

Универзитет у Нишу
Машински факултет

Катедра за Хидроенергетику

Датум: 31.05.2011. године

На основу члана 29. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Нишу, Катедра за Хидроенергетику упућује захтев Наставно-научном већу факултета за именовање Комисија за оцену научне заснованости тема докторских дисертација.

Извод из записника већа Катедре за Хидроенергетику

На састанку већа Катедре за Хидроенергетику одржаном 31.05.2011. године разматрани су захтеви за одобрење теме докторских дисертација кандидата:

- Јасмине Богдановић-Јовановић
- Александара Боричића
- Живојина Стаменковића

Веће Катедре је прихватило тему под називом “Одређивање осредњеног односиметричног струјања у радним колима хидрауличких турбомашина” кандидата Јасмине Богдановић Јовановић и предложило следећу Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације:

- др Милун Бабић, ред. проф. (научна област-енергетика и процесна техника)
- др Драгица Миленковић, ред. проф. (научна област-теоријска и примењена механика флуида)
- др Драгиша Никодијевић, ред. проф. (научна област-теоријска и примењена механика флуида)

Веће Катедре је прихватило тему под називом “Истраживање нестационарног раванског ламинарног струјања нестишљивог проводног флуида, у спрегнутим МХД, динамичким, топлотним и дифузионим граничним слојевима” кандидата Александра Боричића и предложило следећу Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације.

- др Драгиша Никодијевић, ред. проф. (научна област-теоријска и примењена механика флуида)
- др Слободан Савић, ванр. проф.
(научна област-примењена механика, примењена информатика и рачунарско инжењерство)
- др Милош Јовановић, доцент (научна област-теоријска и примењена механика флуида)

Веће Катедре је прихватило тему под називом “Магнетнохидродинамичка (МХД) струјања једног и два флуида у каналима” кандидата Стаменковић Живојина, и предложило следећу Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације.

- др Драгиша Никодијевић, ред. проф. (научна област-теоријска и примењена механика флуида)
- др Слободан Савић, ванр. проф.
(научна област-примењена механика, примењена информатика и рачунарско инжењерство)
- др Милош Јовановић, доцент (научна област-теоријска и примењена механика флуида)

шеф Катедре за Хидроенергетику

Драгиша Никодијевић
др Драгиша Никодијевић

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Примљено	31.05.2011	
Орг. ред.	Број	Примљено
1	612-03-6-1/11	

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ		
Приймљено: 30.05.2011.		
Број	Број	Број
73	612-297/2011	

Универзитет у Нишу
Машински факултет

Датум: 30.05.2011. године

Одсеку за наставна и студентска питања

Захтев за одобрење теме докторске дисертације

Како сам испунила све потребне услове за пријаву докторске дисертације, прописане Законом о високом образовању Републике Србије, Статутом Универзитета у Нишу, Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета у Нишу, упућујем Већу Катедре за Хидроенергетику и Наставно-научном већу Машинског факултета у Нишу захтев за одобрење теме докторске дисертације.

Захтев поред образложења предлога теме, садржи:

- радни наслов теме дисертације;
- ужу научну област којој припада докторска дисертација;
- предмет и научни циљ докторске дисертације;
- методе које ће се применити при истраживању;
- списак објављених и саопштених научних радова и саме радове;
- основне биографске податке.

Jasmina Bogdanovic-Jovanovic

Име презиме и адреса кандидата:

Јасмина Богдановић-Јовановић, Козарачка 30/34, 18000 Ниш, тел.
064/2208823
bminja@masfak.ni.ac.rs

1. Предлог радног наслова теме докторске дисертације:

***ОДРЕЂИВАЊЕ ОСРЕДЊЕНОГ ОСНОСИМЕТРИЧНОГ СТРУЈАЊА У РАДНИМ
КОЛИМА ХИДРАУЛИЧКИХ ТУРБОМАШИНА***

2. Ужа научна област којој припада докторска дисертација

Теоријска и примењена механика флуида – струјање у радним колима турбомашина.

3. Предмет и научни циљ докторске дисертације

Пројектовање турбомашина, односно одређивање облика лопатица радног (обртног) кола и лопатица непокретних елемената, врши се по моделу осносиметричног струјања и поред чињенице да овај модел струјања одговара лопатичним решеткама са бесконачним бројем лопатица неизмерно мале дебљине. При профилисању лопатица обртних и непокретних кола, струјни простор у лопатичном колу дели се на велики број елементарних ступњева, при чему елементарни ступањ представља струјни простор између две елементарно блиске осносиметричне струјне површине. Лопатице обртних и непокретних лопатичних кола формирају се према траженим струјним скретањима у елементарним ступњевима, а ова струјна скретања у радним колима одређују се обично по услову да јединични радови кола свих елементарних ступњева буду једнаки. За обликовање лопатице треба одредити више (најмање пет) њених пресека (профила) са карактеристичним осносиметричним струјним површинама.

Реална струјања у лопатичним системима хидраличких турбомашина нису осносиметрична, а фиктивно се могу свести на осносиметрична, уколико се струјни параметри у међулопатичним каналима осредњују по кружној координати. Реално струјање у лопатичном систему хидрауличке турбомашине своди се на струјање у фиктивном лопатичном систему са бесконачним бројем неизмерно танких лопатица, с тим да овај фиктивни лопатични систем изазива исто струјно скретање као и реалан лопатични систем.

Струјања у лопатичним системима хидрауличких турбомашина могу се нумерички одредити (решење директног задатка теорије турбомашина), и при том добити радни параметри новопроектване турбомашине. Нумеричке симулације ће бити урађене Ansys CFX софтверским пакетом, који је један од водећих светских CFD софтвера, о чему сведоче бројни објављени научни и стручни радови. Нумеричка симулација струјања у радном простору хидрауличке турбомашине као резултат може

дати вредности свих струјних величина у дискретним тачкама разматраног струјног простора, чиме се добија могућност детаљне анализе радних параметара турбомашине. На сличан начин радни параметри у радном колу турбомашина могли би се добити веома комплексним и скупим експерименталним испитивањима, уколико би такви услови постојали.

Ради утврђивања поузданости радних карактеристика добијених нумеричком симулацијом струјања у турбомашини, у делу предложеног докторског рада извршиће се поређења експериментално и нумерички добијених радних карактеристика за неке примере изведених конструкција пумпи и нископритисних вентилатора. Експериментално утврђивање радних карактеристика нископритисних вентилатора извршено је на Машинском факултету у Нишу, а испитивања пумпе у фабрици пумпи "Јастребац" Ниш.

Нумерички добијене струјне величине просторног струјања кроз разматрану (познату) лопатичну решетку хидрауличке турбомашине могу се осредњити по кружној координати, што пружа могућност да се струјање у разматраној лопатичној решетки фиктивно сведе на осносиметрично струјање.

Основна тема докторског рада је постављање алгоритма и израда програма за одређивање по кружној координати осредњеног осносиметричног струјања кроз разматрани лопатични систем хидрауличке турбомашине.

Тема докторског рада ограничава се на лопатичне системе радних кола пумпи и нископритисних вентилатора, а у раду изложена теорија може се применити и на лопатичне системе радних кола водних турбина, као и на непокретне лопатичне системе хидрауличких турбомашина (преткола и закола).

Као резултат осредњавања струјања по кружној координати добијају се осносиметричне струјне површине у радним колима, као и јединични радови и губици струјне енергије у елементарним ступњевима радног кола. Одређивање осредњених осносиметричних струјних површина у радним колима врши се итеративним поступком. У првом итеративном кораку струјне површине одређују се коришћењем интегралне једначине континуитета у низу изабраних проточних пресека. У другом и наредним итеративним корацима ове струјне површине одређују се решавањем основне диференцијалне једначине за по кружној координати осредњено струјање. Облик ове диференцијалне једначине је такав да се решава нумерички, итеративним поступком.

Иако постоје различите методе за пројектовање турбомашина, све оне се ослањају на емпиријске податке и искуство пројектаната. С обзиром на веома сложу геометрију радних кола турбомашина, при пројектовању нових машина, не може се очекивати да се при изради прототипа добије финални производ, већ се он мора кориговати како би остварио тражене радне карактеристике. Овакав поступак је скуп, често и дуготрајан, одакле се дошло на идеју да се оваква методологија пројектовања промени. Да би се избегли или смањили трошкови моделског или прототипског дотеривања новопроектване хидрауличке турбомашине, пожељно је да се још у фази пројектовања нумерички симулирају њене радне карактеристике. За пројектанта турбомашине од изузетног је значаја да при пројектовању усвојене осносиметричне струјне површине и јединичне радове елементарних ступњева радног кола, може да упореди са осредњеним осносиметричним струјним површинама и јединичним радовима елементарних ступњева добијених према нумеричкој симулацији струјања у радном колу пројектоване турбомашине.

У недостатку услова за вршење експерименталних мерења струјних параметара у лопатичним системима турбомашина, нумеричке симулације струјања, уз предходну валидацију и верификацију модела, могу у задовољавајућој мери да замене експериментална испитивања. Највећа предност нумеричких симулација струјања је у томе што не захтевају бројне људске и материјалне ресурсе. Такође је време извршења ових симулација значајно краће у односу на време потребно да би се извршило лабораторијско мерење, уз могућност израчунавања свих потребних струјних величина. Имајући то у виду јасно је да коришћење нумеричких симулација струјања флуида у свету постаје све неопходнији инжењерски алат, у многим случајевима и једина рационална могућност провере прорачунских струјних параметара.

4. Оквирни садржај докторске дисертације:

1. Уводна разматрања
2. Основе профилисања лопатица радних кола хидрауличких турбомашина
3. Нумеричко одређивање струјних параметара и радних карактеристика радних кола хидрауличких турбомашина
4. Упоредивање експериментално и нумерички добијених радних карактеристика хидрауличких турбомашина на примерима нископритисних аксијалних вентилатора и пумпи.
5. Одређивање по кружној координати осредњених струјања у радним колима пумпи и нископритисних вентилатора.
 - 5.1. Одређивање по кружној координати осредњене струјне величине и диференцијалне једначине струјања. Основна диференцијална једначина осредњеног осносиметричног струјања.
 - 5.2. Одређивање осредњених осносиметричних струјних површина и јединичних радова елементарних ступњева радног кола, према нумерички одређеним струјним величинама тродимензионог струјања у радним колима.
 - 5.2.1. Одређивање осредњених осносиметричних струјних површина коришћењем интегралне једначине континуитета у низу изабраних проточних пресека
 - 5.2.2. Одређивање осредњених осносиметричних струјних површина коришћењем основне диференцијалне једначине осредњеног струјања. Алгоритам и програм итеративног поступка решавања задатка.
 - 5.2.3. Одређивање јединичних радова елементарних ступњева радног кола.
6. Примери нумерички одређених осредњених осносиметричних струјања у радним колима хидрауличких турбомашина и њихово поређење са осносиметричним струјним површинама и јединичним радовима елементарних ступњева коришћеним при профилисању лопатица радних кола.
7. Закључак

5. Методе које ће се применити при истраживању

У овој докторској тези користиће се нумеричке методе прорачуна струјних параметара у лопатичним системима турбомашина. С обзиром на облик основне диференцијалне једначине за струјање осредњено по кружној координати, одређивање осредњених осносиметричних струјних површина у радним колима хидраучичких турбомашина вршиће се нумеричким, итеративним поступком.

Такође ће се користити софтверски пакет за нумеричку симулацију струјања флуида (Ansys CFX), који се заснива на методи коначних запремина. Овом техником, струјни простор у коме се разматра струјање (тзв. домен) дели се на мале подрегионе, који се називају контролним запреминама. Диференцијалне једначине струјања се дискретизују и решавају итеративно за сваку контролну запремину. Као резултат, нумеричка вредност сваке променљиве се може одредити у произвољној тачки разматраног домена. На овај начин могу се добити вредност свих претходно дефинисаних струјних параметара у дискретним тачкама тог струјног простора, а тиме и потпуна слика струјања флуида у дефинисаном струјном простору.

Након већег броја анализа и поређења са турбомашинама чији су радни параметри познати, као и према анализи радова водећих светских часописа, дошло се до закључка да $k-\epsilon$ турбулентни модел даје најпоузданије резултате. При том се у граничном слоју мреже мора обезбедити минимално 10 тачака.

CFD технике су веома корисне јер се њима могу одредити радне карактеристике одређене турбомашине још у тренутку њеног пројектовања, а такође се могу анализирати проблеми код рада већ постојеће турбомашине и донети закључци о начину на који се она може побољшати.

Процес извођења CFD симулација може се поделити на 4 фазе:

- 1) Формирање геометрије и мреже;
- 2) Дефинисање почетних и граничних услова, особина флуида и других физичких параметара значајних за симулацију;
- 3) Нумеричко решавање формираних једначина у дефинисаном домену;
- 4) Пост-процесирање резултата симулације струјања флуида.

За формирање геометрије домена тј. компоненте чији се рад жели симулирати најшеће се користе неки од многобројних доступних САД пакета за формирање 3Д модела. За овако дефинисану геометрију модела потребно је формирати дискретизациону мрежу, што се постиже помоћу специјализованих софтвера. Овај корак је од изузетног значаја за конвергенцију нумеричког процеса. Даље је неопходно дефинисати физику процеса у CFD софтверу, а затим се парцијалне диференцијалне једначине интеграле за сваку контролну запремину у дефинисаном домену. Овај поступак је еквивалентан примени основних закона о конзервацији (масе или момента) на сваку контролну запремину. Затим се ове интегралне једначине трансформишу у систем алгебарских једначина примењујући при том низ апроксимација за поједине њихове чланове. Алгебарске једначине се затим решавају итеративно. Итеративни поступак при решавању једначина је неопходан због нелинеарне природе једначина, па је зато неопходно задовољити одређене задате услове конвергенције решења. Тачност добијеног решења зависи од низа фактора укључујући величину и облик контролних запремина као и грешку нумеричке процедуре (њеног средње квадратног одступања).

При решавању дискретизованих једначина у Ansys CFX софтверу дефинисане су различите нумеричке шеме за одређене променљиве. Тако се за везу притисак-брзина користи централна диференцна апроксимација другог реда, модификована четвртим изводом притиска који утиче тако да се распореди утицај притиска. На овај начин избегава се проблем тзв. "шаховских" осцилација код променљивих које су везане. Градијенти појединих величина моделирају се уз помоћ тзв. функције облика. Функција облика која се користи у софтверу је линеарна када се изрази преко параметраских координата. Ова се функција такође користи како би се одредили изводи за све дифузионе чланове и градијент притиска.

За решавање једначина потребно је дефинисати дискретизацију конвективног (адвекционог) члана. Адвекционе нумеричке шеме могу бити следеће: а) Upwind – Супротострујна диференцна шема 1 реда, б) Нумеричка адвекциона корекциона шема, ц) Централна диференцна шема, д) Шема високе резолуције (High resolution scheme). У случају нумеричких симулација струјања у турбомашинама користе се једна од наведених шема чији резултати дају високу прецизност, али и добру нумеричку конвергенцију.

Нумеричка процедура код Ansys CFX софтвера је таква да се најпре решавају моментне једначине, при чему се вредност притиска претпоставља и затим се добија једначина за корекцију притиска. Овај софтвер користи тзв. везани систем решавања, при чему се хидродинамичке једначине (за брзине и притисак) решавају као самостални систем. Овакав приступ решавању омогућава коришћење потпуно имплицитне дискретизације једначине за одређени временски корак.

6. Списак објављених и саопштених научних радова

У оквиру овог дела пријаве дат је део радова из последњег периода рада кандидата који области докторске дисертације. Уколико је то неопходно кандидат може да достави списак свих радова које је објавио током досадашњег рада:

1. Bogdanović B., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., „Turbinsko-pumpni agregat za navodnjavanje“, XIX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2006, rad br.27, str.47.,14-16. jun 2006., Beograd.
2. Bogdanović B., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., „Korekcija profila lopatica sprovodnog aparata cevne turbine prema numeričkoj simulaciji strujanja u turbini“, XIX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2006, rad br.47, str.76.,14-16. Jun 2006., Beograd.
3. Bogdanović-Jovanović J., Stamenković Ž., Bogdanović B., „Numerička simulacija i određivanje radnih parametara niskopritisnog ventilatora“, XIX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2006, rad br.46, str.75.,14-16. Jun 2006., Beograd.
4. Bogdanović B., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., „The development of turbine-pump aggregate“, Thermal Science, Supplement to Vol.10, No 4, 2006., pp.163÷176.

5. Bogdanović-Jovanović J., Stamenković Ž., Bogdanović B., "Simulacija radnih karakteristika turbinsko-pumpnog agregata za navodnjavanje", XX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2007, rad br.17, str.43., 13-15. Jun 2007., Beograd.
6. Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović Jasmina, Stamenković Ž., Majstorović P., "The comparison of theoretical and experimental results of velocity distribution on boundary streamlines of separated flow around a hydrofoil in a straight plane cascade", Facta Universitatis, series: Mechanical Engineering, Vol.5, N^o1, 2007., pp.33÷46. (UDC 532.526 : 532.528).
7. Spasić Ž., Milenović D., Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović Jasmina, "Analiza uticaja strujnih i konstruktivnih veličina na karakteristike aksijalnih ventilatora", XIV Simpozijum termičara, SIMTERM 2009, 13-16. Oktobra 2009., Soko Banja.
8. Bogdanović-Jovanović Jasmina, Milenković D., Bogdanović B., "Numerička simulacija strujanja i radnih karakteristika osne pumpe", 32.kongres HIPNEF 2009., od 14. Do 16. Oktobra 2009., Vrnjačka Banja.
9. Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović Jasmina, Spasić Ž., Milanović S., "Reversible axial fan with blades created of slightly distorted panel profiles", Facta Universitatis, series: Mechanical Engineering, Vol.7, N^o1, 2009., pp. 23÷36. (UDC 621.634).
10. Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović Jasmina, Spasić Ž., "Numerical and experimental results of fluid velocity field around a smooth sphere using different turbulence models", The international conference Proceedings, Mechanical Engineering in XXI Century, 25-26 November 2010, Niš, pp. 103-106.
11. Bogdanović-Jovanović Jasmina, Stamenković Ž., Bogdanović B., "Designing of low pressure axial flow fans with different specific work of elementary stages", The international conference Proceedings, Mechanical Engineering in XXI Century, 25-26 November 2010, Niš, pp. 99-102.
12. Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., Stamenković Ž., Spasić Ž., "Turbinsko-pumpni agregat", *tehničko rešenje (M82)*, razvijeno u okviru projekta Nacionalnog programa energetske efikasnosti: NPEE 1006 – "Turbinsko-pumpni agregat za navodnjavanje", 2007.
13. Nikodijević D., Milenković D., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., Milanović S., Boričić A., "Konstruktivno unapređenja sporohodog radnog kola centrifugalne pumpe u cilju proširenja oblasti rada i poboljšanja kavitacionih karakteristika", *tehničko rešenje (M84)*, razvijeno u okviru projekta tehnološkog razvoja TR 14032 – Unapređenje konstruktivnih rešenja sporohodnih radnih kola centrifugalnih pumpi u cilju proširenja oblasti rada i poboljšanja kavitacionih karakteristika.
14. Boričić Z., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., Boričić A., "Eksperimentalno postrojenje za ispitivanje karakteristika strujanja pri opstrujavanju tela", *tehničko rešenje (M83)*, razvijeno u okviru projekta TR 18010 - ultraIstraživanje strujanja fluida u cilju povećanja energetske efikasnosti i daljeg razvoja alternativnih i obnovljivih izvora energije.

7. Основни биографски подаци кандидата

Рођена сам 23. јула 1975. године у Нишу.

Основну школу "Ђеле Кула" и гимназију "Бора Станковић" у Нишу завршила сам са Вуковом дипломом.

Машински факултет у Нишу сам уписала 1994. године, да би 2000. године дипломирала на смеру Хидроенергетике, са просечном оценом 9,76. Добитница сам награде за најбољег дипломираног студента Машинског факултета у Нишу, као и Универзитета у Нишу. Исте године сам уписала магистарске студије на Машинском факултету у Нишу, на којима сам положила све предмете са просечном оценом 10.

У школској 2007-2008. години сам уписала докторске студије на студијском програму Енергетика и процесна техника Машинског факултета у Нишу. Ове студије сам завршила 2010. године, положивши све испите предвиђене наставним планом, са просечном оценом 10 (десет).

На Машинском факултету у Нишу радим од 2000. године, као асистент приправник. Тренутно радим као асистент у настави, на Катедри за Хидроенергетику Машинског факултета у Нишу, и активно учествујем у извођењу наставе на предметима: Турбомашине, Механика флуида, Моделска и експериментална истраживања, Компресори и вентилатори, Транспорт у струји флуида, Системи водоснабдевања, Основе хидрауличког и пнеуматичког транспорта материјала, и др.

Учествовала сам на бројним научно-стручним скуповима. Такође сам учествовала и на више семинара из области нумеричких симулација у енергетици.

Аутор сам 30 радова и 4 техничка решења.

До 2011. године сам учествовала на 7 научно-истраживачких и развојних пројеката и 2 стручна пројекта у привреди. Тренутно сам истраживач на два пројекта Министарства за Науку (2011-2014.).

Такође сам коаутор три уџбеника: "Вентилатори – радне карактеристике и експлоатациона својства" (2006.), "Компресори – термодинамика процеса сабијања гасова" (2007.), "Летећи пнеуматички транспорт"(2009), које је издао Машински факултет у Нишу.

Закључак

Молим Катедру за Хидроенергетику Машинског факултета у Нишу да ми одобри предложену тему докторске дисертације, предложи потенцијалног ментора и формира комисију за оцену научне заснованости теме.