

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

1291/5
(Број захтева)

23.08.2013.године
(Датум)

З А Х Т Е В
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

ДРАГАНА (МАРКО) КОМАРОВА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ДРАГАН (МАРКО) КОМАРОВ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

АЕРОДИНАМИЧКА ОПТЕРЕЋЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНЕ ЗА СПЕЦИФИЧНЕ РЕСУРСЕ ВЕТРА НА ЛОКАЦИЈАМА У СРБИЈИ

Универзитет је дана 02.07.2012. год. својим актом под бр. 06-19484/33-12 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

АЕРОДИНАМИЧКА ОПТЕРЕЋЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНЕ ЗА СПЕЦИФИЧНЕ РЕСУРСЕ ВЕТРА НА ЛОКАЦИЈАМА У СРБИЈИ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ДРАГАНА (МАРКО) КОМАРОВА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 27.06.2013. године, одлуком факултета под бр. 1291/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Слободан Ступар</u>	Редовни професор	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Александар Симоновић</u>	Ванредни професор	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
3. <u>Др Слободан Гвозденовић</u>	Редовни професор	Ваздухопловство	Саобраћајни факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 11.07.2013. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1291/4
Датум: 11.07.2013. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Слободан Ступар, ментор, проф.др Александар Симоновић и проф.др Слободан Гвозденовић, Саобраћајни факултет Београд о оцени докторске дисертације „Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“ докторанта мр Драгана Комарова, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 11.07.2013. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„АЕРОДИНАМИЧКА ОПТЕРЕЋЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНЕ ЗА СПЕЦИФИЧНЕ РЕСУРСЕ ВЕТРА НА ЛОКАЦИЈАМА У СРБИЈИ“** докторанта **мр ДРАГАНА КОМАРОВА**, дипл.инж.маш.

Извештај о оцени и одбрани докторске дисертације, по истеку рока од 30 дана увида јавности, доставља се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, докторанту, ментору и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о завршеној докторској дисертацији **мр Драгана Комарова**, дипл. маш. инж., магистра техничких наука из области машинства

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1291/2 од 27.06.2013. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Драгана Комарова, дипл. инж. маш. под насловом:

АЕРОДИНАМИЧКА ОПТЕРЕЋЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНЕ ЗА СПЕЦИФИЧНЕ РЕСУРСЕ ВЕТРА НА ЛОКАЦИЈАМА У СРБИЈИ

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат мр Драган Комаров пријавио је тему докторске дисертације 13.03.2012. године под бројем 493/1 на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Слободана Ступара, редовног професора. На основу сагласности Катедре за ваздухопловство бр. 946/1 од 21.05.2012. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је Одлуку о формирању комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу проф. др Слободан Ступар, ментор, проф. др Александар Симоновић и проф. др Слободан Гвозденовић, Саобраћајни факултет, Београд.

Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 04.06.2012. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај бр. 946/2 о испуњености услова за одобрење тезе. Комисија у извештају предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом **„Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“** наводећи да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на докторској дисертацији, као и да је предложена тема адекватна да буде предмет докторске дисертације.

На основу Захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације бр. 946/4 од 07.06.2012. године, упућеног од стране Машинског факултета у Београду, Веће

научних области техничких наука Универзитета у Београду, донело је Одлуку број 06-19484/33-12 од 02.07.2012. године којом даје сагласност на предложену тему докторске дисертације. На основу добијене сагласности, Наставно-научно веће Машинског факултета доноси Закључак бр. 1351/1 од 12.07.2012. године, којим се одобрава рад на теми докторске дисертације **„Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“**, докторанта мр Драгана Комарова, дипл. маш. инж. под менторством проф. др Слободана Ступара.

О завршетку докторске дисертације кандидата мр Драгана Комарова, дипл. инж. маш. под називом: **„Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“** и предлогу Комисије за оцену и одбрану, ментор проф. др Слободан Ступар обавестио је Катедру за ваздухопловство, а Катедра дописом бр. 1291/1 од 24.06.2013. године Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: проф. др Слободан Ступар, ментор, проф. др Александар Симоновић и проф. др Слободан Гвозденовић, Саобраћајни факултет, Београд.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 27.06.2013. године донело одлуку бр. 1291/2 којом је усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом **„Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“** припада области техничких наука, машинство, у којој научној области Ваздухопловство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр Драган Комаров рођен је 20.09.1977. године у Београду где је завршио основну школу и гимназију. Дипломирао је на Машинском факултету Универзитета у Београду на Одсеку за хидроенергетику 13.07.2003. године. Последипломске студије завршио је на истом факултету на Одсеку за ваздухопловство, где 26.10.2007. године стиче звање магистра техничких наука одбраном магистарског рада под насловом „Аеродинамичка оптимизација лопатица ротора ветрогенератора за мале брзине ветра применом савремених софтверских алата“.

Као стипендиста Министарства науке и заштите животне средине од 10.03.2004. године до 30.06.2005. године, био је ангажован у Иновационом центру Машинског факултета у Београду при Одсеку за хидроенергетику за потребе пројекта развоја софтвера за симулацију вибрација у хидропостројењима. У периоду од 2005. до 2007. године запослен је на Машинском факултету у својству истраживач – приправник и ангажован на пројекту финансираном од стране Министарства за науку и заштиту животне средине ев. бр. ТР-6373 „Развој лаког хеликоптера“, као и иновационом пројекту ев. бр. ИП-8123 „Развој технолошки напредне ветротурбине оптимизираних за мале брзине ветра“ током 2006. и 2007. године. Од новембра 2007. године запослен у Центру за ваздухопловство Машинског факултета у

Београду на пословима стручног сарадника, где између осталог, учествује у реализацији наставе на предметима Ветротурбине, Ветротурбине 2, Прорачунска аеродинамика и Увод у инжењерске симулације. Као истраживач учествовао је у реализацији пројекта технолошког развоја финансираног од стране Министарства науке у периоду од 2008. до 2010. године, ев. бр. 18029 под називом „Развој технологија пројектовања и израде лопатица ветротурбина великих снага и других великогабаритних композитних структура“. Од 2010. године ангажован је на пројекту ев. бр. 35035 „Истраживање и развој савремених приступа пројектовања композитних лопатица ротора високих перформанси“. Стручно се усавршава у областима прорачунске механике флуида и обновљивих извора енергије – ветротурбина. Аутор и коаутор је више од 40 научно-стручних радова. У оквиру сарадње са привредом учествовао је у изради више од 60 студија, елабората и главних машинских пројеката за различита постројења. Члан је Инжењерске коморе Србије, поседује лиценце одговорног пројектанта термотехнике, термоенергетике, процесне и гасне технике и одговорног инжењера за енергетску ефикасност зграда.

Говори енглески језик. Ожењен је и отац је једног детета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Драгана Комарова, дипл. инж. маш., под насловом „**Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији**“ је документ формата А4, штампан једнострано, са текстом на српском језику на 155 нумерисаних страна. Дисертација садржи укупно девет поглавља, при чему је списак коришћене литературе дат као последња целина. Дисертацију чине следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Ресурс ветра у Србији
4. Аеродинамичка оптерећења ветротурбине
5. Нумеричко одређивање аеродинамичких карактеристика аеропрофила
6. Оптимизација лопатице ветротурбине
7. Приказ резултата оптимизације лопатица ветротурбина за локације у Србији
8. Закључак
9. Литература

Текст дисертације је илустрован са 75 слика и дијаграма, садржи 19 табела и 147 једначина. У попису коришћене литературе кандидат је навео 139 референци.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру првог поглавља докторске дисертације, након кратког приказа савремених ветротурбина идентификовани су правци даљег развоја композитних лопатица намењених за производњу електричне енергије коришћењем енергије ветра као што су тренд повећања габарита веома витких лопатица мегаватних ветротурбина, пасивно и активно прилагођавање лопатица према захтеваној снази и дозвољеним оптерећењима и савремене технике управљања и регулисања ветротурбина. Наглашена је потреба за модификовањем постојећих метода у оквиру методологије пројектовања лопатица ветротурбина. Веродостојно и ефикасно одређивање аеродинамичких оптерећења за велики број радних режима је основа за даље фазе пројектовања укључујући и оптимизацију по различитим критеријумима. У завршном делу Увода приказан је предмет истраживања и дата је организација дисертације.

Друго поглавље „Преглед литературе“ чине две целине. У првом делу дат је преглед истраживања везаних за различите методе одређивања аеродинамичких оптерећења ветротурбина. Кроз преглед доступне литературе представљене су и систематизоване методе базиране на теорији елемента лопатице, вртложној теорији – прорачуну потенцијалног струјања, нумеричком решавању Навије – Стоксових, односно Рејнолдсових једначина и хибридне методе. У другом делу поглавља дат је преглед литературе у области оптимизације лопатица ветротурбина. Уведене су основне поделе градијентних и еволутивних метода оптимизације са освртом на карактеристике специфичних метода.

У оквиру трећег поглавља „Ресурс ветра у Србији“ дате су релације за квантификовање ветроенергетског потенцијала дате локације. Идентификоване су класе ветра за које се ветротурбине пројектују и објашњена је методологија прорачуна годишње производње енергије ветротурбине. Затим су приказани подаци из доступних истраживања који су везани за процену енергетског потенцијала ветра на територији Србије. Идентификовани су кључни параметри ресурса ветра за потребе прорачуна аеродинамичких оптерећења и оптимизације ветротурбине у смислу постизања оптималне годишње производње енергије.

У четвртом поглављу „Аеродинамичка оптерећења ветротурбине“ формулисана је метода за аеродинамички прорачун ветротурбине применом теорије одржања количине кретања и елемента лопатице са корекцијама за реално струјање. Уведене су основне претпоставке физичког модела и постављене основне једначине. Након изведених основних образаца за прорачун оптерећења лопатице уведене су потребне корекције модела којима се узимају у обзир коначан број лопатица, оптерећеност ротора, тродимензионалност струјања око ротирајуће лопатице ветротурбине и скретање ротора. Такође је извршена тродимензионална симулација опструјавања при чему је ротор моделиран додатним изворним члановима у Рејнолдсовим једначинама прорачунатим према теорији елемента лопатице ради поређења индукованих брзина са раније поменутиим моделом. Извршена је валидација оба модела поређењем резултата са доступним експерименталним испитивањима ветротурбина.

У поглављу „Нумеричко одређивање аеродинамичких карактеристика аеропрофила“ формулисан је модел применом Рејнолдсових једначина и метода прорачунске механике фулида са циљем поузданог одређивања аеродинамичких коефицијената аеропрофила. Извршена је детаљна анализа више турбулентних модела: Спаларт – Алмарас, $k - \omega$ SST и γ –

Re_0 модела. Резултати за аеропрофиле различитих релативних дебљина који се користе за лопатице ветротурбина упоређени су са доступним експерименталним вредностима и резултатима остварених прорачуном применом вискозно – невискозне методе и емпиријском релацијом за предвиђање преображаја граничног слоја. Испитане су и усвојена је модификација $\gamma - Re_0$ турбулентног модела у циљу постизања бољег подударања резултата са експерименталним подацима у области нападних углова већих од 4° за аеропрофиле релативне дебљине између 15% и 25%. Примењени модел је дао добре резултате за релативно широк спектар Рејнолдсових бројева између $3 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^6$.

У шестом поглављу „Оптимизација лопатице ветротурбине“ разматрана је примена генетског алгоритма и методе роја честица за аеродинамичку оптимизацију ветротурбине и аеропрофила као елемента лопатице. Услед релативно бољих перформанси у смислу потребног броја аеродинамичких прорачуна за оптимизацију облика аеропрофила изабрана је метода вишекритеријумске оптимизације ројем честица. Формулисана је метода параметризације аеропрофила која је имплементирана у оптимизациони софтвер. Идентификована су ограничења за оптимизацију аеропрофила којима се смањује број неприхватљивих решења чиме се битно утиче на потребно време прорачуна у процесу оптимизације. Ветроурбина је оптимизована применом генетског алгоритма при чему је функција циља годишња производња енергије ветротурбине. Поред ограничења везаних за геометрију лопатице и радне параметре ветротурбине постављено је ограничење максималног аксијалног оптерећења лопатице.

У седмом поглављу „Приказ резултата оптимизације лопатица ветротурбина за локације у Србији“ извршена је примена постављеног аеродинамичког модела и алгоритма за оптимизацију на конкретне локације у Србији. Извршена је анализа добијених резултата и поређење са постојећим ветротурбинама у смислу годишње производње енергије. Приказани су резултати везани за расподелу оптерећења лопатице за случај оптималних решења.

У деветом поглављу „Закључак“ изведени су специфични и општи закључци везани за предмет дисертације. Приказани су остварени доприноси дисертације у погледу истраживања методологије прорачуна аеродинамичких оптерећења и оптимизације ветротурбина. Остварени резултати и приступ проблемима који су били предмет дисертације отворили су низ праваца за даље истраживање који су у закључку размотрени. У области одређивања аеродинамичких оптерећења лопатица могуће је даље усавршавање модела којима би биле моделиране динамичке појаве које се јављају при налетима ветра или током промене угла закретања лопатице – корака ротора, затим и утицај аутономне регулације угла закретања за сваку лопатицу посебно на перформансе и оптерећења ротора. С тим у вези у оквиру нумеричких симулација струјања око аеропрофила могу се размотрити појаве које се јављају при промени нападног угла у току времена, као и тродимензионалне симулације опструјавања аеропрофила у аеротунелу са моделирањем утицаја зидова на аеродинамичке карактеристике и поређење са скупом детаљних експерименталних резултата. У области оптимизације истраживање се може наставити имплементацијом „сурогат“ модела којим би се време потребно за оптимизацију могло редуковати. При томе треба размотрити утицај сурогат модела на квалитет крајњег резултата оптимизације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „**Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији**“ кандидата мр Драгана Комарова представља савремени и оригиналан приступ проблематици одређивања аеродинамичких оптерећења и оптимизације лопатица ветротурбина са применом на локације у Србији. Истраживање у току израде дисертације мотивисано је динамичним развојем ветротурбина у протеклој деценији што сведочи о њеној актуелности. Коришћене су савремене методе одређивања аеродинамичких карактеристика аеропрофила које су имплементиране у методологију прорачуна аеродинамичких оптерећења ветротурбине за низ различитих радних режима и случајева оптерећења. Валидност имплементираних емпиријских корекција у основни модел за прорачун оптерећења лопатица ветротурбина проверена је на доступним, савременим експерименталним истраживањима аеродинамике ветротурбина. Развијени поступци у оквиру дефинисања методологије оптимизације лопатице значајно утичу на потребан број прорачуна у току оптимизације, што је веома битно имајући у виду хардверске захтеве неких метода. Треба нагласити да су сви нумерички модели у оквиру дисертације формиран тако да могу бити примењени на обичним и шире доступним персоналним рачунарима при чему валидност резултата није нарушена.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру истраживања у току израде дисертације извршен је опсежан преглед литературе што је резултирало цитатима 139 научно – стручних публикација. Коришћена референтна литература је махом савремена, објављена у реномираним међународним часописима од стране уважених аутора из неких од водећих светских института и универзитета који су познати по доприносима у области ваздухопловства, ветротурбина, прорачунске механике флуида и оптимизације. Такође је потребно поменути да се кандидат позивао на више кључних научних радова које су представљале прекретнице у областима истраживања у ближој и даљој прошлости која су предмет дисертације. Преглед литературе је студиозно реализован и на основу њега је могуће сагледати актуелно стање у областима које су биле предмет дисертације, па и стећи утисак о правцима развоја ветротурбина уопште и метода одређивања аеродинамичких оптерећења и оптимизације лопатица ветротурбина.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене методе у оквиру дисертације у потпуности одговарају предмету и методологији истраживања аеродинамичких оптерећења и оптимизације ветротурбина. У току израде дисертације извршене су модификације прихваћеног инжењерског метода одређивања аеродинамичких оптерећења ветротурбине, те њихова валидација поређењем резултата прорачуна са објављеним и доступним експерименталним резултатима. Метода коначних запремина примењена је за прорачун струјања нестишљивог вискозног флуида у циљу одређивања аеродинамичких карактеристика аеропрофила и дефинисања улазних података како за аеродинамички прорачун ветротурбине тако и за процес оптимизације облика аеропрофила. Валидност примењене методе тестирана је на аеропрофилима за које су

објављени резултати експерименталних испитивања високог квалитета. За потребе обраде резултата примењене су савремене методе обраде и визуелизације великог броја података. У оквиру методологије оптимизације која се у случају аеропрофила заснива на методи оптимизације ројем честица, а у случају ветротурбине на генетском алгоритму примењена је метода генерализације на основу које су изведени општи закључци о могућностима примене развијене методологије за одређивање аеродинамичких оптерећења за потребе оптимизације лопатица ветротурбина. Коначно, за моделирање ресурса ветра на датој локацији за коју се лопатица ветротурбине оптимизује примењене су резултати статистичке обраде података.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати у току израде дисертације директно су применљиви у оквиру методологије пројектовања лопатица ветротурбина. Аеродинамичка оптерећења лопатице ветротурбине представљају полазну тачку и скуп улазних података за димензионисање конструкције ветротурбине, напонско – деформациону анализу и динамичку анализу те је примена остварених резултата који су представљени у дисертацији очигледна, при чему треба напоменути да је домен валидности постављеног модела документован и последица је поређења са доступним експерименталним резултатима који се могу наћи у литератури. Део резултата везан за тродимензионалну симулацију опструјавања ветротурбине може се применити у области анализе постављања ветротурбина у оквиру ветроелектране. Резултати оптимизације ветротурбина поред инкорпорирање у методологију пројектовања могу имати употребну вредност за студије изводљивости ветроелектрана.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације у потпуности овладао методологијом научно-истраживачког рада. Способан је за самостални научни рад што је показао реализацијом планираног истраживања од иницијалне идеје до завршетка докторске дисертације, као и објављивањем низа научно – стручних радова у часописима и учешћем на научно-стручним конференцијама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Имајући у виду да се докторска дисертација односи на технолошку област која се у свету у последњој деценији развија великом брзином, очекује се да ће предложена дисертација мотивисати даља истраживања у овој области и у нашој земљи. Остварени научни доприноси су релевантни за даља научна истраживања аеродинамике аеропрофила и ротора, прорачунске аеродинамике и оптимизације ветротурбина. Имплементирана методологија прорачуна аеродинамичких оптерећења лопатице ветротурбине може представљати део ширег прорачуна интеракције флуида и структуре лопатице.

Специфични остварени научни доприноси у оквиру докторске дисертације су:

- Формулисан је и софтверски имплементиран модел за прорачун аеродинамичких оптерећења ветротурбине који је уз примењене емпиријске корекције могуће

користити за режиме нормалног опструјавања ротора као и режиме при скретању ротора са задовољавајућом тачношћу у поређењу са експерименталним резултатима.

- Након детаљног разматрања могућности примене савремених турбулентних модела за симулацију нестишљивог вискозног струјања око аеропрофила при Рејнолдсовом броју у интервалу између $3 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^6$ извршена је модификација $\gamma - \text{Re}_\theta$ турбулентног модела којом се постиже боље подударање резултата са експериментално одређеним карактеристикама аеропрофила за нападне углове веће од 4° .
- Реализовани су тродимензионални прорачуни струјања око ротора моделирањем утицаја лопатица додавањем изворних чланова у једначине промене количине кретања којима је струјање описано. Модел за прорачун изворних чланова заснива се на примени теорије елемента лопатице и корекција за коначан број лопатица и тродимензионалне ефекте струјања који за последицу имају измењене аеродинамичке карактеристике елемената лопатице.
- Формиран је оквир за извођење аеродинамичке оптимизације аеропрофила ројем честица. Примењена је савремена метода параметризације аеропрофила и избором ограничења и других параметара везаних за алгоритам оптимизације значајно је смањен домен који се при оптимизацији разматра. Тиме је избегнута појава превеликог броја неприхватљивих решења у току процеса оптимизације. Применом потенцијалног струјања са интегралним моделом за моделирање струјања у граничном слоју за одређивање карактеристика аеропрофила време потребно за реализацију значајно је редуковано у односу на сложеније моделе струјања који су коришћени за коначну верификацију резултата.
- Систематизоване су савремене методе прорачуна аеродинамичких оптерећења ветротурбина.
- Систематизована су доступна и објављена истраживања енергетског потенцијала ветра на територији Србије и према њима извршена аеродинамичка оптимизација мегаватне ветротурбине и ветротурбине снаге 10 kW коришћењем претходно поменутог инжењерског модела за прорачун оптерећења ротора и генетског алгоритма.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне литературе, сагледавања стања научних истраживања из области докторске дисертације и постављених циљева истраживања може се констатовати да су израдом докторске дисертације остварени резултати високог квалитета. Представљена је модуларна методологија одређивања аеродинамичких оптерећења и оптимизације лопатице ветротурбине, те се свака од фаза – модула може одвојено посматрати са постигнутим значајним резултатима. Извршена је валидација свих постигнутих резултата кроз поређење са доступним експерименталним резултатима. Веома значајно за даљи научни рад било би извођење сопствених експеримената коришћењем савремених експерименталних техника бар што се тиче струјања око аеропрофила како би се извршила непосредна валидација нумеричког модела. Коначно, поменути модели и методологија су у оквиру дисертације употребљени за практичну примену кроз оптимизацију две ветротурбине за специфични ресурс ветра на локацијама у Србији.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос је верификован следећим публикацијама које су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације:

Радови објављени у научним часописима:

Категорија M21

- [1] **Komarov D**, Stupar S, Simonović A, Stanojević M. *Prospects of wind energy sector development in Serbia with relevant regulatory framework overview*. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2012) vol. 16, pp.2618-2630
doi:10.1016/j.rser.2012.01.067 ISSN: 1364-0312, (IF 2011: 6.018)
- [2] Mulugeta B, Simonovic A, **Komarov D**, Stupar S. *Wind energy resource development in Ethiopia as an alternative energy future beyond the dominant hydropower*. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2013) vol. 23, pp. 2618-2630
doi: 10.1016/j.rser.2013.02.047, ISSN: 1364-0312, (IF 2012: 5.627)

Категорија M23

- [3] Stupar S, Isakovic J, **Komarov D**, Simonovic A, Damljjanovic D. *Computational and Experimental Investigation Into Subsonic Flow Around a Finned Ogive Cylinder*, TRANSACTIONS OF FAMENA, (2012), vol. 36 no. 4, pp. 97-110, ISSN: 1333-1124, (IF 2012: 0.232)
- [4] Svorcan J, Stupar S, **Komarov D**, Peković O, Kostić I. *Aerodynamic design and analysis of a small-scale vertical axis wind turbine*. Journal of Mechanical Science and Technology vol. 27 no 8. doi:10.1007/s12206-011-0913-y, рад прихваћен за објављивање (IF 2012: 0.616)

Категорија M24

- [1] Mulugeta B, Simonović A, **Komarov D**, Stupar S. *Numerical and Analytical Investigation of Vertical Axis Wind Turbine*. FME Transactions Vol. 41 No. 1 2013., ISSN 1451-2092, pp. 49-58

Категорија M51

- [2] **Комаров Д**, Ступар С, Симоновић А, Петровић Н, Сворцан Ј. Нумеричка симулација струјања унутар кореног дела индустријског димњака са више димоводних канала. Енергија бр. 1-2, година XIV, pp. 128-132 (ISSN: 0354-8651)

Саопштења са међународног скупа, штампани у целини (M33):

- [1] Stupar S, Isakovic J, **Komarov D**, Damljjanovic D, Simonovic A. *Computational And Experimental Determination Of Subsonic Pressure Distribution For Missile Calibration*

Model. Proceedings of 5th International Scientific Conference OTEH 2012, Belgrade 2012, pp. 61 – 66 (ISBN: 978-86-81123-58-4)

- [2] **Komarov D**, Svorcan J, Stupar S, Simonovic A, Stanojevic M. *Computational Study Of Flow Around Low-Reynolds Airfoils*. Proceedings of 5th International Scientific Conference OTEH 2012, Belgrade 2012, pp. 55 – 60 (ISBN: 978-86-81123-58-4)
- [3] **Komarov D**, Svorcan J, Stupar S, Simonovic A, Isakovic J. *RANS Analysis of the transitional flow around airfoils at low Reynolds number*. 48th International Symposium of Applied Aerodynamics, 3AF, Saint-Louis, France, 2013
- [4] Stupar S, Isakovic J, Svorcan J, Damljanovic D, **Komarov D**. *Experiment and Computation of Subsonic and Supersonic Flow around Missile Calibration Model*. 48th International Symposium of Applied Aerodynamics, 3AF, Saint-Louis, France, 2013
- [5] **Komarov D**, Svorcan J, Stupar S, Simonovic A, Baltic M. *Numerical Investigation of S809 Airfoil Aerodynamic Characteristics*. Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vrnjačka Banja, Serbia, 2013, pp. 249-250 (ISBN: 978-86-909973-5-0)
- [6] Svorcan J, Stupar S, Simonović A, **Komarov D**, Trivković S. *Assessment Of Aircraft Wing Frequency Characteristics*. 29th DANUBIA-ADRIA Symposium on Advances in Experimental Mechanics. Serbian Society of Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade 2012, pp.190-193 (ISBN 978-86-7083-762-1)

Саопштења са скупова националног значаја, штампана у целини (M63):

- [1] Сворцан Ј, Ступар С, **Комаров Д**, Зорић Н. *Аутоматизација процеса моделирања лопатица ветротурбине у програмском пакету CATIA*. 38. Јупитер конференција, 25. CAD/CAM симпозијум. Машински факултет Универзитета у Београду. Београд, 2012, pp. 2.50-2.55. (ISBN 978-86-7083-757-7)
- [2] **Комаров Д**, Ступар С, Симоновић А, Станојевић М. *Параметризација елемената лопатице ветротурбине применом CST методе*. 38. Јупитер конференција, 25. CAD/CAM симпозијум. Машински факултет Универзитета у Београду. Београд, 2012, pp. 2.56-2.60 (ISBN 978-86-7083-757-7)

Техничка решења

Категорија M81

- [1] Ступар С, Симоновић А, Драговић В, **Комаров Д**. *Композитна лопатица трокраког ротора ветротурбине снаге 10kW регулисане сломом узгона*. Машински факултет Универзитета у Београду, 2012.
- [2] Ступар С, Симоновић А, Драговић В, **Комаров Д**. *Композитна лопатица за ветротурбине снаге 10kW регулисане променом корака ротора*. Машински факултет Универзитета у Београду, 2012.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом **„Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“** кандидата мр Драгана Комарова, дипл. инж. маш. Комисија констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду.

Докторска дисертација представља савремен и оригиналан приступ моделирању аеродинамичких оптерећења и оптимизацији лопатица ветротурбина, те се на основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији може констатовати да је кандидат мр Драган Комаров, дипл. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предметом и постављеним циљевима истраживања.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату мр Драгану Комарову, дипл. маш. инж, одобри одбрану докторске дисертације под називом **„Аеродинамичка оптерећења и оптимизација ветротурбине за специфичне ресурсе ветра на локацијама у Србији“** када се за то стекну законски услови, пред комисијом у истом саставу.

Београд, 04. 07. 2013. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Слободан Ступар, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Александар Симоновић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Слободан Гвозденовић,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1291/5
Датум: 11.07.2013. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању и члана 12.2 Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 11.07.2013. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео мр ДРАГАН КОМАРОВ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „**АЕРОДИНАМИЧКА ОПТЕРЕЋЕЊА И ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНЕ ЗА СПЕЦИФИЧНЕ РЕСУРСЕ ВЕТРА НА ЛОКАЦИЈАМА У СРБИЈИ**“

II Универзитет је дана 02.07.2012. године, својим актом број 06-19484/33-12 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

- [1] **Komarov D**, Stupar S, Simonović A, Stanojević M. *Prospects of wind energy sector development in Serbia with relevant regulatory framework overview*. Renewable and Sustainable Energy Reviews (2012) vol. 16, pp.2618-2630
doi:10.1016/j.rser.2012.01.067 ISSN: 1364-0312, (IF 2011: 6.018)
- [2] Stupar S, Isakovic J, **Komarov D**, Simonovic A, Damljanovic D. *Computational and Experimental Investigation Into Subsonic Flow Around a Finned Ogive Cylinder*, TRANSACTIONS OF FAMENA, (2012), vol. 36 no. 4, pp. 97-110, ISSN: 1333-1124, (IF 2012: 0.232)

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за ваздухопловство и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић