

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предраг Којић, дипл. инж. технологије

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију <b>29.01.2016.</b> године, Наставно-научно веће Технолошког факултета Универзитета у Новом Саду.</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Др Драган Петровић</b>, ванредни професор (ужа научна област: хемијско инжењерство), 13.09.2011., Технолошки факултет у Новом Саду, ментор;</li> <li>• <b>Др Светлана Поповић</b>, доцент (ужа научна област: хемијско инжењерство), 07.10.2011., Технолошки факултет у Новом Саду, ментор;</li> <li>• <b>Др Радован Оморјан</b>, редовни професор (ужа научна област: хемијско инжењерство), 20.02.2009., Технолошки факултет у Новом Саду, председник;</li> <li>• <b>Др Александар Јокић</b>, доцент (ужа научна област: хемијско инжењерство), 01.06.2011., Технолошки факултет у Новом Саду, члан;</li> <li>• <b>Др Влада Вељковић</b>, редовни професор (ужа научна област: хемијско и биохемијско инжењерство), 06.03.1995., Технолошки факултет у Лесковцу, члан.</li> </ul>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: <b>Предраг, Стевица, Којић</b></p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 24.06.1984. Савски венац, Београд, Република Србија.</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Технолошки факултет Нови Сад, Хемијско инжењерство, Дипломирани инжењер технологије</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2008., Хемијско инжењерство, Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду.</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -</p>
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p><b>Хидродинамика и пренос масе у аирлифт реактору са мембраном</b></p>

#### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација дип. инж. **Предрага Којића** је веома прегледно и јасно изложена у девет поглавља:

Увод (стр. 1 - 2),

Аирлифт реактори (стр. 2 - 11),

Аирлифт реактори са мембраном (стр. 11 – 19),

Експериментални део (стр. 19 - 24),

Резултати и дискусија (стр. 24 - 70),

Корелисање резултата (стр. 70 - 88),

Закључци (стр. 88 - 89),

Списак ознака (стр. 89 - 91),

Литература (стр. 91 - 94),

Докторска дисертација има 94 стране. Садржи 45 слика и 11 табела. Цитирана су 144 литературна навода, а на почетку дисертације су дате кључне документацијске информације са кратким изводом на српском и енглеском језику.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

### Увод

У уводу ове дисертације аутор истиче потребу за развојем новог типа аирлифт реактора. Експанзија хемијске, а нарочито биохемијске индустрије и третмана отпадних вода довела је до тога да се аирлифт реактори комбинују са сепарационим мембранским техникама. Ови реактори омогућавају истовремено формирање и сепарацију продукта помоћу мембране. Наглашено је да је ово релативно нови тип аирлифт реактора и да још увек постоји простор за унапређење и проналажење оптималних радних услова и најбоље геометријске конструкције. Резултати истраживања у овој дисертацији значајно обогаћују досадашња истраживања, због одабира иновативних геометријских карактеристика самог реактора (нова конфигурација) и дистрибутора гаса, а затим и карактеристика течне фазе. Аутор наводи да емпијске корелације које се могу наћи у литератури немају примену на шири опсег података јер су прилагођене одређеној геометрији реактора. Због тога су истраживања у докторској дисертацији посвећена развијању неуронске мреже. Поред тога, у овом делу јасно и прецизно су дефинисани циљеви дисертације који не одступају од формулација датих у њеној пријави.

### Преглед литературе-Аирлифт реактори и Аирлифт реактори са мембраном

Поглавље преглед литературе састоји се из два дела у којима аутор, служећи се обимном литературом, пише о развоју и хидродинамичким особинама аирлифт реактора са мембраном. У првом делу се говори о аирлифт реакторима. Представљени су типови аирлифт реактора и процеси у којима се користе. Посебно је објашњен аирлифт реактор са спољном рецикулацијом (АЛСР) који је коришћен у овој дисертацији и јасно су наглашене његове предности у односу на остале аирлифт реакторе. Затим су анализом доступне литературе наведени утицаји оперативних и конструкционих променљивих на хидродинамичке особине и масено-преносне карактеристике аирлифт реактора. На крају поглавља приказана је табела са радовима аутора који су вршили своја истраживања у АЛСР. У другом делу описани су аирлифт реактори са мембраном (АЛСРМ). Описан је њихов настанак и представљени су типови ових реактора. Наведени су процеси и истраживања у којима се користе. Објашњена је хидродинамика и контрола прљања мембране у њима. Такође на крају поглавља дата је прегледна табела са радовима чија је тематика везана за хидродинамику у аирлифт реакторима са мембраном.

На основу проучене и систематизоване савремене литературе, докторант је био у могућности да правилно анализира и објасни добијене резултате и да их упореди са резултатима других аутора који су радили на сличним аирлифт реакторима са и без мембране.

### Експериментални део

У овом поглављу је описана експериментална апаратура, тј. аирлифт реактор са спољном рецикулацијом течности са и без вишеканалне цевне мембране и оба начина рада: без мехурова гаса у силазној цеви (начин рада А), односно са мехуровима у силазној цеви (начин рада Б). Аутор је као течну фазу користио воду и разблажене водене растворе нормалних алифатичних алкохола: етанола, *n*-бутанола и *n*-хексанола. Ови раствори симулирали су реалне индустријске системе у погледу површинске активности. У овом делу јасно је нагласио физичке особине коришћених алкохола. Дао је опис три коришћена дистрибутора гаса: једноструког уводника, перфориране плоче и синтер плоче. Истакао је да је користио цевну седмоканалну мембрану дужине 20 cm коју је уградио у силазну цев реактора. Ова мембрана је погодна за микрофилтрацију и ултрафилтрацију. Такође је у овом делу описао мерне уређаје помоћу којих је мерио: привидну брзину гаса, садржај гаса у узлазној и силазној цеви, брзину течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе.

### Резултати и дискусија

Приказани резултати прате јасан ток научног истраживања, од анализе хидродинамичких режима и укупног коефицијента трења до основних хидродинамичких особина (садржаја гаса, брзине течности у силазној цеви) и запреминског коефицијента преноса масе.

Анализом хидродинамичких режима аутор је стекао увид у рад АЛСР и АЛСРМ. Уочио је да при истострујном току течности и гаса у узлазној цеви постоји неколико режима у зависности од привидне брзине гаса: мехурасти ток, прелазни ток, хетерогени ток а при великим брзинама и клипни ток.

Утицај уграђене мембране је квантификован помоћу укупног коефицијента трења. Описан је начин помоћу којег се он може одредити експериментално и рачунски.

Аутор је затим истражио утицаје привидне брзине гаса, особине течне фазе, типа дистрибутора, отпора мембране и присуства мехурова гаса у силазној цеви на садржај гаса, брзину течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе у аирлифт реактору са и без мембране.

На основу добијених експерименталних резултата јасно је истакао да вишеканална цевна мембрана у силазној цеви узрокује повећање укупног коефицијента трења за 90% и тиме смањује брзину течности у силазној цеви до 50%. Нагласио је да и поред тога тангенцијална брзина остаје у границама препоручених брзина које се користе у ултрафилтрацији и микрофилтрацији. Такође, смањена брзина течности у силазној цеви повећава садржај гаса до 16% и помера прелазак режима струјања ка мањим привидним брзинама гаса. Имајући на уму да мехурови гаса смањују прљање мембране наглашено је да присуство мехурова гаса у силазној цеви смањује брзину течности у силазној цеви до 15% и даје садржај гаса у силазној цеви од 3%. Аутор је навео да се додатком алкохола у воду садржај гаса, брзина течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе повећавају у односу на воду. Показао је да су раствори етанола и *n*-бутанола најуспешнији алкохоли. Аутор употпуњава истраживања коришћењем три различита типа дистрибутора гаса, из експерименталних резултата види се да је синтер плоча била најефикаснији дистрибутор.

Резултати су приказани на веома прегледан и методолошки разумљив начин, а њихово тумачење и дискусија су јасни и доследни. У обављеној анализи добијених резултата кандидат је испољио велико теоријско знање, вешто је користио бројне податке из цитиране литературе, поредивши их са резултатима сопствених истраживања, а уочене појаве успешно објаснио. Кроз добијене резултате и њихову дискусију дат је одговор на постављене циљеве докторске дисертације.

#### **Корелисање резултата**

У овом поглављу аутор је корелисао експерименталне резултате за садржај гаса у силазној цеви, брзину течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе помоћу предложене емпиријске корелације и вештачке неуронске мреже. Вештачка неуронска мрежа и корелација узимале су у обзир привидну брзину гаса, површинске особине течности, отвор гасног дистрибутора и укупни коефицијент трења. Аутор је закључио да је вештачка неуронска мрежа супериорнија метода у предвиђању експерименталних вредности те је то био подстицај да неуронска мрежа буде примењена и на податке за садржај гаса и запремински коефицијент преноса масе из литературе.

#### **Закључак**

У овом поглављу закључци су јасно и концизно изведени из резултата и њихове дискусије, те се могу сматрати поузданим и одговарајућим постављеним циљевима дисертације.

#### **Литература**

У писању ове дисертације аутор је користио 144 литературна навода, који су цитирани на јасан и правилан начин. Избор референци је актуелан и примерен тематици која је проучавана.

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

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Категорија M21 - Рад штампан у међународном часопису:

- **Kojić, P. S.**, Tokić, M. S., Šijački, I. M., Lukić, N. L., Petrović, D. L., Jovičević, D. Z., Popović, Influence of the Sparger Type and Added Alcohol on the Gas Holdup of an External-Loop Airlift Reactor. *Chemical Engineering and Technology*, 38, 701-708 (2015).

Категорија M23 - Рад штампан у међународном часопису

- **Kojić, P. S.**, Šijački, I. M., Lukić, N. L., Jovičević, D. Z., Popović, S. S., Petrović, D. L., Volumetric gas-liquid mass transfer coefficient in an external-loop airlift reactor with inserted membrane. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 41 (2016 OnLine-First).
- **Kojić, P. S.**, Popović S. S., Tokić, M. S., Šijački, I. M., Lukić, N. L., Jovičević, D. Z., Petrović, D. Hydrodynamics of an external-loop airlift reactor with inserted membrane. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*.

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу приказаних резултата основних хидродинамичких и масено-преносних карактеристика аирлифт реактора са спољном рецикулацијом и истог реактора са уграђеном вишеканалном цевном мембраном у силазну цев који је радио на два начина: без мехурова у силазној цеви, односно са мехуровима у њој, кандидат Предраг Којић, дипл. инж., извео је следеће закључке:

- Са порастом привидне брзине гаса, садржај гаса, брзина течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе се повећавају.
- Додатком алифатичних алкохола у воду садржај гаса, брзина течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе су се повећали у односу на воду.
- Синтер плоча и перфорирана плоча били су ефикаснији дистрибутори него једноструки уводник.
- Вишеканална цевна мембрана у силазној цеви узроковала је повећање укупног коефицијента трења за 90% и тиме довела до смањења брзине течности у силазној цеви до 50%. Смањена брзина течности у силазној цеви повећала је садржај гаса до 16%.
- Присуство мехурова гаса у силазној цеви смањило је брзину течности у њој до 15%, док је садржај гаса био до 3%.
- Експериментални подаци за садржаја гаса, брзину течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе успешно су корелисани емпиријским корелацијама и вештачком неуронском мрежом. Вештачка неуронска мрежа се показала као супериорнија метода у предвиђању експерименталних вредности.

## VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидат дипл. инж. Предраг Којић је успешно и у целости обавио истраживања која су била предвиђена планом датим у пријави ове дисертације. Добијени резултати су проистекли из обимних, оригинално постављених истраживања, усмерених ка испитивању утицаја привидне брзине гаса, површинских особина течне фазе, типа дистрибутора гаса, отпора мембране и присуства мехурова гаса у силазној цеви на садржај гаса, брзину течности у силазној цеви и запремински коефицијент преноса масе у течној фази.

Резултати испитивања су систематично, јасно и концизно приказани. Предложене корелације и неуронске мреже одлично корелишу експерименталне резултате. Детаљна дискусија добијених резултата заснована је на добром познавању научне литературе. Стога се начин приказа и тумачења резултата истраживања оцењује позитивно.

## IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све елементе неопходне за разумевање обрађене тематике и добијених резултата. Написан је јасан и концизан преглед литературе, изведени су сви планирани експерименти. Резултати испитивања су продискутовани и дати су закључци урађене тезе. Комисија је утврдила да су у потпуности остварени постављени циљеви истраживања.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Експанзијом хемијске, а нарочито биохемијске индустрије прогресивно су се развијали нови типови мембранских аирлифт реактора. С обзиром на недостатак доступне литературе везане за

конструкцију и рад ових реактора, ова дисертација даје детаљан увид у њихове хидродинамичке особине и масено-преносне карактеристике. Обимно експериментално истраживање значајно обогаћује досадашња истраживања управо због конструисања иновативног аирлифт реактора а затим и одабира дистрибутора гаса и површинских карактеристика течне фазе. Стога се могу извести општи закључци о оптималним условима у аирлифт реактору за одвијање филтрације. Резултати показују да коришћени аирлифт реактор са спољном рецикулацијом са уграђеном мембраном у силазној цеви има могућност потенцијалне примене приликом пречишћавања отпадне воде која по својим физичким особинама одговара течним фазама употребљеним у овом истраживању. Поред тога, конструкција овог реактора обезбедила је увлачење великих мехурова гаса у силазну цев где је смештена мембрана. На тај начин се успорава прљање мембране услед филтрације. Допринос дисертације је и предложена неуронска мрежа која одлично предвиђа експерименталне и литературне податке, тако да се може применити и на друге аирлифт реакторе са мембраном. Актуелност и оригиналност експерименталних резултата је потврђена прихваћеним радовима у часописима са ISI листе.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Недостаци дисертације нису уочени.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана

Полазећи од позитивне оцене докторске дисертације под називом „**Хидродинамика и пренос масе у аирлифт реактору са мембраном**“, дипл. инж. **Предрага Којића**, Комисија са задовољством предлаже да се прихвати ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ, а кандидату одобри одбрана дисертације.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_

др Драган Петровић, ванредни професор, ментор;

\_\_\_\_\_

др Светлана Поповић, доцент, ментор;

\_\_\_\_\_

др Александар Јокић, доцент, члан;

\_\_\_\_\_

др Радован Оморјан, редовни професор, председник;

\_\_\_\_\_

др Влада Вељковић, редовни професор, члан.