

27.12.2013

612-858/13.

**Наставно - научном већу
Машинског факултета Универзитета у Нишу**

ПРЕДМЕТ: Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације

Одлуком Наставно - научног већа Машинског факултета у Нишу, број: 612-682-10/2013 од 15.10.2013. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Саше Милановића, дипл. инж. маш., под називом:

"ИСТРАЖИВАЊЕ ТУРБУЛЕНТНОГ ДВОФАЗНОГ СТРУЈАЊА У ПРАВИМ КАНАЛИМА ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА ГРАНУЛАРНОГ МАТЕРИЈАЛА НЕКРУЖНОГ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА"

Након прегледа докторске дисертације, сагласно Закону о високом образовању и Статуту Машинског факултета Универзитета у Нишу, комисија подноси следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Лични подаци:

Име (име оца) презиме:	Саша (Мирко) Милановић
Датум и место рођења:	04.11.1962. год.
ЈМБГ:	0411962730045
Пол:	мушки
Адреса становања:	Бранка Крсмановића 4/46, Ниш
Страни језик:	руски
Брачни и породични статус:	ожењен, отац двоје деце.

1.2. Подаци о досадашњем образовању:

Основну школу "Васа Албанац" завршио је у селу Округлици и Гушевцу 1977. год. са одличним успехом.

Средњу машинску техничку школу – смер "конструктор техничар" завршио је 1981. год. са одличним успехом као носилац "Аласове" дипломе.

Машински факултет у Нишу уписао је 1982/83. год. Основне студије завршио је са просечном оценом 8,49 (осам и 49/100). Дипломирао је 1987. год. на смеру Енергетика оценом 10 (десет). У години дипломирања проглашен је за студента генерације на Машинском факултету у Нишу и награђен је од стране факултета и Универзитета Повељом и ручним сатом.

Након завршених основних студија Саша Милановић ради у Електронској индустрији у ООУР-у "КЛИМА УРЕЂАЈИ" у Нишу на радном месту конструктора. Истовремено уписује последипломске студије на Машинском факултету у Нишу смер Хидроенергетике школске 1987/88. год. и све предвиђене испите наставним програмом и планом положио је просечном оценом 9,63 (девет 63/100). Магистарски рад под називом "Прорачун просторног струјања кроз аксијалне турбомашине као комплекс два димензијска струјања" одбранио је 1996. год.

Као студент учествовао је у извођењу лабораторијских вежби из *Физике*. За асистента-приправника на Машинском факултету у Нишу на *Катедри за хидроенергетику* изабран је 1988. год. за предмет: *Компресори и вентилатори*. За асистента на истом факултету биран је 1997. год. за предмет: *Компресори и вентилатори*, за ужу научну област *Теоријска и примењена механика флуида*. Као асистент-приправник а касније и као асистент био је ангажован у извођењу вежби из следећих предмета: *Компресори и вентилатори, Транспорт цевима, Хидропреносници снаге, Транспорт у струји флуида, Хидрауличке компоненте, Уљна хидраулика и пнеуматика, Хидростатички преносници снаге, Хидропнеуматски елементи у мехатроници, Пројектовање хидрауличких и пнеуматичких система, Системи водоснабдевања, Основи хидрауличног и пнеуматичког транспорта материјала, Елементи уљне хидраулике и пнеуматике, Пумпне станице и Техничког цртања*, и прегледу графичких радова из *Механике I*.

Кандидат је коаутор два Универзитетска уџбеника: "*КОМПРЕСОРИ - Термодинамика процеса сабијања гасова*" и "*ЛЕТЕЋИ ПНЕУМАТИЧКИ ТРАНСПОРТ*", аутор је или коаутор 34 научних и стручних радова објављених у часописима или изложени на домаћим или међународним конференцијама. Као истраживач учествовао је у реализацији 10 научно-истраживачких пројеката.

Радови кандидата публиковани у часописима или изложени на домаћим, међународним конференцијама или објављени у националним часописима, су:

- Spasić Ž., Milanović S., Šušteršič V., Nikolić B., ***Low-pressure reversible axiaol fan with straight profile blades and relatively high efficiency***, Thermal Science (2012), Vol. 16, Suppl. 2 pp. S593-S603, (M23=3.0, R52=3.0).
- ◆ Jovanović M., Milenković D., Petrović G., Milić P., ***Milanović S., Theoretical and experimental analysis of dynamik processes of pipe branch for supply water to the pelton turbine***, Thermal Science (2012), Vol. 16, Suppl. 2 pp. S612-S629, (M23=3.0, R52=3.0).

- ◆ Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., **Milanović S.**, Spasić Ž., *Pressure drop calculation of transport air in rectilinear pipeline sections in the high pressure pneumatic conveying*, The second international conference-Mechanical Engineering in the XXI Century (2013), Conference proceedings, pp. 159-162, (M33=1.0, R54=1.0).
- ◆ Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., **Milanović S.**, *Calculation of operating parameters for different numbers of revolutions, considering the influence of Reynolds number*, SIMTERM (2011), (M33=1.0, R54=1.0)
- ◆ Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., Spasić Ž., **Milanović S.**, *Reversible axial fan with blades created of slightly distorted panel profiles*, Fakta Universitatis, series: Mechanical Engineering, Vol. 7, N°1, (2009), pp. 23-36. (M53=1.0, R63=1.0).
- ◆ Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., **Milanović S.**, *Proračun pada pritiska transportnog vazduha pri izotermnom i neizotermnom letećem pneumatičkom transportu*, SIMTERM (2009), Zbornik radova, (M33=1.0, R54=1.0)
- ◆ Bogdanović B., **Milanović S.**, *Solution of the direct problem in theory of flow through straight plane profile cascade by using conformal mapping into band $-\pi/2 \leq \text{Im}Z \leq \pi/2$* , Fakta Universitatis, series: Mechanical Engineering, Vol. 1, N°7, (2000), pp. 809-816, (M53=1.0, R63=1.0).
- ◆ Bogdanović B., **Milanović S.**, Bogdanović-Jovanović J., *Proračun pada pritiska u pravolinijskim deonicama cevovoda visokopritisnog letećeg pneumatičkog transporta*, Procesing (2002), Subotica, str. 28-31, (M33=1.0, R54=1.0).
- ◆ Bogdanović B., **Milanović S.**, *The basic problems in the realization of the numerical program for prediction of potential flow through straight plane cascade of profiles by conformal mapping of flow into band*, II International Symposium "Contemporary Problems of Fluid Mechanics", Beograd (1996), Conference proceedings, pp. 193-196, (M33=1.0, R54=1.0).
- ◆ Bogdanović B., **Milanović S.**, *Određivanje rasporeda brzine po konturi profila prave ravanske rešetke konformnim preslikavanjem strujanja na pojas $-\pi/2 \leq \text{Im}Z \leq \pi/2$ i problemi koji su pratili realizaciju programa za rešavanje zadatka na računaru*, XXII Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Vrnjačka Banja (1997), Zbornik radova, str. 57-62, (M33=1.0, R54=1.0).
- ◆ Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., **Milanović S.**, *Matematički model simulacije rada mreže navodnjavanja kišenjem*, SIMTERM (2005), Zbornik radova, (M33=1.0, R54=1.0)
- ◆ Milenković D., Boričić Z., Stamenković Ž., **Milanović S.**, *Energetska efikasnost pumpnih postrojenja za povišenje pritiska*, HIPNEF '09, Vrnjačka Banja (2008), Zbornik radova str. 219-226, (M63=0.5, R65=0.5).

2. АНАЛИЗА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата мр Саше М. Милановића, дипломираног инжењера машинства, започиње са две стране наслова на српском и енглеском језику, поруком, предговором, резимеом на српском и енглеском језику, након чега следи садржај дисертације на две странице а потом и списак ознака на четири странице. Основни текст дисертације изложен је на 114 страница формата А4, подељен у 8 поглавља и садржи 66 једначина и израза, 63 нумерисане графичке илустрације и 7 нумерисаних табела. На крају рада на 5 страница наведена је цитирана литература са 80 библиографских јединица. Докторска дисертација је урађена у MS Word текст процесору.

Следећи предмет и циљеве рада, садржај основног текста докторске дисертације изложен је у оквиру следећих поглавља:

1. Увод
 2. Преглед досадашњих истраживања
 3. Основни закони турбуленције
 4. Физички модел
 5. Математички модел
 6. Валидација модела
 7. Реалан проблем
 8. Закључак
- Литература

Рад садржи:

- ◆ Анализу могућих начина транспорта материјала, са посебним освртом на пнеуматички транспорт зрнастог, грануларног и прашкастог материјала у каналима не-кружног попречног пресека;
- ◆ Основне карактеристике турбулентних двофазних токова који представљају основу свих процеса транспорта материје са посебним освртом на секундарна струјања у равни попречног пресека канала;
- ◆ Детаљну анализу досадашњих истраживања моделирања турбулентних транспортних процеса и решавања основних усредњених једначина конзервације у општем парцијалном диференцијалном облику;
- ◆ Поступак конзервације система парцијалних диференцијалних једначина и њихове генерализације;
- ◆ Анализу генерисања секундарног тока друге врсте у потпуно развијеном турбулентном току у правим каналима квадратног попречног пресека;
- ◆ Дефинисање математичког модела гасне и чврсте фазе која је присутна у већини техничких процеса транспорта;
- ◆ Валидацију математичког модела са расположивим и доступним резултатима експерименталних истраживања;

- ◆ Анализу реалног транспорта чврстих честица материјала у правим каналима не-кружног попречног пресека при развијеном турбулентном струјању;
- ◆ Анализу добијених резултата и доношење одговарајућих закључака на основу извршених нумеричких истраживања.

У првом поглављу које представља уводни део докторске дисертације наведени су основни видови транспорта материјала. Посебна пажња је посвећена транспорту чврстог материјала флуидом односно пнеуматичком транспорту растреситог материјала који представља двофазно струјање типа гас-чврсте честице. Дате су основне карактеристике пнеуматичког транспорта: настанак, поделе, начини извођења, предности, недостаци и области његове примене. Основни узрок у расветљавању сложених феномена транспортних процеса двофазног струјања у каналима квадратног пресека који доминирају у инжењерској пракси је турбуленција. Познато је да у развијеном турбулентном току долази до индуковања струјања у равни попречног пресека канала. Ова струјања су позната као секундарна струјања прве и друге врсте. Утицај ових струјања код двофазног струјања није занемарљив па је посебна пажња посвећена секундарном струјању друге врсте у турбулентним моделима.

У другом поглављу наведена су досадашња истраживања у области директног нумеричког решавања транспортних једначина за турбулентне токове који углавном доминирају у транспортним процесима материјала. Сложени ефекти турбулентних интеракција апроксимативно се математички симулирају моделима турбуленције којима се постиже затварање усредњених једначина конзервације. Наведени су од првих идеја симулација *Колмогоров-а*, *Давидов-а*, па све до симулација секундарног тока друге врсте *Launder-а*, *Ying-а*, *Хањалића*, *Demuren-а* и *Rodi-а*.

Треће поглавље дисертације посвећено је извођењу основних диференцијалних једначина конзервације за произвољно уочену контролну запремину. Најпре је приказан поступак добијања локалне диференцијалне једначине за произвољну запремину. На основу локалне диференцијалне једначине конзервације изведене су: једначина континуитета, једначина кретања и енергетска једначина. Дата је генерализација парцијалних диференцијалних једначина које описују процесе транспорта материје, количине кретања и енергије.

У четвртном поглављу дата је формулација физичког модела гасне фазе. Описана је физика генерисања секундарног тока и то секундарног тока друге врсте у правим каналима не-кружног попречног пресека при развијеном турбулентном струјању. Показано је да је феномен постојања секундарног тока у не-кружним каналима последица турбулентног струјања, односно постојања градијената турбулентних (*Reynolds-ovih*) напона. Ако се посматра некомп्रेसибилно, стационарно потпуно развијено турбулентно струјање, у транспортној једначини за компоненту турбулентне вртложности изражен је утицај нормалних и тангенцијалних турбулентних напона. Уколико је већа разлика између турбулентних

чланова у једначини за турбулентну вртложност, механизам који генерише узроке појаве секундарног тока друге врсте, чији се утицај не може занемарити, посебно у случају двофазних система код којих су чврсте честице малог пречника, је израженији. При разматрању двофазних система струјања са међудејством фаза, при дефинисању модела описана су два приступа: *Euler-ov* и *Lagrange-ov*. *Euler-ovim* концептом се решава гасна фаза, док се *Lagrange-ov* концепт користи за решавање чврсте фазе. Описано је решавање задатка двофазног струјања које се спроводи итеративним поступком у четири итеративна корака до постизања критеријума конвергентности решења. У првом кораку се решава само гасна фаза без присуства дисперзне фазе, у другом се гасна фаза "замрзне" и у струјном пољу гасне фазе посматра се кретање честица којима се одређују путање, односно интерфазни чланови интеракције, да би се у следећем кораку поново решавало струјно поље гасне фазе, али сада са интерфазним члановима из претходног корака и све тако до постизања конвергентности решења.

У петом поглављу дефинисан је математички модел гасне и чврсте фазе. Временским усредњавањем једначина одржања појављују се додатни непознати флукуациони чланови различитих величина (*Reynolds-ovi* турбулентни напони, материјални или топлотни флуks) које треба одредити на одговарајући начин како би математички модел био једнозначно одређен. Математички модел гасне фазе се формира за пун напонски модел турбуленције, што значи да је свака компонента *Reynolds-ovog* напона одређена из сопствене транспортне диференцијалне једначине. Ове једначине нису егзактне већ моделоване у функцији расположивих зависно променљивих величина. Основни принцип који је коришћен за добијање ових једначина је да се корелације до другог реда задржавају у изворном облику а да се чланови који садрже корелације реда три и више моделирају градијентном методом. У процесу добијања моделских једначина турбуленције испитује се допринос сваког члана са циљем квантификације доприноса сваког члана понаособ. Пун напонски модел турбуленције подразумева симултано решавање моделоване једначине за *Reynolds-ove* напоне са једначином кретања у усредњеној форми. Затварање напонског модела за *Reynolds-ove* напоне извршено је додатном транспортном диференцијалном једначином за дисипацију кинетичке енергије турбуленције.

Присуство чврстих честица ствара аеродинамичке отпоре који условљавају промену количине кретања обеју фаза и математички модел чврсте фазе је базиран на *Lagrange-ovom* концепту. На основу овог концепта одређене су трајекторије чврстих честица, њихов импулс и промена брзине. Трајекторије чврстих честица одређиване су из једначине кретања за сваку уочену групу честица, док су брзине одређиване из једначине импулса при чему је претпостављено да су силе које делују управно на правац основног тока односно на правац кретања честица, уравнотежене. Међусобни утицај између фаза дат је интерфазним чланом који представља разлику између силе реакције отпора која изазива кретање честица и силе отпора кретању честица кроз гасну фазу.

Шесто поглавље дисертације посвећено је валидацији математичког модела са резултатима коришћеним у експерименталним истраживањима *Po-a* и *Perkins-a*.

У **седмом поглављу** решаван је реалан проблем: транспорт чврстих честица кварца, пепела и брашна. Изабран је канал квадратног попречног пресека $0,2 \times 0,2 \text{ m}$ и дужине 18 m како би дошло до успостављања потпуно развијеног турбулентног струјања код кога је профил брзине у попречном пресеку устаљен. У том случају може доћи до формирања секундарног струјања у равни попречног пресека канала. Задатак је решаван у софтверском пакету из области нумеричке механике флуида, преноса масе и топлоте *PHOENICS 3.3.1*. На основу добијених резултата брзина честица види се да брзине расту и теже брзини основне струје али је не достижу. Највећа је брзина честица у средини канала где је и брзина основне струје највећа а најмања је брзина честица у роњевима канала.

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације и анализе постигнутих резултата, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације констатују следеће:

- ◆ Поднети рад у потпуности одговара теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Нишу.
- ◆ Кандидат поседује знања из различитих области потребних за израду докторске дисертације.
- ◆ Кандидат је израдом докторске дисертације испољио висок степен научног прилаза проблематици у области теоријског и нумеричког истраживања из области теоријске и примењене механике флуида.
- ◆ Кандидат је показао потребан ниво самосталности у истраживању и способност да изврши синтезу научних знања у циљу реализације постављеног задатка.
- ◆ Рад је адекватно конципиран, технички квалитетно урађен и омогућава прегледно праћење изложеног садржаја и добијених резултата истраживања.
- ◆ Резултати истраживања имају задовољавајућу тачност и велики степен општости.
- ◆ Остварени резултати пружају широке могућности за даља теоријска и експериментална истраживања и представљају вредан допринос у разматрању пнеуматичког транспорта материјала.

На основу свега напред изложеног, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације са задовољством предлажу Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Нишу, да рад кандидата мр Саше М. Милановића, дипломираног инжењера машинства, под називом:

"ИСТРАЖИВАЊЕ ТУРБУЛЕНТНОГ ДВОФАЗНОГ СТРУЈАЊА У ПРАВИМ КАНАЛИМА ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА ГРАНУЛАРНОГ МАТЕРИЈАЛА НЕКРУЖНОГ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА"

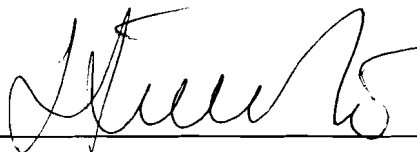
прихвати као докторску дисертацију и кандидата позове на усмену јавну одбрану.

У Нишу и Београду,
децембар 2013. год.

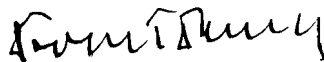
Чланови комисије:



др Градимир Илић,
редовни професор Машинског факултета Универзитета у Нишу
(ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника)



др Жарко Стевановић,
научни саветник Института за нуклеарне науке Винча
(ужа научна област: Теоријски и примењени процеси преноса топлоте и масе)



др Божидар Богдановић,
редовни професор Машинског факултета Универзитета у Нишу
(ужа научна област: Теоријска и примењена механика флуида)