

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију</p> <p>17.07.2020. Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад, Универзитета у Новом Саду</p>
<p>2. Састав комисије са знаком 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">– Др Бојана Иконић, ванредни професор, хемијско инжењерство, 01.06.2017. Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, председник;– Др Александар Јокић, ванредни професор, хемијско инжењерство, 01.06.2016. Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, ментор;– Др Оливера Стаменковић, редовни професор, хемијско инжењерство, 11. 07. 2018. Технолошки факултет Лесковац, Универзитет у Нишу, члан;– Др Јована Граховац, ванредни професор, биотехнологија, 01.10.2017. Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, члан;– Др Наташа Лукић, доцент, хемијско инжењерство, 01.10.2017. Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, члан;
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Невенка, Лазар, Николић,</p>
<p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>24. 04. 1969. године, Сомбор, Република Србија</p>
<p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, Хемијско инжењерство, дипломирани инжењер технологије</p>

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2013. година, Хемијско 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:
Моделовање микрофилтрације култивационих течности применом концепта вештачких неуронских мрежа

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p>Докторска дисертација кандидата Невенке Николић изложена је у три целине и шест поглавља:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Увод (стр.1-2) <ol style="list-style-type: none"> 1. Циљ истраживања (стр. 3) II. Преглед литературе <ol style="list-style-type: none"> 2. Мембрански сепарациони процеси (стр. 4-8) 3. Моделовање микрофилтрације (стр. 12-27) 4. Концепт неуронских мрежа (стр. 28-40) III. Експериментални део и резултати <ol style="list-style-type: none"> 5. Материјал и метод (стр. 41-53) 6. Резултати и дискусија (стр. 54-141) 7. Закључак (стр. 142-145) 8. Литература (стр. 146-161) <p>Докторска дисертација је написана на 183 нумерисаних страна А4 формата, са 40 слика, 18 табела, 127 литературних навода и 6 прилога. Кључна документацијска информација је написана на српском и енглеском језику и приложена је на почетку докторске дисертације</p>

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p>У делу „Увод“ и поглављу “Циљ истраживања” описан је значај истраживања моделовања и симулације процеса микрофилтрације култивационих течности кроз приказ комплексности овог процеса при чему су истакнути недостаци до сада развијених модела и који су то феномени који нису довољно познати те отежавају моделовање и симулацију овог процеса. На тај начин је приказана потреба за истраживањима која су била предмет ове дисертације. Такође, дефинисани су основни и специфични циљеви реализованих истраживања.</p> <p>У делу “Преглед литературе” кроз три поглавља дат је преглед истраживања доступних у публикованој литератури који представљају основ за повезивање са реализованим експерименталним резултатима и њиховом анализом. У поглављу “Мембрански сепарациони процеси” сажето је приказана подела мембранских сепарационих процеса према погонској сили, дате су основне карактеристике процеса микрофилтрације у зависности од режима протицања</p>

напојне смеше са прегледом поступака који доприносе побољшаној ефикасности процеса. У поглављу “Моделовање микрофилтрације” дат је преглед истраживања предвиђања флукса пермеата и механизма који утичу на прљање мембране кроз резвијене теоријске, семитеоријске и емпиријске моделе при чему је истакнута проблематика моделовања овог процеса и недостатак до сада развијених модела.

У поглављу “Концепт неуронских мрежа” дата је компаративна анализа биолошког и вештачког неурона и дефинисан је концепт принципа рада вештачких неуронских мрежа. У подпоглављу „Вештачке неуронске мреже у моделовњу микрофилтрације“ дат је преглед досадашњих истраживања и ефеката примене концепта неуронских мрежа на моделовање процеса микрофилтрације са истакнутом перспективом ових система као алтернативе класичном приступу моделовања. Такође, истакнути су и неразјашњени ставови у литератури који су односе на избор тока информација кроз неуронску мрежу, начина обучавања неуронских мрежа, као и избора улазних променљивих.

Део „Експериментални део и резултати“ организован је кроз два поглавља. У поглављу „Материјал и метод“ дате су поставке експеримента и услова под којим су истраживања реализована са информацијама о избору улазних пројектних променљивих са детаљним описом тока експеримента који је обухватио начин избора архитектуре, активационе функције, обраде улазних података, начин одређивања броја неурона у скривеном слоју, као и индикатора нивоа генерализације. Експериментални подаци за развој модела неуронске мреже прикупљени су из реализованих експеримената микрофилтрације култивационих течности добијених током узгајања биомасе микроорганизама *Streptomyces hygroscopicus* и *Bacillus velezensis* при различитим условима микрофилтрације, у системима са и без примене хидродинамичких метода побољшања флукса пермеата и комбиновања ових метода. Независне улазне променљиве и њихови распони приказани су табеларно. Такође, дат је опис примењених алгоритама обуке вештачких неуронских мрежа који су се користили за предвиђање флукса пермеата и специфичне потрошње енергије.

У поглављу „Резултати и дискусија“ приказани су резултати испитивања која су обухватила развој и валидацију десет различитих модела, базираних на вишеслојној нерекуретној неуронској мрежи. Приказ резултата прати задати циљ истраживања докторске дисертације. Поглавље је организовано у шест подпоглавља у којима су постигнути резултати образложени са аспекта предикционе способности анализираних модела. Резултати су дати табеларно у оквиру прилога, а графичким приказом су издвојени оптимални алгоритми који су детаљно анализирани са аспекта утврђивања оптималног броја неурона у скривеном слоју. Као индикатори нивоа генерализације и параметара учинка обуке неуронске мреже испитивани су коефицијент детерминације и средња квадратна грешка. У подпоглављу „Моделовање микрофилтрације током угушћивања“ приказана је анализа развијених модела неуронских мрежа у режиму са и без присуства промотора турбуленције микрофилтрације култивационе течности микроорганизама *Streptomyces hygroscopicus* у условима угушћивања, као и обједињених експерименталних резултата оба режима. У подпоглављу „Моделовање микрофилтрације током рецикулације напојне смеше“ приказана је анализа развијених модела неуронских мрежа у режиму са и без присуства промотора турбуленције микрофилтрације култивационе течности микроорганизама *Bacillus velezensis* у условима рецикулације напојне смеше, као и обједињених експерименталних резултата оба режима. У подпоглављу „Моделовање микрофилтрације у условима двофазног тока“ и подпоглављу „Моделовање микрофилтрације у условима комбиноване примене промотора турбуленције и двофазног тока“ приказана је анализа развијених модела неуронских мрежа у режиму са удубавањем ваздуха у ток напојне смеше и режиму комбиноване примене хидродинамичких метода побољшања флукса пермеата микрофилтрације култивационе течности микроорганизама *Bacillus velezensis*. У подпоглављу „Моделовање обједињених података микрофилтрације култивационе течности *Bacillus velezensis*“ приказана је анализа развијених модела неуронских мрежа којом су се објединили експериментални резултати у циљу добијања једне јединствене неуронске мреже за симулацију свих метода побољшања флукса. Подпоглавље „Моделовање микрофилтрације у стационарним условима“ организовано је у две секције. Развој модела за процену побољшања флукса у стационарним условима услед примене метода побољшања флукса пермеата обрађен је у секцији „Моделовање стационарног флукса“, а у секцији „Моделовање специфичне потрошње енергије“ развијени су модели за процену ефикасности

примењене методе побољшања флукса у стационарним условима. Валидација и верификација утврђених оптималних модела извршена је линеарном регресијом која је у сваком од подпоглавља представљена графички, а квалитет линеарног регресионог модела је процењен преко корелационог коефицијента и коефицијента детерминације за сваки од испитиваних режима микрофилтрације. Резултати сваког верификованог модела детаљније су анализирани расподелом апсолутне релативне грешке, а компаративном анализом добијених симулационих резултата потврђен је генерализацијски капацитет модела. Квантификовањем утицаја улазних променљивих на предвиђање флукса пермеата и специфичне потрошње енергије моделом неуронске мреже анализиран је њихов релативни утицај који је детаљно образложен.

У Поглављу “Закључак” јасно су изложена закључна разматрања и сумирање резултата истраживања до којих се дошло на основу анализе и дискусије резултата.

Поглавље “Литература” садржи 126 литературна навода по алфавитном реду. Избор литературе је изведен на основу значаја за област истраживања ове дисертације.

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

M23 - Рад у међународном часопису

Jokić, A., Nikolić, N., Lukić, N., Grahovac, J., Dodić, J., Rončević, Z., Šereš, Z. Dynamic Modeling of *Streptomyces hygroscopicus* Fermentation Broth Microfiltration by Artificial Neural Networks, Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 2019, 63 (4) 541-547, <https://doi.org/10.3311/PPCh.13866>

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживања примене концепта вештачке неуронске мреже на моделовање микрофилтрације култивационих течности у условима угушћивања, у условима рецикулације напојне смеше, у условима двофазног тока, у условима комбиноване примене двофазног тока и промотора турбуленције, обједињених података свих метода побољшања флукса пермеата, у стационарним условима за процену побољшања стационарног флукса услед примене метода побољшања флукса пермеата и специфичног смањења потрошње енергије спроведена у овој дисертацији систематизована су у три целине: развој модела, верификација и валидација модела и проучавање релативног утицаја улазних променљивих. Проучавањем резултата истраживања дошло се до следећих закључака:

- С обзиром на сложеност проблематике прљања мембране и да процес микрофилтрације није једноставно и лако пратити резултати испитивања јасно показују да се применом концепта неуронских мрежа могу адекватно репрезентовати експериментални резултати микрофилтрације култивационе течности микроорганизама *Streptomyces hygroscopicus* и *Bacillus velezensis*.
- Број неурона у скривеном слоју варира од 7 до 13 у зависности од режима извођења микрофилтрације што указује на знатну комплексност механизма који утичу на флукс пермеата и истиче оправданост примене концепта неуронских мрежа за моделовање ових система.
- Анализом коефицијента детерминације и вредности минимане средње квадратне грешке од десет анализираних модела најбољу способност генерализације и предикције показао је модел неуронске мреже обучаван Levenberg-Marquardt алгоритмом
- Високе вредности коефицијента корелације указују на одличне предиктивне могућности неуронске мреже да процени вредност флукса пермеата без потребе за извођењем додатних експерименталних резултата микрофилтрације у посматраном експерименталном опсегу.
- Анализа апсолутне релативне грешке код свих модела микрофилтрације показала је веома добро

предвиђање пошто је у распону од 81% до 100% података имало грешку мању од 10%, а коефицијент детерминације у распону од 0,98091 до 0,99976 указује да мрежа не може да објасни мање од 2% варијација у систему.

- Модел неуронске мреже микрофилтрације култивационе смеше микроорганизама *Bacillus velezensis* у ком су обједињени експериментални резултати у циљу добијања једне јединствене неуронске мреже за симулацију свих метода побољшања флукса показао је одличне резултате с обзиром да мрежа није могла да објасни око 0,8% варијација у систему.
- Време микрофилтрације има највећи утицај на динамичку промену флукса пермеата, са степеном значајности од 50% до 83%.
- Закључено је да удувавање ваздуха доприноси компримованијој структури филтрационе погаче због карактеристичне специфичне просторне организације штапићастих ћелија микроорганизама соја *Bacillus velezensis* у структури филтрационе погаче која утиче на смањење флукса пермеата услед већег отпора протицању, а синергично деловање удувавања ваздуха и промотора турбуленције изазва интензивне турбуленције у систему које могу довести до толиког стањивања дебљине филтрационе погаче да се изазвати појачано унутрашње прљање.
- Привидна брзина напојне смеше показује највећи утицај на флукса пермеата у стационарним условима и специфичну потрошњу енергије
- Комбиновани поступак примене промотора турбуленције и двофазног тока постиже најмањи губитак хидрауличне снаге од свих примењених метода због чега се показао као најефикаснији у погледу специфичне потрошње енергије.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Резултати истраживања докторске дисертације кандидата Невенке Николић су систематично и прегледно приказани као графички тако и табеларно. Приказ резултата прати њихова детаљна дискусија, уз коментаре са релевантним литературним подацима. Закључци су изведени у складу са добијеним резултатима и њиховом дискусијом. У складу са тим, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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

Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Докторска дисертација садржи све неопходне елементе за разумевање обрађене теме и добијених резултата.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Обзиром да је поступак микрофилтрације комплексан јер су појаве у процесу веома сложене тако да се не могу једноставно представити у форми математичких једначина теза уводи примену концепта неуронских мрежа за моделовање микрофилтрације комплексних смеша попут култивационих течности. Развијени модели могу дати поуздане резултате у краћем временском периоду него што је то случај са испитивањима у реалним условима или применом постојећих теоријских и емпиријских модела. Реализацијом ових истраживања развијени су динамички модели предвиђања флукса пермеата који на адекватан начин симулирају понашање система и описују зависности од појединих процесних параметара (трансмембрански притисак, проток течности и ваздуха и време филтрације). Такође, реализованим истраживањем у великој мери су проширена знања о могућности повезивања резултата различитих примењених поступака за побољшање флукса пермеата једним свеобухватним

моделом неуронске мреже. Развијена методологија предвиђања стационарног флуksа пермеата и специфичне потрошње енергије требало би да у потпуности да свој допринос и са практичног инжењерског становишта примене модела неуронске мреже као важног алата приликом пројектовања, прорачуна и оптимизације реалних микрофилтрационих система

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

У дисертацији нису уочени недостаци.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

На основу позитивне оцене докторске дисертације кандидата дипл. инж. Невенке Николић под називом “Моделовање микрофилтрације култивационих течности применом концепта вештачких неуронских мрежа” Комисија предлаже да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана овог рада.

У Новом Саду, 22. 07. 2020

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Председник

Др Бојана Иконић, ванредни професор,
Технолошки факултет Нови Сад

Члан-ментор

Др Александар Јокић, ванредни професор
Технолошки факултет Нови Сад

Члан

Др Оливера Стаменковић, редовни професор,
Технолошки факултет Лесковац, Универзитет у Нишу,

Члан

Др Јована Граховац, ванредни професор,
Технолошки факултет Нови Сад

Члан

Др Наташа Лукић, доцент,
Технолошки факултет Нови Сад

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.