

UTJECAJ KONSTRUKCIJE ROTORA HIBRIDNIH PUMPI NA POJAVU KAVITACIJE I STUPANJ DJELOVANJA

Sead Delalić, Mišo Hudjec, Indira Buljubašić, Haris Memić

Stručni članak

Pumpe koje se koriste za prijenos fluida su uglavnom rotacijske. One predstavljaju takvo konstrukcijsko rješenje koje treba riješiti problem prisutnosti plinskih mjehurića u fluidu zbog kojih fluid poprima oblik mješavine tekućina-plin na usisnoj strani. Takvi oblici fluidne mase se neminovno javljaju tijekom mnogih tehnoloških procesa. Pumpe, koje bi svojim konstrukcijskim rješenjima i projektiranim karakteristikama riješile naznačene probleme transporta našle bi značajnu primjenu u mnogim područjima industrije. Pri tome bi troškovi njihove izrade morali biti isti ili manji u usporedbi s postojećim izvedbama, dok bi stupanj djelovanja morao biti približno jednak kao za rotacijske pumpe. Zbog toga se prišlo ispitivanju hibridnih pumpi kako bi se utvrdilo na koji se način njihov stupanj djelovanja može podići približno na razinu kakvu imaju rotacijske pumpe. S ciljem što boljeg približavanja režima strujanja u hibridnoj pumpi jednostavnoj standardnoj rotacijskoj pumpi, obavljeno je niz ispitivanja karakteristika pumpi s različitim režimima strujanja i različitim rotorima. Pri tome je posebna pozornost posvećena pojavi kavitacije i njenom utjecaju na energetske karakteristike i vijek trajanja hibridnih pumpi.

Cljučne riječi: hibridna pumpa, kavitacija, rotor, stupanj djelovanja

Influence of hybrid pumps rotor construction on cavitation occurrence and pumps efficiency

Professional paper

Pumps that are used for fluids transportation are mostly rotary. They represent such a constructional solution that is supposed to overcome a problem of gas bubbles presence in the fluid causing it to become a mixture of liquid and gas at the pump inlet. Such occurrences of fluid mass are inevitable in many technology processes. Pumps, which would have such a constructional solution and designed characteristics that could solve mentioned transportation problems, would certainly have a significant application in many industrial fields. However, manufacturing costs of such pumps would have to be the same or smaller compared to existing solutions, while the efficiency would have to be similar to the one for rotary pumps. Therefore, some tests were carried out on hybrid pumps in order to determine in which way their efficiency might be increased to the level similar for rotary pumps. With an aim of having a flow regime as similar as possible to the standard rotary pump; several tests were carried out on pump performance characteristics with different flow regimes and different constructions of rotor. A special attention was paid to occurrence of cavitations and its influence on performance characteristics and pump life.

Keywords: hybrid pump, cavitation, rotor, efficiency

1

Uvod

Introduction

Mješavina tekuće i plinovite faze često se javlja u proizvodnim procesima željeli mi to ili ne. Transport ovih mješavina predstavlja veliki izazov kako sa stajališta kontinuiranog transporta tako i sa stajališta dinamičke stabilnosti cijelog sustava. Ako se takva mješavina pojavljuje kod nekih pumpi s visokim stupnjem iskorištenja, onda one zbog takvih pojava često ne zadovoljavaju svoju osnovnu funkciju. Ovi problemi nastaju kod svih pumpi koje se koriste za ulijevanje goriva u spremnike automobila, za odvođenje radnog fluida iz perilica rublja itd.

Pumpe koje se koriste za transport fluida su uglavnom rotacijske. Rotacijska pumpa je vrlo važna komponenta u raznim granama industrije. Inače, rotacijske pumpe se često koriste radi svojih dobrih karakteristika kao što su vrlo dobar stupanj djelovanja i dobar protok. Ona predstavlja takvo konstrukcijsko rješenje koje onemogućava pojavljivanje plinskih mjehurića u fluidu. Ali kod transporta fluidne mase tijekom mnogih tehnoloških procesa se neminovno javlja ta nepoželjna dvofazna smjesa.

Prema tome, pumpe koje bi svojim konstrukcijskim rješenjima i projektiranim karakteristikama riješile naznačene probleme transporta, sigurno bi našle prim-

jenu u raznim područjima industrije. Pri tome, troškovi izrade takvih pumpi u krajnjem slučaju trebali bi biti jednaki ili niži u odnosu na troškove izrade postojećih rješenja.

2

Hibridna pumpa

Hybrid pump

Glavni dio jednog ovakvog strujnog stroja je rotor sa zakrivljenim lopaticama kao što je prikazano na slici 1. Rotor je izrađen od materijala koji se zove viton. Viton pripada obitelji guma koja se primjenjuje za rad u područjima visokih temperatura. Takvi rotori mogu u prijelaznom režimu raditi i s temperaturama preko 200 °C i s prekidima na temperaturama preko 300 °C. Imaju odličnu otpornost, tj. postojani su na razne kemijske utjecaje i spojeve kao što su oksidacija, kiseline, goriva, ulja i slično. Međutim, osjetljivi su na povišenim temperaturama, te stoga svaka njegova konstrukcijska izvedba mora imati odgovarajuće rješenje u odnosu na kontaktne sile koje se javljaju pri radu.

Princip rada hibridne pumpe je sličan jednostavnoj rotacijskoj pumpi. Glavna je razlika u tome što je jednostavna rotacijska pumpa prilagođena samo za prijenos tekućina, dok hibridna pumpa radi i kao samousisna.



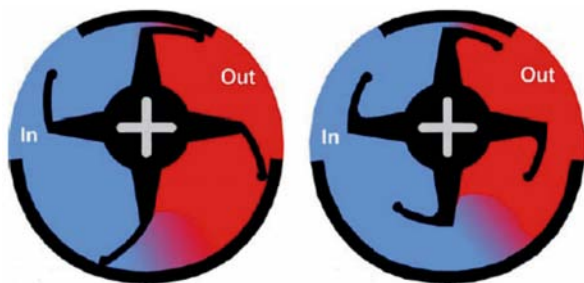
Slika 1 Rotor hibridne pumpe
Figure 1 Rotor of hybrid pump

Hibridne pumpe su prepoznatljive po tome što nema propuštanja između usisnog i tlačnog dijela ni u jednom trenutku, a rotor i nepokretni dijelovi su uvijek u takvom položaju da omogućavaju protočnost usisne i tlačne strane u svakom trenutku. Pri tome se ostvaruje projektirani tlak zbog kontinuiranog strujanja.

Rotacijske pumpe također mogu raditi i kao samousisne, a "samousisavanje" je sposobnost usisnog voda da se sam odzrača, ali na drugim principima nego što je to kod hibridnih pumpi. Primjeri takvih samousisnih pumpi su: kanalne pumpe, vodeno prstenaste pumpe, fleksibilne-impeller pumpe itd.

Svaka od navedenih pumpi radi na drugačijem principu i razlikuje se od principa na kojem radi hibridna pumpa. Takva rješenja imaju lošiji stupanj djelovanja, hrapave površine i osjetljivije su na uključke u transportiranom fluidu.

Samousisavanje je u mnogim slučajevima od velikog značaja, npr. kada se količina fluida koji se transportira mora često mijenjati, što je čest slučaj kod pumpi u perilicama rublja. To se ostvaruje s ekscentrično postavljenim rotorom u odnosu na stator na kome se nalaze elastična profilna krilca kola koja pritišću na cilindrični zid statora i prilikom okretanja rotora obavljaju usisavanje mješavine radnog fluida (slika 2).



Usisavanje

Prijenos

Slika 2 Shema funkcioniranja hibridne pumpe
Figure 2 Scheme of hybrid pump function

Nakon samo djelića sekunde koliko traje proces usisavanja, energija struje fluida ostvaruje snagu koja odvaja krilca od zida statora (kao npr. pojava kliznog efekta kod ležajeva), što znači da u procesu transporta fluida ka potisnoj strani, pumpa radi bez trenja kao normalna rotacijska pumpa [1, 2].

3 Utjecaj konstrukcije rotora na karakteristike hibridne pumpe

Influence of rotor construction on hybrid pump characteristics

S ciljem što boljeg približavanja režima strujanja u hibridnoj pumpi jednostavnoj standardnoj rotacijskoj pumpi, radi dostizanja njenog stupnja djelovanja, obavljeno je niz ispitivanja karakteristika hibridne pumpe za različite režime strujanja i različite rotore. Ispitivanje je vršeno pomoću vrlo brzih video kamera.

Pri tome se ukupni stupanj djelovanja pumpnog agregata definira kao

$$\eta = \frac{m_i \cdot Y_u}{P}$$

gdje su:

m_i - maseni protok fluida na izlazu pumpe, kg/s

P - snaga motora, W

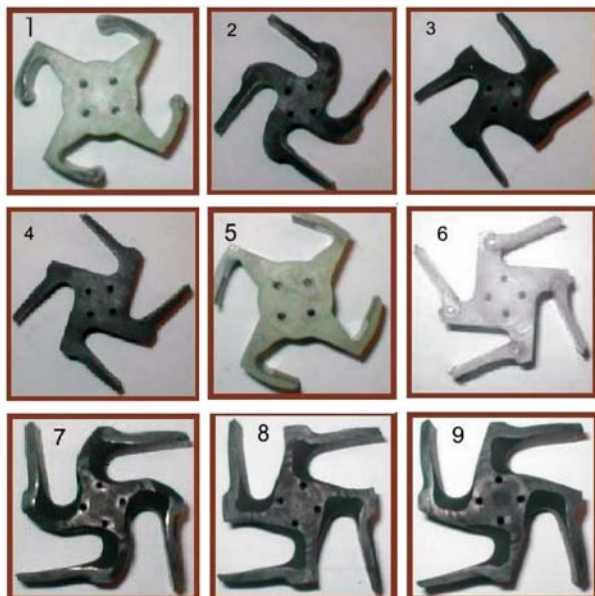
Y_u - koristan specifični rad fluida, m^2/s^2

Gubici pri strujanju u jednom strujnom prostoru uzrokuju povećanje mehaničke energije u fluidu što bi trebalo uzeti u obzir prilikom odabira pogonskog motora ili pogonskog uređaja nekog radnog stroja. Znači, koristan specifični rad Y_u sadrži, u odnosu na slučaj bez gubitaka, trenje i udarne gubitke [1, 2, 3].

Da bi se odredile karakteristike pumpe, korišteno je devet rotora različitih geometrijskih oblika (slika 3) i materijala (tablica 1), a koji su pri ispitivanju dali različite rezultate. Osam je rotora bilo izrađeno od vitona, ali u različitim konstrukcijskim oblicima, dok je jedan rotor bio napravljen od tvrde plastike.

Tablica 1 Karakteristike i materijal za izradu rotora
Table 1 Characteristics and material for manufacturing of rotor

Rotor broj	Karakteristike	Materijal za izradu rotora
1	-	Viton GLT
2	-	Viton GF
3	-	Viton GF
4	-	Viton GF
5	-	Viton GLT
6	-	Tvrda plastika
7	s kosinom na izlaznoj ivici krilaca	Viton GF
8	s kosinom na izlaznoj ivici krilaca	Viton GF
9	s kosinom na izlaznoj ivici krilaca	Viton GF



Slika 3 Prikaz različitih geometrijskih oblika rotora
Figure 3 Preview of different geometrical rotor forms

Za svaki rotor su posebno vršena ispitivanja vrijednosti vakuuma na ulazu u pumpu i vrijednosti pretlaka na izlazu iz pumpe. Protok koji pumpa ostvaruje mjereno je digitalnim mjeracom protoka. Tijekom ovih ispitivanja, uočeno je da do pojave kavitacije dolazi pri korištenju svih rotora i to pri maksimalnom broju okretaja. Pri tome najveći stupanj djelovanja ima pumpa u kojoj je ugrađen rotor br. 9.

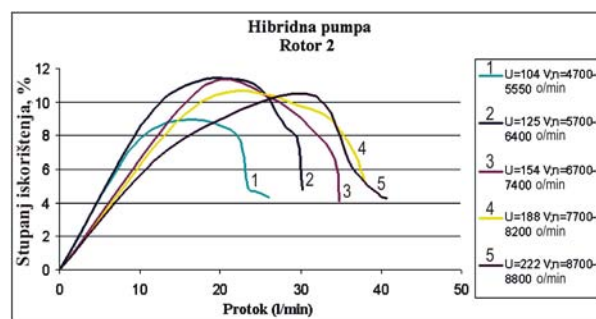
Daljnja ispitivanja su obavljena sa smanjivanjem broja okretaja, kako bi se utvrdilo pri kojem broju okretaja pumpa radi bez pojave kavitacije. Pri tome je korišten digitalni mjerac. Nakon početnih ispitivanja rotori 6, 7, 8 i 9 nisu više korišteni. Rotor 6, izrađen od tvrde plastike, nije davao zadovoljavajuće rezultate pa se tijekom daljih ispitivanja više nije koristio. Na rotorima 7, 8 i 9, na čijim krilcima su kosine, dolazilo je do kidanja krilaca uslijed deformacija nastalih čestim ponavljanjem procesa usisavanja i prijenosa fluida. Iz tog razloga su i ovi rotori izbačeni iz dalje analize. Iako su navedeni rotori pokazivali dobre rezultate stupnja djelovanja, stabilan i dobar protok i tlak, zbog navedenih problema nisu našli daljnju primjenu. Pumpa je radila sa snagom od 500 W i naponom od 220 V i bilo je potrebno smanjivati snagu tj. broj okretaja kako bi se utvrdio onaj broj okretaja pri kojem nema pojave kavitacije. U svrhu smanjenja snage tijekom ispitivanja, korišten je regulator napona. Mjerenja su izvršena za preostale rotore (rotori 1 do 5) pri različitim brojevima okretaja (tablica 2).

Rotor 2 je pokazao najbolju mehaničku izdržljivost tako da su na osnovu vrijednosti dobivenih s rotorom 2 napravljeni različiti dijagrami da bi se ustanovile karakteristike pumpe u raznim uvjetima ispitivanja.

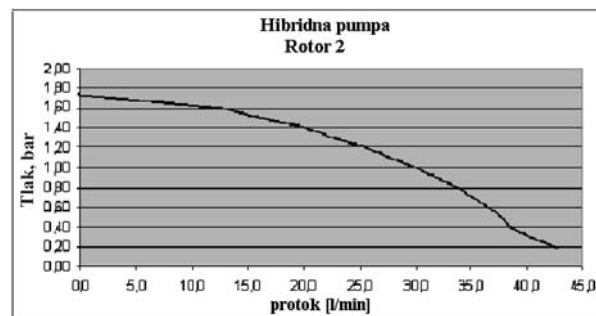
Tablica 2 Vrijednosti parametara pumpi pri radu bez utjecaja kavitacije
Table 2 Values of pump parameters during operation without influence of cavitation

Veličina	Jedinica mjere	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3	Rotor 4	Rotor 5
Protok	l/min	28,6	24,4	22,16	23,8	25,5
Snaga	W	204	119	130	145	171
Napon struje	V	129	105	107	114	123
Jakost struje	A	1,75	1,31	1,41	1,46	1,57
Broj okretaja	o/min	5279	4605	4500	4920	5366

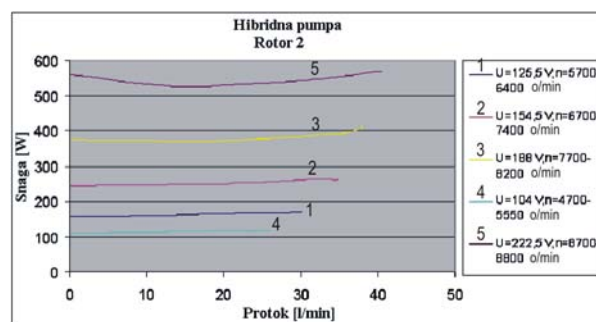
Na danim se dijagramima (slika 4, 5 i 6) mogu vidjeti različite vrijednosti stupnja djelovanja, visine do bave pumpe i potrebne snage u ovisnosti od protoka pri različitim brojevima okretaja za rotor 2.



Slika 4 Dijagram ovisnosti stupnja djelovanja od protoka
Figure 4 Efficiency depending on flow



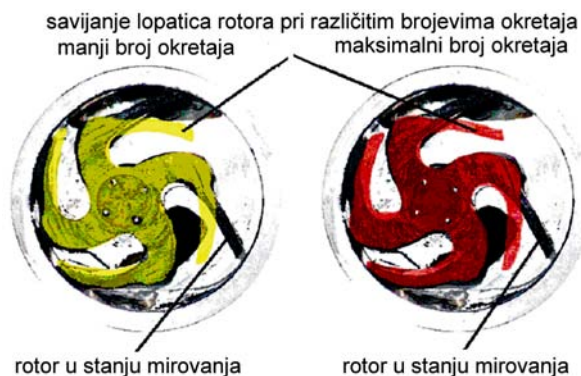
Slika 5 Dijagram ovisnosti tlaka od protoka
Figure 5 Pressure depending on flow



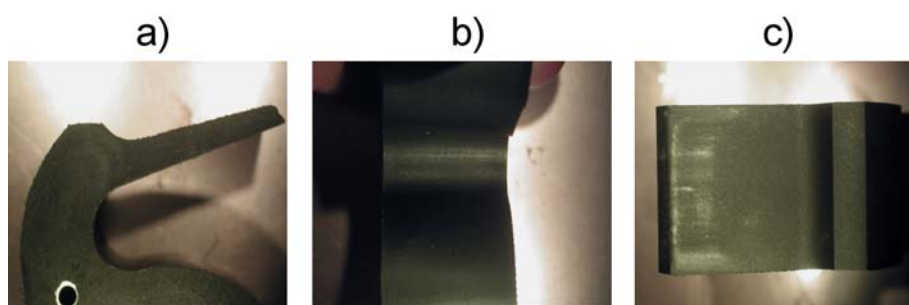
Slika 6 Dijagram ovisnosti snage od protoka
Figure 6 Power depending on flow

Najbolji stupanj djelovanja daje pumpa podešena na 125 V napona pri broju okretaja od 5700 – 6400 o/min. Karakteristične krivulje (slika 4) stupnja djelovanja razvijaju se paralelno jedna s drugom s različitim brojem okretaja, a slično se razvijaju i karakteristične krivulje (slika 5 i 6) potrebne snage i tlaka.

Uspoređujući hibridnu pumpu s jednostavnom rotacijskom pumpom, može se uočiti da hibridna pumpa ima puno manji stupanj djelovanja. Najveći gubitak energije događa se tijekom deformacije rotora prilikom faze usisavanja i prijenosa tekućine ka izlaznom otvoru. S tim u vezi načinjeni su mikroskopski snimci rotora 2 nakon dugotrajnog korištenja da bi se analizirala oštećenja i deformacije na radnim površinama (slika 7 i 8).



Slika 7 Savijanje lopatica rotora 2 pri različitim brojevima okretaja
Figure 7 Bending of rotor shovels 2 at different rotation speed



Slika 8 Mikroskopski snimci rotora 2 nakon dugotrajne eksploatacije (a - izgled sprijeda, b - korijeni dio, c - kontakti dio s kućištem)
Figure 8 Microscopic snapshot of rotor 2 after long exploitation (a - front view, b - root part, c - contact part with housing)

4

Pojava kavitacije pri radu hibridnih pumpi Phenomenon of cavitation at hybrid pump work

Kao što je već rečeno, tijekom ispitivanja je uočeno da u pumpi pri maksimalnom broju okretaja dolazi do pojave kavitacije pri korištenju svih oblika rotora. Kako bi se ustanovilo pri kojem broju okretaja pumpa radi bez kavitacije, korišten je digitalni mjerač broja okretaja.

Kavitacija je kompleksna pojava u tekućinama. Kada u pumpi, na bilo kojem mjestu, dođe do naglog pada tlaka na vrijednost nižu od tlaka na kojem tekućina, kod dane temperature, počinje isparavati, doći će do stvaranja mjehurića pare u tekućini. Pojava kavitacije nepovoljno utječe na karakteristike pumpe (tablica 3), a može uzrokovati i razaranja pojedinih dijelova. Kavitacijom tekućina gubi na svome strujnom kontinuitetu. U trenutku kada parni mjehurići stignu u zonu pumpe s višim tlakom, para opet kondenzira a okolna tekućina struje fluida velikom brzinom i uz snažne udare ponovo ispunjava nastale plinske šupljine.

Usljed dužeg djelovanja kavitacije na lopaticice, dolazi do površinskog oštećenja lopaticice koje je tim veće ako je intenzitet kavitacijske pojave veći, a materijal porozniji. Na lopaticama se kavitacija javlja na mjestima nagle promjene brzine, naglog širenja mlaza,

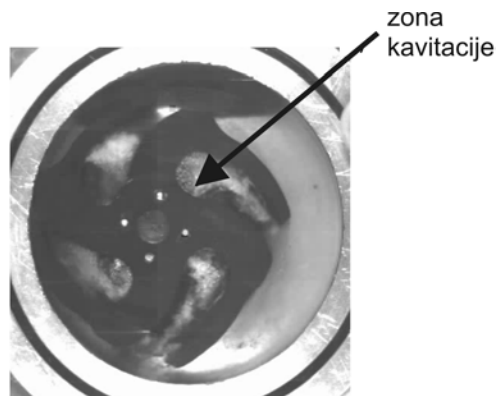
Tablica 3 Vrijednosti parametara pumpi pri radu s utjecajem kavitacije

Table 3 Values of pump parameters during operation with influence of cavitation

Veličina	Jedinica mjere	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3	Rotor 4	Rotor 5
Protok	l/min	37,2	37,5	37,2	44,3	36
Snaga	W	500	500	500	500	500
Napon struje	V	194,5	208	201	203	202,4
Jakost struje	A	2,76	2,57	2,68	2,64	2,65
Broj okretaja	o/min	6800	8219	7500	7600	7500

odljepljivanja mlaza uslijed lošeg provođenja i uopće kod pada tlaka ispod vrijednosti koja odgovara točki isparavanja (slika 9). Posljedice kavitacije u nešto manjoj mjeri ostavljaju traga i na nepokretnim dijelovima pumpe (slika 10).

Utjecaj kavitacije u hibridnoj pumpi ispitivan je pomoću crnih polistiropolnih čestica koje su usisavane i prenošene pomoću pumpe zajedno s vodom kao radnim medijem. Primijećeno je da polistiropolni uključci u području kavitacije trebaju dulji vremenski period da napuste radne komore pumpe.



Slika 9 Zona u kojima se javlja kavitacija
Figure 9 Zones with cavitation

Također, pomoću polistiropolnih čestica moguće je odrediti oblik strujanja fluida. Crna boja čestica je uzeta zato što se u prvom ispitivanju, sa korištenim bijelim česticama, nisu mogli razlikovati mjehurići vode koji nastaju u području vakuuma pretvarajući se u paru, od čestica polistiropola. Uključi se u komorama pumpe, ovisno od protoka, pri povišenim brojevima okretaja zadržavaju između 0,003 - 0,005 sekundi.

Za optičko ispitivanje korištena je ultrabrza video kamera tipa Speedcom proVersion 3.0 firme Weinberger GmbH. Ova kamera omogućava snimanje i do 1000 slika u sekundi. Njen foto čip koji je vrlo osjetljiv na svjetlost, ostvaruje rezoluciju od 512 x 512 piksela. Pri osvjetljavanju nastaje naboj koji odgovara intenzitetu ulazeće svjetlosti. Ovaj naboj daje analogni električni signal koji se šalje do upravljačke jedinice gdje se digitalizira i pohranjuje. Za snimanje većeg presjeka unutrašnjosti pumpe i rotora koristi se teleobjektiv većeg svjetlosnog intenziteta tipa Cannon. Željeni presjek (dio pumpe) osvjetljavaju dvije halogene lampe od 50 W s kutom osvjetljenja od 30° koje osvjetljavaju odabrani dio pumpe

One su postavljene tako da se mogu podešavati, jer se moraju podesiti prije svakog novog snimanja kako bi se osigurali optimalni svjetlosni uvjeti. Nosač kamere je napravljen tako da osigurava stabilan oslonac kamere, jer se kamera ne smije pomicati uslijed slučajnog

dodira o nosač. Kamera je postavljena na određenoj visini precizno pomoću navojnog elementa na nosaču. Analiziranjem načinjenih snimaka toka fluida u koji su ubačene crne polistiropolne čestice, moguće je utvrditi tip strujanja u fluidu. Crne polistiropolne čestice korištene su zbog toga što imaju sličnu zapreminsku gustoću kao voda koja je u ovom slučaju radni fluid.



Slika 10 Oštećenja površine pumpe nastala utjecajem kavitacije
Figure 10 Damages of pump surface as a result of cavitation

5

Zaključak

Conclusion

Kako bi se smanjio gubitak energije prilikom deformacije rotora i povećao vijek rada pumpe, trebalo bi rotor izrađivati od čvrstog materijala, dok bi se krilca izrađivala od elastičnog materijala kako bih se osigurala veća trajnost radnog kola i hermetičnost između ulazne i izlazne strane prilikom faze usisavanja.

Također se navedeno rješenje može još poboljšati ugradnjom većeg broja lopatica što bi dalo veći kapacitet pumpe i stabilniji rad. Posebno se mora voditi obzira o kritičnim brzinama broja okretaja kako se ne bi ušlo u područje kavitacije.

6

Literatura

References

- [1] Robert Neumaier: Hermetische pumpen. Glottertal, 1994.
- [2] Terry Johnson: A Water Pump Primer, University of Alaska Sea Grant, 2001.
- [3] Stephan Wursthorn: Numerische Untersuchung kavitierender Stroemungen in einer Modellkreiselpumpe, Karlsruhe, 2001.

Author's Address (Adresa autora):

Mašinski fakultet u Tuzli
Univerzitetska 8
75000 Tuzla
Bosnia and Herzegovina