

Примљено: 4. 4. 2007.

Орг. Јед. | Број | Прилог | Вредност

05 | 612-26011-6

## Nastavno – naučnom veću Mašinskog fakulteta u Nišu

Predmet : Izveštaj komisije za pregled, ocenu i odbranu magistarskog rada **Aleksandre Boričić**, pod naslovom „**Određivanje strujnog polja u kolima višestepenih pumpi za nuklearne elektrane**“.

Na sednici održanoj 23.03.2007. godine, Nastavno-naučno veće Mašinskog fakulteta u Nišu je odlukom broj 612 – 290-6 od 23.03.2007. godine imenovalo je Komisiju za pregled, ocenu i odbranu magistarskog rada **Aleksandre Boričić**, dipl. maš. inž. pod naslovom:

„**Određivanje strujnog polja u kolima višestepenih napojnih pumpi za nuklearne elektrane**“,

u sastavu:

1. dr Dragica Milenković, redovni prof. Mašinski fakultet Niš,
2. dr Milun Babić, redovni prof. Mašinski fakultet Kragujevac,
3. dr Božidar Bogdanović, redovni prof. Mašinski fakultet Niš.

Nakon pregleda magistarskog rada, saglasno Zakonu o Visokom obrazovanju i Statutu Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Mašinskog fakulteta u Nišu sledeći

## IZVEŠTAJ

Sadržaj i struktura magistarskog rada

Magistarski rad „**Određivanje strujnog polja u kolima višestepenih napojnih pumpi za nuklearne elektrane**“, kandidata Aleksandre Boričić, sadrži: 190 strana teksta, 145 slika, 9 tabela i prilog u obliku CD-a.

Magistarski rad, pored uvoda i zaključka, sadrži pet glava: 1. Konstrukcije, oblici radnih kola i radne karakteristike napojnih pumpi; 2. Teorijska istraživanja strujnog polja u kolima napojnih pumpi; 3. Teorijska istraživanja strujanja u prvom radnom kolu pri pojavi kavitacije; 4. eksperimentalna istraživanja višestepenih napojnih pumpi; 5. Rezultati i analiza numeričke simulacije strujanja fluida u prvom radom kolu višestepenih napojnih pumpi.

Glave sadrže veći broj poglavlja i potpoglavlja. Sadržajno posmatrano, magistarska teza obuhvata sve probleme koje je kandidat u prijavi teme za izradu magistarskog rada naveo, Komisija za ocenu podobnosti teme verifikovala, a Nastavno-naučno veće Mašinskog fakulteta odobrilo.



U prvoj glavi ovog rada proučeni su: tipovi izvedenih konstrukcija višestepenih napojnih pumpi, oblici radnih kola i metode za njihovo projektovanje, radne karakteristike i materijali koji se koriste za izradu hidrauličnih elemenata.

Druga glava rada posvećena je teorijskim istraživanjima strujnog polja u kolima napojnih pumpi. Najpre su navedene metode za proučavanje strujnog polja, a zatim su detaljno objašnjene: metoda graničnih elemenata i numerička simulacija stujanja fluida u prvom radnom kolu višestepene napojne pumpe korišćenjem CFD softvera. Izložena metoda graničnih elemenata se bez poteškoća može primeniti pri strujanju kroz neke tipove radnih kola. Za slučaj radnog kola sa dvosturko povijenim lopaticama u kojima je strujanje prostorno, bilo je nemoguće primeniti izloženu metodu, jer razvijeni model važi za proračun dvodimenzijskog strujanja. Ustanovljeno je da ova metoda ne daje dobre rezultate za kružne rešetke sa izdubljenim i ispupčenim lopaticama pri režimima daleko od optimalnog. Njena primena je isključena i pri nestacionarnim radnim režimima.

Zbog nemogućnosti da se metodom graničnih elemenata dodje do valjanih rezultata u teorijska razmatranja uključena i numerička simulacija korišćenjem CFD softvera. Proces izvođenja CFD simulacije podeljen je u četiri faze: 1. Formiranje geometrije i mreže; 2. Definisane početnih i graničnih uslova; 3. Numeričko rešavanje formiranih jednačina u definisanom domenu; 4. Postprocedure rezultata simulacije strujanja fluida.

Za simulaciju rada prvog radnog kola višestepene napojne pumpe najpre je formiran 3D model pumpnog kola i graničnih površina: glavčine i kućišta. Zatim je za ovako dat model formirana mreža sa više od 50 000 hiljada čvorova i približno 250 000 tetraedarskih elemenata.

Visoka temperatura vode na ulazu u pumpu dovodi do pojačane opasnosti od pojave kavitacije u prvom stupnju. Imajući u vidu da je kavitacija štetna pojava i da može ugroziti rad pumpe i celog sistema u okviru magistarskog rada, pod datim nazivom, treća glava je posvećena teorijskim istraživanjima vezanim za moguću pojavu kavitacije. Da bi kavitacija kod pumpi mogla nastati, moraju biti zadovoljena tri uslova: pritisak niži od pritiska isparavanja tečnosti za datu temperaturu, postojanje kavitacionih jezgara i dovoljno dugo trajanje niskog pritiska. Povećanje brzine obrtanja pumpe, česta zaustavljanja i pokretanja s naglim usporavanjima i ubrzavanjima tečnosti koja struji, vrtloženje i sekundarna strujanja pogoduju kavitaciji. Radi mogućeg uticaja na formiranje oblika radnog kola u radu je izvršena analiza usisnih sposobnosti pumpe i izvedeni su sledeći zaključci: 1. Za svaku datu geometriju pumpe postoji neki optimalni protok za koji su njena kavitaciona svojstva najpovoljnija; 2. Sa porastom brzohodnosti opada usisna sposobnost pumpe; 3. Porast broja lopatica, njene debljine i hrapavosti negativno utiče na kavitaciju; 4. Optimalni ugao na ulazu lopatice iznosi  $\beta_{1L}=20-24^\circ$ ; 5. U režimima ispod optimalnog protoka porast brzine obrtanja izaziva pogoršanje, a iznad poboljšanje kavitacionih svojstava.

Sprečavanje pojave kavitacije može se postići specijalnom konstrukcijom radnog kola prvog stupnja (povećanjem poprečnog preseka na ulazu – što je kod izvedenog kola sprovedeno) ili ugradnjom umetnutog aksijalnog vijčanog (šnek) kola ispred prvog radnog



kola višestepene pumpe. Umetnuto kolo povećava pritisak na ulazu u prvo radno kolo i time poboljšava antikavitaciona svojstva centrifugalnih višestepenih pumpi. U slučajevima kada postoji vijčano (šnek) kolo neophodno je definisanje rezervne kavitacijske energije uvođenjem odovarajuće termodinamičke popravke. Metodologija koja je izložena u radu dozvoljava da se odredi kavitaciona karakteristika na osnovu jednog baznog ispitivanja sa vrelom vodom, a rezultati iskoriste za prognoziranje usisne sposobnosti vijčanog kola i konstrukcije pumpi sa umetnutim vijčanim kolom.

Imajući u obzir složenost pojava, koje prate kavitaciono strujanje tečnosti u pumpama koje imaju ugrađena vijčana kola, u radu je dat matematički model za ispitivanje stabilnosti pojave kavitacije u tom slučaju. Ovde treba istaći da geometrija umetnutog vijčanog (šnek) kola ima veliki uticaj na dobijene rezultate.

U četvrtoj glavi su prikazana eksperimentalna istraživanja višestepenih napojnih pumpi. Ispitivana je višestepena pumpa PEA 150-85, rađena za sovjetsko tržište. Pumpa je namenjena za napajanje parogeneratora nuklearnih elektrana, centrifugalna je, horizontalna, sedmostepena sekcionog tipa. Aksijalna sila ispitivne pumpe se rasterećuje diskom, zaptivači su mehaničkog tipa. Sa pogonskim elektromotorom vratilo pumpe je spojeno zupčastom spojnicom. Agregat poseduje sistem automatskog upravljanja, kontrole, zaštite i signalizacije.

S obzirom na značaj, karakter i primenu elektromotornog agregata s napojnom pumpom PEA 150-85 u nuklearnim elektranama, usvojen je poseban program I metodika ispitivanja.

Eksperimentalna istraživanja su vršena na specijalnoj ispitnoj stanici koja je ugrađena prema propisima i standardima: DIN 1944 i GOST 6134. Ispitivanjima su određene radne karakteristike, postupkom koji je detaljno opisan. Takođe su merene odgovarajuće temperature, vibracije agregata, vibracije elektromotora, vibracije pumpe i vrednosti akustične snage. Merni rezultati u radu su praćeni odgovarajućim tabelama i dijagramima.

Rezultati analize numeričke simulacije strujanja fluida u prvom radnom kolu višestepenih napojnih pumpi, sa odgovarajućim slikama, dati su u petoj glavi. Na osnovu analiza i datih podataka o strujnim veličinama može se zaključiti da je numerička simulacija strujanja i radnih parametara saglasna sa eksperimentalno dobijenim rezultatima. Uočeno je da nema pojave kavitacije i da nije potrebna ugradnja vijčanog (šnek) kola ispred prvog radnog kola analizirane pumpe.

Ispitivana i analizirana pumpa je već izvedena i ugrađena u odgovarajući sistem, a rezultati ovog rada potvrđuju da ona u potpunosti zadovoljava sve zahteve koje jedna napojna pumpa mora da ispuni.



## ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu pregleda i analize dobijenih rezultata magistarskog rada pod nazivom: **“Određivanje strujnog polja u kolima višestepenih napojnih pumpi za nuklearne elektrane”**

Komisija smatra:

- da podneti rad u potpunosti odgovara temi prihvaćenoj od strane naučnog-nastavnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu,
- da kandidat vlada potrebnim znanjima za istraživanja u oblasti turbomašina, a koja se odnose na strujanja fluida u hidrauličnim elementima,
- da je kandidat ispoljio potrebnu samostalnost u istraživanju, sposobnost uočavanja problema i nalaženja odgovarajućih rešenja,
- da je kandidat došao do konkretnih praktičnih saznanja, koja se mogu koristiti u cilju poboljšanja konstrukcije višestepenih pumpi,
- da je rad tehnički korektno i kvalitetno urađen.

Na osnovu svega napred izloženog Komisija je mišljenja da rad kandidata **Aleksandre Boričić, dipl.mas.inž.** predstavlja doprinos u oblasti ispitivanja i simulacije strujanja u kolima višestepenih napojnih pumpi i kao takav ima značajnu aplikativnu vrednost.

Komisija predlaže Naučno-nastavnom veću Mašinskog fakulteta u Nišu da se rad pod nazivom **„Određivanje strujnog polja u kolima višestepenih napojnih pumpi za nuklearne elektrane“** prihvati kao magistarska teza i da se kandidat **Aleksandre Boričić, diplomirani mašinski inženjer**, pozove na javnu usmenu odbranu

U Nisu i Kragujevcu  
30.03.2007.

Članovi komisije:

*Dragica Milenković*

1. dr Dragica Milenković,  
red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu

*Milun Babić*

2. dr Milun Babić,  
red. prof. Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

*Božidar Bogdanović*

3. dr Božidar Bogdanović,  
red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu