

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ |
|--|
| <p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>11.02.2012.г.</p> <p>Наставно научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду.</p> |
| <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>Др Срђан Колаковић, редовни професор, хидротехника, 03.07.2003.г., Факултет техничких наука Нови Сад;</p> <p>Др Мирко Бабић, редовни професор, пољопривредна техника, 01.04.2006.г., Пољопривредни факултет Нови Сад;</p> <p>Др Слободан Савић, ванредни професор, примењена информатика и рачунарско инжењерство, 13.07.2011.г., Машински факултет Крагујевац;</p> <p>Др Маша Букуров, ванредни професор, механика флуида, 17.01.2013.г., Факултет техничких Наука Нови Сад</p> <p>Др Душан Узелац, редовни професор, хидропнеуматска техника, 13.11.2008.г., Факултет техничких наука Нови Сад</p> |
| II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ |
| <p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Синиша Милутин Бикић</p> |
| <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>28.05.1979.г., Кикинда, Република Србија</p> |
| <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Факултет техничких наука, Одсек за енергетику и процесну технику, хидропнеуматска техника, дипломирани машински инжењер</p> |
| <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> |

Датум пријаве докторске дисертације: 10.01.2010.г.

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:

Факултет техничких наука, „Баждарење мерних система за континуално мерење протока отпадних вода“, механика флуида, 27.12.2007.г.

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

Механика флуида

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Развој методе мерења протока ваздуха помоћу регулационе жалужине

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација кандидата мр Синише Бикића написана је на 245 стране и садржи девет поглавља: 1. Увод, 2. Преглед развоја метода мерења и регулације протока ваздуха у HVAC системима, 3. Лабораторијски прототип АТР жалужине, 4. Развој математичког модела и план истраживања АТР жалужине, 5. Лабораторијско постројење за испитивање АТР жалужина, 6. Неизвесност мерења брзине струјања ваздуха АТР жалужином, 7. Резултати мерења и анализа података, 8. Примена рачунарске динамике флуида у развоју АТР жалужине и 9. Закључак. У оквиру докторске дисертације налазе се и: кључна документацијска информација са апстрактном на српском и енглеском језику, садржај поглавља и подпоглавља, ознаке физичких величина и списак коришћене литературе са 82 референце које су наведене у складу са важећим правилима за цитирање. Докторска дисертација садржи 78 скица, 276 графикана, 28 слика, 35 табеле, 182 једначине и 267 цитата.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов рада је јасно формулисан и разумљив, прецизно описује предмет истраживања, у потпуности указује на садржај рада и у духу је српског језика.

У првом поглављу докторске дисертације под називом *Увод* дефинисани су предмет и циљ истраживања, дат је кратак историјски преглед досадашњих истраживања, предвиђен план истраживања, као и преглед метода које ће се користити за потребе истраживања. Предмет истраживања докторске дисертације је развој методе и мерила запреминског протока ваздуха. Запремински проток ваздуха мерен је квадратном регулационом жалужином на посредан начин, мерењем момента којим ваздушна струја делује на лопатицу и положаја лопатице жалужине. Циљ истраживања био је да се развије АТР (Air Torque Position) жалужина за мерење запреминског протока ваздуха чије лопатице не формирају решетку и да се за њу формира адекватан математички модел. За потребе истраживања коришћене су следеће основне научне методе: дескриптивна метода; анализа и синтеза; експериментална метода; статистичка обрада података; аналитичко моделирање података и нумеричко моделирање применом методе коначних запремина.

Друго поглавље под називом *Преглед развоја метода мерења и регулације протока ваздуха у HVAC системима* може се посматрати кроз три целине. У првој целини на систематичан и сажет начин дат је преглед развоја метода мерења и регулације протока ваздуха у HVAC системима. Прегледом може да се закључи да постоји на десетине метода за мерење и регулацију протока ваздуха, са својим предностима и недостацима, па се не може причати о најбољој методи. Управо је то разлог што је тема усавршавања постојећих и развоја нових

метода мерења и регулације протока ваздуха и данас веома актуелна. У другој целини детаљно су приказани досадашњи резултати истраживања и развоја регулационих жалузина за потребе мерења и регулације протока ваздуха у HVAC системима. Како је регулациона жалужина претеча АТР жалужине читалац се постепено уводи у проблематику истраживања мерења протока ваздуха АТР жалужином. У трећој целини поступно и детаљно су приказани резултати досадашњих истраживања развоја методе мерења протока ваздуха моментном карактеристиком жалужине и истраживања развоја АТР жалужине као мерног уређаја. Досадашњи резултати истраживања АТР жалужина указују на предности које овај мерни уређај потенцијално квалификују за уградњу у HVAC системима. Међутим, досадашња истраживања на пољу развоја АТР жалужина могла би се назвати прелиминарним, јер их је било веома мало. Постоји велики број неиспитаних утицајних фактора на тачност мерења протока ваздуха и адекватност математичког модела АТР жалужине. Такође, велики број техничких карактеристика АТР жалужине је непознат. Развој методе мерења протока ваздуха моментном карактеристиком жалужине и развој АТР жалужине као мерног уређаја је веома актуелан и несумњиво ће бити предмет истраживања научника у будућности.

Треће поглавље под називом *Лабораторијски прототип АТР жалужине* поступно приказује развој лабораторијског прототипа АТР жалужине која је предмет истраживања докторске дисертације. Развој АТР жалужине описан је примером конструкцијских измена на регулационој жалужини. Конструкцијске измене на регулационој жалужини урађене су са циљем да се повећа осетљивост мерног уређаја, тј. да се за мање промене брзине струјања добију веће промене мерног момента. Повећањем осетљивости директно се повећава тачност мерења протока ваздуха АТР жалужином. Подпоглављима детаљно су описани поступци формирања лабораторијског прототипа АТР жалужине: измештање осе обртања лопатице, дефинисање угламера за одређивање положаја лопатице, смањење мртвог момента и момента трења мерне лопатице, смањење угиба лопатице, избор мерне полуге и сензора за мерење масе, калибрисање мерила момента и ротационог потенциометра. Такође, у оквиру трећег поглавља дат је технички опис и принцип рада лабораторијског прототипа АТР жалужине.

Четврто поглавље под називом *Развој математичког модела и план истраживања АТР жалужине* састоји се из две целине. У првој целини приказан је развој математичког модела АТР жалужине путем основних једначина механике флуида. У другој целини приказан је детаљан план истраживања. За АТР жалужине чије лопатице не формирају решетку урађено је математичко моделирање и испитан утицај хистерезиса, локалних отпора (испред и иза жалужине), присуства праве деонице иза жалужине и малих вредности брзина струјања на адекватност математичког модела и тачност мерења запреминског протока ваздуха. Урађено је испитивање следећих карактеристика АТР жалужине: мртвог момента, корекционог фактора момента, нуле мерила, режима струјања, линеарности, пада притиска, губитка енергије, коефицијента протока, статичке осетљивости и временске константе мерила. Испитана су четири типа АТР жалужина чије лопатице не формирају решетку: тип А (једна лопатица); тип В (две унакрсно вођене лопатице); тип С (две паралелно вођене лопатице) и тип D (две лопатице, где је једна лопатица мерна, док је друга лопатица укочена у хоризонталном положају). Такође, урађено је математичко моделирање на основу резултата нумеричке симулације АТР жалужина методом коначних запремина и верификација математичког модела експерименталним подацима.

Поглавље пет под називом *Лабораторијско постројење за испитивање АТР жалужина* даје технички опис и принцип рада формираног лабораторијског постројења за испитивање АТР жалужина. АТР жалужина је мерни уређај у фази развоја, па су за потребе формирања лабораторијског постројења коришћене препоруке стандарда ANSI/AMCA 500 - D из 2007 године. Наведеним стандардом дате су препоруке за формирање лабораторијског постројења за испитивање регулационих жалузина. Како се малим конструкцијским изменама регулационе жалужине добија АТР жалужина, препоруке коришћеног стандарда сматрају се релевантне за формирање лабораторијског постројења за испитивање АТР жалужина. У петом поглављу дате су фотографије изведеног лабораторијског постројења, као и фотографије и

табеле са техничким карактеристикама коришћених мерних уређаја и опреме. Према плану истраживања експериментално испитивање АТР жалузина на лабораторијском постројењу урађено је за потребе: верификације математичког модела, верификације решења нумеричке симулације и континуалног мерења момента. Према потребама испитивања формиране су три поставке лабораторијског постројења, које су детаљно описане уз одговарајуће шематске приказе.

У шестом поглављу под називом *Неизвесност мерења брзине струјања ваздуха АТР жалужином* на основу опште теорије о неизвесности мерења физичке величине и математичког модела АТР жалузине развијен је математички модел за одређивање неизвесности мерења брзине струјања ваздуха АТР жалужином. На овај начин у потпуности су заокружене теоријске основе неопходне за обраду и анализу експерименталних података према дефинисаном плану истраживања.

У седмом поглављу под називом *Резултати мерења и анализа података* аутор приказује и анализира резултате експерименталних истраживања који су структурирани према дефинисаном плану истраживања. Резултати истраживања приказани су графички и табеларно. За потребе математичког моделирања и верификације математичког модела АТР жалузине коришћена су два независна низа експерименталних података. Подацима првог низа урађено је математичко моделирање, док је подацима другог низа урађена експериментална верификација математичког модела. Услед великог броја добијених резултата, верификација математичког модела приказана је графички, где су поређене брзина струјања добијена из математичког модела и измерена брзина струјања ваздуха. Поред тога графички је приказана и зависност разлике моделске и измерене брзине од нападног угла мерне лопатице АТР жалузине. На овај начин добија се информација о одступању моделске од измерене брзине струјања при одређеном нападном углу мерне лопатице АТР жалузине. Исти концепт приказивања и верификације коришћен је и при утврђивању појединих утицајних фактора на адекватност математичког модела и тачност мерења протока ваздуха. Неизвесност мерења брзине струјања АТР жалужином добијена развијеним математичким моделом приказана је табеларно.

Осмо поглавље под називом *Примена рачунарске динамике флуида* приказује подешавања параметара и резултате нумеричке симулације АТР жалузина типа А и В применом методе коначних запремина. Осмо поглавље је организовано у подпоглавља која описују кораке у анализи струјања применом рачунарске динамике флуида: сакупљање података о сличним физичким моделима; дефинисање геометријског модела домена; избор математичког модела; дискретизација простора; дискретизација једначина; гранични услови; модели турбуленције; итеративно решавање нумеричке шеме; анализа резултата са аспекта стабилности и тачности; постпроцесирање и експериментална верификација решења нумеричке симулације. У сваком подпоглављу поред кратког теоријског приказа корака нумеричке симулације, дате су и специфичности за корак нумеричке симулације испитиваних АТР жалузина. Осим поглављем су сагледане могућности коришћења методе коначних запремина у даљем развоју АТР жалузина, где уз адекватне ресурсе рачунара постоји могућност смањења времена и трошкова у односу на експериментална истраживања. У последњем подпоглављу приказани су резултати експерименталне верификације решења нумеричке симулације. Верификација је урађена на два начина: поређењем нумеричког и измереног профила брзине непосредно иза лопатице АТР жалузина и експерименталном верификацијом математичког модела АТР жалузине добијеног на основу решења нумеричке симулације.

У деветом поглављу под називом *Закључак* сажето су изведени закључци на основу анализе добијених резултата. На основу изнетих закључака створена је слика о АТР жалузини као уређају за мерење протока ваздуха и сагледана могућност њене практичне примене у HVAC системима. Предложена су будућа истраживања која би представљала наставак спроведеног истраживања.

Ознаке садрже списак физичких величина које се користе у једначинама наведеним у

докторској дисертацији. Поред физичких величина приказани су и индекси физичких величина. Прегледан списак индекса физичких величина је веома важан јер су индекси скраћенице од термина који се користе у HVAC техници, а који већином и даље немају адекватан термин на српском језику.

Литература садржи 82 референце које представљају релевантан извор информација из области спроведеног истраживања. Наведене референце обухватају све области у овом истраживању, а приказане су на прописан начин.

Комисија је позитивно оценила сва поглавља докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. Bukurov, M., Bikić, S., Prica, M., (2012). Efficiency Rate of Steam-Water Injector, Acta politechnica Hungarica, Vol.9, No.5, pp. 107 – 125, ISSN 1785-8860, www.uni-obuda.hu/journal. (M23)
2. Bikić, S., Bukurov, M., Marković, B., Pavkov, I., Radojčin, M., (2013). Methodology for testing the hydraulics characteristics of flexible aluminium pipes, Third International Conference Sustainable Postharvest and Food Technologies, INOPTER 2013, April 21th – April 26th 2013, Vrnjačka Banja, pp. 18 – 23, ISBN 978-867520-267-7, www.ptep.org.rs. (M33)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживањем у оквиру докторске дисертације дошло се до следећих закључака:

Када се при математичком моделирању и верификацији математичког модела хистерезис АТР жалужине узме у обзир, код већег броја мерних тачака разлика измерене и моделске брзине креће се изван граница $\pm 10\%$ од тренутно измерене брзине струјања ваздуха и то само при жалужини при којој је нападни угао мерне лопатике мањи од 40° . Без обзира на положај АТР жалужине на систему, када је нападни угао мерне лопатике мањи од 40° , хистерезис има значајан утицај на адекватност математичког модела и тачност мерења брзине струјања ваздуха.

Без обзира на положај АТР жалужине, локални отпор испред жалужине значајно утиче на адекватност математичког модела и тачност мерења брзине струјања ваздуха када је нападни угао мерне лопатике мањи од 30° . Без обзира на положај АТР жалужине локални отпор иза жалужине има знатно мањи утицај на адекватност математичког модела и тачност мерења у поређењу са утицајем локалног отпора испред жалужине, па чак и када је нападни угао мерне лопатике мањи од 30° . Уочено је да је утицај локалног отпора АТР жалужине на адекватност математичког модела и тачност мерења већи када математички модел узима у обзир хистерезис жалужине.

Када се АТР жалужина постави на крају цевовода код већег броја мерних тачака разлика измерене и моделске брзине креће се изван границе од $\pm 10\%$ од тренутно измерене брзине струјања ваздуха. Закључено је да је математички модел адекватнији, а мерење тачније за случај када се АТР жалужине налазе у цевоводу у односу на случај када се налазе на крају цевовода. Међутим, код АТР жалужина постављених на крају цевовода математички модел је неадекватан а мерење нетачно само за случај када је нападни угао мерне лопатике жалужине мањи од 40° .

За потребе анализе усвојена је граница задовољавајуће неизвесности мерења од $\pm 5\%$. АТР жалужина типа С не може са задовољавајућом неизвесношћу да мери протоке ваздуха при брзинама струјања испод 4 m/s . Сви остали типови АТР жалужина могу са задовољавајућом неизвесношћу да мере протоке ваздуха при брзинама струјања мањим од 4 m/s , под условом да је нападни угао мерне лопатике већи од 60° .

Развијена АТР жалужина одликује се преносним механизмом код кога се највећи део момента којим ваздушна струја делује на мерну лопатицу пренесе на мерило момента. Формирањем корекционог фактора као односа контролног момента и момента измереног АТР жалужином, установљено је да је удео “паразитних” момента свега пар процената у односу на момент којим ваздушна струја делује на мерну лопатицу жалужине.

Мерило момента АТР жалужине почиње да реагује при веома малим брзинама струјања ваздуха. АТР жалужина типа А почиње да реагује при брзинама струјања испод $0,1\text{ m/s}$ (нападни угао мерне лопатике од 40° до 90°), док АТР жалужине типа В и D почињу да реагују при брзинама струјања испод 1 m/s (нападни угао мерне лопатике од 20° до 90°). Само на самом почетку реаговања мерила момента јавља се ламинаран режим струјања, док се у целокупном преосталом мерном опсегу јавља турбулентан режим струјања ваздуха.

Без обзира на положај на систему у АТР жалужини јавља се велики пад притиска, при чему најнеповољнији тип В има пад притиска до 500 Pa , а најповољнији тип D има пад притиска до 100 Pa . При брзини струјања ваздуха у цевоводу од 5 m/s , максимални део снаге вентилатора који се троши на рад жалужине типа В је 100 W (ред величине сијалице “жаруље”), а на тип D је 20 W (ред величине “штедљиве” сијалице).

Са становишта коефицијента протока мерног сензора најнеповољнији су типови АТР жалузина А и В, док је најповољнији тип D. При нападном углу мерне лопатице од 90° , када се АТР жалузина налази у цевоводу, коефицијент протока жалузине типа А је 0,09, док коефицијент протока жалузине типа D износи 0,5.

Корекција математичког модела услед промене густине ваздуха повлачи за собом постојање три додатна сензора на АТР жалузини: термометра, манометра и барометра. Препорука је да манометар испред мерне лопатице АТР жалузине може да се изостави, док термометар за мерење температуре ваздушне струје испред мерне лопатице и барометар за мерење атмосферског притиска морају да постоје на систему.

Преносне карактеристике АТР жалузине анализирани су посматрајући жалузину као мерни систем првог реда. Анализирана је одзивна функција мерила момента АТР жалузине на улазну импулсну побуду. Установљено је да је временска константа од 1,8 s АТР жалузине при доведеној импулсној побуди која одговара мерном моменту од 0,981 Nm. Сасвим очекивано установљено је да коефицијент статичке осетљивости АТР жалузине расте са порастом нападног угла мерне лопатице.

Верификована је нумеричка симулација методом коначних запремина за АТР жалузину типа А. Математички модел добијен решењима нумеричке симулације је експериментално верификован, са разликом између измерене и моделске брзине од +/-10 % од тренутно измерене брзине струјања.

Потврђена је основна хипотеза докторске дисертације да дефинисани математички модел може успешно да се користи за тачно и поуздано мерење запреминског протока ваздуха. Разлика између измерене и моделске брзине је +/-10 % од тренутно измерене брзине струјања, што је повољнија граница од оне коју је Федершпил (Federspiel) добио за АТР жалузине са супротносмерно вођеним лопатицама које не формирају решетку, а налазе се на улазу у цевовод.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

У докторској дисертацији кандидат мр Сениша Бикић јасно је и прегледно приказао добијене резултате истраживања помоћу слика, графика и табела, а након тога су резултати истраживања тумачени разумљиво, тако да из њих могу да се изведу закључци. Резултати истраживања и њихова квалитетна анализа стварају подлогу за даљи развој и практичну примену АТР жалузина.

| | |
|--|---|
| IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: | |
| 1. | Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме. |
| 2. | Да ли дисертација садржи све битне елементе Докторска дисертација садржи све битне елементе истраживачког рада. |
| 3. | По чему је дисертација оригиналан допринос науци У оквиру докторске дисертације испитана је АТР жалузина чије лопатице не формирају решетку која није била предмет истраживања аутора у прошлости. Први пут на једној АТР жалузини испитани су утицаји: хистерезиса, локалних отпора са присутним хистерезисом (испред и иза жалузине), присуства праве деонице иза жалузине и малих вредности брзина струјања на адекватност математичког модела и тачност мерења запреминског протока ваздуха. Испитивањем су одређене и следеће карактеристике АТР жалузине: корекциони фактор момента, нула мерила, режим струјања, линеарност, пад притиска, губитак енергије, коефицијент протока, статичка осетљивост и временска константа мерила. Ради се о веома важним карактеристикама којима се употпуњује слика о мерилу протока, а којима се нису бавили аутори у прошлости. На крају треба истаћи да је први пут у досадашњем развоју АТР жалузина математички модел калибрисан решењима нумеричке симулације применом методе коначних запремина и верификован експерименталним подацима. |
| 4. | Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Комисија није уочила битне недостатке који могу да утичу на резултате истраживања. |
| X ПРЕДЛОГ: | |
| На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже: | |
| да се докторска дисертација под називом “Развој методе мерења протока ваздуха помоћу регулационе жалузине” прихвати, а кандидату мр Синиши Бикићу одобри одбрана. | |

15.06.2013.г.

Др Срђан Колаковић, редовни професор, председник

Др Слободан Савић, ванредни професор, члан

Др Мирко Бабић, редовни професор, члан

Др Маша Букуров, ванредни професор, члан

Др Душан Узелац, редовни професор, ментор

