum_{usis} \xi \right) \cdot \frac{Q^2}{2gA_{usis}^2}$$

Pomoću laserskog daljinomera potrebno je izmeriti dužinu cevi u sistemu, odrediti prečnike cevi i položaje i kote u rezervoarima koji predstavljaju granične uslove. Odrediti rastojanja od pumpe na kojima se nalaze zatvarači i proceniti koeficijente lokalnih gubitaka na njima.

Vežba se izvodi u sledećim koracima:

1. Puštanje pumpe u pogon
2. Određivanje nivoa vode u rezervoarima
3. Merenje dimenzija cevovoda I položaja zatvarača I zapisivanje na skicu
4. Procena koeficijenta gubitaka energije
5. Otvaranje zatvarača uz pumpu
6. Merenje pritiska na manometru/loggeru pritiska
7. Merenje protoka pomoću EM merača
8. Zapisivanje rezultata u tabelu

Gore naveden postupak je potrebno ponoviti 9 puta za različite protoke kroz sistem (različita otvorenost regulacionog zatvarača).



Temperatura	Gustina
[°C]	[g/cm³]
0	0.99984
10	0.9997
20	0.99821
30	0.99565
40	0.99222
50	0.98803
60	0.9832
70	0.97778
80	0.97182
90	0.96535
100	0.9584

OBRADA REZULTATA MERENJA

Rezultate merenja je potrebno predstaviti numerički i grafički i to:

1. Prikazati rezultate u vidu tabele u kojoj treba da se nalaze odgovarajuće vrednosti visine dizanja (**H**) i protoka (**Q**)
2. U vidu grafika koji reprezentuje **Q-H** krivu
3. U vidu grafika fitovane krive drugog ili trećeg stepena
4. Proceniti apsolutne i relativne greške svakog merenja ukoliko se merenja uporede sa fitovanom krivom
5. Napraviti model sistema u Epanet-u I uneti podatke o pumpi koji su izmereni

Podaci o vodi	
Temperatura vode [$^{\circ}\text{C}$]:	
Gustina vode [kg/m^3]:	

Kota manometra: $Z_{\text{man}} =$ _____

Nivo vode u nižem rezervoaru: $Z_{\text{dr}} =$ _____

Suma koeficijenata lokalnih gubitaka na usisu: $\Sigma \xi_{\text{usis}} =$ _____

Hrapavost cevi: $k =$ _____

Prečnik cevi na usisu: $D_{\text{usis}} =$ _____

Relativna hrapavost cevi na usisu: $k/D_{\text{usis}} =$ _____

Koeficijent linijskog gubitka: $\lambda =$ _____

Prečnik cevi na potisnom cevovodu: $D_{\text{potis}} =$ _____

merenje	Rezultati merenja		Rezultati proračuna	
	Pritisak na manometru/loggeru [bar]	Protok na EM meraču [l/s]	Pritisak na usisu-presek uz pumpu [bar]	Visina dizanja pumpe H [m]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Q-H kriva izražena u vidu polinoma drugog/trećeg stepena:

$$H_p = A \cdot Q^3 + B \cdot Q^2 + C \cdot Q + D$$

A=..... B=..... C=..... D=.....

Prostor za skiciranje sistema: