

EXAMINATION OF SERIAL AND PARALLEL COUPLING OF CENTRIFUGAL PUMPS IN LABORATORY CONDITIONS

ISPITIVANJE SERIJSKOG I PARALELNOG SPREZANJA CENTRIFUGALNIH PUMPI U LABORATORIJSKIM USLOVIMA

Selma Ahmetpahić, dipl. inž. maš.
Glovis d.o.o.
Zenica

Edin Berberović, prof. dr.
Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

REZIME

Ovaj rad istražuje serijsko i paralelno sprezanje centrifugalnih pumpi u laboratorijskim uslovima. Opisan je teorijski okvir centrifugalnih pumpi, princip rada u serijskoj i paralelnoj sprezi, te laboratorijska ispitivanja koja su sprovedena na centrifugalnoj pumpi Armfield FM51. Analizirani su ključni parametri pumpi, uključujući protok, napor i stepen korisnosti. Dobijeni rezultati omogućuju bolje razumijevanje performansi centrifugalnih pumpi u raznim konfiguracijama. Na osnovu izvršenih eksperimenata, potvrđeno je da serijsko sprezanje značajno povećava ukupni napor pumpe, dok paralelno sprezanje omogućava veći protok. Efikasnost sistema zavisi od radnih uslova i optimalnih parametara podešavanja pumpi.

Ključne riječi: Centrifugalne pumpe, serijska i paralelna sprega, protok, napor, efikasnost

ABSTRACT

This paper examines the serial and parallel coupling of centrifugal pumps in laboratory conditions. The theoretical framework of centrifugal pumps is described, along with the working principles in serial and parallel configurations. Laboratory tests were conducted on the Armfield FM51 centrifugal pump, analyzing key parameters such as flow rate, head, and efficiency. The obtained results provide insight into pump performance under different coupling scenarios. Experimental results confirm that serial coupling significantly increases pump head, while parallel coupling enhances flow rate. System efficiency depends on operating conditions and optimal pump settings.

Keywords: Centrifugal pumps, serial and parallel coupling, flow rate, head, efficiency

1. UVOD

Centrifugalne pumpe su jedne od najčešće korištenih pumpi u industriji zbog svoje sposobnosti efikasnog transporta fluida. Njihova primjena se proteže od komunalnih sistema vodosnabdijevanja do složenih industrijskih postrojenja. Serijsko i paralelno sprezanje pumpi koristi se za optimizaciju rada sistema u zavisnosti od zahtjeva za naporom i protokom. Kod serijskog sprezanja pumpe su povezane tako da izlaz jedne pumpe postaje ulaz druge, dok kod

paralelnog sprezanja pumpe rade simultano, dijeleći protok. Ovaj rad ima za cilj eksperimentalno ispitivanje ovih konfiguracija i analiza dobijenih rezultata. [1, 2, 3, 4].

2. SERIJSKO I PARALELNO SPREZANJE PUMPI

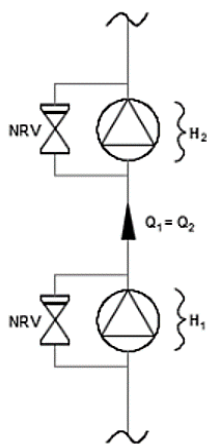
2.1. Serijsko sprezanje

U serijskom sprezanju, pumpe su spojene tako da izlaz prve pumpe postaje ulaz druge. Ovakav raspored omogućava povećanje ukupnog napora sistema pri istom protoku. Ovakva sprega se primjenjuje u situacijama kada jedna pumpa ne može obezbijediti potreban napor, a korištenje jedne veće pumpe nije izvodljivo [11]. Odnosi između pojedinačnih i zbirnih protoka i napora dati su slijedećim izrazima:

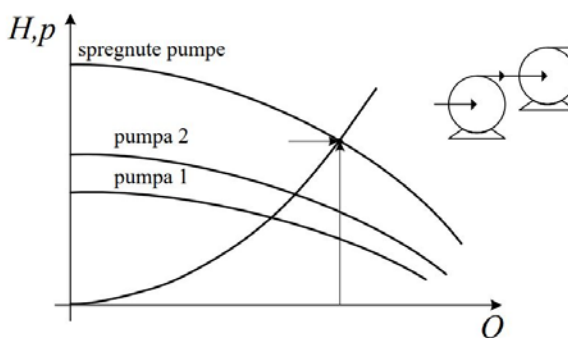
$$H_p = H_{p1} + H_{p2} \quad \dots (1)$$

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad \dots (2)$$

Na slici 1. prikazana je serijska sprega pumpi, dok je na slici 2. prikazana karakteristika serijski spregnutih pumpi.



Slika 1. Serijska sprega pumpi.



Slika 2. Karakteristika serijski spregnutih pumpi.

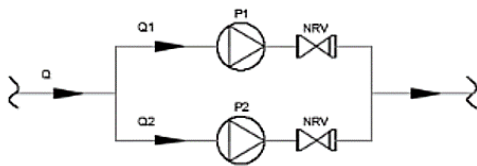
2.2. Paralelno sprezanje

Kod paralelnog sprezanja, pumpe su spojene tako da svaka dobija tečnost iz istog izvora, a njihovi izlazi se kombiniraju. Ovaj raspored omogućava povećanje ukupnog protoka pri istom naporu. Paralelno sprezanje je korisno u aplikacijama gdje je potreban visok kapacitet protoka. Odnosi između pojedinačnih i zbirnih protoka i napora dati su slijedećim izrazima:

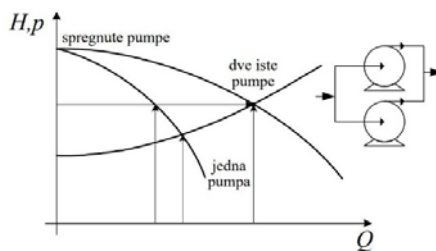
$$H_p = H_{p1} = H_{p2} \quad \dots (3)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad \dots (4)$$

Na slici 3. prikazana je paralelna sprega pumpi, dok je na slici 4. prikazana karakteristika paralelno spregnutih pumpi.



Slika 3. Paralelna sprega pumpi.



Slika 4. Karakteristika paralelno spregnutih pumpi.

2.3. Kombinacija serijske i paralelne sprege

U praksi, često se koriste kombinacije serijskog i paralelnog spreznja kako bi se postigle željene performanse u složenijim sistemima [5, 6, 7]. Na primjer, serijski spojene pumpe mogu biti povezane paralelno s drugim serijskim nizovima pumpi kako bi se postigli i visoki napori i veliki protok. Kad god je moguće potrebno je ispitati efikasnost obje sprege, to jest koeficijent korisnog djelovanja te birati varijante koje zadovoljavaju potrebne parametre protoka i napora, a istovremeno daju najveću efikasnost.

3. OPIS LABORATORIJSKE OPREME

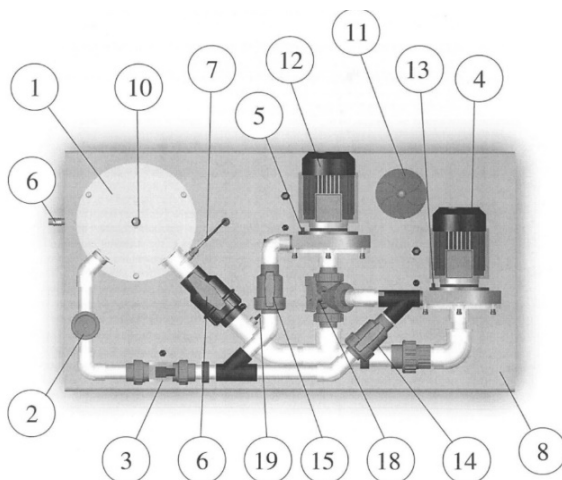
Sva mjerenja su izvedena u Laboratoriji za mehaniku fluida i hidrauliku Mašinskog fakulteta u Zenici. Koristila se ispitna oprema Armfield FM51, proizvođača Armfield iz Engleske. Pumpe dobavlja i potiskuje vodu u isti rezervoar. Ispitni stol se sastoji od rezervoara za vodu i cjevovoda koji dopremaju vodu do i iz dvije identične centrifugalne pumpe. Jedinica je opremljena elektronskim sensorima koji mjere radne parametre pumpe. Signali sa ovih senzora se šalju računaru, na kojem je instaliran softver za bilježenje podataka. Brzina jedne od pumpi može se mijenjati kako bi se omogućilo prikupljanje podataka za različite vrijednosti radnih parametara. Izlazni pritisci mogu se mijenjati kako bi se kontrolirao protok. Protok kroz sistem se može podesiti tako da omogući rad jedne pumpe, serijski ili paralelni rad pumpe. Na slikama 5. i 6. predstavljen je uređaj Armfield FM51, to jeste ispitni stol sa pripadajućim elementima [8].



Slika 5. Serijska i paralelna pumpe Armfield FM51 [8].

Sistem je dizajniran da omogući jednostavnu regulaciju protoka i pritiska kroz postavljanje ventila i podešavanje brzine rotacije pumpi. Senzori za mjerenje protoka, napora i temperature postavljeni su na kritičnim tačkama cjevovoda kako bi se obezbijedili precizni podaci o performansama sistema. Mjerenja su sprovedena u realnim radnim uslovima, uz bilježenje

parametara putem softverske podrške. Sistem je takođe opremljen troputnim ventilima koji omogućavaju brzo prebacivanje između serijske i paralelne konfiguracije, čime se poboljšava efikasnost testiranja.



Slika 6. Armfield FM51 pumpa, pogled odozgo [8].

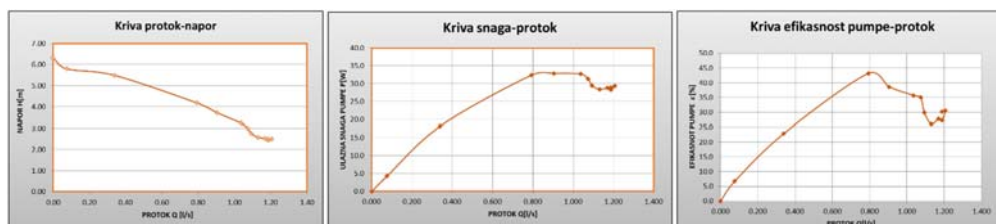
- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1. Rezervoar | 11. Prostor za skladištenje |
| 2. Zasun | 12. centrifugalna pumpa |
| 3. Senzor protoka sa lopaticom | 13. senzor pritiska |
| 4. Centrifugalna pumpa | 14. Kuglasti ventil |
| 5. senzora pritiska | 15. Kuglasti ventil |
| 6. Kuglični ventil | 16. Ispusni ventili pumpe |
| 7. Senzor temperature | 17. Ispusni ventili pumpe |
| 8. Postolje | 18. Trosmjerni ventil |
| 9. Ispusni ventil sistema | 19. senzor pritiska |
| 10. Odvod | |

4. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE

Laboratorijsko ispitivanje je sprovedeno kroz tri ispitivanja (označena kao A, B i C), koja se međusobno razlikuju po metodologiji i analiziranim parametrima.

4.1. Ispitivanje A - Ispitivanje napora, snage i efikasnosti jedne centrifugalne pumpe

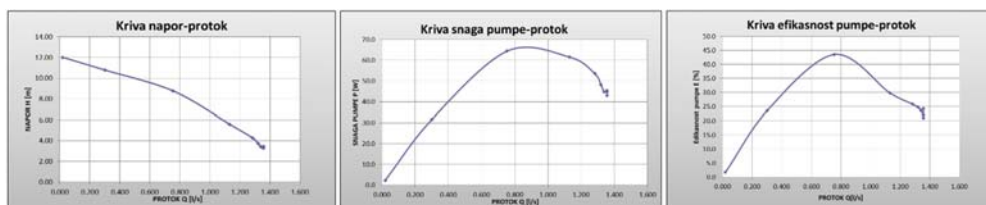
Cilj ovog ispitivanja bio je dobiti grafički prikaz zavisnosti napora, snage i efikasnosti centrifugalne pumpe FM51. Mjerenja su sprovedena pri različitim vrijednostima protoka, dok je broj obrtaja pumpe bio konstantan. Prikupljeni podaci omogućili su analiziranje performansi pumpe i identifikaciju optimalnih radnih tačaka. Rezultati su prikazani na grafikonima na slici 7.



Slika 7. Zavisnost napora, snage i efikasnosti pumpe od protoka, kod rada jedne pumpe.

4.2. Ispitivanje B - Ispitivanje protoka i napora kod rada pumpi u serijskoj sprezi

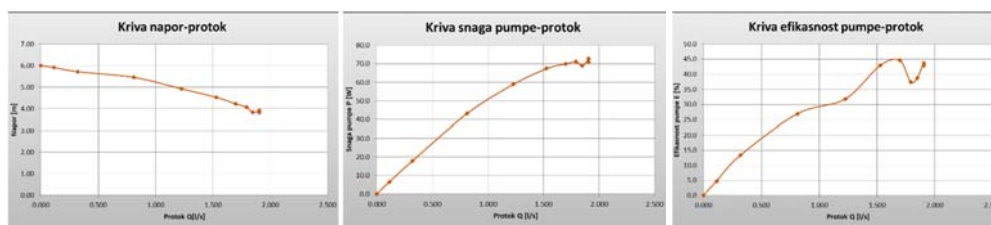
U ovom ispitivanju dvije centrifugalne pumpe su spojene u seriju kako bi se analizirala promjena ukupnog napora sistema. Serijska konfiguracija omogućila je značajno povećanje napora, dok je protok ostao na približno istoj vrijednosti kao kod rada jedne pumpe. Tokom eksperimenta, očitani su radni parametri pri različitim postavkama ventila. Rezultati pokazuju da serijsko sprezanje povećava ukupni napor u sistemu, što je potvrđeno grafikonima na slici 8.



Slika 8. Zavisnosti napora, snage i efikasnosti pumpe od protoka, kod serijskog rada pumpi

4.3. Ispitivanje C - Ispitivanje protoka i ukupnog napora pumpi u paralelnoj sprezi

Posljednje ispitivanje analizira rad pumpi u paralelnoj konfiguraciji. Cilj eksperimenta bio je utvrditi povećanje ukupnog protoka pri zadržavanju istog napora. U ovom ispitivanju, dvije pumpe su simultano radile i dijelile protok fluida. Mjerenja su pokazala da paralelno sprezanje omogućava značajno povećanje protoka sistema, dok je ukupni napor ostao gotovo nepromijenjen. Ovi rezultati su prikazani na grafikonima na slici 9.



Slika 9. Zavisnosti napora, snage i efikasnosti pumpe od protoka, kod paralelnog rada pumpi

5. ZAKLJUČAK

Rezultati laboratorijskih ispitivanja potvrđuju teorijske pretpostavke o radu centrifugalnih pumpi u serijskom i paralelnom sprezanju. Serijsko sprezanje dovodi do značajnog povećanja napora pri konstantnom protoku, dok paralelno sprezanje omogućava povećanje protoka bez značajne promjene napora. Dobijeni rezultati ukazuju na to da je izbor optimalne konfiguracije pumpi ključan za postizanje maksimalne efikasnosti sistema. U industrijskim aplikacijama, serijska konfiguracija se preporučuje u sistemima koji zahtijevaju visok pritisak, dok je paralelna konfiguracija pogodna za aplikacije gdje je primarni cilj povećanje protoka. Pri analizi rezultata potrebno je uzeti u obzir i određene nesigurnosti u mjerenjima koje proizilaze iz varijacija radnih uslova, osjetljivosti mjernih instrumenata i mogućih gubitaka u sistemu. Dalje unapređenje metodologije ispitivanja može dodatno smanjiti ove nesigurnosti i povećati pouzdanost dobijenih rezultata.

6. REFERENCE

- [1] Delalić S.: Pumpe, kompresori i ventilatori, Mašinski fakultet u Tuzli, 2006.
- [2] Velimir Kruz: "Tehnička fizika za tehničke škole", "Školska knjiga" Zagreb, 1969.
- [3] Korpela S.A.: Principles of turbomachinery, John Willey & Sons, Inc., 2011.
- [4] Lakshminarayana B.: Fluid dynamics and heat transfer of turbomachinery, John Willey & Sons, Inc., 1996.
- [5] Dixon S.L., Hall C.A.: Fluid dynamics and thermodynamics of turbomachinery, Elsevier Inc., 2010.
- [6] <https://www.electronicclinic.com/centrifugal-pump-working-with-impeller-types-explained/>
- [7] Crowe C.T., Elger D.F., Williams B.C., Roberson J.A.: Engineering Fluid Mechanics, John Willey & Sons, Inc., 2009.
- [8] Armfield Engineering Teaching and Reserarch Equipment FM51 Series and Parallel Pumps, Instruction manual, 2006. <https://armfield.co.uk/>