

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)

701/4
(Број захтева)
23.08.2010. године
(Датум)

ЗАХТЕВ

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:

ДАЛИБОРА (ЗЛАТИБОР) СТЕВИЋА
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ДАЛИБОР (ЗЛАТИБОР) СТЕВИЋ**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ПРИЛОГ КОМПАРАТИВНОЈ ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ И ГЕОМЕТРИЈСКОЈ ОПТИМИЗАЦИЈИ РЕКУПЕРАТИВНИХ РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ

Универзитет је дана 16.05.2008. год. својим актом под бр. 612-28/80/08 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ПРИЛОГ КОМПАРАТИВНОЈ ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ И ГЕОМЕТРИЈСКОЈ ОПТИМИЗАЦИЈИ РЕКУПЕРАТИВНИХ РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ДАЛИБОРА (ЗЛАТИБОР) СТЕВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 06.02.2010. године, одлуком факултета под бр. 701/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Драгутин Дебељковић</u>	редовни професор	Аутоматско управљање	Машински факултет Београд
2. <u>Др Владимир Стевановић</u>	редовни професор	Термоенергетика	Машински факултет Београд
3. <u>др Томислав Шекара</u>	Доцент	Аутоматско управљање	ЕТФ Београд
4. <u>Др Милорад Бојић</u>	Редовни професор	Термотехника	Машински факултет Крагујевац
5. <u>Др Михаило Лазаревић</u>	Редовни професор	Механика	Машински факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 08.07.2010. 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: 701/4
Датум:
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Драгутин Дебељковић, проф.др Владимир Стевановић, доц.др Томислав Шекара, ЕТФ Београд, проф.др Милорад Бојић, МФ Крагујевац и проф.др Михаило Лазаревић, о оцени докторске дисертације „Прилог компаративној динамичкој анализи и геометријској оптимизацији рекуперативних размењивача топлоте“ докторанта мр Далибора Стевића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 08.07.2010. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ПРИЛОГ КОМПАРАТИВНОЈ ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ И ГЕОМЕТРИЈСКОЈ ОПТИМИЗАЦИЈИ РЕКУПЕРАТИВНИХ РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ“** докторанта **мр ДАЛИБОРА СТЕВИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације пошто се докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану ставља на увид јавности у трајању од 30 дана и уколико не буде примедби на докторску дисертацију и извештај Комисије за оцену и одбрану, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

**MAŠINSKI FAKULTET
UNIVERZITET U BEOGRADU**

**NASTAVNO NAUČNOM VEĆU
MAŠINSKOG FAKULTETA**

GOSPODINU DEKANU
Dr Miloradu Milovančeviću, profesoru

Odlukom Nastavno naučnog veća Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 701 / 2 od 06.02.2010. god. imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije, pod nazivom:

**Prilog komparativnoj dinamičkoj analizi i geometrijskoj optimizaciji
rekuperativnih razmenjivača toplote**

kandidata Mr **Dalibora Stevića**, dipl. inž. maš., o kojoj podnosimo sledeći:

I Z V E Š T A J

Doktorska disertacija pod naslovom: **Prilog komparativnoj dinamičkoj analizi i geometrijskoj optimizaciji rekuperativnih razmenjivača toplote** koju je podneo Mr **Dalibor Stević**, dipl. inž. maš., urađena je na 210 strana teksta, sadrži 67 slika, 4 tabele i 282 citata referentne literature.

Kandidat Mr **Dalibor Stević**, dipl. inž. maš., je svojim dopisom br. 289/1 od 10.03.2008. god. podneo prijavu teme doktorske disertacije Naučno-nastavnom veću Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Na osnovu obaveštenja, saopštenog na sednici Nastavno naučnog veća Mašinskog fakulteta održanoj 13.03.2008. god. i sednice Katedre za automatsko upravljanje održane 18.03.2008. god. godine, Komisija za ocenu ispunjenosti uslova kandidata i naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije, formirane na sednici Katedre za automatsko upravljanje, održanoj 18.03.2008.god., podela je podnela je pozitivan Izveštaj o prijavi doktorske disertacije Mr **Dalibor Stević**, dipl. inž. maš, zaveden u arhivi Mašinskog fakulteta u Beogradu pod red. br. 289/2 od 19.03.2008.god.

Naučno-nastavno veće Mašinskog fakulteta u Beogradu, na svojoj sednici održanoj 27.03.2008.god., donelo je Odluku o prihvatanju predloga o ispunjenosti uslova i naučnoj zasnovanosti predmetne doktorske disertacije pod red. br. 289/3 od 27.03.2008.god. kandidata Mr **Dalibor Stević**, dipl. inž. maš i istu uputila Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na saglasnost.

Na osnovu pozitivnog mišljenja Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, održanog 16.05.2008.god. Odlukom br. 722/1 od 19.06.2008.god. Dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu data je saglasnost i odobrenje da kandidat Mr **Dalibor Stević**, dipl. inž. maš., može da radi na navedenoj temi doktorske disertacije.

Na osnovu izveštaja Dr Dragutina Lj. Debeljkovića, profesora, mentora predmetne doktorske disertacije, da je doktorant Mr **Dalibor Stević**, dipl. inž. maš., završio svoju doktorsku disertaciju i predloga Katedre za automatsko upravljanje, održanoj 30.03.2010.god., odluka br.701/1 od 30.04.2010.god. Nastavno-naučno veće Mašinskog fakulteta u Beogradu je na svojoj sednici održanoj 06.05.2010. god. donelo odluku, br. 701/2 od 06.05.2010. god. o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije pod naslovom: **Prilog komparativnoj dinamičkoj analizi i geometrijskoj optimizaciji rekuperativnih razmenjivača toplote**

Sadržina i predmet doktorske disertacije odnosi se, na danas, veoma aktuelnu problematiku izučavanja dinamičkog ponašanja rekuperativnih razmenjivača toplote, kao tipičnih predstavnika procesa sa raspodeljenim parametrima, sa stanovišta potreba automatskog upravljanja.

Mimo toga značajan prostor posvećen je i konkretnom razmatranju koncepata upravljivosti, robusnosti i geometrijske optimizacije u primeni na ovu klasu razmenjivača toplote a sve sa ciljem da se prvo prouči, a zatim izvrši odgovarajuća sinteza upravljanja koja će za krajnji cilj imati ispunjenje složenih i često oprečnih zahteva u pogledu njihovog dinamičkog ponašanja na konačnom vremenskom intervalu njihovog rada.

I BIOGRAFSKI PODACI O KANDIDATU

Kandidat **Mr Dalibor Stević, dipl. inž. maš.**, rođen je 18.07.1976. u Velikom Gradištu.

Osnovnu završio je u Braničevu a gimnaziju u Velikom Gradištu 1995. god.

Diplomirao je na Mašinskom fakultetu u Beogradu 2003. god., odbranivši svoj **diplomski rad** pod nazivom: « *Dinamika mehaničkih sistema sa čistim vremenskim kašnjenjem* », kod mentora Dr D.Lj. Debeljkovića, prof.

Magistarsku tezu pod nazivom: »*Metode podešavanja polova posebnih klasa sistema automatskog upravljanja*«, odbranio je na usmerenju za *Automatsko upravljanje* Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu a kod mentora Dr Dragutina Lj. Debeljkovića, prof., početkom 2008.god.

Po završetku studija zaposlio se u Kompaniji « Fabrika ulja Dunavka « Veliko Gradište, kao inženjer održavanja (2004 - 2005).

U periodu 2004 – 2005 radi kao asistent na Višoj tehničkoj školi u Požarevcu, a od 2007. god. stalno je zaposlen, ponovo u Kompaniji « Fabrika ulja Dunavka « Veliko Gradište, a na istim poslovima.

Tečno govori engleski a služi se francuskim i ruskim jezikom.

Vojni rok je odslužio 2003 – 2004. godine.

II SPISAK OBJAVLJENIH NAUČNIH I STRUČNIH RADOVA KANDIDATA

Stevic, D., «Mathematical Modelling of the Recuperative Heat Exchangers-Comparative Analysis and Geometric Optimization», IJISS (Canada) No.4., Vol. VI, 2010 tpp. 437 – 450.

M₄₂ = 2

Stevic, D., «Matematičko modeliranje rekuperativnih razmenjivača toplote: Fizička diskretizacija i geomet. optimizacija », **Tehnika**, Vol LXV, No.4,2010, pp. 19 – 59 **M₅₂ = 1,5**

Stevic, D., « Comparative Analysis of Different Methods in Mathematical Modeling of the Recuperative Heat Exchangers », Scientific Technical Review, Vol. LX, No3-4, (dve pozitivne recenzije, prihvaćeno [za štampu](#)).

M₅₂ = 1,5

Stević, D., «Matematičko modeliranje rekuperativnih razmenjivača toplote: Fizička diskretizacija i geometrijska optimizacija », **DIT** (Serbia), No.18, 2010, pp. 57 – 63. $M_{52} = 1,5$

Debeljković, D. Lj., **D. Stević**, G. V. Simeunović, “ Geometric Optimization of Cross-Flow Heat Exchangers based on Dynamic Controllability: Part I – Theoretical consideration”, PROCESING 2009, Belgrade, (Serbia), June 10 – 12, (2009), CD – Rom. $M_{63} = 0,5$

Stević, D., D. Lj. Debeljković, G. V. Simeunović, “ Geometric Optimization of Cross-Flow Heat Exchangers based on Dynamic Controllability” Part II – New approach and illustration of simulation results ”, PROCESING 2009, Belgrade, June 10 – 12, (2009), CD – Rom $M_{63} = 0,5$

III TEHNIČKI OPIS DOKTORSKE DISERTACIJE

Kandidat je svoju doktorsku disertaciju prezentovao kroz sledeći usvojeni fundamentalni koncept izlaganja:

Klasa razmatranih razmenjivača toplote

Koncepti i metodološki pristup u analizi razmatranih razmenjivača toplote

Hronološki pregled do sada objavljenih rezultata na polju izučavanja dinamičkog ponašanja rekuperativnih razmenjivača toplote, sa posebnim osvrtom napitanja njihove upravljivosti, robusnosti i pogodnosti za geometrijsku optimizaciju.

Uz detaljan pregled i opis doprinosa drugih autora po mnogim pitanjima od značaja za dinamičko ponašanje rekuperativnih razmenjivača toplote, kandidat posebno razvrstava moguće prilaze i daje zapažene kritičke osvrte.

Svoja dalja izlaganja, kandidat, temelji na fundamentalnim pitanjima savremene dinamike razmenjivača toplote oličene u sledećim problemima: Opšta pitanja, klasifikacija i značaj rekuperativnih razmenjivača toplote, teorijske osnove upravljivosti, osmotrivosti i robusnosti.

Dalje naglašava da pitanja kao što su: matematičko modeliranje rekuperativnih razmenjivača toplote različitim prilazima, simulacija i verifikacija dobijenih rezultata, koncept geometrijske optimizacije objekata i procesa i projektovanje sistema sa tih pozicija, predstavljau svakako aktuelne zadatke na kojima treba permanentno raditi, što jasno afirmiše postavljene zadatke u predmetnoj disertaciji.

U tom smislu, kada su u pitanju krucijelni zadaci ove doktorske disertacije, kandidat prvo posvećuje pažnju klasama razmatranih objekata i procesa i potrebama za spoznajom njihovih kako statičkih tako i dinamičkih karakteristika.

Prvo se konstatuje da je predmet naučne rasprave u predloženoj doktorskoj disertaciji posebna klasa razmenjivača toplote poznata u literaturi pod nazivom rekuperativni razmenjivači toplote. U tom smislu kandidat se opredelio za dva takva tipična predstavnika od kojih jedan predstavlja dobro poznati primer *razmenjivača tipa cev u cev* a drugi *razmenjivač toplote sa unakrsnim strujanjem radnih fluida* koji se uobičajeno susreće kod kotlovskih postrojenja i u drugim granama procesene

Imajući u vidu da analiza i projektovanje savremenih sistema automatskog upravljanja, na današnjem stepenu razvoja nauke i tehnike, kao i neophodnost ispunjavanja veoma strogih zahteva koji se nameću kvalitetu njihovog dinamičkog ponašanja, traže poznavanje njihovih dovoljno tačnih, u inžinjsko-tehničkom smislu, *matematičkih modela*.

Za njihovo formiranje od fundamentalnog je značaja je suštinsko poznavanje procesa koji se modelira, precizno definisanje “*kontrolne granice*”, potpuno razgraničenje pitanja primarnih i sekundarnih uticaja, kao i korektno ispisivanje odgovarajućih bilansnih jednačina za neuravnotežena stanja procesa. Preostali deo posla oko svođenja matematičkog modela na svoj konačan oblik, obično predstavlja rutinski zadatak.

Ako se pretpostavi da matematički modeli dovoljno tačno opisuju fizičke sisteme i da daju njihov verodostojan opis, onda oni sadrže sve informacije o osobinama tih sistema i u toj formi pružaju mogućnost da se primenom odgovarajućih metoda i postupaka, kroz *analizu i sintezu*, utvrde njihove objektivne osobine ili projektuju nove upravljačke celine shodno postavljenim zahtevima ili usvojenim [kriterijumima](#).

Prema tome, a imajući u vidu prethodno rečeno, kandidat konstatuje da će veliki deo izlaganja biti posvećen problematici matematičkog modeliranja posebnih klase objekata i procesa automatskog upravljanja, danas veoma rasprostranjenih i zastupljenih posebno u energetici a i šire u svim granama industrije, kao i njihovoj dinamičkoj analizi i sintezi sa, danas, aktuelnim konceptima zastupljenim u teoriji i praksi savremene teorije i prakse upravljanja sistemima.

Mimo toga kandidat ukazuje i na neophodnost kvalitetne numeričke i računarske simulacije izvedenih matematičkih modela, kao i kritički osvrt na njihovu upotrebnu vrednost i verodostojnost, shodno poznatim eksperimentalnim rezultatima koji u punoj meri bacaju dovoljno svetla na dinamičko ponašanje *ovih objekata i procesa u uslovima njihovog normalnog funkcionisanja*.

Pokazaće se, kasnije, da će se ključni doprinosi iznedriti i u domenu analitičkog rešavanja dobijenih matematičkih modela, što predstavlja posebnu vrednost ovog rada jer se dobija rešenje, za razliku od numeričkih prilaza, u zatvorenom obliku što je posebno značajno sa stanovišta savremene teorije sistema i upravljanja.

Tu se još diskutuje o postojećem raspoloživom matematičkom aparatu, neophodnom da se kroz odgovarajuće metode i postupke sintetiše upravljanje koje će obezbediti njihovo kvalitetno dinamičko ponašanje sa stanovišta, danas, aktuelnih koncepta upravljivosti, robusnosti i geometrijske optimalnosti.

I to sve primenjeno na procesa sa raspodeljenim parametrima.

U matematičkom smislu, ova klasa sistema opisana je parcijalnim, linearnim ili nelinearnim, diferencijalnim jednačinama, kad kad i sa pomerenim argumentom, što uslovljava čitav niz dodatnih poteškoća pri njihovom rešavanju.

S druge strane, u prvom slučaju, kao sistemi beskonačne dimenzije, njihovo proučavanje u kompleksnom domenu uslovljeno je suočavanjem sa transcendentnim prenosnim funkcijama, što u izvesnim slučajevima zahteva radikalnu preformulaciju postojećih kriterijuma i metoda razvijenih za obične linearne procese (sisteme), a ponekada i formiranje sasvim novih prilaza i postupaka za razrešavanje postavljenih zadataka kako klasične, tako i moderne teorije automatskog upravljanja.

Sve ovo, u velikoj meri, opravdava postavljene zadatke i probleme koje valja rešavati i rešiti u predmetnoj disertaciji.

Svoju ideju vodilju, oličenu kroz pomenute prilaze proučavanju ove klase razmenjivača toplote, kandidat je realizovao kroz originalno i skladno oblikovan koncept disertacije, koji se uslovno može iskazati na sledeći način:

GLAVA I	Opšti deo – Uvodna razmatranja
GLAVA II	Pregled postignutih rezultata na polju matematičkog modeliranja i dinamičkog ponašanja savremenih rekuperativnih razmenjivača toplote
GLAVA III	Teorijske osnove koncepta upravljivosti i osmotrivosti
GLAVA IV	Teorijske osnove koncepta robusnosti
GLAVA V	Matematički modeli rekuperativnih razmenjivača toplote: analitička i numerička rešenja, simulacija, verifikacija i komparativna analiza.
GLAVA VI	Projektovanje i sinteza dinamičkog ponašanja savremenih rekuperativnih razmenjivača toplote sa pozicija geometrijske optimizacije.
GLAVA VII	Zaključci, rekapitulacija osnovnih rezultata i pravci budućih istraživanja
GLAVA IX	Dodaci

LITERATURA

IV STRUKTURA I SADRŽAJ DOKTORSKE DISERTACIJE

Sadržaj doktorske disertacije se može podeliti na nekoliko celina, koje praktično odgovaraju tematski oformljenim glavama.

Ovako idejno sročeni koncepti doktorske disertacije, skladno je realizovan i pretočen kroz niz posebnih celina, o kojima se može reći sledeće.

U prvom, radnom delu disertacije, kandidat daje kratku rekapitulaciju savremenih rešenja osnovnih tipova razmenjivača toplote sa posebnim osvrtom na rekuperativne razmenjivače toplote, njihove moguće klasifikacije, podele i specifičnosti. U tom smislu prati se njihov dugogodišnji razvoj kako sa konstruktivne tačke gledišta tako i sa stanovišta njihove efikasnosti i potreba za njihovim kvalitetnim upravljanjem. Ukazuje se na svu njihovu složenost u strujno-termičkom smislu a posebno na njihovu složenost kada su izražene potrebe za njihovim modeliranjem, kada treba na osnovu odgovarajućih bilansnih jednačina postavljenih za neuravnotežena stanja procesa, izvesti modele koji verodostojno opisuju njihova ponašanja u stacionarnim a i u nestacionarnim (prelaznim) radnim režimima. Imajući u vidu da je reč o relativno sporim procesima, veliki značaj imaju stacionarni profili, posebno temperaturski i brzinski imajući u vidu bitno izraženu jednu gabaritnu dimenziju.

Koncept upravljivosti dobro je poznat još od 60-tih godina prošlog veka.

Sa stanovišta rada objekata i procesa a posebno za potrebe njihovog implementiranja u realne sisteme upravljanja sa povratnom spregom, od fundamentalnog je značaja mogućnost da se u konačnom vremenu jednog stanja procesa prevede u neko drugo i to sa ograničenom količinom energije saopštene odgovarajućoj upravljačkoj jedinici (izvršnom organu). Drugim rečima upravljački organi tako treba da budu projektovani da mogu, nakon dejstva poremećaja iz skupa dozvoljenih poremećaja, da u realnom smislu kompenzuju takva dejstva. Isto to važi i u uslovima ishitrenih zahteva u pogledu promene referentnog signala. Zbog same činjenice da je ovde reč o raspodeljenim procesima, što u kontekstu ovih redova znači, da u jedno te istom trenutku unutar razmenjivača toplote postoji beskonačno mnogo stanja, od posebne je važnosti upravljivost izlaznih veličina kao mogućih veličina stanja procesa.

Sa svim ovim pitanjima kandidat se susreće u trećem delu svoga rada izlažući osnove ovog značajnog koncepta i fundirajući teren i neophodne rezultate za potrebe daljih istraživanja i primena u završnom delu svoga rada, gde će isti zajedno sa konceptima robusnosti i geometrijske optimizacije činiti osnovne premise u sintezi upravljanja na osnovu poboljšanih dinamičko konstruktivnih performansi procesa.

Jedan kraći deo izlaganja, u tom delu rada, posvećen je konceptu osmotrivosti objekata i procesa sa raspodeljenim parametrima, kao dualnom konceptu, konceptu upravljivosti.

Kvantitativne mere robusnosti stabilnosti sistema, u prisustvu strukturnih i nestrukturnih perturbacija, kao i mere za njihovo poboljšanje predmet su interesovanja kandidata u četvrtom delu disertacije.

U tom smislu kandidat podseća da ovaj koncept ima veliki značaj u savremenom upravljanju realnim postrojenjima a da uzroci netačnosti matematičkih modela, što se kasnije održava na loše performanse sistema u celini mogu da potiču od: nedovoljno poznavanje svih procesa koji se odvijaju u sistemu, nemogućnost tačnog matematičkog opisa, linearizacije nelinearnosti i aproksimacija nestacionarnosti, nemogućnost tačnog određivanja pojedinih parametara u procesu, uprošćavanju procesa da bi se dobili sistemi nižih redova, promene dinamike sistema usled uticaja okoline, tolerancija u proizvodnji pojedinih elemenata, zamora i starenja materijala, grešaka u kalibraciji instrumenata, itd.

Osnovni zahtev svakom praktično primenljivom sistemu automatskog upravljanja je robusnost njegove stabilnosti, tj. sposobnost da je očuva čak i u prisustvu raznih perturbacija.

Jake strukturne perturbacije uključuju nepoznate parametre u poznatu strukturu modela i najčešće su posledica korišćenja linearizovanih modela u okolini različitih radnih tačaka. Zato se one u literaturi prosto nazivaju strukturnim [perturbacijama](#).

Slabe strukturne perturbacije su one za koje je poznat samo intenzitet ili norma, a ne i njihovo strukturno raspoređivanje u modelu sistema. Njihovo dejstvo u sebi uglavnom podrazumeva nepoznatu ili svesno zanemarenu dinamiku sistema u oblasti visokih frekvencija.

Njihov alternativni naziv u literaturi je nestrukturne perturbacije.

Ove dve vrste perturbacija su samo granični slučajevi, između kojih leži prostor potencijalnih načina njihovog predstavljanja.

Ispitivanje robusnosti stabilnosti sistema ima za cilj da utvrdi kvantitativne mere perturbacija u okviru kojih sistem zadržava osobinu stabilnosti ili neku drugu.

Ovaj problem je veoma složen za sve klase razmenjivača toplote sa raspodeljenim parametrima.

U petom delu rada iznose se i generišu osnovni doprinosi ove disertacije.

Naime, na osnovu realno usvojenih i kritički osvetljenih pretpostavki, kandidat izvodi matematičke modele za dva konkretno usvojena rekuperativna razmenjivača toplote, što je u prvom slučaju oličeno u jednom razmenjivaču tipa ce u cev a u drugom jednim rekuperativnim razmenjivačem toplote sa unakrsnim strujanjem radnih medijuma.

Poštujući osnovni cilj svoje disertacije a to je potreba za komparativnom dinamičkom analizom, kandidat za prvi objekat koristi nekoliko principijeno različitih, mogućih prilaza u matematičkom modeliranju ove klase razmenjivača toplote.

To se, u prvom redu, odnosi na *klasičan pristup* postavljanja odgovarajućih bilansnih jednačina, za nestacionarne radne režime, određujući pri tome modele koji će kasnije pružiti sve informacije o nestacionarnim (dinamičkim) i stacionarnim (statičkim) performansama ovde razmatranog procesa. Konačni model u ovakvom prilazu rezultira u sistem, prvo nelinearnih a zatim linearizovanih parcijalnih diferencijalnih jednačina sa odgovarajućim početnim i graničnim uslovima. Na osnovu poznatih podataka o geometrijskim i radnim karakteristikama ovog razmenjivača toplote izvodi se matematički model u konkretnim numeričkim vrednostima podean kako za analitički tako i numerički, dalji, tretman.

U drugom prilazu, polazeći od *postupka fizičke diskretizacije* procesa, kandidat, prevazilazi problem nehomogenosti temperaturskog i brzinskog polja unutar razmenjivača toplote, formirajući matematički model procesa u vidu složenog sistema običnih diferencijalnih jednačina poprilično visokog reda, veoma pogodnog za dalji numerički tretman. Snažan pečat prilaza, u ovom načinu modeliranja, iskazuje se kroz veoma specifične strukture matrica procesa koje znatno pogoduju tretmanu tih matričnih jednačina na cifarskim računarima sa elegantno pretočenim graničnim uslovima u samo početne, ali i tranzitivne o čemu se mora voditi računa u svakom trenutku integracije. Mimo toga fenomenologija procesa, oličena prvenstveno u procesu transporta fluida sa pratećim fenomenima, elegantno se reperkutuje na fizionomiju modela gde se lako uočava da je dinamika reprezentativne (k)- te ćelije uslovljena ponašanjem prehodne ($k-1$) ćelije.

I konačno u trećem prilazu, dosta neuobičajenom i retkom, nestacionarni proces u dugačkom razmenjivaču toplote se modelira samo algebarskim jednačinama., što u prvi mah deluje začuđujuće. Postavljanje bilansnih jednačina na bazi “transportnog prilaza” počiva na ideji da se jednačina o konzervaciji (mase, energije i/ili impulsa) u vidu konačnih razlika postavlja za svaki element (ćeliju) diskretizovanog procesa, a za konačan vremenski interval Δt . Na taj način se osnovne diferencijalne bilansne jednačine preobraćaju u čisto algebarske¹ koje se tada, ukoliko je u pitanju sistem jednačina čiji red zavisi od broja usvojenih ćelija, lako numeričkim, iterativnim procedurama rešavaju.

Ponavljajući sve ove metodološki različite prilaze, kandidat u istoj glavi, obrađuje svoj drugi objekat upravljanja, rekuperativni razmenjivač toplote sa unakrsnim strujanjem **fluida**.

¹ Šta više diskretizacijom procesa eliminiše se upotreba parcijalnih diferencijalnih jednačina

U tom smislu, pokazuje se, da se mnogo toga u odnosu na prethodno pomenute prilaze, ovde mora modifikovati a posebno je bilo osetljivo pitanje definisanja odgovarajuće kontrolne granice, kako bi se meritorno odredila nadolazeća masa grejnog fluida, zbog kasnije potrebe za konkretizovanjem modela.

Posebno u prvom prilazu, kandidat je bio suočen sa potrebom uključivanja i dinamike cevnog zida koja igra važnu ulogu i prenosu toplote, što sa druge strane unosi znatna matematička usložnjavanja što se očituje u neklasičnoj parcijalnoj diferencijalnoj jednačini drugog reda koja opisuje sam proces. Postojanje i vremenske i prostorne akumulacije zahteva poseban i tretman ovako složenog procesa. Činjenice da unakrsno strujanje povlači i dvodimenzijски problem, bio on kuplovan ili ne, kandidat je učinio pokušaj da se sredstvima matematičke analize, teorije prenosa toplote i metoda analize dinamičkih sistema opišu i analizuju prelazne pojave u jednom specifičnom unakrsnom razmenjivaču toplote.

Polazeći od lokalnih reakcija, kojima se selektivno matematički opisuju prelazne pojave u okolini proizvoljne tačke dela razmenjivača, došlo se do jednačina toplotnog bilansa u prelaznom stanju čitavog sistema kao integralne celine.

Selektivni matematički opis omogućuje da se u svakom konkretnom slučaju uzmu u obzir sve bitne karakteristike razmenjivača i fluida, koji učestvuju u razmeni. To znači da se, koristeći selektivni matematički opis, može izvršiti analiza razmenjivača sa gledišta teorije automatskog upravljanja, a isto tako mogu se analizovati i određeni efekti, koji se postižu raznim konstruktivnim rešenjima.

Dinamička analiza razmenjivača, koja sledi iz ovog uopštenog selektivnog matematičkog opisa, pokazuje da se svi ovakvi razmenjivači toplote mogu smatrati kao sistemi drugog reda sa kašnjenjem, ukoliko se pode od pretpostavke da se promene temperature u grejnom fluidu prenose trenutno.

Ovaj problem je interesantan i sa gledišta matematike i njenih primena.

Naime, pri rešavanju ovog problema, došlo se na ideju da se predloži još jedan matematički postupak, koji se može primeniti pri teorijskom rešavanju dosta široke klase, čak i relativno složenih problema značajnih za tehničke i druge naučne oblasti.

Ideja tog postupka se sastoji u selektivnom matematičkom opisu stanja sistema i formiranju lokalnih relacija koje povezuju promenljive posmatranog sistema, a zatim određenim sprežanjem tih relacija se dobijaju jednačine, kojima se opisuju stanja određenih delova sistema ili čak čitavog sistema kao integralne celine.

Ovaj postupak se bitno razlikuje od postupka, koji se zasniva na formiranju jedinstvenog sistema diferencijalnih ili parcijalnih jednačina, koje opisuju stanje u proizvoljnoj tački sistema kao celine, a zatim na osnovu početnih i graničnih uslova, pronalaze rešenja za konkretne slučajeve.

Korišćeni postupak omogućuje da se izbegnu problemi koji nastaju pri uključivanju graničnih uslova u slučajevima kada treba naći rešenje problema u opštem obliku, koje dakle nije specifikovano određenom geometrijom ili nekim drugim ograničenjem.

Predloženi postupak selektivnog matematičkog opisa stanja u delovima sistema i sprežanja dobijenih relacija, naročito je pogodan u slučajevima kada treba teorijski sprovesti detaljnu matematičku analizu dinamičkih karakteristika sistema i na osnovu toga izvesti određene zaključke o ponašanju sistema u prelaznim stanjima, a pogotovo onda kada bi uključivanje graničnih uslova dovodilo do određenih problema.

Selektivni matematički opis stanja u raznim tačkama delova sistema, primenjen na ovaj unakrsni razmenjivač omogućuje da se sagleda efikasnost ovakvog postupka u relativno složenim slučajevima.

Ne manji problemi su se javili i kod implementacije koncepta fizičke diskretizacije procesa i transportnog prilaza, što po dostupnim saznanjima predstavlja prvi uspešan pokušaj da se ove metode modeliranja prošire na uslovni dvo-dimenzionalni proces.

Kao i u svim prethodnim slučajevima model u prostoru stanja okončava ove [napore](#).

Drugi značajni doprinos disertacije, takođe, se nalazi u ovoj glavi.

Naime, zbog potreba dinamičke analize razmatranih razmenjivača toplote sa stanovišta automatskog upravljanja kandidat prilazi rešavanju izvedenih matematičkih modela za neke realne uslove njihovog rada. U tom smislu sprovodi se simulacija dobijenih sistema diferencijalnih jednačina u tri slučaja i sistema algebarskih jednačina u jednom slučaju.

Ove procedure primenjuju se na obe klase rekuperativnih razmenjivača toplote.

U prvom slučaju, kada je reč o rekuperativnom razmenjivaču toplote sa unakrsnim strujanjem, analitičko rešenje se izvodi primenom Laplasove transformacije na polazni sistem linearnih diferencijalnih jednačina sa nultim početnim uslovima i poznatim graničnim uslovima. Ovaj analitički prilaz veoma je složen zbog potrebe primene Laplasove transformacije prvo po vremenskoj a potom po prostornoj koordinati što dovodi do veoma složenih funkcionalnih izraza koje kasnije treba podvrgnuti primeni inverzne Laplasove transformacije. Originalnim rešenjima i koristeći odgovarajuću programsku podršku prevazilazi se ovaj problem i kao njegovo konačno numeričko rešenje dobijaju se odgovarajući tranzijentni procesi. Ovde se valja potsetiti se da je reč o nehomogenoj parcijalnoj jednačini drugog reda, atipične forme.

Kada je reč o postupku matematičke diskretizacije, kandidat pažljivim odabirom koraka diskretizacije, koji bi trebalo da obezbedi konvergetnost i stabilnost algoritma, vrši uspešnu numeričku simulaciju oba modela i dobija tražena rešenja u vidu odskočnih promena izlazne temperature naspram usvojenih upravljačkih i poremećajnih veličina.

Cena fizičke diskretizacije procesa ogleda se u poprilično visokom redu sistema običnih diferencijalnih jednačina u kojima ulogu graničnih uslova preuzimaju prva i poslednja ćelija, vodeći računa da iste mogu promeniti svoja značenja zbog osobine tranzitivnosti ovog modela uslovljenog uvođenjem potponjih razlika za prostornu koordinatu. I ovde su, kao i u prethodnom slučaju, određeni odgovarajući odskočni odzivi za istovetne početne uslove i izabrane referentne veličine.

I konačno, metodom transportnog prilaza, određuje se nestacionarni temperaturski profil u svim ćelijama od interesa, posebno u poslednjoj a nakon isteka vremena Δt i tako redom dok se ne završi prelazni proces.

Imajući u vidu, da sem u analitičkom prilazu, preostala tri počivaju na diferencno diskretizovanim matematičkim modelima, savremene tehnika simulacije, omogućavaju predstavljanje dobijenih rešenja u 3D dijagramima, što je kandidat i uradio i u tom smislu, predstavio sva rešenja pojedinačnoa kasnije i kumulativno čime je otpočeo, praktično, komparativnu analizu dinamičkog ponašanja procesa na osnovu rezultata simulacije.

Lako se uočava dobro slaganje svih rezultata a merodavni zaključci o prednostima pojedinih rešenja kandidat će se izjasniti nešto kasnije poredeći sve ovde izvedene rezultate simulacija sa eksperimentalno prikupljenim rezultatima.

Imajući u vidu sličan kvalitativni pa čak i kvantitativni izgled svih rešenja simulacionim postupcima može se, sa velikom slobodom izbora, preuzeti bilo koje od njih i usporediti sa realnim ponašanjima razmatranog rekuperativnog razmenjivača tipa cev u cev.

Ti, eksperimentalni rezultati svojevremeno su snimljeni na jednom laboratorijskom modelu identičnog tipa i istovetnih geometrijskih i radnih karakteristika, pa u tom smislu može se reći da su dobijeni kvalitetni, verodostojni modeli visoke tačnosti.

Treći krucijelni doprinos disertacije nalazi se u poslednjoj glavi.

Naime, osnovano na dobro poznatoj geometrijskoj optimizaciji utemeljenoj na uslovnom indeksu upravljivosti otpočinje izbor optimalnih parametra oba razmenjivača toplote, gde se u slučaju razmenjivača toplote sa unakrsnim strujanjem za podešljive parametre biraju se unutrašnji prečnik, d_u , spoljašnji prečnik d_s i dužina razmenjivača, L a kod razmenjivača toplote tipa cev u cev biraju se unutrašnji prečnik cevi, d_{uc} , spoljašnji prečnik cevi, d_{sc} , unutrašnji prečnik plašta, d_{up} spoljašnji prečnik plašta, d_{sp} i dužina razmenjivača, L .

U tom smislu razmatra se jedna metoda u okviru koje se postupak optimizacije svodi na pronalažanje najboljih parametara za projektovanje koji bi obezbedili optimalnu geometriju razmenjivača toplote i time omogućili maksimalne performanse procesa.

Primena ove metode podrazumeva simulaciju rada određene konfiguracije i detaljno proučavanje uticaja geometrijskih karakteristika procesa kod razmenjivača toplote na njegove osobine da bi se odredila njegova optimalna geometrija.

Može se, dakle, reći da je u osnovi metode geometrijske optimizacije razmenjivača toplote postupak koji objedinjuje potrebe upravljivosti sa zahtevima geometrije sprovednog aparata, a sve u cilju što boljeg projektovanja karakteristika procesa.

Uslovni indeks upravljivosti $\varphi_U(A, B)$, odnosno $\varphi_U(A, B, C)$ kada je u pitanju upravljivost po *izlaznim veličinama*, definisan je kao količnik najveće i najmanje singularne vrednosti matrice upravljivosti U i kao takav se koristi kao indikator do kog je stepena moguće upravljati procesom primenom ograničenih vrednosti upravljačkih veličina. Ukoliko je matrica upravljivosti U singularna ili nije punog ranga tada je uslovni indeks upravljivosti beskonačan, na osnovu čega se može zaključiti da će proces pri najnižim vrednostima uslovnog indeksa upravljivosti biti najbolje upravljiv.

Iz teorije je, takođe, poznato da singularne vrednosti daju pojačanje (slabljenje) energije ulaznog signala u ortogonalnom koordinatnom sistemu, pa se u tom smislu *uslovni indeks upravljivosti* može tretirati kao mera zavisnosti promene energije ulaznog signala u zavisnosti od direkcije.

Određujući optimalne vrednosti izabranih parametara iz nekog prethodno određenog domena, lako se može konstatovati i robusnost upravljivosti razmatranog procesa, što u neku ruku ovde predstavlja i trivijalan problem.

Koristići jaku teorijsku osnovu, kandidat, za oba razmenjivača, postupkom geometrijske optimizacije osnovane na kriterijumu uslovnog indeksa upravljivosti, određuje optimalne vrednosti izabranih parametara koji sa sigurnošću garantuju najkvalitetniji rad razmatranih razmenjivača toplote i njihovu maksimalu efikasnost shodno usvojenom indeksu performanse.

U odnosu na postojeću literature, tretiraju se uslovi koje se odnose na izlaznu upravljivost što se u slučajevima diskretizovanih procesa, praktično odnosi na posednju celiju.

Dati sui odgovarajući odskočni odzivi ovako sintetizovanog objekta ali nisu poređeni sa prethodnim rezultatima iz razumljivih razloga.

U završnoj glavi posvećenoj kraćoj rekapitulaciji obrađenih tematskih celina i postignutih naučnih doprinosa, kandidat pravce daljih istraživanja vidi u intenzivnoj identifikaciji nedovoljno tačno određenih parametara procesa pa i stanja predlažući u tom smislu snažne metode kvazilinearizacije i invarijantnog uronjavanja imajući u vidu da se pogodnim transformacijama ovsde izvedenih modela problem njihovog rešavanja može, u neku ruku, poistovetiti sa problemom tvo-tačkastog graničnog problema.

U Dodacima su izneti neki teorijski rezultati koji nisu od primarnog značaja za izvođenja bazičnih rezultata, kao i izvesna rekapitulacija neophodnih znanja vezanih za koncepte upravljivosti, robusnosti i indeksa uslovne upravljivosti, kao i tabele sa geometrijskim i rtadnim karakteristikama ovde razmatranih razmenjivača toplote.

V KANDIDATOVE SPOSOBNOSTI ZA SAMOSTALNI NAUČNI RAD

Formiranje verodostojnih matematičkih modela i danas predstavlja značajan doprinos kako u fundamentalnoj oblasti gde pripada razmatrani objekat ili proces tako i za oblast automatskog upravljanja. Ovo drugo je posve sasvim jasno imajući u vidu da se danas dinamička analiza može sprovesti jedino ako se raspolaže takvim informacijama a još više i sinteza upravljačkih uređaja koja dolazi do punog izražaja u raznim klasama adaptivnih upravljanja savremenim postrojenjima i [procesima](#).

Zato je od velikog značaja bilo bavljenje kandidata ovom složenom problematikom.

Kandidat je pokazao veliku zrelost i umešnost u originalnom rešavanju formiranog matematičkog modela procesa u unakrsnom razmenjivaču toplote uzimajući u obzir i proces provođenja toplote kroz zid. Tom prilikom pokazalo se da je neophodno primeniti dva puta Laplasovu transformaciju, prvo po vremenskoj a kasnije po prostornoj koordinati a da bi se došlo do konačnog rešenja u kompleksnoj s ravni bilo je neophodno primeniti Hevisajdove teoreme razvoja za slučajeve koji se ne susreću u svakodnevnoj praksi. Oličeni karakterističnim jednačinama sa funkcionalnim (polinomijalnim) koeficijentima relativno visokog reda. Rešenja su, uz znatan napor i visoku studioznost pronađena numeričkim prilazom, što je omogućilo određivanje tranzijentnih karakteristika razmatranog rekuperativnog razmenjivača toplote sa unakrsnim strujanjem.

Nešto manje poteškoća i više rutinskog hoda bilo je prisutno u simulaciji modela određenih postupcima diskretizacije.

I konačno, kad su u pitanju modeli, valja istaći da je po prvi put problem uspešno rešen za ovde razmatranu klasu unakrsnih razmenjivača toplote gde je uslovno dvodimanziono ne kuplovano strujanje analizirano transportnim prilazom.

U domenu dinamičke analize i projektovanja upravljanja za razmatrane razmenjivače toplote, kandidat je pokazao visoku umešnost kada je u uslovima izraženih nehomogenih polja fizičkih veličina, odnosno u slučajevima procesa beskonačnih dimenzija trebalo implementirati koncepte upravljivosti i robusnosti uz sve još i sprovesti geometrijsku optimizaciju što je i evidentno rezultiralo u određivanju optimalnih vrednosti podešljivih geometrijskih parametara što garantuje minimalnu vrednost indeksa performanse a u praktičnom smislu i uštedu energije pri delovanju upravljačkih dejstava.

Objektivnom i kritičkom analizom sopstvenih kao i rezultata drugih autora kandidat je ukazao na sva ona mesta gde su dobijeni rezultati manje konzervativnosti a i na ona mesta gde su rezultati praktično bili u potpunosti originalni, barem u odnosu na klase razmatranih rekuperativnih razmenjivača toplote.

Svi ovi, novi, delom sopstveni rezultati na najbolji način ilustruju činjenicu da je kandidat Mr Dalibor Stević, dip. inž. maš., ovladao predmetnom materijom do te mere da je u potpunosti sposoban za samostalni naučni, naučno-israživački i kreativan rad.

VI NAUČNI DOPRINOS DOKTORSKE DISERTACIJE

Doktorska disertacija kandidata Mr Dalibor Stević, dip. inž. maš., predstavlja snažan i novi teorijski ali i praktično primenljiv rad u kome je pored originalnih priloga razvoju novih matematičkih modela posebnih klasa rekuperativnih razmenjivača toplote sa jednofaznim tokom i kroz niz simulacija i numeričkih ilustracija koji na najbolji mogući način prikazuju njihovu moguću implementaciju za potrebe savremenog upravljanja istim.

U tom smislu od posebnog je značaja činjenica da je rešen problem simultane akumulacije toplote unutar grejanog fluida i zida cevi rekuperativnog razmenjivača toplote sa unakrsnim strujanjem radnih fluida čime je upotpunjeno znanje o prelaznim procesima i same dinamike ovog značajnog razmenjivača toplote uvek prisutnog u savremenim kotlovskim postrojenjima. Komparativnom analizom pokazana je opravdanost i saglasnost izabranih metoda i postupaka za formiranje konačnih modela bilo u prostoru stanja bilo u vidu sistema diferencijalnih jednačina.

Spontano modeliranje dovelo je i do tako željenih formi koje su u potpunosti bile pogodne za neposrednu primenu u završnoj fazi dinamičke analize i sinteze upravljanja.

Optimizacijom geometrijskih karakteristika osnovanoj na tzv. *uslovnom indeksu upravljivosti* došlo se do značajnih otkrića kako i pod kojim uslovima dati prednost određenim geometrijskim karakteristikama pri neposrednoj konstrukciji samih razmenjivača toplote a kako bi se postigle eventualne uštede energije pri generisanju upravljačkih veličina a mimo toga i najveća efikasnost u upravljanju u smislu postizanja krjanjih zahtevanih efekata promene izlaznih veličina u što je moguće kraćem vremenu.

Uslovni indeks upravljivosti, može se lako povezati sa osobinama robusnosti ove klase razmenjivača toplote u smislu da se iz tih saznanja mogu odrediti granice tolerancije za određene geometrijske performanse razmenjivača ili neke njegove stacionarne vrednosti ulaznih promeljivih, što sve zajedno daje jedan solidan uvid u raspon pomenutih karateristika i procesnih promenljivih pri kojima je rad razmatranog razmenjivača (ovde, dva dijametralno suprotna tipa) zadovoljavajući sa aspekta ispunjenja kako željenih stacionarnih temperaturskih profila, tako i sa stanovišta potreno minimalnih tranzijentnih karakteristika.

Sve to, ako treba, pokazuje kandidat, može se povezati i sa osobinama efikasnosti razmenjivača toplote, što je izlazilo van okvira interesovanja ove disertacije.

Poseban doprinos disrtacije leži i u činjenici da je do sada malo eksploatisan metod transportnog prilaza zaživeo i ovde u dva slučaja, posebno u prilici unakrsnog strujnog toka kada se može reći da je u pitanju dvo dimenziono nekuplovano strujanje radnih fluida.

Ta rešenja imaju posebnu specifičnu težinu vodeći računa da se do dinamike ovakvih razmenjivača toplote dolazi reševanjem sistema algebarskih a ne diferencijalnih jednačina.

Između redova ove disertacije kriju se još tri značajna trenutka na koje valja ukazati.

Naime, autor se prikazao kao dobar poznavalac dinamike ove klase razmenjivača toplote o čemu svedoči obimna literatura koju je sa uspehom proučio, predstavio i kritički osvetlio i znalački upotrebio za svoja istraživanja.

Pored toga valjalo je ovladati brojnim numeričkim programioma, kao podrškom u svim postupcima simulacije koje je trebalo realizovati i usaglasiti sa postojećim realnim podacima o radnim i konstruktivnim paarametrima oba razmenjivača toplote.

I konačno kao treće, pokazao se veliki entuzijizam kojim je kandidat prikupljao podatke, u oba slučaja, a koje se odnose na konstruktivne i radne karakteristike razmatranih razmenjivača toplote.

VII ZAKLJUČAK I PREDLOG

Komisija je mišljenja da podneta doktorska disertacija kandidata Mr Dalibora Stevića, dip. inž. maš., predstavlja samostalan i vredan naučni rad, koji daje vidan doprinos proširivanju mogućih formi matematičkih modela savremenih rekuperativnih razmenjivača toplote, njihove dinamičke anlize i sinteze upravljanja na bazi geometrijske optimizacije utemljen na uslovnom indeksu upravljivosti.

Drugi, ne manje značajni doprinos leži u uspešnosti sprovođenja obmnih simulacionih procedura koje su u mnogim, prilikama zahtevale soopstvena idejna i konkretna rešenja u vidu pratećih algoritamskih podrški i drugih specifičnosti.

Mimo toga urađena je i komparativna analiza dinamičkog ponašanja oba razmenjivača toplote koja je, u celosti, pokzala opravdanost sva tri koršćena prilaza

Ova disertacija ima i praktičan značaj jer se izneti rezultati bez problema mogu implementirati u sve one realne probleme u kojim je zastupljena predmeta klasa razmenjivača toplote.

Mr Dalibor Stević, dip. inž. maš., je iz svoje doktorske disertacije ima prijavljen jedan rad u međunarodnom časopisu verifikovanom posebnom odlukom matičnog odbora, jedan rad u časopisu nacionalnog značaja a saopštio dva rada na konferencijama nacionalnog [značaja](#).

Imajući u vidu prethodno iznete činjenice Komisija je slobodna da predloži Naučno – nastavnom veću Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da doktorsku disertaciju kandidata Mr **Dalibora Stevića**, dip. inž. maš., pod naslovom: **Prilog komparativnoj dinamičkoj analizi i geometrijskoj optimizaciji rekuperativnih razmenjivača toplote** prihvati i izloži na uvid javnosti a u skladu sa odredbama Zakona i u slučaju da nema prigovora na samu disertaciju i Izveštaj Komisije, u zakonskom roku, zakaže javnu odbranu pred Komisijom u navedenom sastavu.

Sa poštovanjem
ČLANOVI KOMISIJE

- 1. Dr Dragutin Lj. Debeljković, prof.**
- 2. Dr Vladimir Stevanović, prof.**
- 3. Dr Tomislav Šekara, docent ETF Beograd**
- 4. Dr Milorad Bojić, prof.**
Mašinski fakultet, Kragujevac
- 5. Dr Mihailo P. Lazarević, prof.**

Beograd juni 2010.god.