

**РЕЦЕНЗИЈА**  
**НА ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА ПОД НАСЛОВ „РАЗЛИЧНИ МЕТОДИ**  
**НА ИМПРЕГНАЦИЈА И ПОЛИМЕРИЗАЦИЈА НА СМОЛЕН СИСТЕМ ЗА**  
**ПРОИЗВОДСТВО НА ТЕРМОРЕАКТИВЕН ТКАЕН ПРЕПРЕГ“ ИЗРАБОТЕНА ОД**  
**М-Р БИЛЈАНА КОСТАДИНОСКА, ПРИЈАВЕНА НА**  
**ТЕХНОЛОШКО-ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ,**  
**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ВО ШТИП**

Со Одлука број 0206-294/2 од 11.5.2021 година, донесена на 59. седница, а одржана на 11.5.2021 год. на Наставно-научниот совет на докторски студии на Кампус 2 (биотехнички, техничко-технолошки и природно-математички науки) при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип, формирана е Комисија за оценка и одбрана на докторската дисертација под наслов „Различни методи на импрегнација и полимеризација на смолен систем за производство на термореактивен ткаен препрег“, во состав:

- проф. д-р Винета Сребренкоска, претседател,
- проф. д-р Благоја Самакоски, член, интерен ментор,
- проф. д-р Атанас Кочов, член, екстерен ментор,
- проф. д-р Симеон Симеонов, член и
- проф. д-р Владимир Дуковски, член.

Комисијата во наведениот состав, по прегледувањето на докторската дисертацијата, го поднесува следниов

### ИЗВЕШТАЈ

#### Структура на трудот

Докторската дисертација е презентирана на 217 страници и ги содржи следниве делови: Вовед, Преглед на литературата, Цели на истражувањето, Методи на истражувачката работа, Резултати и дискусија, Заклучок, Користена литература. На почетокот е дадена листа на табели - вкупно 37 и листа на слики – вкупно 111.

Предмет на оваа докторска теза е развој и подобрување на процесот на импрегнација и полимеризација за добивање на квалитетен термореактивен препрег.

Во *Вовед* се презентирани композитните материјали како градбени елементи во многу структури поради нивната многу мала тежина и супериорност во поглед на нивната јакост и крутост споредено со конвенционалните материјали. Посебно се разгледува композитниот препрег, процесите за негово производство, параметрите кои влијаат на подобрувањето на тие процеси и добивањето на квалитетен препрег.

Во *Преглед на литература* направена е анализа на широк спектар на релевантна научна и стручна литература, подлабоко навлегување во деталите презентирани во референцираните трудови и систематизација на знаењата, а кои се предмет на интерес на ова истражување. Бидејќи полимерните композити наоѓаат голема примена за изработка на современи носечки структури во многу индустриски апликации во воздухопловството, вселенската, автомобилската и поморската индустрија, во денешно време од голем практичен интерес е нивното подетално проучување и истражувања во насока на нивно усовршување. Покрај досегашниот напредок кој е постигнат во конструирање на машините за импрегнација, во оваа докторска дисертација даден е осврт на нови технолошки решенија за конструирање пософистицирани и специјализирани грејни кули кои ќе одговараат на предизвиците од промените со кои се соочуваме денес.

Во *Цел на истражувањето* се дава краток осврт на примарната цел на оваа докторска дисертација, а тоа е влијанието и важноста на елементите и конструкцијата на единиците на машините за импрегнација, врз карактеристиките на процесот за производство и добивање на препрег, како и влијанието на неколку важни параметри како што се проток, брзина, насока на струење на топол воздух врз резултатите од тој процес. Во истражувањето се користат два типа на машини за импрегнација кои се разликуваат во конструкцијата на грејната кула, вискозноста на смолниот систем и начинот на импрегнација.

Во поглавјето *Методи на истражувачката работа* направен е соодветен модел за работа кој се состои од неколку чекори односно фази, и тоа:

Во првиот чекор *Дефинирање* - дефинирани се единиците на машината за терморективен препрег. Исто така, дефинирани се посебно единиците за вертикална и хоризонтална импрегнирачка. Врз основа на тоа дефинирана е и целта на овој докторски труд: дефинирање на единиците и параметрите на две машини за импрегнација со вертикална и хоризонтална грејна кула - печка за полимеризација.

Во вториот чекор *Моделирање на грејна кула* - направен е модел и конструкција на единицата на грејната кула - печката, кој е главниот дел за полимеризација и добивање на квалитетен препрег. Со помош на програмата Ansys Fluent реализирано е моделирање и симулација на дистрибутивна мрежа на воздух со цел за нејзино понатамошно подобрување и усовршување. Реализирани се различни симулации на различни сценарија на испорака на топлинска енергија со загреаниот воздух. Добиените резултати за термичките и вентилационите карактеристики на дистрибутивната мрежа, се особено важни од оперативен аспект. Направени се разни симулации и анализа на циркулацијата на воздухот во грејниот канал со цел постигнување рамномерна распределба на температурата по должина и ширина на грејниот канал. Во овој дел разработена е и конструкција на иновативна мешачка единица за топол воздух со користење на Ansys Fluent софтверот, што претставува новина во развојниот процес на овие типови на машини.

Во третиот чекор *Методи на пресметка и параметри*, направена е анализа на влезните и излезните параметри кои најмногу влијаат на процесот и како со нивно менување може да се влијае на квалитетот на крајниот ткаен терморективен препрег. Врз основа на практично искуство влијанието на температурите (топлотниот биланс) на грејната кула е најважен параметар за полимеризацијата. Во овој дел разработени се и методите за пресметки на испарливите материи од терморективните течни матрици со растворувачи за добивање на квалитетен терморективен препрег.

Во поглавјето *Резултати и заклучоци* (понатамошни истражувања) направена е анализа на истражувањата поврзани со процесот на импрегнација и полимеризација при што е користен методот на планирање на експериментите, којшто овозможува добивање на максимален број на информации со минимален број на експерименти. Во оваа фаза се дефинирани и основните карактеристики на секој произведен терморективен препрег, согласно со стандардот за одредување на карактеристиките на крајниот препрег. Направена е контрола на параметрите на крајниот препрег и прикажани се резултатите од истражувањето. Потоа, изведени се заклучоци од целокупното истражување и дефинирани се идни правци за истражување.

### **Предмет на истражување и краток опис на применетите методи**

Истражувањата на машините за производство на препрези веќе подолго време претставуваат фокусна точка не само на научните институции, туку уште повеќе и на компаниите кои произведуваат препрези, како и на оние кои ги користат препрезите се со цел да се добијат квалитетни композитни материјали. Ова е посебно важно за одреден број на примени на препрезите во авио и вселенската индустрија за изградба на делови од композитни материјали.

Во истражувањето се користат два типа на машини за импрегнација кои се разликуваат во конструкцијата на грејната кула, вискозноста на смолниот систем и начинот на импрегнација. За анализа и производство на терморективни ткаени препрези, како дел од експерименталната истражувачка работа, се користени развиените импрегнирачки од фирмата Микросам ДОО, Прилеп. Конструкцијата на единиците е оригинално разработена во рамките на истражувањата поврзани со оваа докторска дисертација и притоа се спроведени теоретски, како и експериментални истражувања со кои се потврдени теоретски добиените резултати.

Истражувањата може да се заклучи дека резултираат со разработени експериментални методи и симулации со кои се потврдува влијанието на протокот, брзината и насоката на топлиот воздух, како и конструкцијата на единицата и параметрите во грејната кула и

нивното влијание врз рамномерната распределба на температурата од една до друга зона. Истражувањата се во насока да се подобри процесот на импрегнација преку постигнување рамномерна распределба на температурата по висина и по ширина на грејната кула, а се со цел да се има рамномерно греење и испарување на испарливи материи кои ги содржат термореактивните ткаени препрези, што понатаму води до добивање на квалитетен композитен полупроизвод – препрег.

#### **Краток опис на резултатите од истражувањето**

Дисертацијата содржи повеќе целини кои даваат одговор на зададените истражувачки цели. Обработен е голем обем на теоретска литература од истражуваната област за пресметки на испарливи материи и загревање на воздухот, користејќи делови од термодинамиката. Овие пресметки се со цел да се обезбеди рамномерната распределба на температурата по висина и по ширина на грејната кула за да се постигне рамномерно греење и добар процес на полимеризација, како и безбедно исфрлање на испарливите материи кои ги има во термореактивните ткаени препрези со цел да не настане експлозија во грејната кула во текот на производството.

Направена е контрола на параметрите на крајниот препрег и прикажани се резултатите од истражувањето.

Покрај софтверските анализи на топлотниот биланс на грејната кула при што е користена софтверската програма Ansys Fluent, направени се и експериментални тестови и анализи со мерење на температурите во повеќе делови од грејната кула. За да се постигне циркулација на воздух со рамномерна температура во грејниот канал на импрегнационите машини, конструирана е и **нова иновативна единица за мешање на гасови, воздух со различна температура, што е и иновација во оваа дисертација**, со што се постигнаа поставените цели:

- рамномерна распределба на температурата во грејната кула по ширина и висина,
- немешање на гасовите од една во друга зона, и поставување на јасна граница на температурата во зоните една до друга,
- правилно и безбедно одведување на испарливите материи од грејната кула без да настане експлозија,
- правилна и целосна контрола на дување и шмукање на воздухот во каналите на конструираната грејна кула,
- добивање на препрег со ист процент на заостанати испарливи материи и по ширина и по должина на ткаенината,
- избор на технолошки параметри со примена на <sup>4</sup>DOE за производство на ткаен термореактивен препрег,
- анализа на процесните технолошки параметри на добиените текстилни препрези и
- дефинирање на карактеристиките на крајниот произведен препрег по дадени стандарди.

Испитувањата, експериментите и резултатите од оваа докторска дисертација ќе послужат за подобрување во конструирањето на ваков тип на машини за импрегнација. Резултатите ќе се искористат за подобрување на автоматскиот процес за производство на униформен и квалитетен препрег со одредена количина на смола и мал процент на заостанати испарливи материи, за негова поголема примена во авио, автомобилската и вселенската индустрија.

#### **Конечна оценка на докторската дисертација**

Врз основа на анализата и проверката на докторската дисертација може да се заклучи дека трудот е успешно завршен, а проблематиката од теориски аспект систематично е разработена. Добиените резултати од направените истражувања во докторската дисертација се јасно презентирани, систематизирани и анализирани, а целта на истражувањето е успешно реализирано.

Преку теоретски, истражувачки и научен пристап, направено е поврзување на истражувањето во еден целосен труд. Трудот е јасно напишан на научно и стручно ниво,

со јасни анализи и дискусии на резултатите, како и нивно јасно презентирање во форма на табеларни податоци, графички прикази и сликовито.

Добиените резултати од истражувањата се објавени во меѓународни списанија и во зборници на трудови од меѓународни конференции.

#### Исполнетост на законските услови за одбрана на трудот

Кандидатот м-р Билјана Костадиноска ги има објавено следниве научноистражувачки трудови:

1. **B. Kostadinowska**, S. Risteska, B. Samakoski, (2021), "Influence of the process parameters on manufactured prepregs by Solvent Impregnation"; IJERT, International Journal of Engineering Research and Technology, Volume 10, Issue 1, January - 2021
2. **B. Kostadinowska**, S. Risteska, B. Samakoski, S. Samak, N. Romevski (2019) "Influence of process parameters in production of resin film on Kevlar fabric prepreg"- ICAT'19 8th International Conference on Advanced Technologies, August 26-30, 2019 Sarajevo. Web proceedings E-ISBN: 978-605-68537-4-6, pp-309-315.  
<https://www.icatsconf.org/uploads/files2/icat19-abstract-book-v1.pdf>
3. **B. Kostadinowska**, S. Risteska, B. Samakoski, S. Capeska, (2017) "The compare of mechanical properties of composites at AFP technology with two technologies for curing"; KNOWLEDGE – International Journal, Vol. 20.5 Bansko, December 2017, ISSN 2545-4439, pp 2471-2479
4. S. Capeska, S. Risteska, S. Samak, **B. Kostadinowska**, (2017), "Impact of the technological parameters for the production of UD prepreg ", KNOWLEDGE – International Journal, Vol. 20.Bansko, December 2017, ISSN 2545-4439, pp 2319-2325
5. M. Mijajlovik, **B. Kostadinowska**, S. Risteska, V. Srebrenkoska and J. Gogu , (2017) "Determination of activation energy of polymer composites using dynamic mechanical analysis", International Scientific Conference Contemporary Materials, Banja Luka, [http://savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/SM2017/2017-10-20\\_PROGRAM\\_RADA\\_SM2017NEW.pdf](http://savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/SM2017/2017-10-20_PROGRAM_RADA_SM2017NEW.pdf)
6. M. Stefanovska, S. Risteska, B. Samakoski, G. Maneski, **B. Kostadinowska**, (2015) "Theoretical and Experimental Bending Properties of Composite Pipes"; World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering Vol:9, No:6, 2015 <https://publications.waset.org/10001566/theoretical-and-experimentalbending-properties-of-composite-pipes>
7. E.Pavlova, S.Risteska, V.Srebrenkoska, **B.Kostadinowska**, B.Petkoska, (2016) *Glass fabrics as reinforcement for composite plates*. In: VII International Metallurgy Congress, Metallurgy, Materials and Environmental, 09-12 June 2016, Ohrid, Macedonia. (Unpublished)

### ЗАКЛУЧОК И ПРЕДЛОГ

Комисијата за оценка и одбрана на докторската дисертација со наслов „Различни методи на импрегнација и полимеризација на смолен систем за производство на терморективен ткаен препрег“ изработена од кандидатот м-р Билјана Костадиноска донесе заклучок дека истата претставува **оригинално научно истражување, со значајни резултати и препораки**. Презентираниот материјал во докторската дисертација и спроведените експериментални истражувања, реализирани со врвна опрема и според најсовремените модели на планирање на експериментите и обработка на податоците, врз кои се темелат заклучните согледувања и препораки од кандидатот, претставуваат значаен придонес во научната литература кој ја третира истражуваната проблематика. Значајно за потцртување е воведување на новиот иновативен мешачки елемент кој се карактеризира со низа предности, а тоа се: релативно евтина единица за производство и монтажа со мали димензии, со која се овозможува мешање и урамнотежување на воздухот како гас, кој има разлика во температурата при транспортот. Ова истражување уште повеќе ја зголемува својата вредност со фактот дека е верифицирано во реални услови, во производството на машини за производство на терморективен препрег со висок квалитет кој се применува во авио и вселенската индустрија.

Докторската дисертација врз основа на содржината, обемот и постигнатото ниво на квалитет на научна работа ги задоволува и исполнува условите потребни за изработка на докторска дисертација.

Врз основа на горенаведеното, Комисијата има чест да му предложи на **Наставно-научниот совет на докторски студии на Кампус 2 да ја прифати позитивната рецензија на докторската дисертација со наслов „Различни методи на импрегнација и полимеризација на смолен систем за производство на терморективен ткаен препрег“** изработена од м-р Билјана Костадиноска и да одобри јавна одбрана на истата.

### РЕЦЕНЗЕНТСКА КОМИСИЈА

Проф. д-р Винета Сребренкоска, претседател, с.р.  
Проф. д-р Благоја Самакоски, член, интерен ментор, с.р.  
Проф. д-р Атанас Кочов, член, екстерен ментор, с.р.  
Проф. д-р Симеон Симеонов, член, с.р.  
Проф. д-р Владимир Дуковски, член, с.р.