

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
1. Датум и орган који је именовао комисију  <b>11.03.2011. године, Наставно-научно веће Технолошког факултета у Новом Саду</b>
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:  <b>1. Dr Gyula Vatai, председник комисије, редовни професор, Технолошке операције у прехранбеној индустрији Датум избора у звање: 2000. године Универзитет Corvinus, Будимпешта, Мађарска</b>  <b>2. Др Золган Заварго, ментор, редовни професор, Хемијско инжењерство Датум избора у звање: 2002. године Технолошки факултет, Нови Сад</b>  <b>3. Др Зита Шереш, ментор, доцент, Инжењерство угљенохидратне хране Датум избора у звање: 2009. године Технолошки факултет, Нови Сад</b>  <b>4. Др Михаило Перуничкић, члан, редовни професор, Хемијско инжењерство Датум избора у звање: 1990. године Технолошки факултет, Нови Сад</b>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
1. Име, име једног родитеља, презиме:  <b>Бојана, Бранко, Иконић (рођ. Проданић)</b>
2. Датум рођења, општина, република:  <b>20.03.1980. Винковци, Винковци, Р Хрватска</b>
3. Датум одбране, место и назив магистарске тезе:  <b>07.04.2009. Технолошки факултет Нови Сад, Развој и симулација отпарне станице у индустрији шећера</b>
4. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:  <b>Хемијско инжењерство</b>

### III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

## Моделовање и оптимизација процеса микрофилтрације суспензија пшеничног скроба

### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација је написана јасно и прегледно, а садржи следећа поглавља:

- Увод (стр. 8-10)
- Циљ рада (стр. 10-11)
- Мембрански сепарациони процеси (стр. 11-23)
- Микрофилтрација (стр. 23-35)
- Материјал и метод (стр. 35-43)
- Резултати и дискусија (стр. 43-106)
- Закључак (стр. 106-110)
- Литеартура (стр. 110-117)
- Прилог (стр. 117-119)

Рад садржи 119 страна А4 формата, 66 слика, 17 табела и 71 литературни навод. Поред тога уз тезу је дата Кључна документацијска информација са изводом на српском и енглеском језику у складу са важећом законском регулативом, као и Садржај и Списак слика и табела.

### V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У првом поглављу дисертације, *Увод*, истиче се значај и предности примене микрофилтрације у индустрији, са акцентом на примени у процесу прераде отпадних вода током производње и прераде скроба.

У поглављу *Циљ рада* је наведена сврха истраживања која се односи на испитивање утицаја процесних параметара на вредност флукса пермеата, примене поступка одзивне површине функције за моделовање процеса, примене статичког мешача као промотора турбуленције, као и могућност оптимизације самог процеса.

У оквиру прегледа литературе су дата два поглавља. Прво поглавље, под називом *Мембрански сепарациони процеси*, описује врсте и карактеристике мембранских сепарационих процеса, моделе преноса масе, као и величине које карактеришу ове процесе. Посебан нагласак је стављен на феномен концентрационе поларизације и задржаности мембране, јер представљају ограничавајуће факторе у примени мембранских сепарационих процеса. У другом поглављу, под називом *Микрофилтрација*, детаљно се описују главни делови микрофилтрационог система, као и два различита типа микрофилтрације у зависности од правца тока напојне смеше. У оквиру овог поглавља се разматра и примена статичког промотора турбуленције, као једне од метода за побољшање флукса пермеата. Такође, детаљно је објашњен поступак одзивне површине који се примењују за моделовање микрофилтрације суспензија пшеничног скроба, са и без примене статичког мешача као промотора турбуленције. Посебно подпоглавље је посвећено примени мембрана у технологији скроба и резултатима истраживања других аутора.

Четврто поглавље, под насловом *Материјал и метод*, подељено је на три сегмента. У сегменту *Материјал* дефинисане су мембране које су кориштене у експерименталном раду и начин припреме суспензија пшеничног скроба. Други сегмент је *Апаратура и експериментални поступак*, а у њему су детаљно описане примењене апаратуре погодне за реализацију предвиђених експеримената, чишћење мембране и дефинисане су карактеристике статичког мешача. Трећи сегмент носи наслов *Експериментални план и обрада података*. У овом поглављу дефинисане су вредности радних параметара примењених у експериментима, избор независних и зависних параметара микрофилтрације, услови испитивања утицаја статичког мешача на флуks пермеата као и поређења рада са и без постављеног статичког мешача. Овај сегмент садржи и опис статистичких метода примењених у овој дисертацији, са нагласаком на оптимизацију процеса сепарације.

Пето поглавље, *Резултати и дискусија*, је због прегледности и јасног тумачења подељено на четири дела који се односе на испитивања утицаја процесних параметара на процес микрофилтрације суспензија скроба, у лабораторијским условима применом једноканалних мембрана средњег пречника пора 200 и 500 nm, током рецикулације и концентрисања напојне суспензије, као и испитивања утицаја процесних параметара на процес микрофилтрације у полуиндустријским условима, применом једноканалне и вишеканалне мембране средњег пречника пора 200 nm, током концентрисања напојне суспензије. Приликом коришћења једноканалне мембране испитана је и оправданост коришћења статичког миксера, као промотора турбуленције, са економског аспекта. У сваком од делова одзиви су моделовани применом поступака одзивне површине, а крајњи циљ је оптимизација хидродинамичких услова извођења процеса. Добијени резултати јасно су објашњени и поткрепљени са теоријским спознајама које је кандидат акумулирао током израде дисертације.

У шестом поглављу рада, под насловом *Закључак*, кандидат разложно и јасно сумира резултате сопственог рада. Закључци су систематизовани, и посебно се наводе они који се односе на дефинисање оптималних услова и ефеката микрофилтрације суспензија скроба.

Поглавље *Литература* садржи 71 литературни навод, међу којима се налази значајан број цитата новијег датума.

#### 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

**Иконић Војана**, Zavargo Zoltan, Jokić Aleksandar, Šereš Zita, Vatai Gyula, Peruničić Mihailo: Microfiltration of wheat starch suspensions using multichannel ceramic membrane, *Hemijaska industrija*, 2010, doi:10.2298/HEMIND101129074I, rad je prihvaćen za štampu.

#### VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Резултати испитивања показују да се применом поступка одзивне површине на задовољавајућ начин могу описати утицаји процесних параметара (трансмембрански притисак, проток и концентрација суспензије) на процес cross-flow микрофилтрације суспензија пшеничног скроба, што потврђују високе вредности коефицијента детерминације за све посматране одзиве. Коефицијент детерминације у условима

рециркулације напојне суспензије кретао се у опсегу 0,945-0,998; док је у условима концентрисања напојне суспензије био у опсегу 0,786-0,998. Анализа варијансе за посматране одзиве указује на чињеницу да су сви модели статистички значајни при нивоу значајности 95% ( $p$ -вредност  $< 0,05$ ).

Испитивањем микрофилтрације суспензија пшеничног скроба на керамичким мембранама са различитим средњим пречником пора (200 и 500 nm), у условима рециркулације и концентрисања напојне суспензије уочено је да са повећањем величине пора вредност флукса пермеата опада. Разлике у вредностима стационарног флукса пермеата у условима рециркулације напојне суспензије износе од 10 до 15%, док су разлике у вредностима средњег флукса пермеата у условима концентрисања напојне суспензије мало веће и износе и до 25%. Овакво понашање је последица већег унутрашњег прљања мембране са већим пречником пора, мада је удео честица испод 1 $\mu$ m скоро занемарљив, те је доминантан отпор протицању пермеата формирање филтрационе погаче на површини мембране.

У посматраном експерименталном опсегу процесних параметара постигнуто је релативно повећање стационарног флукса од 30 до 50% на мембрани M200 и од 25% до 45% на мембрани M500 у условима рециркулације напојне суспензије, док је у условима концентрисања напојне суспензије релативно повећање средњег флукса износило од 20% до 80% на мембрани M200 и од 20 до 50% на мембрани M500. Пораст флукса до којег долази постављањем статичког мешача у канал мембране условљен је успостављањем турбулентних услова протицања и карактеристичног кретања флуида дуж канала мембране, која је последица карактеристичног повезивања хеликоидних елемената Kenics статичког мешача. Једино објашњење за ово, релативно мало повећање флукса пермеата, је специфично понашање честица скроба у суспензији. Честице скроба се веома лако и брзо таложе под дејством гравитационе силе, те је потребно непрестано, интензивно мешање да би се спречило стварање талоба. Једном створен талог је веома тешко поново довести у стање суспензије. Претпоставка је да брзина протицања није довољно велика да би се спречило интензивно стварање погаче и омогућило веће вредности релативног повећања флукса пермеата услед присуства статичког мешача.

Постављањем статичког миксера у канал мембране долази до пораста брзине протицања, али у исто време и до пада притиска дуж мембране услед повећаног отпора протицању напојне суспензије у поређењу са системом без статичког мешача, при истим протоку суспензије. Губитак хидрауличке снаге или снага потребне за циркулисање флуида расте због повећаног пада притиска дуж канала мембране што као последицу има већу потрошњу енергије. Оправданост примене статичког мешача се обезбеђује смањењем специфичне потрошње енергије у поређењу са системом без мешача. То практично значи да пораст флукса код система са статичким мешачем мора да буде толики да промена релативне специфичне потрошње енергије буде позитивна, односно да је специфична потрошња енергије система без мешача већа од оне са мешачем. Како у условима рециркулације напојне смеше, тако и у условима концентрисања, вредност релативне специфичне потрошње енергије зависи скоро искључиво од вредности протока напојне смеше. Са повећањем протока специфична потрошња енергије у присуству статичког мешача нагло расте и релативно повећање протока није довољно да би компензовало губитак хидрауличке снаге. У опсегу протока од 80 до 100 L/h су обезбеђене позитивне вредности релативне промене специфичне потрошње енергије, те је употреба статичког мешача оправдана са економског аспекта.

Оптимизација експерименталних услова урађена је применом модификованог Харрингтон-овог поступка жељене функције. У овом раду за оптимизацију микрофилтрације суспензија пшеничног скроба одабрани су одзиви стационарни флукс пермеата у системима са статичким мешачем (JSM) у условима рециркулације напојне

суспензије (средњи флуks у условима концентрисања напојне суспензије) и релативна промена специфичне потрошње енергије (ER). Циљ оптимизације је био одабир и трансмембранског притиска, протока и концентрације суспензије за које ће одабрани одзиви бити максимални, односно њихове индивидуалне жељене функције имати што већу вредност, идеално 1. Оптималне вредности трансмембранског притиска, протока и концентрације зависе од фактора значајности појединих одзива, који су ранжирани од 1 до 5.

Оптимални услови извођења процеса микрофилтрације суспензија пшеничног скроба у условима рецикулације напојне суспензије указују да је процес потребно изводити при максималној вредности трансмембранског притиска око 0,9 бара, протоцима од 85 до 100 L/h и концентрацији од 5 до 6 g/L, на обе посматране мембране. Са порастом протока не долази до значајније промене вредности стационарног флуksа пермеата у систему са статичким мешачем, док релативна промена специфичне потрошње енергије знатно опада и постаје негативна. Негативне вредности релативне промене специфичне потрошње енергије указују да употреба статичког мешача није оправдана, са економског аспекта, јер повећање флуksа пермеата није довољно да би компензовало повећану потрошњу енергије која се јавља као последица већег пада притиска у систему са статичким мешачем.

Оптимални услови извођења процеса микрофилтрације суспензија пшеничног скроба у условима концентрисања напојне суспензије указују да је процес потребно изводити при максималној вредности трансмембранског притиска од 0,9 бара, протоцима од 85 до 100 L/h и концентрацији од 5 до 7 g/L на мембрани M200, док је на мембрани M500 процес потребно изводити при вредности трансмембранског притиска 0,85 бара, протоку од 85 до 100 L/h и концентрацији око 7 g/L. Са порастом протока не долази до значајније промене средњег флуksа пермеата у систему са статичким мешачем, док релативна промена специфичне потрошње енергије знатно опада и постаје негативна, што резултира неисплативошћу употребе статичког мешача.

Поред испитивања на лабораторијској апаратури, циљ овог рада је био и испитивање утицаја процесних параметара у полуиндустријским условима, односно како шири опсег вредности трансмембранског притиска и протока суспензије утиче на поменуте одзиве у условима концентрисања напојне суспензије. Испитивање у условима концентрисања је одабрано из разлога што веће сличности са технолошким процесом производње скроба, односно поступком прераде отпадне воде.

Експериментални резултати промене флуksа пермеата могу се на адекватан начин апроксимовати полиномом другог степена. Високе вредности коефицијента детерминације за све посматране одзиве указују на оправданост овог приступа. Вредности коефицијента детерминације су у опсегу од 0,899 за релативно повећање флуksа пермеата у присуству статичког мешача, до 0,990 за флуks пермеата са статичким мешачем.

Примена статичког мешача, као промотора турбуленције, доводи до повећања средњег флуksа пермеата од 30% до скоро 200%, што у многоме скраћује процес концентрисања суспензије скроба. Са повећањем протока долази до значајног пада притиска дуж мембране, где повећање средњег флуksа услед примене статичког мешача није довољно да компензује губитак хидрауличке снаге, па је област примене ограничена на мале протоке.

За оптимизацију микрофилтрације суспензија пшеничног скроба у условима концентрисања напојне суспензије у полуиндустријским условима одабрани су одзиви средњи флуks пермеата у системима са статичким мешачем (JSM) и релативна промена специфичне потрошње енергије (ER). Циљ оптимизације био је одабир трансмембранског притиска, протока и концентрације суспензије за које ће изабрани одзиви бити максимални, односно њихове индивидуалне жељене функције имати што

већу вредност, идеално 1. Уочено је да су вредности укупне жељене функције доста ниске (од 0,639 до 0,820) јер долази до раскорака у случају веће вредности средњег флуksа пермеата на већим протоцима, а самим тим до велике специфичне потрошње енергије услед великог пада притиска. Само у случају када средња вредност протока има већи ниво значајности у односу на релативну промену специфичне потрошње енергије, коришћење статичког миксера као промотора турбуленције је оправдано са економског аспекта због позитивне вредности ER. Оптимални услови извођења процеса микрофилтрације суспензија пшеничног скроба указују да је процес потребно изводити при вредности трансмембранског притиска око 2,3 бара, минималном протоку 100 L/h и минималној концентрацији од 5 g/L.

У опсегу протока од 100 до 500 L/h, проток представља параметар са највећим утицајем на средњи флуks пермеата у систему без статичког мешача за разлику од ужег опсега процесних параметара (у лабораторијским условима, проток од 80 до 180 L/h) где је значајнији утицај концентрације и трансмембранског притиска. Може се претпоставити да тек при протоцима већим од 200 L/h долази до интензивнијег одношења честица скроба са површине мембране, што има нарочито позитиван ефекат на вредност почетног флуksа пермеата у условима концентрисања напојне суспензије.

Испитивања на вишеканоалној керамичкој мембрани показују да се експериментални резултати промене средњег флуksа пермеата у функцији трансмембранског притиска, протока и концентрације суспензије могу на адекватан начин апроксимовати полиномом другог степена, са коефицијентом детерминације 0,963. Највећи утицај на вредност средњег флуksа пермеата има трансмембрански притисак, јер су при истом протоку као у случају једноканоалне мембране обезбеђене веће брзине протицања кроз канале мембране који су 2,8 пута мањи у пречнику. При максималном протоку суспензије, са повећањем трансмембранског притиска средњи флуks пермеата расте око 200%. Оптимални услови извођења процеса микрофилтрације суспензија скроба применом вишеканоалне керамичке мембране су максимална вредност трансмембранског притиска (3 бара), максимална вредност протока (500 L/h) и минимална почетна концентрација напојне суспензије (5 g/L).

#### VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Докторска дисертација мр Бојане Иконић дипл. инг. технологије, под насловом "**Моделовање и оптимизација процеса микрофилтрације суспензија пшеничног скроба**" произашла је из веома обимног лабораторијског истраживања. Експериментално добијени резултати рада су актуелни, јасно приказани табеларно и графички, статистички правилно обрађени и тумачени на основу литературних података и теоријских спознаја, при чему пружају корисне информације за даљу примену процеса микрофилтрације у технологији производње и прераде скроба.

#### IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Комисија констатује да докторска дисертација под насловом "**Моделовање и оптимизација процеса микрофилтрације суспензија пшеничног скроба**" кандидата мр Бојане Иконић дипл. инг. технологије садржи све елементе образложене и прихваћене одобреном темом. Циљ истраживања који обухвата испитивање примене поступка одзивне површине приликом описивања утицаја посматраних процесних параметара на процес микрофилтрације суспензија скроба је постигнут, предвиђени експерименти су реализовани, одређени су оптимални услови извођења процеса, као и услови при којима је коришћење статичког мешача као промотора турбуленције оправдано са економског аспекта, те приказани резултати доприносе потпунијем разумевању комплексности самог процеса микрофилтрације.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене урађене докторске дисертације под насловом

**Моделовање и оптимизација процеса микрофилтрације суспензија  
пшеничног скроба**

комисија предлаже да се докторска дисертација прихвати, а да се кандидат

**мр Бојана Иковић, дипл. инж. технологије**

позове на јавну одбрану.

Нови Сад, Март, 2011. године

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

---

**Др Михаило Перуничкић, члан,**  
редовни професор Технолошког факултета у Новом Саду