

RAD CENTRIFUGALNIH PUMPI SA VISOKOVISKOZNIM I NENJUTNOVSKIM FLUIDIMA**OPERATION OF CENTRIFUGAL PUMPS WITH HIGHLY VISCOUS AND NON-NEWTONIAN FLUIDS**Dejan Vurdelja, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Predmet rada je uticaj viskoviskoznih i nenjutnovskih fluida na rad centrifugalne pumpe. Kroz šest poglavlja date su teorijske osnove njutnovskih i nenjutnovskih fluida, izvršena je klasifikacija pumpi i pobrojane oblasti u kojoj se svaka od pumpi koristi, prikazan način proračuna karakteristika centrifugalne pumpe, prikazan proračun karakteristika centrifugalne pumpe za vodu, maslinovo ulje, 100% glicerol i suspenzije pepela, te je dat kratak komentar dobijenih rezultata.

Ključne reči: *Viskoviskozni fluidi, nenjutnovski fluidi, centrifugalne pumpe*

Abstract – *The subject of the paper is the operation of centrifugal pumps with high-viscosity and non-Newtonian fluids. The paper itself is divided into six chapters whose goal is to bring this topic closer to the reader. Through the chapters is shown theoretical introduction that includes the basic concepts of the fluids, their divisions and characteristics, classifications of pumps used for high-viscosity and non-Newtonian fluids with basic working principles. After introduction the reader is presented with the basic elements that affect the characteristics of the pump and calculation of the pump and pipeline characteristics for a given system working with water, high-viscosity fluids and non-Newtonian fluids as well as the effects of fluids on pipeline characteristics. In the last chapter a reader is presented with a brief conclusion.*

Key words: *High viscosity fluids, non-Newtonian fluids, centrifugal pumps*

1. UVOD

Tema rada je rad centrifugalnih pumpi sa viskoviskoznim i nenjutnovskim fluidima. Centrifugalne pumpe spadaju u turbomašine koje se najčešće koriste u praksi za transport različitih tečnosti. Njihov zadatak je da predaju energiju obrtanja radnog kola fluidu, pri čemu dolazi do povećanja, pre svega, pritiska fluida. U zavisnosti od reoloških karakteristika fluida menjaju se i karakteristike pumpe. Sa druge strane, centrifugalne pumpe po pravilu se ispituju sa vodom. Ako radni fluid nije voda, a posebno ako se viskoznost fluida znatno razlikuje od viskoznosti vode, karakteristike pumpe će u većoj ili manjoj meri odstupati od karakteristika dobijenih za vodu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Slobodan Tašin, docent.

Iz tog razloga neophodno je da se karakteristike pumpe preračunaju za konkretan radni fluid.

U slučaju da je radni fluid njutnovski, postoje upotrebljive metode za relativno pouzdan proračun karakteristika. Ove metode prikazane su u radu. Ukoliko je pak fluid nenjutnovski, do danas nisu razvijene upotrebljive metode za proračun karakteristika centrifugalnih pumpi na osnovu karakteristika koje važe za vodu. U naučnoj literaturi ([1],[5]) preporučuje se korišćenje numeričkih i eksperimentalnih metoda za prevazilaženje ovog problema. Međutim, za uspešnu primenu numeričkih metoda neophodno je poznavanje kompletne geometrije kprotočnih delova pumpe. I pored toga dobijeni rezultati mogu znatno da odstupaju od realnih karakteristika pumpe.

2. TEORIJSKE OSNOVE**2.1 Klasifikacija fluida**

Na osnovu ponašanja fluida pod uticajem smicanja, odnosno tangencijalnog napona, fluidi se mogu podeliti na njutnovske i nenjutnovske flude [1].

2.1 Njutnov zakon viskoznosti

Njutnov zakon viskoznosti glasi: tangencijalni napon proporcijalan je gradijentu brzine u fluidu. Konstanta proporcionalnosti poznata je kao dinamička viskoznost. Njutnov zakon viskoznosti može da se napiše pomoću izraza 2.1 [1]:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.1)$$

gde su:

τ - tangencijalni napon [Pa];

μ - dinamička viskoznost [Pa s];

$\frac{dv}{dy}$ - gradijent brzine [1/s].

Fluidi za koje važi ova jednačina nazivaju se njutnovski fluidi. Fluidi koji se ne povinuju ovoj jednačini nazivaju se nenjutnovski fluidi.

Za njutnovske flude, grafik tangencijalnog napona u funkciji od brzine deformacije u Dekartovim koordinatama dat je u vidu prave linije sa nagibom jednakim dinamičkoj viskoznosti, dok za nenjutnovske flude ova zavisnost nije prava linija. Grafici za τ u funkciji od $\dot{\gamma}$ određuju se viskozimetrom. Za različite parove τ i $\dot{\gamma}$, njihov količnik nije isti, pa se kod nenjutnovskih fluida ne može govoriti o viskoznosti. Zato se za nenjutnovske flude definiše prividna viskoznost μ_a čija promena određuje vrstu fluida [1]:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

gde je: μ_a - prividna viskoznost [Pa s].

U nenjutnovske fuide ubrajaju se: pseudoplastični fluidi, dilatantni fluidi, Bingamova plastika, tiksotropni fluidi, reopektički fluidi i viskoelastični (polimeri) fluidi.

3. ODABIR PUMPI - KLASIFIKACIJA

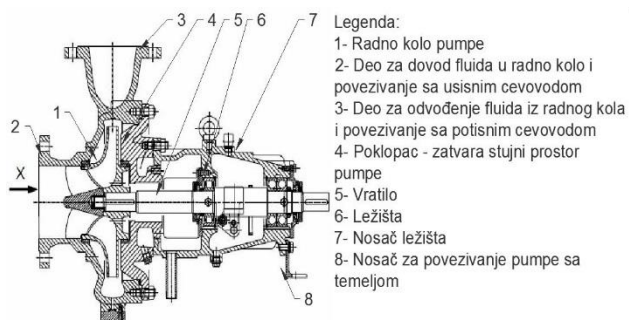
Nenjutnovske karakteristike, naročito viskozitet zavistan od smicanja i napon tečenja, značajno utiču na adekvatan odabir pumpnog agregata i katarakteristike istog.

3.1. Odabir pumpi – klasifikacija

Za rad sa nenjutnovskim fluidima kao i viskoviskoznim fluidima koriste se: 1. zapreminske pumpe (zupčaste, rotacione klipne, zavojne i peristaltičke pumpe); 2. vijčane pumpe (ekstruderi) i centrifugalne pumpe. Najveća pažnja posvećena je radu sa centrifugalnim pumpama.

3.2. Centrifugalne pumpe

Centrifugalne pumpe su turbomašine koje se koriste za transport tečnosti podižući pri tome pritisak tečnosti na željeni nivo. Povišenje energije fluida u centrifugalnim pumpama posledica je hidrodinamičkih procesa gde su razlike pritiska i energije proporcionalne kvadratu obimske brzine [2].



Slika 1. Jednostepena centrifugalna pumpa [6]

4. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA CENTRIFUGALNIH PUMPI

Predstavnici performansi centrifugalnih pumpi su napor, snaga i efikasnost

Napor centrifugalne pumpe [3]:

$$H = \frac{P_{II} - P_I}{\rho g} + \frac{v_{II}^2 - v_I^2}{2g} + z_{II} - z_I \quad (4.1)$$

Gде су:

H - napor pumpe [m];

$P_{II,I}$ - pritisak fluida na izlaznom/ulaznom preseku pumpe;

$v_{II,I}$ - srednja brzina fluida u izlaznom/ulaznom preseku iz pumpe;

$z_{II,I}$ - geodetska visina izlaznog/ulaznog preseka pumpe.

Korisna snaga pumpe [3]:

$$P_{ef} = \rho g Q \Delta H \quad (4.2)$$

где су:

P_{ef} - korisna snaga pumpe [W];

ρ - gustina fluida [kg/m³];

Q - protok fluida [m³/h].

Stepen korisnosti pumpe je odnos korisne i potrebne snage [3]:

$$\eta = \frac{P_{ef}}{P} \quad (4.3)$$

5. PRORAČUN KARAKTERISTIKA CENTRIFUGALNE PUMPE

U nastavku je prikazan proračun karakteristika centrifugalne pumpe za zadati sistem (slika 2). Proračun će se vršiti za tri radna fluida, čije su fizičke veličine naznačene u tabeli 1, kao i za dve suspenzije poznatih reoloških svojstava. Cevovod je sačinjen od novih cevi izrađenih od čeličnog lima, nazivnog prečnika DN80, dužine L=74m, debljine zida 2,9 mm i relativne hrapavosti 0,05mm. Vrednost lokalnih gubitaka cevnih armatura dat je na tabeli 2.

Tabela 1. Fizičke veličine radnih fluida

	Fluid	Dinamička viskoznost η [Pa s]	Kinematska viskoznost ν [m ² /s]	Gustina kg/m ³
1	Voda	10 ⁻³	10 ⁻⁶	1000
2	Maslinovo ulje	0,1	1,0905·10 ⁻⁴	917
3	Glicerol	1,5	1,189·10 ⁻⁴	1261

Tabela 2. Vrednost lokalnih gubitaka cevnih armatura [4]

	Zaporni element	Vrednost lokalnog gubitka
1.	Zaporni ventil	0,3
2.	Redukcija	0,03
3.	Nepovratna klapna	1,5
4.	Koleno	0,2

Za dati sistem odabrana je pumpa 50K WILFLEY čije su karakteristike za rad sa vodom i suspenzijom pepela dobijene eksperimentalnim putem [5].

Pri radu sa vodom karakteristika cevovoda određuje se pomoću izraza 5.1, uproštenog usled otvorenih rezervoara i zanemarljive brzine u rezervoarima [3].

$$H_P = (z_B - z_A) + \frac{8Q^2}{d^4 \pi g} \left(\lambda \frac{L}{d} + \zeta_{lok} \right) [m] \quad (5.1)$$

Pri radu sa visoko viskoznom fluidom karakteristika cevovoda određuje se pomoću izraza 5.2 [3].

$$H_P = (z_B - z_A) + \frac{8Q^2}{d^4 \pi g} \left(\lambda_z \frac{L}{d} + \frac{\lambda_z}{\lambda_w} \zeta_{lok} \right) [m] \quad (5.2)$$

Kako za rad sa vodom imamo poznatu karakteristiku pumpe, za dobijanje radne tačke neophodno je samo odrediti karakteristiku cevovoda. Za određivanje karakteristike pumpe pri radu sa viskoviskoznim fluidima korišten je KSB metod [4], koji se zasniva na grafičkom određivanju korekcionih faktora protoka, napora i efikasnosti za poznate optimalne karakteristike pri radu pumpe sa vodom. Preračunavanjem se dobijaju 4 tačke na osnovu kojih se mogu grafički predstaviti karakteristične krive rada centrifugalnih pumpi, te je uz proračun karakteristike cevovoda moguće odrediti radnu tačku sistema.

Za određivanje koeficijenta otpora pri strujanju nenjutnovskih fluida (Bingamove plastike) korišten je Govierov model kao i poznate reološke karakteristike suspenzije. Na osnovu modifikovanog Rejnoldsovog broja i Govierovih značica određuje se koeficijent otpora pomoću sledećih izraza:

$$Re_B = \frac{\rho v d}{\mu_a} \quad (5.3)$$

gde su:

Re_B - modifikovani Reynoldsov broj;

d - unutrašnji prečnik cevovoda [m];

Nakon određivanja modifikovanog Reynoldsovog broja određuje se bezdimenzionalni broj:

$$N_Y = \frac{\tau_B d}{\nu \mu_a} \quad (5.4)$$

gde su:

N_Y - bezdimenzionalni broj;

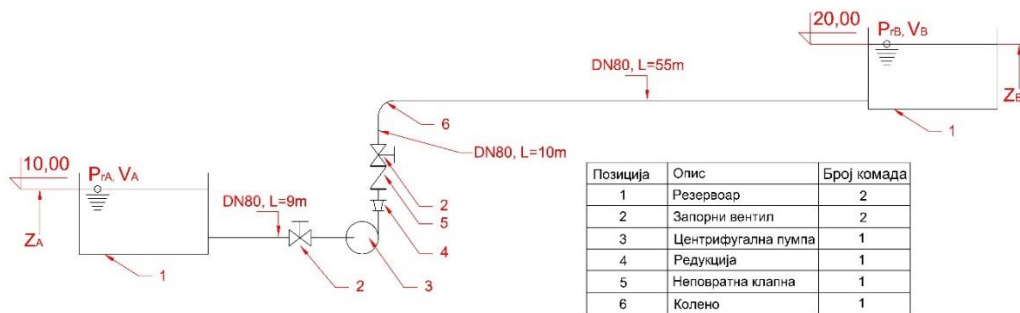
τ_B - prednapon za Bingamovu plastiku [Pa];

Poznavajući bezdimenzionalni broj tabelarno se određuje vrednost druge značice fRe_B , nakon čega se koeficijent otpora određuje putem sledećeg izraza.

$$\lambda = 4 \frac{fRe_B}{Re_B} \quad (4.12)$$

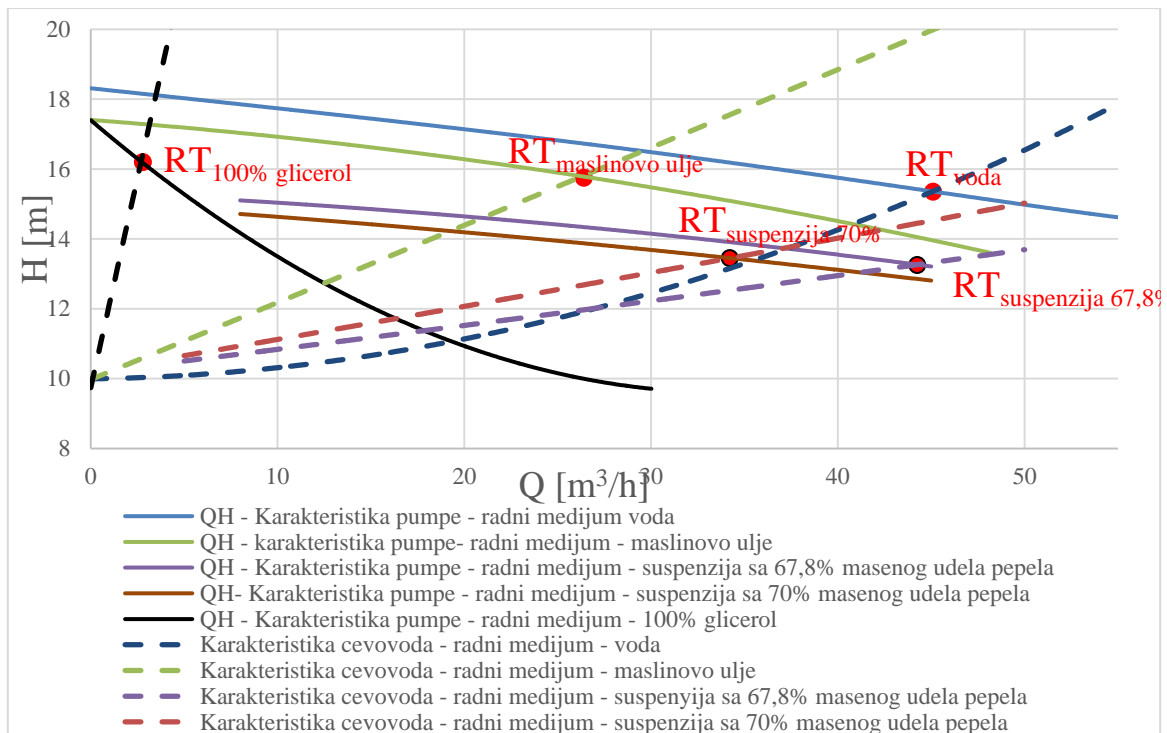
Poznavajući koeficijent otpora, u zavisnosti od protoka, putem izraza 5.1 određuje se karakteristika cevovoda.

Na grafiku 1, grafiku 2 i grafiku 3 su prikazani rezultati proračuna

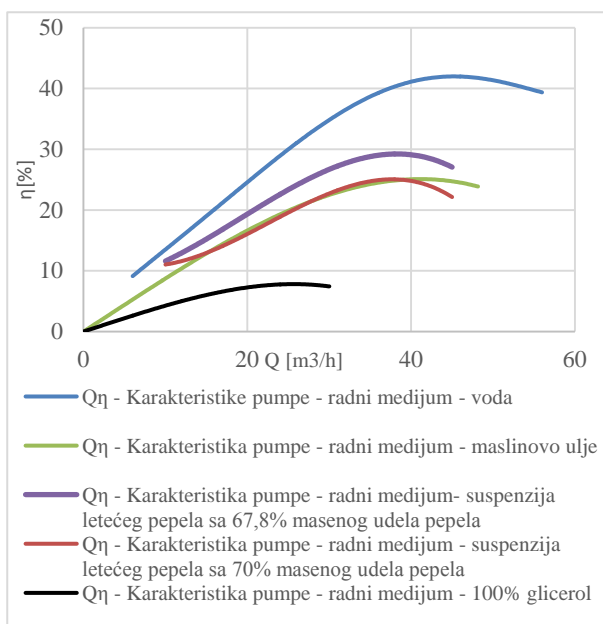


Slika 1. Jednostepena centrifugalna pumpa [6]

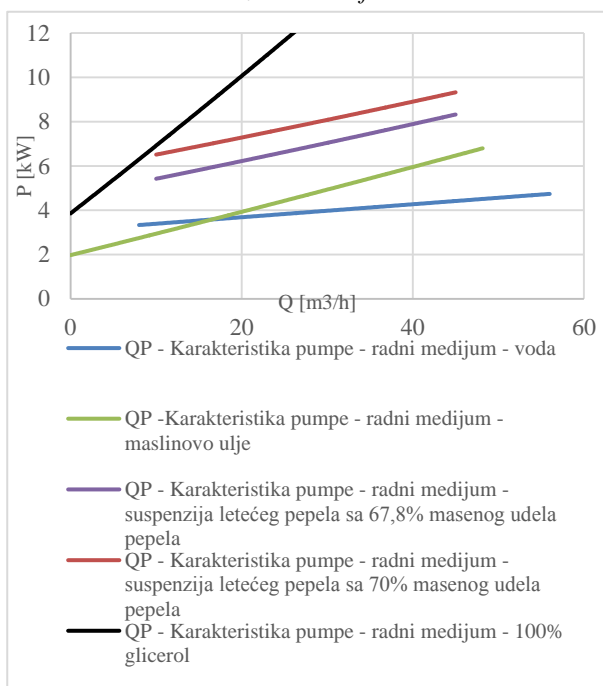
5.1 Rezultati proračuna karakteristika centrifugalne pumpe u datom sistemu



Grafik 1. QH karakteristike centrifugalne pumpe pri radu sa razmatranim fluidima u datom sistemu



Grafik 2. $Q\eta$ karakteristike centrifugalne pumpe pri radu sa razmatranim fluidima



Grafik 3. QP karakteristike centrifugalne pumpe pri radu sa razmatranim fluidima

6. ZAKLJUČAK

Predmet rada bio je prikaz uticaja različitih fluida na rad centrifugalne pumpe.

Prema prikazanim rezultatima pri radu sa vodom kao radnim medijumom, centrifugalna pumpa u zadatom sistemu radi pri maksimalnoj efikasnosti, te ostvaruje optimalne parametre. Zamenom radnog fluida, odnosno proračunanjem karakteristika pumpe i cevovoda za rad sa maslinovim uljem, čije je vrednost kinematske viskoznosti približno 100 puta veća od kinematske viskoznosti vode, uočavamo da dolazi do degradiranja karakteristika pumpe, smanjuje se efikasnost pumpe i ostvareni napor, dok potrebna snaga pumpe raste.

Daljim povećavanjem vrednosti kinematske viskoznosti, odnosno korišćenjem 100% glicerola, čija je kinematska viskoznost približno 1200 puta veća od kinematske viskoznosti vode, dolazi do drastično značajnijeg degradiranja karakteristika pumpe, efikasnost pumpe je izuzetno niska, smanjen je napor pumpe i povećana potrebna snaga pumpe. Kada se kao redni medijum koristi nenjutnovski fluid, u ovom slučaju Bingamova plastika, takođe dolazi do degradiranja pumpnih karakteristika. Povećanjem kocentracije letećeg pepela u suspenziji dolazi do veće degradacije pumpnih karakteristika. Na osnovu dobijenih radnih tačaka sistema na tabeli 3 prikazani su ostvareni parametri pri radu centrifugalne pumpe u zadatom sistemu sa vodom, maslinovim uljem, 100% glicerolom, suspenzijom letećeg pepela sa 67,8% masenog udela pepela i suspenzijom letećeg pepela sa 70% masenog udela pepela.

Tabela 3. Ostvareni parametri pumpe za različite fluide

Fluid	Protok [m ³ /h]	Napor [m]	Efikasnost [%]	Snaga [kW]
Voda	45	15.42	1000	4.42
Maslinovo ulje	26.6	15.85	917	4.6
Glicerol	3	16.8	1261	4.8
Suspenzija 67,8% masenog udela pepela	44	13.25	28.35	8.25
Suspenzija 70% masenog udela pepela	34.22	13.45	23.4	8.42

7. LITERATURA

- [1] Bukurov Maša, Bikić S, Tašin S.(2022). „Nenjutnovski fluidi“, Fakultet tehničkih nauka, FTN skripta, Novi Sad.
- [2] Johann Friedrich Gülich (2010). „Centrifugal Pumps“ Second edition, ISBN 978-3-642-12823-3
- [3] Vlatko V.Vuković (1996). „Uvod u hidropneumatsku tehniku“, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu MP “STYLOS”, Novi Sad.
- [4] KSB „Selecting Centrifugal Pumps“ (2005). KSB Aktiengesellschaft, Communications (V5), 67225 Frankenthal / Germany, ISBN 3-00-017841-4
- [5] Sunil Chandel, S.N. Singh and V.Seshadri. (2011) „A comparative study on the performance characteristics of centrifugal and progressive cavity slurry pump with high concentration fly ash slurries“, Department of Mechanical Engineering, DIAT (DU), Pune, India, Taylor & Francis Group, LLC . DOI: 10.1080/02726351.2010.503264

Kratka biografija:



Dejan Vurdelja rođen je 23.08.1996. godine u Sremskoj Mitovici, Republika Srbija. Završio gimn. „Sava Šumanović“ u Šidu i nakon toga diplomirao na Fakultetu Tehničkih Nauka na departmanu za energetiku i procesnu tehniku 2019. godine u Novom Sadu sa temom „Pumpno postrojenje sprinkler sistema“.