

UNIVERZITET CRNE GORE  
MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA  
Broj: 2325  
Podgorica, 7.10.2019.godine

UNIVERZITET CRNE GORE  
ODBOR ZA DOKTORSKE STUDIJE

PREDMET: Dostava Izvještaja

Shodno odredbama Vodiča za doktorske studije u prilogu akta vam dostavljamo odluku o usvajanju Izvještaja Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata mr Radislava Brđanina, koju je donijelo Vijeće Mašinskog fakulteta u Podgorici, na svojoj sjednici koja je održana 7.10.2019.godine.

U prilogu dostavljamo prateću dokumentaciju.

S poštovanjem,

 DEKAN,  
Prof. dr Igor Vusanović

UNIVERZITET CRNE GORE  
MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA  
Broj: 2326  
Podgorica, 7.10.2019.godine

Na osnovu člana 64. Statuta Univerziteta Crne Gore, Izvještaja Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata i Izvještaja Komisije za doktorske studije MF, Vijeće Mašinskog fakulteta u Podgorici, na sjednici održanoj 07.10.2019.godine, donijelo je sljedeću

## ODLUKU

I USVAJA SE Izvještaj Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze pod nazivom: "Eksperimentalna i numerička analiza parametara koji utiču na slabljene, oblik i fazu talasa pritiska kod hidrauličkog udara" kandidata mr Radislava Brđanina i odobrava izrada doktorske teze pod navedenim nazivom, imenovanom kandidatu.

II Odluku o prihvatanju podobnosti doktorske teze i kandidata donosi Senat, na predlog Odbora za doktorske studije.

## Obrazloženje

Nakon što je doktorand podnio prijavu teme doktorske disertacije, Vijeće Fakulteta je konstatovalo da tema formalno ispunjava uslove za prijavu teme i predložilo Komisiju za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata pod nazivom: „Eksperimentalna i numerička analiza parametara koji utiču na slabljenje, oblik i fazu talasa pritiska kod hidrauličkog udara“, nakon čega je Senat, na sjednici od 09.09.2019. godine imenovao Komisiju za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata, u sastavu: prof. dr Igor Vušanović, prof. dr Uroš Karadžić i doc. dr Ead Tombarević.

Doktorand Radislav Brđjanin je potom 23.09.2019. godine, javno prezentovao polazna istraživanja doktorske disertacije, o čemu je Komisija za doktorske studije obavijestila javnost preko sajta MF i sajta UCG.

Komisija za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata je podnijela izvještaj 27.09.2019. godine, nakon čega je isti, na predlog Komisije za doktorske studije MF, Vijeće fakulteta usvojilo, na sjednici održanoj 07.10.2019.godine.

Na osnovu naprijed iznijetog odlučeno je kao u dispozitivu Odluke.

DODSTAVLJENO:

- Odbor za doktorske studije
- St.sluzba
- Sekretaru
- a/a

DEKAN,  
Prof. dr Igor Vušanović



UNIVERZITET CRNE GORE  
Mašinski fakultet  
Komisija za doktorske studije  
Podgorica, 01. 10. 2019.

- VIJEĆE MAŠINSKOG FAKULTETA -

Predmet: Izvještaj Komisije za doktorske studije

Poštovani,

Komisija za doktorske studije Mašinskog fakulteta je razmotrila obrazac D1: Ocjena podobnosti doktorske teze i kandidata mr Radislava Brđanina, pod nazivom: „*Eksperimentalna i numerička analiza parametara koji utiču na slabljenje, oblik i fazu talasa pritiska kod hidrauličnog udara*“, i zaključila da sadrži sve potrebne elemente navede u Vodiču za doktorske studije Univerziteta Crne Gore, te predlaže da se nastavi dalje po predviđenoj proceduri.

Srdačno,

PREDSJEDNIK KOMISIJE ZA  
DOKTORSKE STUDIJE

Prof. dr Aleksandar Vujović

Crna Gora  
UNIVERZITET CRNE GORE  
MAŠINSKI FAKULTET

Deno: 1-10-2019			
ed.	Broj	Prilog	Vrijednost
	2230		



## OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	Magistar, Radislav Brđanin
Fakultet	Mašinski fakultet
Studijski program	Mašinstvo
Broj indeksa	1/16
Podaci o magistarskom radu	Razvoj neuronskih modela sa višestrukim izlazom, Mašinstvo, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment Trebinje, 2013, 10
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Eksperimentalna i numerička analiza parametara koji utiču na slabljenje, oblik i fazu talasa pritiska kod hidrauličkog udara
Na engleskom jeziku	Experimental and numerical analysis of parameters that affect water hammer wave attenuation, shape and timing
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	25.06.2019.
Naučna oblast doktorske disertacije	Primijenjena mehanika fluida
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Mašinski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
<p>Javna odbrana polaznih istraživanja „Eksperimentalna i numerička analiza parametara koji utiču na slabljenje, oblik i fazu talasa pritiska kod hidrauličkog udara“, kandidata mr Radislava Brđanina, organizovana je na Mašinskom fakultetu u Podgorici 23.09.2019. godine, u Sali 224 sa početkom u 11h, pred Komisijom u sastavu:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Prof. dr Igor Vušanović, predsjednik,</li><li>2. Prof. dr Uroš Karadžić, mentor,</li><li>3. Doc. dr Esad Tombarević, član.</li></ol> <p>Kandidat je obrazložio temu, dao detaljan literaturni pregled dosadašnjih istraživanja u ovoj oblasti, predstavio rezultate polaznih istraživanja, izložio detaljan istraživački program, ciljeve, hipoteze, metodologiju i očekivani naučni doprinos. Svi članovi Komisije su, po završetku izlaganja, dali komentare, postavili pitanja i dali sugestije za dalji nastavak rada na disertaciji.</p>	
B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE	
<b>B1. Obrazloženje teme</b>	
Hidraulički udar i nestacionarni strujni procesi su izuzetno složena oblast mehanike fluida kojom se istraživači bave širom svijeta. On predstavlja veoma složenu pojavu koja se javlja prilikom	

promjene režima strujanja u cjevovodima hidroelektrana i vodovodnih sistema. Obično je uzrokovan promjenom režima rada hidrauličkih turbomašina kao i otvaranjem i zatvaranjem regulacionih i sigurnosnih zatvarača. Hidraulički udar izaziva stvaranje talasa povećanog i smanjenog pritiska koji, ako se ne drže pod kontrolom na adekvatan način, mogu da izazovu smetnje u radu pa čak i havariju hidrauličkog sistema. Poznavanje i opisivanje fenomena koji prate hidraulički udar (interakcija fluida i strukture cjevovoda, razdvajanje strujnog toka i nestacionarno trenje) od izuzetnog je značaja za pouzdan i siguran rad postrojenja. Pravi put za razumijevanje ovog složenog fenomena je istraživanje u kontrolisanim laboratorijskim uslovima na eksperimentalnim instalacijama i provjera pretpostavki usvojenih u numeričkim modelima. U radu će biti razvijen numerički kod za proračun hidrauličkog udara koji uključuje sve navedene efekte što do sada nije urađeno.

## B2. Cilj i hipoteze

Cilj ove disertacije je bolje razumijevanje hidrauličkog udara, interakcije fluida i strukture (FSI), razdvajanja strujnog toka (CS) i nestacionarnog trenja (UF) kako bi se poboljšao dizajn cjevovoda i smanjila mogućnost havarija hidrauličkog sistema, što će se postići kroz:

- Otkrivanje koji od efekata dominantno utiču na intenzitet i trajanje poremećajnih talasa pritiska izazvanih hidrauličkim udarom pri različitim uslovima u sistemu;
- Izvođenje eksperimenata sa FSI efektom u kombinaciji sa drugim pojavama i analiza uticaja FSI efekta na ponašanje sistema;
- Razvoj numeričkih kodova za proračun hidrauličkog udara koji bi bili verifikovani eksperimentalnim rezultatima, a imali bi primjenu na realnim energetske postrojenjima.

Na osnovu prethodnog proizilaze i hipoteze rada:

HIPOTEZA 1: Razvijeni softver za proračun hidrauličkog udara koji uključuje FSI, CS i UF može na adekvatan način da simulira uticaj navedenih pojava na talas pritiska za različite kombinacije faktora i za različite uslove u sistemu.

HIPOTEZA 2: Numerički model nestacionarnih procesa, verifikovan poređenjem sa rezultatima dobijenim na eksperimentalnoj instalaciji, može da posluži za simulaciju raznih vrsta prelaznih procesa na realnim hidrauličkim sistemima.

HIPOTEZA 3: FSI efekat može pojačati ili oslabiti talas pritiska izazvan hidrauličkim udarom u zavisnosti od toga koji je FSI mehanizam dominantan.

## B3. Metode i plan istraživanja

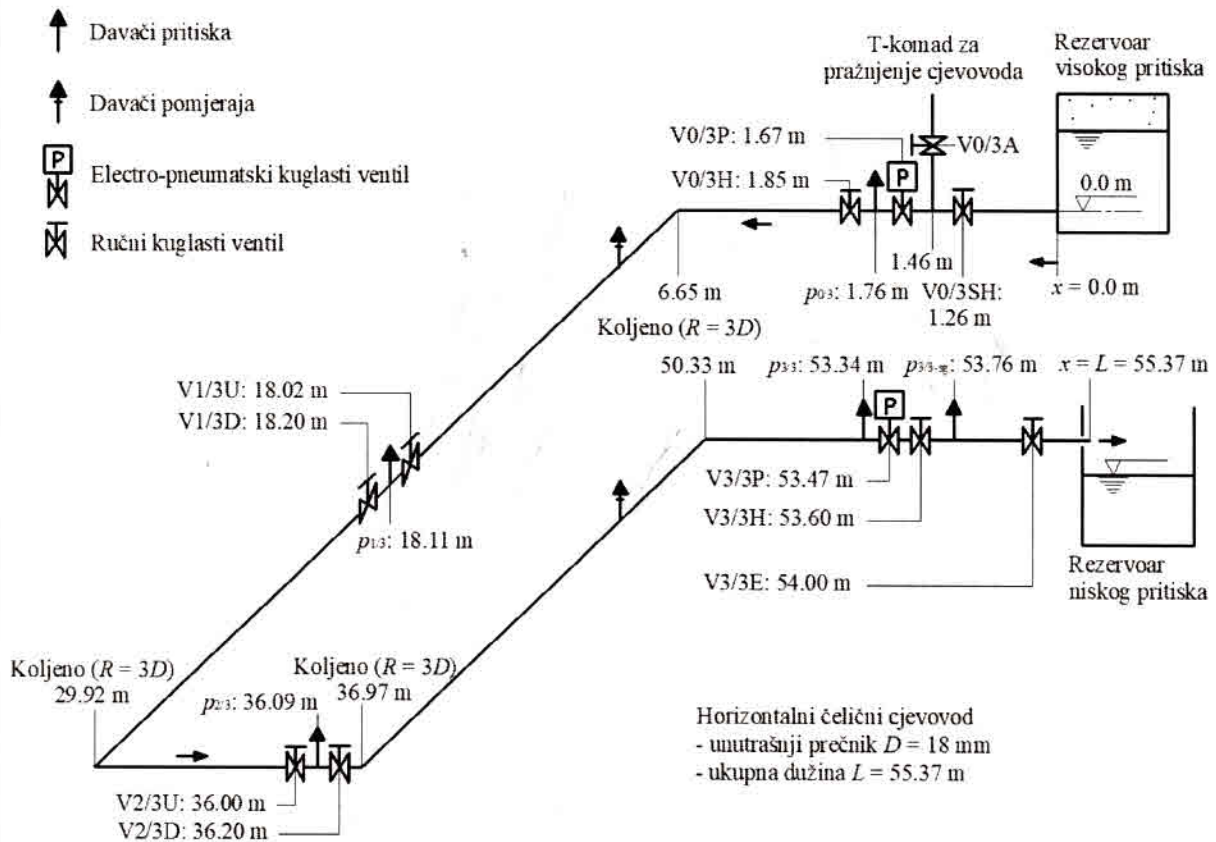
U radu će biti korištene analitičke, numeričke i eksperimentalne metode. Na osnovu dosadašnjih istraživanja u oblasti, biće dati numerički modeli ispitivanih pojava koji će biti korišteni prilikom izrade numeričkog koda. Eksperimentalna istraživanja vršiće se na instalaciji za ispitivanje hidrauličkog udara i njegovih pratećih efekata na Mašinskom fakultetu u Podgorici, dok će prilikom izrade numeričkog koda biti korišten softverski paket Matlab.

Istraživanje u radu odnosi se na eksperimentalno ispitivanje i numeričko modeliranje i ispitivanje hidrauličkog udara i njegovih pratećih efekata u vremenskom domenu. Biće razvijeni numerički modeli na bazi metode karakteristika, a njihova validacija izvršena poređenjem sa rezultatima dobijenim ispitivanjem na eksperimentalnoj instalaciji čiji su opis i šema dati u nastavku. Rezultati

dobijeni eksperimentima, kao i numeričkim modelom, biće analizirani sa aspekta uticaja svakog od fenomena na talas pritiska.

Eksperimentalna instalacija za ispitivanje fenomena hidrauličkog udara, kavitacije i razdvajanja strujnog toka, interakcije fluida i strukture cjevovoda (FSI - fluid structure interaction), punjenja i pražnjenja cjevovoda, kao i nestacionarnog trenja je projektovana i napravljena na Mašinskom fakultetu u Podgorici u Laboratoriji za energetiku 2011 godine, a 2018 godine urađena su određena unapređenja u cilju povećavanja njenih istraživačkih mogućnosti. Instalacija se sastoji od cjevovoda koji povezuje rezervoar visokog pritiska uzvodno sa rezervoarom niskog pritiska na nizvodnoj strani (čelični cjevovod ukupne dužine  $L=55.37$  m; unutrašnjeg prečnika  $d=18$  mm; debljine zida cjevovoda  $e=2$  mm; najveći dozvoljeni pritisak u cjevovodu je  $p_{max. uk.} = 25$  MPa). – Slika. 1. Četiri grupe ventila postavljene su duž cjevovoda uključujući početnu i krajnju tačku. Grupa ventila ispred uzvodnog rezervoara (pozicija 0/3) sastoji se od elektro-pneumatskog i ručnog kuglastog ventila, a ventilske grupe duž cjevovoda (pozicije 1/3 i 2/3), koje se nalaze na istoj međusobnoj udaljenosti, sastoje se od dva ručna kuglasta ventila (ventili V0/iU i V0/iD;  $i = 1, 2$ ). U svakoj ventilskoj grupi se nalazi blok sa sensorima dinamičkog i apsolutnog pritiska. Na instalaciji postoji i T-komad sa dva ventila na uzvodnoj ventilskoj grupi koji služi za izvođenje eksperimenata punjenja i pražnjenja cjevovoda. Na instalaciji se nalaze 4 koljena ( $90^\circ$ ) sa poluprečnikom  $R=3D$ . Cjevovod je učvršćen protiv aksijalnih pomjeranja u 37 tačaka (blizu ventilskih grupa i koljena). Oslonci se opuštaju prilikom izvođenja eksperimenata koji uključuju FSI efekte. Vazdušni pritisak u uzvodnom rezervoaru (ukupne zapremine  $V_{HPT} = 2$  m<sup>3</sup>; maksimalni dozvoljeni pritisak u rezervoaru  $p_{HPTmax, all} = 2.2$  MPa) može se podešavati do 800 kPa. Pritisak u rezervoaru prilikom svakog eksperimenta je konstantan zahvaljujući visoko preciznom regulatoru pritiska koji pripada grupi za snabdijevanje komprimovanim vazduhom. Duž cjevovoda pod pritiskom postavljena su četiri davača dinamičkog pritiska i četiri davača apsolutnog pritiska, koji se nalaze u ventilskim grupama (Slika 1.). Dinamički pritisci na pozicijama  $p_{0/3}$ ,  $p_{1/3}$ ,  $p_{2/3}$  i  $p_{3/3}$  se mjere pomoću Dytran 2300V4 visokofrekventnog pijezelektričnog davača (mjerjenje pritiska u opsegu 0÷69 bar, osjetljivost 5 mV/ 0.069 bar, preciznost  $\pm 0.1\%$ ), a apsolutni pritisci pomoću Keller PAA-M5 HB davača pritiska (mjerjenje pritiska u opsegu 0÷30 bar, osjetljivost 10 mV/ 0.03 bar, preciznost  $\pm 0.1\%$ ). Referentni nivo za sve pritiske mjerene u cjevovodu i rezervoaru je na početku horizontalnog čeličnog cjevovoda (visina 0 m na Slici 1). Dva davača za mjerjenje pomjeranja cjevovoda (HBM K-WA-L010W-32K, mjerjenje pomjeranja u opsegu 0-10 mm, preciznost  $\pm 0.2\%$ ) postavljena su na sopstvene nosače, pa mogu da se pomjeraju na različite pozicije duž cjevovoda. Temperatura vode se neprekidno mjeri pomoću termometra koji je montiran u posudi za skupljanje vode. Elektro-pneumatski ventili (V3/3P and V0/3P) su upravljani filtriranim komprimovanim vazduhom, dovedenim plastičnim crijevom od regulatora pritiska, čiji je pritisak nezavisan u odnosu na pritisak u sistemu. Prelazni proces može se izazvati brzim zatvaranjem ili otvaranjem ventila na nizvodnom kraju, koristeći ili V3/3P ili V3/3H ili pomoću ventila na uzvodnom kraju V0/3P. Ventili V3/3P i V3/3H opremljeni su senzorom (opseg mjerenja:  $0^\circ$  do  $90^\circ$ , frekventni odziv:  $> 10$  kHz) koji mjeri promjenu ugla ventila ( $\alpha$ ) tokom zatvaranja ili otvaranja. Pored toga, prelazni procesi se mogu izazvati zatvaranjem ili otvaranjem ručnih ventila duž cjevovoda (ventili V0/3H; Vi/3U i Vi/3D;  $i = 1, 2$ ). Na rezervoaru visokog pritiska i na nizvodnom kraju cjevovoda, postavljena su dva davača statičkog pritiska ( $p_{0/3-sg}$  i  $p_{3/3-sg}$ ; opseg pritiska: od 0 MPa do 1 MPa, preciznost:  $\pm 0.5\%$ ). Ovi davači se koriste za procjenu početnih uslova u sistemu. Za podešavanje protoka kroz instalaciju koristi se ručni kuglasti ventil (V3/3E). Protok (brzine veće od 0.3 m/s) se mjeri pomoću elektromagnetnog mjerača protoka (preciznost:  $\pm 0.2\%$ ). Svi izmjereni podaci prikupljaju se pomoću mjerno-upravljačkog sistema (compact DAQ platforma proizvođača National Instruments) koji je povezan sa računarom, odakle se ujedno upravlja

elektro-pneumatskim ventilima.



Slika 1. Šema eksperimentalne instalacije

Na eksperimentalnoj instalaciji planirano je izvođenje eksperimenata koji obuhvataju:

- a) klasični hidraulički udar,
- b) hidraulički udar sa kavitacijom i razdvajanjem strujnog toka,
- c) hidraulički udar bez kavitacije sa uključenim FSI efektima – Poisson coupling,
- d) hidraulički udar bez kavitacije sa uključenim FSI efektima – junction coupling,
- e) hidraulički udar sa pojavom kavitacije i razdvajanja strujnog toka i sa uključenim FSI efektima – Poisson coupling,
- f) hidraulički udar sa pojavom kavitacije i razdvajanja strujnog toka i sa uključenim FSI efektima – junction coupling,
- g) istovremeno zatvaranje ventila na početku i kraju cjevovoda.
- h) istovremeno otvaranje ventila na početku i kraju cjevovoda.
- i) vremenski odloženo zatvaranje ventila na početku i kraju cjevovoda.
- j) vremenski odloženo otvaranje ventila na početku i kraju cjevovoda.

Svaki eksperiment će se izvoditi po tri puta za iste početne (protok, pritisak u rezervoaru visokog pritiska, vrijeme zatvaranja ventila) i granične uslove kako bi se obezbijedila ponovljivost eksperimenata. Natpritisak u rezervoaru visokog pritiska će se varirati od 0 do 4 bara. Početni pritisci u rezervoaru visokog pritiska će biti određeni tako da se na osnovu njihove vrijednosti zna da li će hidraulički udar biti praćen kavitacijom ili ne. Eksperimenti sa FSI efektima će se izvoditi nakon olabavljanja cjevovoda na prethodno definisanim pozicijama, na koljenu, elektropneumatskom ventilu (junction coupling) i na dovoljno dugoj pravoj dionici cjevovoda

(Poisson coupling). Senzori za mjerenje pomjeranja biće postavljani na pozicije u blizini ili na samom koljenu, te u blizini ventila (junction coupling) i na različite pozicije na pravoj dionici cijevovoda (Poisson coupling), kako bi na najbolji način bili snimljeni FSI efekti.

**B4. Naučni doprinos**

Izvođenje eksperimenata sa FSI efektom u kombinaciji sa razdvajanjem strujnog toka i nestacionarnim trenjem koji su rijetki u poznatoj literaturi i razvoj numeričkog koda za proračun hidrauličkog udara koji uključuje sve navedene efekte što do sada nije urađeno.

Eksperimenti sa istovremenim i precizno vremenski odloženim zatvaranjem i otvaranjem dva ventila na početku i kraju sistema i odgovarajuće numeričke simulacije će omogućiti pravilnu teorijsku analizu prostiranja talasa pritiska izazvanog na ovaj način što je nešto što se ne može pronaći u poznatoj literaturi.

**B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja**

Svi planirani eksperimenti biće realizovani na instalaciji opisanoj prethodno koja se nalazi u Laboratoriji za energetiku Mašinskog fakulteta u Podgorici. Instalacija je opremljena savremenom mjernom opremom kao i odgovarajućim softverom za snimanje i analizu podataka. Kao dodatak predviđenim istraživanjima bilo bi dobro montirati cijev od providnog materijala i nabaviti kameru za brzo snimanje što bi omogućilo vizuelni pristup i snimanje procesa pojave i nestanka kavitacionih mjehurova.

**Mišljenje i prijedlog komisije**

Nakon uvida u materijal Polaznih istraživanja, prezentovanja na javnoj odbrani i odgovora kandidata na postavljena pitanja, Komisija je jednoglasno odlučila da je tema originalna i naučno opravdana, te preporučuje Vijeću Mašinskog fakulteta i Senatu UCG da je usvoji. Dosadašnja istraživanja služiće kao dobra osnova za određivanje uticaja pojedinih parametara na oblik, trajanje i fazu talasa pritiska kod hidrauličkog udara.

**Predlog izmjene naslova**

/

**Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora**

/

**Planirana odbrana doktorske disertacije**

2021

**Izdvojeno mišljenje**

/

Ime i prezime  
\_\_\_\_\_

**Napomena**

/

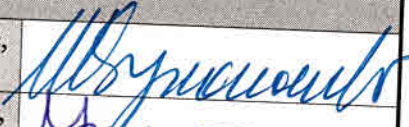
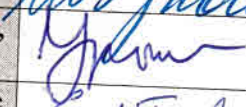


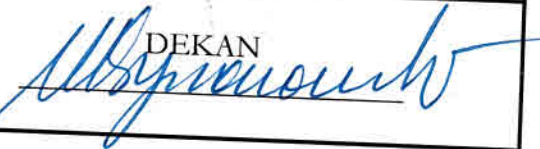
**ZAKLJUČAK**

Predložena tema po svom sadržaju **odgovara** nivou doktorskih studija

**DA**

**NE**



Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	<b>DA</b>	NE
Kandidat <b>može</b> na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze	<b>DA</b>	NE
<b>Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata</b>		
Prof. dr Igor Vušanović, Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica	  	
Prof. dr Uroš Karadžić, Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica		
Doc. dr Esad Tombarević, Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica		
U Podgorici, 27.09.2019. godine		DEKAN 

**PRILOG**

<b>PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI TEME I KANDIDATA</b>	
Prof. dr Igor Vušanović	Da li će numerički kod biti modularan u smislu da se mogu uključiti ili isključiti pojedini efekti odnosno pojave?
	Da li će se razmatrati eksperimenti sa zagrijanom vodom i nastajanje kavitacije u tim uslovima?
Prof. dr Uroš Karadžić	Na koji način će se ispitivati Poisson coupling mehanizam kod FSI efekta?
	Kakav efekat će izazvati istovremeno zatvaranje olabavljenog ventila na kraju i potpuno ukrućenog ventila na početku cjevovoda?
Doc. dr Esad Tombarević	Da li kod eksperimentalne instalacije planirate da montirate jednu sekciju cijevi od prozirnog materijala kako biste mogli da vidite (i eventualno brzom kamerom snimate) pojavu kavitacije?
	Da li za provjeru Hipoteze 2 planirate da koristite podatke sa mjerenja koja se nisu u potpunosti slagala sa rezultatima numeričkih simulacija dobijenih pomoću modela koji ne obuhvataju FSI efekte?
<b>PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI</b>	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
<b>ZNAČAJNI KOMENTARI</b>	