

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Мр Рајко Радовановић

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовео комисију
06.05.2016. године, Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад
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:
 1. **др Јарослава Будински-Симендић**, редовни професор, Синтетски полимери, 17.10.2007. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, председник комисије
 2. **др Бранка Пилић**, ванредни професор, Инжењерство материјала, 01.10.2011. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, ментор
 3. **др Мирјана Јовичић**, доцент, Инжењерство материјала, 19.04.2013. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, ментор
 4. **др Оскар Бера**, доцент, Хемијско инжењерство, 17.01.2013. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, члан
 5. **др Себастијан Балаш**, доцент, Наука о материјалима и инжењерски материјали, 19.05.2011. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад, члан

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:
Рајко, Милан, Радовановић
2. Датум рођења, општина, држава:
04.07.1955., Гајдобра, Бачка Паланка, Република Србија
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив
Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, Хемијско инжењерство, дипломирани инжењер технологије
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија
-
5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:
Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, „Реологија ПВЦ композиција као изолационих материјала“, Хемијско-технолошке науке, 13.02.1987.

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
Хемијско-технолошке науке, ужа научна област Инжењерство материјала, Прерада полимера

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Утицај састава поливинилхлоридних смеша и технолошких услова производње на својства пенастих подних облога

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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

1. Увод (стр. 1-3)
2. Теоријски део (стр. 4-51)
3. Експериментални део (стр. 52-68)
4. Резултати и дискусија (стр. 69-103)
5. Закључци (стр. 104-107)
6. Литература (стр. 108-118)
7. Прилози (стр. 119-130)

Докторска дисертација је написана на 130 страница А4 формата, у 7 поглавља, са 49 слика и 30 табела. Цитирано је 128 литературних навода. Поред тога, у дисертацији је дата Кључна документацијска информација са изводом на српском и енглеском језику.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У првом поглављу дисертације, **Уводу**, истакнут је значај пенастих материјала, нарочито полимерних пена које имају веома широку примену захваљујући малој густини, добрим топлотним својствима, доброј звучној и електричној изолацији, а релативно високој чврстоћи. Наглашено је да се поливинилхлорид (ПВЦ) наметнуо као један од најчешће коришћених материјала за производњу пенастих подних облога. Истакнуто је да је циљ овог рада испитивање утицаја састава ПВЦ пасте и услова прераде (температуре и времена експанзије полеђинског слоја ПВЦ подне облоге) на појединачна својства пенастог ПВЦ производа и проналажење математичког модела којим би се показало са каквим рецептурама и при којим процесним условима се добијају финални производи жељених својстава.

На почетку поглавља **Теоријски део** дати су подаци о обиму производње и потрошње поливинилхлорида, као и разноликости употребе ПВЦ-а. Посебан акценат је стављен на производњу подних облога од поливинилхлорида, односно вишеслојних производа, који у својој конструкцији најчешће имају два пенаста ПВЦ слоја. Дат је детаљан преглед производње и потрошње подних облога у свету, а посебно су дати подаци за Русију, пошто руско тржиште има највећи обим производње и потрошње. Истакнуто је да имајући у виду све предности ПВЦ подних облога не изненађује што производња и примена хетерогених ПВЦ подних облога непрекидно расту и заузимају значајан удео у укупном тржишту подних облога. Детаљно су описане полимерне пене које представљају напуњене композите код којих се у својству пуниоца користи ваздух или неки други гас. Истакнуто је да се у зависности од услова формирања, степена напуњености гасом и морфолошке грађе мењају својства производа. Уведен је појам гасно структурног елемента који представља структуру састављену од чврсте и гасне фазе које се периодично понављају градећи макроструктуру пене. Описани су начини добијања пенастих полимерних материјала, и основни механизми процеса пењења: мешање полимера и средства за експанзију, процеси дифузије и растварања средства за експанзију у полимерној матрици, процеси нуклеације гасних мехурова у течном полимеру, као и процес раста и стабилизације мехурова, тј формирање коначне структуре гасом напуњеног полимерног материјала. Такође, у Теоријском делу описан је састав полимерних смеша које се користе за производњу пена. ПВЦ пасте за производњу пенастих производа се најчешће састоје од поливинилхлорида (основни градивни материјал), пластификатора (материјал за омекшавање полимера који обезбеђује флексибилност и

основне употребне вредности), пунила (материјал заслужан за добра механичка својства и економичност), средства за експанзију, као и разних додатака који могу да олакшају процес производње и прераде и побољшају коначна својства производа. Детаљно су описана својства најзначајнијих хемијских средстава за експанзију. То су једињења која на одређеним температурама лако испаравају или долази до њихове разградње, при чему настају велике количине гасова или пара које формирају хелијску структуру у полимерној матрици. Посебно је детаљно описан азодикарбонамид (АДЦ), као најзначајније и најчешће коришћено средство за експанзију поливинилхлорида. Описан је процес распада чистог АДЦ, као и распада АДЦ уз учешће различитих активатора („кикера“) чијим додатком се значајно мења механизам и кинетика процеса пењења. У Теоријском делу дат је детаљан преглед литературе из ове области.

У **Експерименталном делу** поновљен је циљ рада и дате основне карактеристике компонената које су коришћене за припрему ПВЦ паста. Аутор је детаљно описао рецептуре и поступак умешавања свих компоненти. Да би се испитао утицај састава поливинилхлоридних смеша на својства пенастих подних облога припремљено је 27 различитих рецептура, при чему су вариране: концентрације калцијумкарбоната (40, 70 и 100 пхр); концентрације средства за експанзију, азодикарбонамида АДЦ (0,8, 1,0 и 1,2 мас. % у односу на укупну масу), као и однос активатора („кикера“) и средства за експанзију (0,33; 0,50 и 0,67). Да би се проучио утицај различитих процесних параметара на својства ПВЦ подних облога мењани су и технолошки услови производње: температура (180, 184, 188, 192 и 196 °C) и време (90, 120 и 150 секунди) експандирања ПВЦ пасте. На тај начин је од сваке ПВЦ пасте добијено 15 узорака, а пошто је припремљено 27 различитих рецептура, укупан број узорака чија су својства одређивана је 405. Одређена су следећа својства добијених ПВЦ подних облога према стандардима који се користе у производњи хетерогених ПВЦ подних облога: степен експанзије, затезна сила при кидању, прекидна сила кидања, затезно издужење, прекидно издужење, почетни отпор цепању, отпор цепању, укупна деформација, заостала деформација, повратна еластичност, густина пене и индекс жућења. Испитан је и утицај величине честице цинкоксида који је употребљен као „кикер“ (средство које утиче на смањење температуре распада азодикарбонамида) на својства пенастих подних облога. Направљене су две ПВЦ пасте, једна са комерцијалним цинкоксидом са средњом величином честица од 0,5 μm , а друга са нано цинкоксидом просечне величине честица од 20 nm, при чему је састав осталих компоненти био идентичан, према рецептури М24. Поред својстава која су одређивана за све узорке за ове узорке су додатно испитана и топлотна својства помоћу диференцијално сканирајуће калориметрије и термогравиметријске анализе. Велики број рецептура и експерименталних метода говори о свеобухватном приступу проучавања утицаја процесних параметара на својства пенастих подних облога.

У поглављу **Резултати и дискусија** јасно и прегледно су приказани и дискутовани многобројни резултати. Ово поглавље се састоји из три дела. У првом делу урађена је обрада добијених експерименталних података статистичком методом вишеструке линеарне регресионе анализе, како би се проценили утицаји појединачних процесних параметара (концентрације калцијумкарбоната, концентрације средства за експанзију, однос активатора („кикера“) и средства за експанзију, као и времена и температуре експандовања) на свако од испитиваних својства. Регресионом анализом је утврђена статистичка значајност извршених мерења, у циљу утврђивања поузданости добијених резултата, одређивањем коефицијента корелације, а на основу добијених једначина и коефицијената уз променљиве утврђено је и у којој мери појединачни процесни параметри утичу на испитивано својство. Познавање утицаја сваког појединачног процесног параметра, омогућава да се са великом дозом сигурности одреде рецептуре и производни услови како би се добио производ жељених својства. У другом делу поглавља Резултати и дискусија утицај различитих улазних променљивих на својства ПВЦ подних облога је успешно одређен применом вештачких неуронских мрежа са оптимизованим бројем скривених неурона. Модели *Garson*-а и *Yoon*-а су примењени за израчунавање и описивање доприноса процесних параметара у вештачкој неуронској мрежи. Аутор је детаљно и јасно протумачио добијене резултате. Уочено је да резултати добијени применом модела по *Garson*-у нису погодни за одређивање утицаја састава ПВЦ смеше и услова прераде на коначна својства производа, јер не показују правац

утицаја (да ли процесни параметар утиче на повећање или смањење одређиваног својства, јер се у једначини узимају апсолутне вредности). Док је, захваљујући написаном оригиналном програмском коду за неуронску мрежу на основу *Yoon*-овог модела добијена функција која омогућава да се унесу експериментални параметри и израчунају (предвиде) излази, односно својства ПВЦ пена. Такође, могуће је уносом жељених својстава израчунати потребне параметре при производњи ПВЦ пена, тако да ова функција омогућава оптимизацију целокупне производње пенастих подних облога, тј да се пројектују оптималне рецептуре и процесни услови у којим је могуће добити производе жељених својстава, што је потврђено и у пракси. У трећем делу поглавља Резултати и дискусија испитан је и утицај величине честице цинкооксида који је употребљен као „кикер“ на својства пенастих подних облога. На основу добијених експерименталних податка дискутовано је да код узорака у којима је употребљен нано цинкоксид долази до интензивнијег „цурења“ гаса насталог распадом АДЦ и међусобног повезивања пора. Као последица овакве структуре пора узорци са нано цинкоксидом имају лошија механичка својства. На основу термогравиметријске анализе ових узорака није уочен утицај величине честица цинкооксида на термичку стабилност испитиваних узорака. Сви резултати испитивања су разложно и јасно протумачени и повезани са савременим теоријским сазнањима.

У оквиру поглавља **Закључци** аутор је разложно и јасно сумирао резултате истраживања и правилно формулисао закључке. Јасно је представљен научни допринос дисертације изучавању и разумевању утицаја процесних параметара на својства поливинилхлоридних пенастих подних облога.

У писању ове дисертације аутор је користио 128 литературних навода, који су цитирани на јасан и правилан начин у поглављу **Литература**. Избор референци је актуелан и примерен тематици која је проучавана.

У последњем поглављу под називом **Прилози**, које садржи 12 целина, дати су експериментални подаци добијени на основу резултата појединих метода и представљају допуну поглавља Резултати и дискусија.

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 часопису међународног значаја:

1. **Radovanović R.**, Jašo V., Pilić B., Stoiljković D., Effect of PVC plastisol composition and processing conditions on foam expansion and tear strength, *Hemijska industrija* 68 (2014) 701-707.
2. **Radovanović R.**, Jovičić M., Bera O., Pavličević J., Pilić B., Radičević R., The use of artificial neural networks for mathematical modeling of the effect of composition and production conditions on the properties of PVC floor coverings, *Hemijska industrija* DOI:10.2298/HEMIND151015012R.

M52 – Рад у часопису националног значаја:

1. **Radovanović R.**, Jovičić M., Bera O., Pavličević J., Pilić B., Radičević R., Kretanja na tržištu poli(vinil-hlorida) i PVC podnih obloga, *Svet Polimera*, ISSN 1450-6734, u štampi
2. **Radovanović R.**, Jovičić M., Bera O., Pavličević J., Pilić B., Radičević R., Uticaj sastava i uslova proizvodnje na svojstva PVC podnih obloga, *Svet Polimera*, ISSN 1450-6734, u štampi.

M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини:

1. **Radovanović R.**, Jovičić M., Pilić B., Effect of PVC plastisol composition and processing condition on tensile resistance, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry “PHYSICAL CHEMISTRY 2014”, Belgrade, Serbia, September 22-26, 2014, Proceedings Vol. 2, 799-802.

2. **Radovanović R.**, Bera O., Jovičić M., Pavličević J., Pilić B., Vukić N., Radičević R., Matematičko modelovanje uticaja sastava PVC plastisola i uslova proizvodnje na svojstva PVC podnih obloga primenom veštačkih neuronskih mreža, VIII međunarodni naučni skup Savremeni materijali 2015, Banja Luka, 6-7 septembra, 2015., u štampi.
3. **Radovanović R.**, Jovičić M., Bera O., Pavličević J., Radusin T., Vukić N., Pilić B., Uticaj uslova proizvodnje na toplotna svojstva penastih vinilnih podova, VIII međunarodni naučni skup Savremeni materijali 2015, Banja Luka, 6-7 septembra, 2015., u štampi.

M64 – Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу:

1. **Radovanović R.**, Bera O., Jovičić M., Pavličević J., Pilić B., Određivanje uticaja procesnih parametara na mehanička svojstva PVC podnih obloga primenom veštačkih neuronskih mreža, XI Simpozijum “Savremene tehnologije i privredni razvoj”, Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet, Leskovac, 23-24. oktobar 2015., Zbornik izvoda radova, str. 95.
2. **Radovanović R.**, Jovičić M., Bera O., Pavličević J., Radusin T., Pilić B., Uticaj procesnih parametara na termička svojstva PVC pena, XI Simpozijum “Savremene tehnologije i privredni razvoj”, Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet, Leskovac, 23-24. oktobar 2015., Zbornik izvoda radova, str. 96.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу изнесених теоријских претпоставки и експерименталних резултата, на крају су наведена најзначајнија запажања и потврде истраживања из области утицај састава поливинилхлоридних смеша и технолошких услова производње на својства пенастих подних облога. Овим истраживањима остварени су следећи резултати:

- Резултати добијени експерименталним путем, обрађени су статистичком методом вишеструке линеарне регресионе анализе, утврђена је статистичка значајност извршених мерења, у циљу утврђивања поузданости добијених резултата, одређивањем коефицијента корелације, а на основу добијених једначина и коефицијената уз променљиве утврђено је и у којој мери појединачни процесни параметри утичу на испитивано својство. Познавање утицаја сваког појединачног процесног параметра, омогућава да се са великом дозом сигурности одреде рецептуре и производни услови како би се добио производ жељених својстава.
- Утицај различитих улазних променљивих на својства ПВЦ подних облога одређен је применом вештачких neuronskih mreža са оптимизованим бројем скривених неурона. Модели *Garson*-а и *Yoon*-а су примењени за израчунавање и описивање доприноса процесних параметара у вештачкој neuronskoј мрежи. Резултати добијени применом модела по *Garson*-у нису погодни за одређивање утицаја састава ПВЦ смеше и услова прераде на коначна својства производа, јер не показују правац утицаја.
- Помоћу *Yoon*-овог модела успешно је формирана neuronska мрежа која омогућава да се унесу експериментални параметри и израчунају (предвиде) излази, односно својства ПВЦ пена. Такође, могуће је уносом жељених својстава израчунати потребне параметре при производњи ПВЦ пена, тако да ова функција омогућава оптимизацију целокупне производње пенастих подних облога, тј да се пројектују оптималне рецептуре и процесни услови у којим је могуће добити производе жељених својстава, што је потврђено и у пракси.
- Испитан је утицај величине честице цинкоксида који је употребљен као „кикер”, средство које утиче на смањење температуре распада АДЦ, на својства пенастих подних облога. На основу израчунатих вредности за степен експанзије, закључено је да се употребом нано цинкоксида добијају узорци већег степена експанзије при блажим технолошким условима производње (нижа температура и краће време експанзије), док се код узорака који су експандовани у дужем времену не уочавају разлике у вредностима степена експанзије. Као последица већег степена експанзије структура пене код узорака са нано цинкоксидом је отворенија и „искиданија” због појачане

- тежње за „цурењем” гаса насталог распадом АДЦ.
- На основу експерименталних података добијених за количину упијене воде још једном је потврђено да је више отворена порозна структура узорака са нано „кикером” узрокована интензивнијом активношћу АДЦ и „цурењем” гаса. Закључено је да узорци са нано цинкоксидом као последица такве структуре пора имају лошија механичка својства.
 - На основу ДСЦ резултата закључено је да се у испитиваном опсегу од 30 до 200 °C налазе два прелаза. Први прелаз је прелаз другог реда и представља температуру преласка у стакласто стање. Сви испитивани узорци имају приближно исте вредности температуре преласка у стакласто стање (у опсегу од 59,8 до 62,4 °C), што значи да време пењења, температура пењења, као и величина честица цинкоксида немају утицаја на вредности овог прелаза. Егзотермни пик који се јавља само код узорака са комерцијалним цинкоксидом који су експандовани при блажим процесним условима представља егзотермну реакцију распада АДЦ, што је потврђено снимањем узорка који није експандован, с тим да је површина пика мања што је виша температура пењења и дуже време пењења, односно мања је количина не изреагованог АДЦ.
 - На основу података добијених термогравиметријском (ТГ) анализом закључено је да сви испитивани узорци имају два степена деградације. Први степен деградације је последица издвајања хлороводоника из основног ланца полимера, док је други ступањ разградње последица деполимеризације основног угљоводоничног ланца и јавља се на вишим температурама, јер је потребно више енергије да се раскину угљоводоничне везе у основном ланцу. На основу добијених карактеристичних температура на ТГ кривама није уочен утицај величине честица цинкоксида на термичку стабилност испитиваних узорака.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Докторска дисертација мр Рајка Радовановића, под насловом „Утицај састава поливинилхлоридних смеша и технолошких услова производње на својства пенастих подних облога” произашла је из веома обимног лабораторијског истраживања. Бројни резултати испитивања су систематично, јасно и прегледно приказани, статистички правилно обрађени и интерпретирани. Дискусија резултата је заснована на добром познавању истраживане научне области и научним сазнањима. Начин приказа и тумачење резултата истраживања оцењује се позитивно.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Дисертација садржи све битне елементе.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Дисертација је урађена на научно коректан и стручан начин, тема је актуелна, а добијени резултати и изведени закључци представљају јасан допринос науци на фундаменталан и практичан начин. Циљеви рада, постављени пре почетка истраживања, успешно су испуњени. Ова дисертација дала је нова сазнања о сложеном утицају састава поливинилхлоридних смеша и технолошких услова производње на својства пенастих подних облога, што може допринети бољој контроли процеса у пракси и предвиђању коначних својстава производа без скувих проба. На основу обимног експерименталног истраживања изведени су закључци о утицају процесних параметара на испитивана својства значајна за пенасте подне облоге. Допринос дисертације је и предложена неуронска мрежа која одлично предвиђа експерименталне податке, и пронашла је примену у индустрији за производњу подних облога

чиме је потврђен практични значај резултата дисертације.
Научни допринос резултата истраживања верификован је објављивањем радова у међународним и домаћим часописима, као и презентовањем резултата на међународним и домаћим скуповима у целини и изводу.

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

X ПРЕДЛОГ:

Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата **мр Рајка Радовановића** под називом „**Утицај састава поливинилхлоридних смеша и технолошких услова производње на својства пенастих подних облога**“ и предлаже да се прихвати ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ, а кандидату одобри одбрана дисертације.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Јарослава Будински-Симендић, редовни професор,
Технолошки факултет Нови Сад, председник комисије

др Бранка Пилић, ванредни професор,
Технолошки факултет Нови Сад, ментор

др Мирјана Јовичић, доцент
Технолошки факултет Нови Сад, ментор

др Оскар Бера, доцент
Технолошки факултет Нови Сад, члан

др Себастиан Балаш, доцент
Факултет техничких наука Нови Сад, члан

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.