



UNIVERZITET U
Kragujevcu
AGRONOMSKI FAKULTET U
Čačku



UNIVERSITY OF
Kragujevac
FACULTY OF
AGRONOMY
Čačak

XXV SAVETOVANJE O BIOTEHNOLOGIJI

sa međunarodnim učešćem

- ZBORNIK RADOVA 2 -



Čačak, 13 - 14. mart 2020. godine

XXV SAVETOVANJE O BIOTEHNOLOGIJI

sa međunarodnim učešćem

- Zbornik radova 2 -

ORGANIZATOR I IZDAVAČ

**Univerzitet u Kragujevcu,
Agronomski fakultet u Čačku**

Organizacioni odbor

Prof. dr Gordana Šekularac, predsednik;
dr Pavle Mašković, vanr. prof., sekretar;
dr Dalibor Tomić, docent; mast. inž. polj. Radmila Nikolić, asistent;
dipl. inž. Jelena Pantović, asistent; Miloš Petrović, istraživač pripravnik;
dipl. inž. Dušan Marković, asistent

Programski odbor

Dr Vladimir Kurćubić, vanredni profesor, predsednik;
prof. dr Tomo Milošević, dekan; prof. dr Leka Mandić;
prof. dr Vladeta Stevović; prof. dr Snežana Bogosavljević-Bošković;
prof. dr Radojica Đoković; prof. dr Milomirka Madić;
prof. dr Aleksandar Paunović; prof. dr Milena Đurić;
prof. dr Lenka Ribić-Zelenović; prof. dr Mlađan Garić;
dr Goran Marković, vanredni profesor; dr Gorica Paunović, vanredni profesor;
dr Tomislav Trišović, vanredni profesor; dr Milan Lukić, viši naučni saradnik;
dr Snežana Tanasković, vanredni profesor

Tehnički urednici

Dr Pavle Mašković, vanr. prof.; Miloš Petrović, istraživač pripravnik;
dipl. inž. Dušan Marković, asistent

Tiraž: 150 primeraka

Štampa

JP SLUŽBENI GLASNIK, Jovana Ristića 1, Beograd
Godina izdavanja, 2020

APARATURA ZA ODREĐIVANJE TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA PUMPI I KOMPRESORA

*Tomislav Trišović¹, Lidija Rafailović², Branimir Grgur³, Svetomir Milojević⁴,
Branimir Jugović⁵, Trišović Zaga⁶*

Izvod: Tehnički razvoj civilizacije uslovljava sve veći broj uređaja i aparata koji nas okružuju a koje najčešće nismo u stanju da suštinski upoznamo principe njihovog rada. Zbog toga se takvi uređaji najčešće nepotpuno ili čak pogrešno koriste odnosno ne koriste se sve u optimalnim parametrima i u svim funkcijama za koje su projektovani. Nepoznavanje suštine rada pumpi i kompresora ima za posledicu da mnogi inženjeri ne znaju da pravilno odaberu tip pumpe i kompresora za pojedine uslove eksploatacije tj. transporta fluida. Posledica lošeg izbora ovih uređaja je povećana potrošnja energije za njihov rad, opterećenje mreže kuda fluid protiče, veliki ili nizak pritisak na željenim tačkama duž instalacije, smanjeno iskorišćenje i dr. Loš izbor takođe povlači nefunkcionalan rad i drugih uređaja koji zavise od rada pumpi i kompresora što za posledicu ima nekvalitetan proizvod ili uslugu koju zbirno ta oprema daje. Iz gore navedenih razloga napravljena je aparatura koja na jednostavan način demonstrira princip rada pumpi i kompresora. Aparatura na jednostavan način vizuelno prezentuje princip rada pumpi i kompresora, i na jednostavan način demonstrira kako se električna energija pretvara u energiju kretanja radnog kola pumpe a potom pretvara u potencijalnu, statičku i dinamičku energiju fluida nad kojim se vrši rad.

U ovom radu je pokazano da su izmerene H-Q krive u dobroj saglasnosti sa teorijskom Bernulijevom jednačinom. Na aparaturi se najbolje pokazuje funkcionalnost i primena Bernulijeve jednačine kao i njena detaljna analiza. Aparatura je namenjena svima koji imaju potrebu da se pravilno upoznaju sa tehničkim karakteristikama pumpi i kompresora i kako se te karakteristike mogu izmeriti.

Ključne reči: Mehanika fluida, pumpe, kompresori, visina dizanja

Uvod

Vizuelni doživljaj i neposredna merenja su osnov učenja. Eksperimentalna demonstracija prirodnih zakonitosti sa neposrednim merenjem svih relevantnih parametara čini da se stekne trajno funkcionalno znanje. Svaka kuća, stan,

¹ Agronomski fakultet, Cara Dušana 34, 32 000 Čačak

² CEST, Viktor-Kaplan-Str. 2, A-2700 Wiener Neustadt, Viena

³ Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11 000 Beograd

⁴ Fakultet tehničkih nauka, K. Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica

⁵ Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11 000 Beograd

⁶ Institut tehničkih nauka SANU, K. Mihailova 35/4, 11000 Beograd

automobil imaju po nekoliko različitih pumpi počevši od već mašine, mašine za sudove, usisivača, fena, do pumpi za vodu, gorivo i ulje u automobilima. Suština rada ovih uređaja se ogleda u tome da je na usisu pumpe ili kompresora pritisak fluida (tečnost ili gas) niži nego na potisu pumpe ili kompresora. Razlika ta dva pritiska je znatna i može da iznosi od par milibara do par hiljada bara. Da bi se postigla ova razlika konstrukcija pumpe i kompresora je različita odnosno postoje više konstruktivnih rešenja u zavisnosti šta se želi postići prvenstveno što se tiče razlike pritiska i protoka fluida kroz potisnu stranu cevovoda. U tom smislu neophodno je rasvetliti na što jednostavniji način suštinu procesa rada ovih mašina.

Uređaji i aparature koji se koriste u obrazovnim ustanovama (srednje škole i fakulteti) a koji demonstriraju rad pumpi i kompresora ili ih nema ili su veoma složene konstrukcije tako da ne daju jasnu sliku principa rada pumpi i kompresora. Postoje nekoliko aparatura za određivanje karakteristika pumpi i kompresora. Najčešće korišćena aparatura je u kojoj je pumpa spregnuta sa ekspanzionom posudom u kojoj se meri pritisak. Na osnovu postignutog pritiska određuje se visina dizanja pumpe ili kompresora. Postoji i vežba pomoću instalacije koja se sastoji od rezervoara u koji je potopljena pumpa, creva kroz koja teče voda, Veturijeve cevi za merenje protoka sa priključenom sondom za merenje razlike pritiska i pijezometarskih cevi postavljenih na odgovarajućim mestima. Ovo je jedna vrlo netačna metoda za određivanje H-Q karakteristike pumpe. Savremenija oprema za laboratorijski uređaj na kome se određuje H-Q karakteristika pumpi, sastoji se od sistema za kruženje vode sa pumpom, u koji su ugrađeni davači protoka i pritiska i slavine, sa kojima se može uticati na protok vode. 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. Cela se vežba izvodi upravljanjem sa lokalnog panela, a da se parametri frekventnog pretvarača podešavaju pomoću računara i softvera MCT 10, korišćenjem USB veze sa pretvaračem.

Analizom prvog principa termodinamike za otvoren sistem primenjen na pumpe i kompresore (zanemaren je član razmene toplote i član koji definiše promenu unutrašnje energije i promenu zapremine) pa je rad pumpi proporcionalan masenom protoku, specifičnoj zapremini i razlici pritiska na ulazu i izlazu iz pumpe odnosno kompresora. Znači da je pritisak fluida na ulazu u pumpu ili kompresor uvek niži od pritiska na izlazu iz pumpe ili kompresora. Pumpe i kompresori su mašine koje transformišu mehaničku energiju u energiju pritiska fluida preko radnog kola.

Radnom mediju - fluidu se pri prolasku kroz pumpu povećava energija. Kod pumpi energetski proces se odvija na način da se mehanička energija predaje

radnom mediju preko rotora pumpe pri čemu se primarno povećava energija pritiska, kinetička energija i potencijalna energija.

Ako se pumpa napaja sa električnom energijom, elektomotor električnu energiju koju povlači iz mreže pretvara u mehaničku energiju rotacije rotora elektromotora a ovaj rotira radno kolo pumpe koje preko lopatica energiju prenosi na fluid sa kojim je u kontaktu.

Mehanički rad rotacije se kod pumpi predaje fluidu preko radnog kola koji je u potpunosti potopljeno u radnom mediju -fluidu tokom rada. Ta energija može da se pretvori u toplotu, na smanjenje međumolekulske rastojanja u fluidu zbog porasta pritiska ili na druge vidove unutrašnje energije. Kako bi ta izmena energije bila moguća moraju postojati sile koje deluju između rotora pumpe i fluida. Te sile su isključivo inercione sile i one djeluju prvenstveno u smeru ili suprotnom smeru rotacije.

Materijal i metode rada

Princip rada pumpi i kompresora je definisan Bernulijevom jednačinom koja definiše transport realnog fluida (tečnost ili gas) kroz neki cevovod. Jednačina pokazuje da zbir statičkog, brzinskog, visinskog pritiska i visine dizanja pumpe na jednom preseku 1-1 jednaka je zbiru statičkog, brzinskog, visinskog pritiska na posmatranom preseku 2-2 i visine gubitaka kroz cevovod između posmatranih preseka 1-1 i 2-2. Iz praktičnih razloga članovi sa pomenutim pritiscima su podeljeni sa ρg kako bi članovi u jednačini imali dimenziju u metrima tj iskazani su kao visina stuba radnog fluida tj fluida sa kojim se vrši merenje. Matematička formulacija Bernulijeve jednačine tada glasi ¹:

$$\frac{p_1 + p_b}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H = \frac{p_2 + p_b}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \xi_{1-2}$$

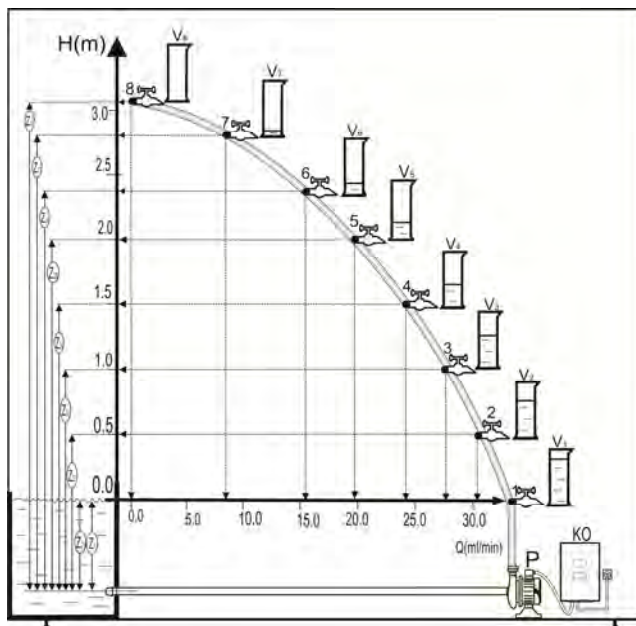
Prvi član i sa leve i sa desne strane je statički pritisak, drugi član definiše dinamički pritisak dok treći član definiše visinski pritisak. Član H definiše visinu dizanja pumpe ili kompresora a ξ_{1-2} definiše visinu gubitaka kroz cevovod.

Visinu dizanja H obezbeđuje pumpa ili kompresor koji vrše mehanički rad nad fluidom povećavajući pritisak u njemu, povećavajući brzinu njegovog kretanja i/ili povećavajući geodetsku visinu fluida u odnosu na početno stanje. Analiza ove složene jednačine svakog laika, učenika ili studenta će da obeshrabri da dalje uđe u suštinu analize ove jednačine. Da bi se to uradilo najbolje je posmatrati praktične primere koji se javljaju u praksi ^{2,3}.

Rezultati istraživanja i diskusija

Određivanje visine dizanja fluida u odnosu na protok je osnovna tehnička karakteristika pumpi i kompresora. Matematička formulacija sadržaja energije fluida je opisana Bernulijevom jednačinom koja se sastoji iz tri člana ^{4,5}. Prvi član opisuje statički, tj mirni pritisak, drugi član opisuje visinski pritisak tj geografski položaj između posmatranih tačaka i treći član opisuje dinamički tj pritisak uslovljen kretanjem fluida U pomenutoj jednačini se svi članovi izražavaju u jedinicama pritiska tj Paskalima (barima) ali najčešće se svi članovi izražavaju kao visine tj deljenjem svakog člana sa ρg i u jednačini su izraženi u visini tj u jedinici dužine.

Aparatura za merenje H-Q karakteristike pumpe se sastoji od postolja sa pravougaonom mrežom kao nosačem čija je donja horizontalna stranica X osa na kojoj se mere protoci a leva vertikalna stranica Y osa na kojoj se mere visine dizanja. Rezervoar sa vodom instaliran je tako da se linija X ose poklapa sa visinom vode u rezervoaru sa vodom. Na donjem delu rezervoara sa vodom instalirana je usisna cev pumpe koja potiskuje vodu u potisnu cev na kojoj se nalaze trokrake slavine u tačkama 1,2,3,4,5,6,7, i 8 (Slika 1). Pumpi se dovodi rad preko elektomotora koji je povezan na električnu mrežu preko komandnog ormara. Na komandnom ormaru je instaliran uređaj za merenje jačine struje i napona kako bi se izračinao koeficijent korisnog dejstva pumpe u pojedinim tačkama. Preseci na kojima se posmatra stanje fluida i mere parametri su 1-1 nivo vode u rezervoaru sa vodom, dok je drugi nivo posmatranja 2-2 promenljiv u pojedinim tačkama isticanja vode tj tačke sa trokrakim slavinama (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8). Referentni nivo 0-0 je nivo ose usisne cevi. Visina z_1 je visina od ose usisne cevi do nivoa vode u rezervoaru sa vodom tj nivo 1-1. Visina z_{21} je identična sa visinom z_1 što je ustvari tačka isticanja na trokrakoj slavini (1). Ostale visine od z_{12} do z_{18} su veće od z_1 i definišu visine isticanja na tačkama od 2 do 8 u odnosu na referentan nivo 0-0. Referentni nivo 0-0 i nivo vode u rezervoaru sa vodom se tokom merenja ne menjaju ili je njihova promena zanemariva. Tokom merenja neophodno je meriti zapreminu vode menzutom koja ističe na potisnoj cevi tj u tačkama od 1 do 8, kao i vreme isticanja vode pri punjenju menzure. Pored ovih parametara neophodno je izmeriti jačinu struje i napon na komandnom ormaru. Postupak merenja se sastoji u sledećem. Određivanje parametara radne tačke 1 na H-Q dijagramu. Trokraka slavinna (1) se zakrene tako da voda mora da ističe na njoj. Rezervoar sa vodom se napuni sa istom do nivoa 1-1. Uključi se pumpa koja preko usisne cevi transportuje vodu u potisnu cev. U trenutku kad počne isticanje na trokrakoj slavini 1 uključi se merenje vremena isticanja. Voda koja ističe se prihvata u menzuru kako bi se odredila ukupna količina u toku vremena isticanja. U toku stacionarnog isticanja treba zapisati vrednosti struje i napona koje bi trebalo da budu stabilne tokom samog merenja. Kada se menzura napuni neophodno je isključiti pumpu i zabeležiti tačno vreme za koje se menzura napunila. Ostala merenja do tačke 8 se izvode ekvivalentno kao i za tačku 1. Aparatura je prikazana na Slici 1 a rezultati merenja su prikazani u Tabeli 1.



Slika 1. Primer pretvaranja mehaničkog rada pumpe u statički, dinamički i visinski pritisak fluida

$$H = \frac{p_2 + p_b}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - \left(\frac{p_1 + p_b}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) + \xi_{1-2}$$

Izračunavanje brzine strujanja fluida merenjem zapremine u toku vremena, protoka, poprečnog preseka. Rezultati merenja se nalaze u tablici 7. Primer sa slike 1 je veoma čest u inženjerskoj praksi kao što je eksploatacija vode iz bunara i izbor pumpe za takvu eksploataciju uzimajući u obzir izdašnost bunara, statički i dinamički nivo u bunaru i visinu dizanja od dinamičkog nivoa u bunaru do mesta isticanja kod krajnjeg korisnika.

Tabela 1. Rezultati merenja protoka za različite visine dizanja

P_1/bar	1	1	1	1	1	1
P_2/bar	1	1	1	1	1	1
Z_1/m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Z_2/m	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\Delta Z = (Z_2 - Z_1)/\text{m}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$v_1/\text{m/s}$	0	0	0	0	0	0
$v_2/\text{m/s}$	0,02	0,13	0,22	0,36	0,48	0,66
vS	8	16	21	29	38	58
V/ml	500	500	500	500	500	500
$Q = V/\tau; \text{ml/s}$	62,5	31,2	23,8	17,2	13,2	8,6
H/m	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Ono što je uočljivo je to da je iskorišćenje energije jako malo tj da se energija uzeta iz mreže samo 40% konvertuje u energiju dizanja vode sa jedne na drugu kotu gde se ostvaruje rad protiv sila zemljine težje. Ovo je u saglasnosti sa literaturnim podacima tj što je veća visina dizanja manje je iskorišćenje tj manje se rada pretvara u energiju fluida. Da bi se pravilno odabrala pumpa neophodno je znati ova dva parametra tj visinu dizanja i protok za tu visinu dizanja.

Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da aparatura za određivanje tehničkih karakteristika pumpi moguće je izmeriti sve neophodne parametre da bi se izračunao protok tj radna tačka na određenoj visini dizanja. Na osnovu izmerenih vrednosti moguće je odrediti visinu dizanja H iz Bernulijeve jednačine za svako pojedinačno merenje. Aparatura za određivanje tehničkih karakteristika pumpi predstavlja jednostavnu i pouzdanu aparaturu na kojoj je moguće odrediti tehničke karakteristike pumpe prvenstveno preko $H-Q$, $H-P$ i $H-\eta$ dijagrama.

Literatura

- Đorđević B. Valent V. Šerbanović S. Termodinamika sa termotehnikom, Tehnološko-metaluruški fakultet Beograd, 1997.
- Stephenson, D., 1981, Pipeline design for water engineers, Elsevier.
- Thorley, A. R. D., 1991, Fluid transients in pipeline systems, D. & L. George Ltd. England.
- Protić, Z., Nedeljković, M., 1991, Pumpe i ventilatori, Mašinski fakultet, Beograd.
- Ivetic M, Računska hidraulika tečenje u cevima, Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1996.

APPARATUS FOR DETERMINING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF PUMPS AND COMPRESSORS

*Tomislav Trišović¹, Lidija Rafailović², Branimir Grgur³, Svetomir Milojević⁴,
Branimir Jugović⁵, Trišović Zaga⁶*

Abstract

The technical development of civilization is conditioned by the increasing number of devices and apparatus that surround us, which we are most often unable to substantially understand the principles of their operation. As a result, such devices are most often incompletely or even incorrectly used, or not all are used in optimal parameters and in all the functions for which they are designed. Unfamiliarity with the essence of the operation of pumps and compressors results in many engineers not knowing how to correctly select the type of pump and compressor for particular operating conditions, ie fluid transport. The consequence of poor selection of these devices is the increased energy consumption for their operation, the load on the network where the fluid flows, the high or low pressure at the desired points along the installation, reduced utilization, etc. Poor selection also entails dysfunctional operation of other devices that depend on the operation of pumps and compressors, resulting in a poor quality product or service provided by that equipment. For the above reasons, an apparatus has been made that demonstrates the principle of operation of pumps and compressors in a simple manner. The apparatus visually presents the principle of operation of the pumps and compressors and demonstrates in a simple manner how electricity is converted into the energy of the pump impeller and then converted into the potential, static and dynamic energy of the fluid over which it is operated.

This paper shows that the measured H-Q curves are in good agreement with the theoretical Bernoulli equation. The functionality and application of Bernoulli's equation and its detailed analysis are best demonstrated on the apparatus. The apparatus is intended for all those who need to know properly the technical characteristics of pumps and compressors and how these characteristics can be measured.

Key words: Fluid mechanics, pumps, compressors, lift height

¹ Agronomski fakultet, Cara Dušana 34, 32 000 Čačak

² CEST, Viktor-Kaplan-Str. 2, A-2700 Wiener Neustadt, Viena

³ Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11 000 Beograd

⁴ Fakultet tehničkih nauka, K. Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica

⁵ Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11 000 Beograd

⁶ Institut tehničkih nauka SANU, K. Mihailova 35/4, 11000 Beograd