

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
1. Датум и орган који је именовео комисију 18.11.2016., Наставно-научно веће Технолошког факултета у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду
2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: 1. др Миодраг Текић , професор емеритус, Хемијско инжењерство, 27.01.2012., Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду 2. др Драган Петровић , доцент, Хемијско инжењерство, 08.09.2016., Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду 3. др Влада Вељковић , редовни професор, Хемијско инжењерство, 06.03.1995., Технолошки факултет у Лесковцу, Универзитет у Нишу
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
1. Име, име једног родитеља, презиме: Наташа, Љубиша, Лукић
2. Датум рођења, општина, држава: 28.10.1982., Врбас, Република Србија
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, Хемијско инжењерство, дипломирани инжењер технологије
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2008, Хемијско и биохемијско инжењерство
5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -
6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Само-ротирајући импелери у <i>airlift</i> реактору са спољашњом рецикулацијом

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација је написана јасно и прегледно, и садржи све неопходне делове научно-истраживачког рада који су организовани у следећа поглавља:

1. Увод (стр. 1-2);
 2. Преглед литературе (стр. 3-34);
 3. Задатак и циљ (стр. 35-36);
 4. Експериментални део (стр. 37-50);
 5. Резултати и дискусија (стр. 51-90);
 6. Закључак (стр. 91-93);
- Литература (стр. 95-104).
Прилог (стр. 105-107)

Докторска дисертација је написана на 107 страна А4 формата. Садржи 50 слика, 12 табела, 147 литературних навода као и 6 прилога. Поред тога, дисертација на самом почетку садржи кључну документацијску информацију на српском и енглеском језику са изводима на оба језика, као и списак основних ознака, табела, слика и прилога.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов рада јасно је и прецизно формулисан, у складу са садржајем докторске дисертације.

Увод докторске дисертације је написан јасно, и представља кратак осврт на проблематику истраживања, јасно истичући потребу за развојем иновативног типа *airlift* реактора са спољашњом рецикулацијом са само-ротирајућим импелерима монтираним у узлазну цев. Поред тога, наглашен је значај детаљне карактеризације хидродинамичких и масенопреносних карактеристика за успешно пројектовање и управљање овим уређајима.

Поглавље **Преглед литературе** састоји се из четири потпоглавља у којима аутор, служећи се обимном литературом, пише о развоју и хидродинамичким особинама *airlift* реактора са спољашњом рецикулацијом. На самом почетку, представљени су основни типови контактора гас-течно са механичким и пнеуматским мешањем и јасно су наглашене њихове предности и мане. Дат је општи опис *airlift* реактора са спољашњом рецикулацијом, као и детаљна карактеризација режима струјања. Затим су приказана досадашња релевантна научна сазнања везана за *airlift* реакторе са спољашњом рецикулацијом. Наведени су утицаји оперативних и конструкционих променљивих на хидродинамичке и масенопреносне карактеристике ових уређаја. Ради прегледности, табеларно је приказан преглед досадашњих истраживања. У оквиру овог поглавља посебна пажња посвећена је прегледу досадашњих истраживања везаних за модификоване *airlift* реакторе са спољашњом рецикулацијом. На крају поглавља дат је преглед досад предложених емпиријских и полуемпиријских корелација за предвиђање хидродинамичких и масенопреносних особина *airlift* реактор са спољашњом рецикулацијом. Поред тога, један део посвећен је и концепту вештачких неуронских мрежа, који се последњих неколико година веома успешно користи за моделовање контактора гас-течно.

Поглавље Преглед литературе садржи неопходне теоријске основе и преглед истраживања из области која је предмет ове дисертације.

Задатак и циљ ове докторске дисертације, дефинисани у оквиру посебног поглавља, јасно и прецизно су формулисани. Поред општег циља, дефинисани су и појединачни циљеви дисертације који су у складу са постављеним циљевима у пријави докторске дисертације.

Поглавље **Експериментални део** садржи детаљан опис експерименталних процедура које су коришћене за реализацију циљева рада. У овом поглављу дат је опис експерименталног постројења, тј. *airlift* реактора са спољашњом рецикулацијом са и без само-ротирајућих импелера, коришћених течних фаза и типова дистрибутора гаса. Стандардне и савремене методе коришћене су за анализу физичких карактеристика испитиваних течности. Такође, у овом делу описане су мерне методе

помоћу којих су одређивани садржај гаса у узлазној цеви, брзина течности у силазној цеви, запремински коефицијент преноса масе, брзина смицања као и брзина обртања само-ротирајућих импелера.

Коришћено експериментално постројење као и примењене методе мерења и услови извођења експеримената су у потпуности адекватни и одговарају истраживачком задатку који је реализован.

У поглављу *Резултати и дискусија*, резултати истраживања су груписани у седам целина и адекватно продискутовани у складу са постављеним циљевима истраживања.

У потпоглављу *Брзина обртања само-ротирајућих импелера* анализирани су постигнуте брзине обртања само-ротирајућих импелера, са посебним освртом на утицај карактеристика течне фазе и типа дистрибутора гаса.

У потпоглављу *Хидродинамички режими тока* дати су резултати испитивања режима струјања за обе конфигурације реактора (са и без импелера). Поред тога, дата је анализа секвенци слика у циљу описа механизма разбијања великих мехурова, тј. сферичних капа, применом само-ротирајућих импелера за систем са једноструким уводником у ком је као течна фаза коришћен раствор карбоксиметилцелулозе.

Потпоглавље *Садржај гаса у узлазној цеви АЛСР са и без импелера* у првом делу описује утицај привидне брзине гаса, карактеристика течне фазе и типа дистрибутора на садржај гаса (ϵ_{GR}) у конфигурацији без импелера. У другом делу, дат је утицај уградње само-ротирајућих импелера на садржај гаса. Ефикасност само-ротирајућих импелера квантитативно је изражена преко релативног повећања садржаја гаса.

У четвртом потпоглављу *Брзина течности у силазној цеви АЛСР са и без импелера* анализирани су резултати добијени мерењем брзине течности у силазној цеви у конфигурацији *airlift* реактора без импелера. Испитан је утицај привидне брзине гаса, особина течне фазе и типа дистрибутора гаса. Након тога, у оквиру овог потпоглавља анализиран је утицај уградње само-ротирајућих импелера на брзину течности.

Потпоглавље *Масенопреносне карактеристике АЛСР са и без импелера* приказује утицај привидне брзине гаса, карактеристика течне фазе и типа дистрибутора на запремински коефицијент преноса масе (k_{LA}) у конфигурацији *airlift* реактора без импелера. Након тога, дат је утицај уградње само-ротирајућих импелера на запремински коефицијент преноса масе. Такође, у овом потпоглављу анализиран је и утицај само-ротирајућих импелера, привидне брзине гаса, карактеристика течне фазе и типа дистрибутора гаса на однос k_{LA}/ϵ_{GR} .

У потпоглављу *Поређење резултата добијених у овом раду са резултатима других аутора* извршено је поређење резултата добијених у овом раду у конфигурацији без импелера са резултатима других аутора. Поред тога, упоређене су и остварене вредности релативног повећања садржаја гаса, релативног смањења брзине течности и релативног повећања запреминог коефицијента преноса масе у конфигурацији са импелерима са резултатима других аутора који су користили разне уметке.

У потпоглављу *Моделовање резултата* предложене су емпиријске корелације и модели вештачких неуронских мрежа за предвиђање садржаја гаса у узлазној цеви, брзине течности у силазној цеви и запреминог коефицијента преноса масе. Као независне променљиве коришћени су привидна брзина гаса, пречник отвора дистрибутора, градијент површинског напона и привидна вискозност. У циљу вредновања предложених модела извршено је поређење експериментално добијених вредности са рачунским.

Резултати су приказани на веома прегледан и методолошки разумљив начин, а њихово тумачење и дискусија су јасни и доследни. У обављеној анализи добијених резултата коришћени су бројни подаци из цитиране литературе, те су њиховим поређењем са резултатима ове докторске дисертације уочене појаве успешно објашњене. Кроз добијене резултате и њихову дискусију дат је одговор на постављене циљеве докторске дисертације.

У поглављу **Закључак**, закључци су јасно и концизно изведени из резултата и њихове дискусије, те се могу сматрати научно заснованим и одговарајућим у односу на постављени циљ дисертације.

У поглављу **Литература** наведено је 147 литературних навода који су консултовани током израде дисертације. Литература је цитирана на адекватан начин, а избор литературних навода је актуелан и примерен тематици која је проучавана.

Прилог ове докторске дисертације састоји се из пет слика и једне табеле.

Поред наведених поглавља дисертацију чине и **Кључна документацијска информација** на српском и енглеском језику са изводима на оба језика, **Садржај**, **Списак табела**, **Списак слика**, **Списак основних ознака** и **Списак прилога** који претходе основном тексту.

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

Радови проистекли из истраживања у оквиру рада на докторској дисертацији:

Радови у врхунским међународним часописима (M21):

1. **Lukić, N.Lj.**, I. Šijački, P. Kojić, S. Popović, M. Tekić i D. Petrović (2016). Enhanced hydrodynamics in a novel external-loop airlift reactor with self-agitated impellers. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 68, 40-50. Engineering, Chemical 24/135, IF 2,848 DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2016.09.003](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.09.003).
2. **Lukić, N.Lj.**, I. Šijački, P. Kojić, S. Popović, M. Tekić i D. Petrović (2017). Enhanced mass transfer in a novel external-loop airlift reactor with self-agitated impellers. Biochemical Engineering Journal, 118, 53-63. Engineering, Chemical 38/135, IF 2,463 DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.bej.2016.11.014](https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.11.014)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу добијених резултата могу се извести следећи закључци о могућностима примене само-ротирајућих импелера у циљу побољшања хидродинамичких и масенопреносних карактеристика *airlift* реактора са спољашњом рецикулацијом (АЛСР):

- i. У свим испитиваним системима, брзина обртања импелера независна је од позиције импелера у узлазној цеви реактора. Са порастом привидне брзине гаса, брзина обртања импелера стално расте. Испитивања утицаја врсте течне фазе на брзину обртања показала су да долази до знатно споријег окретања импелера са порастом вискозности течне фазе. С друге стране, тип дистрибутора гаса не утиче на обртање само-ротирајућих импелера.
- ii. Резултати испитивања режима рада показали су да уградња само-ротирајућих импелера знатно утиче на понашање мехурова, а сами тим и на режиме струјања. Њихов утицај на режиме струјања најизраженији је у вискознијим растворима карбоксиметилцелулозе (СМС) коришћењем једноструког уводника. Анализа секвенци слика указује да приликом контакта великих мехурова са лопатицама импелера долази до изузетно ефикасног разбијања мехурова гаса.
- iii. Резултати испитивања садржаја гаса у узлазној цеви показали су да се уградњом само-ротирајућих импелера у свим испитиваним системима постиже значајно повећање садржаја гаса (ε_{GR}), што је последица разбијања мехурова од стране импелера, али и последица сузбијања коалесценције услед повећане турбуленције. Релативно повећање садржаја гаса у великој мери зависи од коришћене врсте течне фазе и типа дистрибутора гаса. Највећа повећања садржаја гаса, у опсегу 7-47%, постижу се при најмањим привидним брзинама гаса (U_G) када је употребљен једноструки уводник. При већим U_G , утицај типа дистрибутора на релативно повећање садржаја гаса је занемарљив.
- iv. Уградњом импелера долази до умереног снижења брзине течности у свим испитиваним системима, што је била и једна од основних намена овог типа уметка. Релативно снижење

<p>брзине течности у силазној цеви применом само-ротирајућих импелера у просеку износи око 10% без обзира на врсту течне фазе и тип дистрибутора гаса.</p> <p>v. Резултати испитивања запреминског коефицијента преноса масе ($k_L a$) указују на то да се уградњом само-ротирајућих импелера у узлазну цев АЛСР постижу значајна повећања $k_L a$ у опсегу од 9 до 82%. За услове рада који се најчешће срећу у ферментационим процесима (веће U_G) добијене су 20-30% веће вредности $k_L a$ на шта су утицале и карактеристике течне фазе као и тип дистрибутора гаса. Највеће повећање $k_L a$ добијено је у системима са вискозним растворима СМС при најмањим U_G применом једноструког уводника. Са порастом U_G импелери су били мање ефикасни. При већим U_G, тип дистрибутора гаса није имао утицаја.</p> <p>vi. Релативне промене односа $k_L a / \varepsilon_{GR}$ које се постижу уградњом импелера указују на то да само-ротирајући импелери у вискозним растворима СМС доводе до знатно већег смањења Саутеровог средњег пречника мехурова (d_{32}) у односу на смањење коефицијента преноса масе (k_L), док у невискозним течностима доводе до приближно истог смањења d_{32} и k_L.</p> <p>vii. Емпиријске корелације су веома успешно (са средњом релативном грешком до 9,1%) предвиделе садржај гаса, брзину течности, односно запремински коефицијент преноса масе, у обе конфигурације <i>airlift</i> реактора са спољашњом рецикулацијом.</p> <p>viii. Развијени модели вештачких неуронских мрежа изузетно добро предвиђају вредности за садржај гаса, брзину течности и запремински коефицијент преноса масе са средњом релативном грешком до 4,8%.</p> <p>Резултати ове докторске дисертације недвосмислено указују да само-ротирајући импелери могу успешно да се користе за побољшање хидродинамичких и масенопреносних карактеристика <i>airlift</i> реактора са спољашњом рецикулацијом, с обзиром да њиховом уградњом, уз занемарљиве енергетске захтеве, долази до опадања средњег пречника мехурова гаса, повећања садржаја гаса и запреминског коефицијента преноса масе, као и умереног смањења брзине течности.</p>
<p>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА</p> <p>Добијени резултати су проистекли из оригинално постављених експеримената и у складу са дефинисаним циљевима. Резултати истраживања су приказани прегледно и на систематичан начин, у виду табела, графикона и слика. За све резултате дата су аргументована објашњења, која су, тамо где је било могуће, поткрепљена и одговарајућим литературним наводима. Изведени закључци дају адекватне одговоре на постављене задатке ове докторске дисертације. Стога, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачење резултата истраживања.</p>
<p>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p> <p>Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:</p> <p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме Да. Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.</p> <p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе Да. Дисертација садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.</p> <p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата представљају оригиналан и значајан научни допринос испитивању хидродинамичких и масенопреносних</p>

карактеристика *airlift* реактора. Конструкцијом иновативног *airlift* реактора са спољашњом рецикулацијом са само-ротирајућим импелерима у узлазној цеви, поред повећања садржаја гаса и смањења брзине течности, остварене су и веће брзине преноса масе, чиме се производност ових уређаја значајно побољшава. Обимно експериментално истраживање пружа податке о утицају уградње само-ротирајућих импелера на хидродинамику и пренос масе у зависности од коришћене врсте течне фазе и типа дистрибутора гаса. Имајући у виду нењутновски карактер већине ферментационих медијума коришћених у биотехнолошким процесима, посебан допринос дисертације представљају резултати истраживања добијени у нењутновским растворима карбоксиметилцелулозе.

Допринос дисертације су и развијене емпиријске корелације и модели вештачких неуронских мрежа који одлично предвиђају експерименталне податке за садржај гаса у узлазној цеви, брзину течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе, како у конвенционалном *airlift* реактору без импелера, тако и у реактору са само-ротирајућим импелерима.

Актуелност и оригиналност резултата добијених у овој докторској дисертацији потврђена је и са два рада прихваћена у врхунским међународним часописима категорије M21.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања
Недостаци дисертације нису уочени.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

Полазећи од позитивне оцене докторске дисертације под називом „**Само-ротирајући импелери у *airlift* реактору са спољашњом рецикулацијом**“, дипл. инж. **Наташе Љ. Лукић**, Комисија са задовољством предлаже да се прихвати ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ, а кандидату одобри одбрана дисертације.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

председник комисије

др Миодраг Текић, професор емеритус,
Технолошки факултет Нови Сад,
Универзитет у Новом Саду

ментор, члан комисије

др Драган Петровић, доцент,
Технолошки факултет Нови Сад,
Универзитет у Новом Саду

члан комисије

др Влада Вељковић, редовни професор,
Технолошки факултет у Лесковцу,
Универзитет у Нишу