

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Весна Теофиловић (рођ. Симендић), дипл. инж - магст.

**I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ**

1. Датум и орган који је именовео комисију  
**27.06.2019. године, Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад**
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 Оскар Бера**, ванредни професор, ужа област Хемијско инжењерство, изабран 01.02.2018. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, председник комисије
  2. **др Јелена Павличевић**, ванредни професор, ужа област Хемијско инжењерство, изабрана 15.10.2017. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, члан
  3. **др Мирјана Јовичић**, ванредни професор, ужа област Инжењерство материјала, изабрана 01.05.2018. године, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет Нови Сад, ментор-члан
  4. **др Себастијан Балаш**, ванредни професор, ужа област Материјали и технологије спајања, изабран 19.05.2016. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад, члан.

**II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

1. Име, име једног родитеља, презиме:  
**Весна, Борислав, Теофиловић (рођ. Симендић)**
2. Датум рођења, општина, држава:  
**30.09.1984., Нови Сад, Нови Сад, Србија**
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив  
**Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Графичко инжењерство и дизајн, дипломирани инжењер графичког инжењерства и дизајна – мастер**
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија  
**2009. година, Инжењерство материјала.**
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:

**Структурирање и одређивање кинетике реакција настајања функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола**

### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација је написана јасно и прегледно. Садржи све неопходне делове научно-истраживачког рада који су организовани у седам поглавља:

1. Увод и циљ рада
2. Теоријски део
3. Експериментални део
4. Резултати и дискусија
5. Закључци
6. Литература
7. Прилози

Докторска дисертација је написана на 163 страница, у 7 поглавља, са 84 слике и 30 табела. Цитирано је 200 литературних навода. Поред тога, у дисертацији је дата Кључна документацијска информација са изводом на српском и енглеском језику, као и списак слика и табела.

### V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У првом поглављу дисертације под називом **Увод и циљ рада** истакнут је значај структурирања и одређивања кинетике настајања функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола са додатком монтморилонита и сегментираних полиуретана. Наведено је да на коначна својства хибридних материјала утиче избор сировина, начин умешавања компонената и услови при којима се врши умрежавање. Наглашено је да је механизам умрежавања функционалних хибридних материјала, који укључује различите хемијске и дифузно контролисане процесе, веома сложен. Познавањем кинетичких параметара реакције умрежавања могу се одабрати оптимални услови за прераду хибридних материјала у индустријским условима.

У **Теоријском делу** описана је структура и механизам умрежавања епоксидних смола. Описане су појаве остакљивања и желирања, као и утицај молекулске масе на својства епоксидних смола. Детаљно су описане методе одређивања кинетичких параметара реакције настајања функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола. Описана је структура нанокompозита на основу епоксидних смола и слојевитих силиката, као и структура хибридних материјала на основу епоксида и сегментираних полиуретана. Описане су методе добијања наночестица, као и поступци њиховог умешавања и полимерне матрице. На крају су дати примери примене нанокompозита и хибридних материјала на основу епоксидних смола, који се успешно користе у разним гранама индустрије.

У **Експерименталном делу** поновљен је циљ рада и наведена су својства полазних компоненти за добијање хибридних материјала на основу епоксидних смола. Детаљно је објашњен поступак умешавања органски модификованог монтморилонита у уделима од 1, 3, 5 и 10 мас.% у епоксидну матрицу. Потом је описан и поступак умрежавања припремљених хибрида са диамином средње молске масе око 230. Описан је поступак синтезе полиуретана са различитим уделом тврдих сегмената (20, 25 и 30 мас.%) који су коришћени као пуниоци. Детаљно је описан поступак припреме хибрида са епоксидном матрицом и полиуретанима са различитим уделом тврдих сегмената. Потом је описан и поступак умрежавања хибрида са диамином средње молске масе 2000. Кандидаткиња је описала све методе које су коришћене у експерименталном раду. Диференцијална скенирајућа калориметрија (ДСЦ) је коришћена за праћење реакције умрежавања, али и за одређивање температуре преласка из стакластог стања ( $T_g$ ) умрежених хибридних материјала, детаљно је описан режим рада ДСЦ инструмента при овим испитивањима. Описан је поступак динамичко-механичке анализе (ДМА) умрежених хибридних материјала на основу епоксидне смоле и који реолошки

параметри су добијени. Поступак одређивања механичких својства (затезна чврстоћа, прекидно издужење и тврдоћа по Шору А) умрежених хибридних материјала је описан. Како би се добили подаци о структури, морфологији и површинским карактеристикама, хибридни материјали на основу епоксида са монтморилонимом су снимљени под микроскопом атомских сила (АФМ), а на основу ових резултата може се претпоставити расподела честица монтморилонита у епоксидној матрици. У Експерименталном делу је дат опис режима рада ТГ-ДСЦ инструмената, као и инструмента за ТГ-МС анализу чији су резултати коришћени да би се испитао сам механизам реакције термичког распада хибридних материјала на основу епоксидног предполимера са различитим масеним уделом монтморилонита умреженог са диамином средње молске масе 230. Гасови који су настали распадањем узорака су уведени у масени детектор, који је спрегнут са термовагом.

Поглавље **Резултати и дискусија** је подељено у две велике целине. У овом поглављу докторске дисертације јасно и прегледно су приказани и дискутовани многобројни резултати. Први део обухвата резултате и дискусију за хибридне материјале на основу епоксидних смола са различитим уделом монтморилонита. На основу резултата ДСЦ анализе испитан је утицај додатка монтморилонита у епоксидну матрицу на кинетику умрежавања са диамином средње молске масе 230. Кандидаткиња је детаљно протумачила добијене резултате и дала објашњење за разлике у бројним вредностима израчунате привидне енергије активације у зависности од коришћеног модела изоконверзије. Одређена су тоplotна својства хибридних материјала на основу епоксида са монтморилонитом, и растумачено је зашто долази до смањења покретљивости ланца, односно пораста температура преласка у стакласто стање са растом удела монтморилонита у епоксидној матрици. Детаљно су приказани резултати испитивања динамичко-механичких својстава умрежених хибрида и на основу резултата ове методе одређене су температуре преласка из стакластог стања, а на основу минималне вредности модула сачуване енергије у плато гумоликог понашања израчунате су густина умрежености и молске масе између чворова мреже хибридних материјала. Одређена су механичка својства испитиваних материјала, а на основу добијених вредности претпостављена је расподела монтморилонита у епоксидној матрици, која је потврђена и применом микроскопије атомских сила. Детаљно су приказани резултати термогравиметријске анализе и утицаја додатка монтморилонита на термички стабилност хибридних материјала. Упоредно су снимане и тоplotне промене које се дешавају при термичком распаду како би се растумачили вишестепени процеси разградње хибридних материјала и утицај додатка монтморилонита на вредности промене енталпије реакције термичке разградње. Да би се разјаснио механизам термичког распада и утицаја додатка монтморилонита у епоксидне смоле, продукти настали при термичком распаду су уведени у масени детектор, а добијени подаци су детаљно анализирани. Други део поглавља Резултати и дискусија садржи резултате умрежавања хибридних материјала на основу епоксида са различитим уделом сегментираних полиуретана добијене ДСЦ методом. Ови резултати су обрађени применом модела изоконверзије како би се објаснио утицај масе и удела тврдих сегмената у структури полиуретана на реакцију умрежавања са диамином средње молске масе 2000. Одређена су механичка својства умрежених хибрида на основу епоксидне смоле са сегментираним полиуретаном и добијени резултати су протумачени.

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 процеса структурирања и умрежавања функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола са додатком монтморилонита и сегментираних полиуретана.

У писању ове дисертације аутор је користио 200 литературних навода, који су цитирани на јасан и правилан начин. Избор референци је актуелан и примерен тематици која је проучавана.

У последњем поглављу под називом **Прилог**, дати су 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 - Радови у међународном часопису**

1. M. Jovičić, O. Bera, J. Pavličević, **V. Simendić**, R. Radičević, The influence of montmorillonite content on the kinetics of curing of epoxy nanocomposites, *Hemijska industrija* 66 (2012) 863-870.
2. J. Pavličević, M. Jovičić, **V. Simendić**, O. Bera, R. Radičević, M. Špírková, Modification of epoxy resins with thermoplastic segmented polycarbonate-based polyurethanes, *Hemijska industrija*, 68 (2014) 755-765.

### **M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини**

1. M. Jovičić, J. Pavličević, O. Bera, **V. Teofilović**, M. Asurdžić, R. Radičević, The effect of organically modified montmorillonite addition on the curing kinetics of EPOXY/JEFFAMINE D-400 systems, *Contemporary Materials*, Banja Luka, Republika Srpska, Septembar 6-7, 2015, Izdanje zbornika 2016, str. 165-170.
2. M. Jovičić, **V. Teofilović**, R. Poreba, J. Pavličević, O. Bera, S. Sinadinović-Fišer, M. Janković, Thermomechanical behavior of epoxy resins modified with organoclay nanoparticles, 14th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry "PHYSICAL CHEMISTRY 2018", Belgrade, Serbia, September 24-28, 2018, *Proceedings Vol. 2*, pp. 685-688.
3. **V. Teofilović**, R. Milovanović, M. Jovičić, J. Pavličević, R. Radičević, O. Bera, D. Kojić, The assessment of the bentonite addition effect on the curing kinetics of epoxy nanocomposites by the isoconversional methods, VI International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry", Jahorina, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, March 11-13, 2019, *Proceedings* pp. 560-567.

### **M34 - Саопштење са међународног скупа штампано у изводу:**

1. J. Pavličević, M. Jovičić, J. Budinski-Simendić, R. Radičević, N. Budinski, **V. Teofilović**, M. Špírková, Lj. Tanasić, The assessment of curing parameters and mechanical properties of epoxy resins modified with polyurethane based on polycarbonate diol, *THERMAM 2014 and 3rd Rostocker symposium on thermophysical properties for technical thermodynamics*, Cesme-Izmir, Turkey, June 12-15, 2014, *Book of Abstracts*, 81.
2. **V. Teofilović**, J. Pavličević, M. Jovičić, O. Bera, M. Špírková, R. Radičević, Curing of epoxy resins modified with thermoplastic polycarbonate-based polyurethane elastomers, *Twelfth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering*, Belgrade, Serbia, December 11-13, 2013, *Programme and the Book of Abstracts*, 27.

### **M63 - Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини**

1. **V. Teofilović**, M. Jovičić, J. Pavličević, M. Ninković, O. Bera, R. Radičević, Modifikacija epoksidnih smola termoplastičnim poliuretanim na osnovu polikarbonatnog diola, *X Simpozijum „Savremene tehnologije i privredni razvoj”*, Leskovac, Srbija, 22-23. oktobar 2013, *Zbornik izvoda radova* str. 116.

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Предмет истраживања ове докторске дисертације је структурирање и одређивање кинетике реакција настајања две класе функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола. Прву групу чине узорци са различитим масеним уделом модификованог монтморилонита, а другу групу чине узорци са различитим масеним уделом сегментираних полиуретана на основу поликарбонатног диола и хексаметилендиизоцијаната, са различитим садржајем тврдих сегмената.

На основу урађених анализа за хибридне материјале са различитим уделом монтморилонита (0, 1, 3,

5 или 10 мас.%) у епоксидној матрици, умрежене са поли(оксипропилен)диамином средње молекулске масе 230 (*Jeffamine D-230*), закључено је следеће:

- Поређењем ДСЦ термограма умрежавања, уочено је да са порастом удела монтморилонита у епоксидној матрици, реакција умрежавања започиње на нижим температурама. Комерцијални модификовани монтморилонит (*Cloisite 15A*) коришћен у овој дисертацији не садржи воду, јер је процес замене катјона при модификацији са алкиламонијум јонима праћен интензивним сушењем, па се каталитички ефекат може приписати присуству хидроксилне групе у слојевима монтморилонита, која може да катализује реакцију између епоксидне групе и амино групе умреживача, која је доминантна реакција при умрежавању ових система.

- При малим уделитема монтморилонита (1 и 3 мас.%), промене енталпије реакције умрежавања, одређене из ДСЦ кривих умрежавања, расту, а при већим уделитема (5 и 10 мас.%) опадају, претпоставља се да је то последица образовања агрегата и агломерата монтморилонита у епоксидној матрици при већим концентрацијама монтморилонита.

- На основу резултата кинетичке анализе ДСЦ података обрађених са пет модела изоконверзије, може се закључити да додаток монтморилонита има велики утицај на вредности привидних енергија активација реакције умрежавања. Највећа промена у вредностима привидне енергије активације је добијена за узорак са 1 мас.% монтморилонита, што је уочено применом свих математичких модела изоконверзије. Хибридни материјал на основу епоксидне смоле са 10 мас.% монтморилонита има значајно ниже вредности привидне енергије активације за дефинисане степене реаговања, чиме је потврђен каталитички ефекат монтморилонита када је присутан у реакционој смеси у довољној количини. Привидне енергије активације значајно расту са порастом степена реаговања. Значајне разлике су уочене за степене реаговања изнад 80 %, јер је тада, због велике вискозности реакционе смеси, отежано кретање реактанта, те је реакција успорена. Кинетичком анализом је утврђено да је кретање реактанта при вишим степенима реаговања успореније у присуству монтморилонита.

- На основу одређивања топлотних својстава умрежених хибридни материјала ДСЦ методом, установљено је да се са порастом удела монтморилонита прелазак из стакластог стања помера на више температуре. Повећањем удела монтморилонита смањује се покретљивост ланаца који се налазе између слојева монтморилонита, те се прелазак из стакластог стања помера на више температуре, додатно експлодирани слојеви монтморилонита у умреженим хибридни материјалима доприносе смањењу слободне запремине и самим тим померању  $T_g$  прелазак на више температуре.

- На основу динамичко-механичке анализе може се закључити да температурни опсег од 25 до 150 °C укључује све области реолошког понашања испитиваних умрежених хибрида: област стакластог стања, област преласка из стакластог стања у гумолико стање, као и област гумоликог понашања. На основу вредности модула сачуване енергије,  $G'$ , који је мера еластичног понашања материјала, закључено је да су сви узорци веома крти у стакластом стању. Са порастом удела монтморилонита повећава се вредност  $G'$ , за материјал без монтморилонита на температури од 40 °C модул сачуване енергије износи  $0,82 \cdot 10^9$  Pa, док је код умреженог хибрида са 5 мас.% монтморилонита повећан на  $1,38 \cdot 10^9$  Pa, што представља повећање од 67 %. Утицај додатка монтморилонита на вредности  $G'$  је још израженији у области гумоликог понашања. Највећи проценат раста  $G'_e$  дешава се при повећању удела монтморилонита од 1 мас.%, даљим повећањем удела монтморилонита,  $G'_e$  има веће вредности, али није више толики интензитет раста, што значи да на вредности  $G'$  поред удела монтморилонита, утиче и степен дисперговања честица унутар полимерне матрице. Присуство агломерата монтморилонита има мали допринос ојачању полимерне матрице, јер се настали агломерати понашају као микропунила у епоксидној матрици.

- Вредности  $T_g$  одређене из максимума модула изгубљене енергије,  $G''$  су од 60 до 66 °C, а вредности одређене из максимума  $\tan \delta$  од 70 до 75 °C. Тренд раста температуре преласка у стакласто стање са повећањем удела монтморилонита је у потпуности у сагласности са подацима добијеним ДСЦ методом.

- На основу података добијених ДМА анализом може се закључити да са порастом удела монтморилонита у систему, долази и до повећања густине умрежености. Према класичној теорији гумолике еластичности израчуната је густина умрежености, и за систем без монтморилонита износи  $1480 \text{ mol/m}^3$ , док густина умрежености хибрида са 10 мас.% монтморилонита има вредност  $6852 \text{ mol/m}^3$ , што се може приписати блокирању полимерних ланаца који се јављају као резултат интеркалације у међупростору глине са слојевитом структуром или интеракције епоксидне матрице са монтморилонитом.

- На основу добијених вредности за затезну чврстоћу, може се закључити да са порастом удела до 3

мас.% монтморилонита долази до повећања вредности затезне чврстоће, а да даљим повећањем удела монтморилонита (5 и 10 мас.%) долази до пада вредности затезне чврстоће. Закључено је да до пораста затезне чврстоће при малим уделима монтморилонита долази услед повећања површине контакта нанопунила са полимерном матрицом. Велики број плочица наноглине у полимерној матрици делују као ефикасни агенси за пренос напона у добијеним хибридным материјалима, па преношењем пластичне деформације на полимерну матрицу, долази до повећања затезне чврстоће. Код хибридных епоксидних материјала са високим садржајем глине (изнад 3 мас.%) долази до агломерације честица глине. Код такве агломерисане структуре долази до смањења специфичне површине, што резултира слабом адхезијом између полимерне матрице и глине, долази до локалног концентрисања напона, а затезна чврстоћа добијених хибридных материјала опада.

- Дисперзија монтморилонита у епоксидној матрици има утицаја и на прекидно издужење, и то на тај начин што се при доброј интеркалацији или ексфолијацији пунила у полимерну матрицу, плочице наноглине равномерно распоређују и ефикасно преносе напон на полимерну матрицу, што за последицу има повећање прекидног издужења. При даљем додатку ММТ, долази до агломерације честица глине, формирања тактоида, који не могу добро да преносе оптерећење, па се напон концентрише у формираним тактоидима, што негативно утиче на прекидно издужење.

- Са повећањем удела монтморилонита у епоксидној матрици, долази до раста вредности тврдоће, што је последица веће густине умрежености узорака, али и стварања агломерата и агрегата монтморилонита код хибридных материјала са већим уделом монтморилонита.

- Микроскопијом атомских сила испитана је површина попречних пресека умрежених хибрида. Додавањем монтморилонита у епоксидну матрицу долази до значајних промене у морфологији површине умрежених хибрида. На сликама АФМ фазних приказа узорак без монтморилонита, као и узорак са 1 мас.% монтморилонита има једну фазу, што значи да је код узорка са 1 мас.% хомогена расподела монтморилонита. При садржају монтморилонита од 3 мас.%, разлике у фазама нису толико изражене, већ су региони тврде фазе релативно равномерно распоређени у мекшој фази, односно монтморилонит је равномерно распоређен у епоксидној матрици. При повећању удела монтморилонита на 5 мас.%, почиње да доминира тврда фаза, на основу чега се може закључити да при додатку монтморилонита изнад 5 мас.% долази до стварања агломерата монтморилонита у епоксидној матрици, па је расподела светлијих области на АФМ слици фазног пика неравномерна. Код узорка са 10 мас.% монтморилонита, због велике масе монтморилонита присутне у систему, долази до њихове акумулације и до стварања читавих агрегата. На основу ових закључака, шематски је приказана претпостављена дистрибуција монтморилонита у епоксидној матрици.

- Установљено је да на термичку разградњу монтморилонита коришћеног за ојачање епоксидне матрице у овој докторској дисертацији нема утицај атмосфера у којој су рађена термогравиметријска испитивања. Вода коју је апсорбовао монтморилонит испарава већ на собној температури, а термички распад органског дела уграђеног у структуру монтморилонита се завршава на око 450 °С. На основу процента масе која је изгубљена до ове температуре, закључено је да око 30 мас.% монтморилонита чини органски део. Глина је термички стабилна до 500 °С. У температурној области од 500 до 800 °С долази до губитка масе од око 10 %. Претпоставља се да је овај губитак последица испаравања воде заробљене у структури глине.

- На основу резултата термогравиметријске анализе, може се закључити да је са порастом удела монтморилонита у епоксидној матрици термичка стабилност у атмосфери ваздуха испитиваних узорака незнатно побољшана. Побољшање термичке стабилности са порастом удела монтморилонита може да се јавља као последица смањења дифузности продуката распадања према површини материјала услед баријера које стварају слојеви монтморилонита у хибридным материјалима на основу епоксидних смола или услед поларних интеракција пунило-полимер.

- На основу ДТГ кривих може се закључити да се механизам термичке разградње хибридных материјала на основу епоксидне смоле одиграва у три ступња. Прва два ступња се јављају у опсегу температура од 270 до 450 °С и представљају разлагање органског дела хибридных материјала на основу епоксидне смоле. Претпоставља се да први пик, који је мале површине на ДТГ кривих, представља раскидање веза неумреженог дела епоксидног предполимера, док други пик, који представља доминантни део процеса термичке разградње хибридных материјала, настаје услед разградње умреженог дела испитиваних хибридных материјала.

- Разлике у термичкој стабилности хибридног материјала са 10 мас.% монтморилонита у односу на материјале на основу епоксидне смоле без монтморилонита или са његовим мањим садржајем могло би да буде последица повећаних интеракција између честица монтморилонита и атома кисеоника

или азота из полимерне матрице при већем уделу монтморилонита у систему. Након издвајања мањих угљоводоничних фракција, интеракције између епоксидне матрице и монтморилонита постају израженије, те је при вишим температурама отежано издвајање, што за последицу има смањење брзине распада и померање температуре завршетка распада на вишу температуру за 50 °C код хибридног материјала са 10 мас.% монтморилонита у односу на материјал без монтморилонита.

На основу резултата термичке стабилности у инертној атмосфери може се закључити да монтморилонит нема утицаја на термичку стабилност, нити на механизам распада хибридних материјала на основу епоксидних смола са различитим уделима монтморилонита у атмосфери азота. Код свих узорака процес разградње се одиграва у једном кораку у опсегу температура од 350 до 420 °C. При термичком распаду хибридних материјала на основу епоксида, у инертној атмосфери изостају реакције оксидације, а на масеном спектрометру се добијају фрагменти органских молекула.

- Вредности укупне промене енталпије реакције термичке разградње хибридних материјала на основу епоксидног претполимера одређене ДСЦ методом у ваздуху линеарно опадају са повећањем масеног удела монтморилонита у епоксидној матрици, док на вредности укупне промене енталпије у инертној атмосфери азота не утиче садржај монтморилонита.

На основу урађених анализа за хибридне материјале са различитим уделом полиуретана на основу потпуно алифатичног поликарбонатног диола и хексаметилендиизоцијаната (5, 10 и 15 мас.% у односу на епоксидни предполимер), као и различитим уделом тврдих сегмената у додатом полиуретану (20, 25 и 30 мас.%) донети су следећи закључци:

- Умрежавање епоксидног претполимера са диамином *Jeffamine D-2000*, који је по хемијском саставу поли(оксипропилен)диамин молекулске масе од 2000, веома је сложено и током процеса умрежавања истовремено се одиграва неколико различитих хемијских реакција, али имајући у виду реактивност компонената, може се претпоставити да је најдоминантнија реакција између епоксидне и аминок групе.

- На основу ДСЦ термограма може се уочити да додавање сегментираних полиуретана утиче на реакцију умрежавања хибридних епоксидних материјала. При већој маси сегментираних полиуретана у епоксидној матрици (10 и 15 мас.%) процес умрежавања започиње на нижим температурама и максимална брзина се остварује на нижим температурама. Претпоставља се да је то последица стварања водоничних веза између епоксидних и уретанских група.

- На основу вредности промена укупне енталпије реакције умрежавања,  $\Delta H$ , за све испитиване серије, закључено је да са повећањем брзине загревања расте и вредност  $\Delta H$ . Није утврђена зависност  $\Delta H$  од масеног удела сегментираних полиуретана (5, 10 и 15 мас.%), а највећа вредност промена укупне енталпије реакције умрежавања је одређена за хибридни материјал са полиуретаном који у својој структури има 30 мас.% тврдих сегмената.

- Кинетичком анализом ДСЦ кривих умрежавања утврђено је да додаток сегментираних полиуретана у епоксидну матрицу има велики утицај на реакцију умрежавања. Овај утицај је нарочито изражен при степену умрежености већем од 60 %, јер је тада због велике вискозности реакционе смеше отежано кретање реактаната, па је реакција умрежавања успорена. Кинетичком анализом је утврђено да је утицај отежане дифузије израженији у присуству сегментираних полиуретана.

- На основу мерења урађених на инструментима за одређивање механичких својстава, установљено је да затезна чврстоћа хибридних материјала расте са порастом удела тврдих сегмената у структури додатог полиуретана, као и са порастом масеног удела полиуретана у епоксидној матрици. Додатком термопластичних сегментираних полиуретана на основу поликарбонатног диола и хексаметилендиизоцијаната значајно је повећано прекидно издужење епоксидних смола, услед велике флексибилности меких сегмената еластомера. Са порастом удела тврдих сегмената код полиуретана додатих у истом масеном проценту у епоксидну матрицу, тврдоћа расте.

- На основу мерења урађених на инструментима за одређивање механичких својстава је установљено да затезна чврстоћа хибридних материјала расте са порастом удела тврдих сегмената у структури додатог полиуретана, као и са порастом масеног удела полиуретана. Додатком термопластичних сегментираних полиуретана на основу поликарбонатног диола и хексаметилендиизоцијаната значајно је повећано прекидно издужење епоксидних смола, услед велике флексибилности меких сегмената еластомера. Са порастом удела тврдих сегмената у полиуретану додатом у истом масеном проценту у епоксидну матрицу, тврдоћа расте.

- На основу фундаменталног разматрања и тумачења добијених експерименталних података у

потпуности је разјашњен утицај варирања удела пунила у матрици на механизам настајања функционалних епоксидних мрежа, као и на различита физичко-хемијска својства добијених материјала. Оваква испитивања су од изузетног значаја, јер се само добрим познавањем кинетичких параметара реакција умрежавања, као и утицаја пунила на крајња својства материјала, могу одабрати оптимални параметри за производњу и прераду у индустријским условима, а што је неопходно за добијање материјала тачно дефинисаних својстава за примену у одговарајућим областима. Структурирањем хибридних материјала на основу епоксидних смола и различитих пунила постигнут је, осим научног доприноса, и практичан значај рада за развој нових функционалних материјала на основу епоксидних смола.

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

Докторска дисертација Весне Теофиловић, дипломираног инжењера - мастер, под насловом "**Структурирање и одређивање кинетике реакција настајања функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола**" произашла је из веома обимног теоријског и лабораторијског истраживања. Експериментално добијени резултати истраживања су актуелни. Приказани су јасно, систематично и прегледно у табелама и дијаграмима, и правилно протумачени на основу литературних података и теоријских сазнања из истраживане научне области.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

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.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
**ДА.** Дисертација садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.
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 је правилним избором полазних компоненти, услова умешавања и умрежавања, дала нова сазнања о добијању хибридних материјала на основу епоксидних смола. Структурирањем хибридних материјала на основу епоксидних смола и различитих пунила постигнут је, осим научног доприноса, и практичан значај рада за развој нових функционалних материјала на основу епоксидних смола. Испитан је утицај масеног удела органски модификованог монтморилонита или масеног удела сегментираних полиуретана са различитим садржајем тврдих сегмената, на кинетику умрежавања хибридних материјала на основу епоксидних смола како би се разумео сложени механизам умрежавања, укључујући хемијске и дифузно контролисане процесе. Разумевање механизма настајања функционалних епоксидних мрежа је изузетно значајно, јер се познавањем кинетичких параметара реакција умрежавања могу одабрати оптимални услови прерадљивости у индустријским условима и добити материјали жељених својстава за одређене примене. У овој докторској дисертацији проучаван је и утицај масеног удела органски модификованог монтморилонита на динамичко-механичка, топлотна, оптичка и механичка својства. Испитана је термичка разградња узорака истовременом термогравиметријском и диференцијално скенирајућом калориметријском у струји ваздуха и азота, а у циљу разјашњења различитог механизма термичког разлагања у азоту и у ваздуху термовага је била спрегнута са масеним спектрометром. Научни допринос резултата истраживања верификован је објављивањем радова у међународним часописима, као и излагањем резултата на међународним и домаћим скуповима.
4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања  
Недостаци дисертације нису уочени.



**X ПРЕДЛОГ:**

Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију **Весне Теофиловић, дипл. инж. - магст.**, под насловом "**Структурирање и одређивање кинетике реакција настајања функционалних хибридних материјала на основу епоксидних смола**" и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидаткињи одобри јавна одбрана рада.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

председник комисије

**др Оскар Бера, ванредни професор**

Технолошки факултет Нови Сад

---

члан

**др Јелена Павличевић, ванредни професор**

Технолошки факултет Нови Сад

---

ментор-члан

**др Мирјана Јовичић, ванредни професор**

Технолошки факултет Нови Сад

---

члан

**др Себастиан Балош, ванредни професор**

Факултет техничких наука, 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.