

## РЕЦЕНЗИЈА

НА ДОКТОРСКАТА ДИСЕРТАЦИЈА СО НАСЛОВ „АЛГОРИТАМ ЗА ПЛАНИРАЊЕ НА ПАТЕКА КАЈ МАШИНИ ЗА АВТОМАТСКО ПОЛАГАЊЕ НА ПРЕПРЕГ КОИ ВО СВОЈОТ ДИЗАЈН ИМААТ НАЈМАЛКУ ДВЕ РЕДУНДАНТНИ ОСКИ“ ИЗРАБОТЕНА ОД М-Р ДИЈАНА ЦВЕТКОСКА, ПРИЈАВЕНА НА ТЕХНОЛОШКО-ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ, УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ВО ШТИП

Со Одлука број 0206-294/3 од 11.5.2021 година донесена на 59. (електронска) седница, 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 со наслов „Алгоритам за планирање на патека кај машини за автоматско полагање на препрег кои во својот дизајн имаат најмалку две редундантни оски“, во состав:

- проф. д-р **Винета Сребренкоска** – претседател,
- проф. д-р **Благоја Самакоски** – член,
- проф. д-р **Владимир Дуковски** – член, интерен ментор,
- проф. д-р **Христијан Мицкоски** – член, екстерен ментор и
- проф. д-р **Сашо Коцески** – член.

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

## ИЗВЕШТАЈ

**Анализа на трудот**

Докторската дисертација е презентирана на 152 страници и ги содржи следниве делови: Преглед на литература, Цел на истражувањето, Моделирање и симулација на машинска патека, Експериментални истражувања - резултати, Дискусија и анализа на резултатите од експерименталните истражувања, Заклучок, Референци, Прилози. На почетокот е дадена листа на слики – вкупно 68, а на крај се дадени прилози кои вклучуваат имплементиран код, излезен NC код и графички прикази од добиените резултати врз повеќе тест примероци.

Во *Преглед на литературата* се презентирани композитните материјали и технологии, даден е преглед на историскиот развој на алгоритмите за планирање на патеката и нивната важност при развојот на композитната индустрија. Соодветно се дефинирани клучните поими кои овозможуваат јасен приказ на алгоритмот и проблематиката која се решава со истиот. Притоа е направен преглед на актуелните истражувања во областа на планирање на патеката и специфичноста на планирањето кога станува збор за процес за автоматско полагање.

Во *Цел на истражувањето* е опишан проблемот на планирање на патека кај машина која во својот дизајн содржи редундантни степени на слобода, потребата од планирање како и типот на машински конструкции во чие планирање на патеката може да биде применет разработениот алгоритам.

Во *Моделирање и симулација на машинска патека* се разработени класи и структури на податоци во кои се енкапулирани сите важни процеси кои ги извршува одредена машина наменета за автоматско полагање на препрег. Основната имплементирана и осмислена класа вклучува чување како на геометриската патека така и на самите процеси кои се случуваат во секој одреден регион на движењето со што е овозможен визуелен приказ на патеката и процесните параметри во програмскиот пакет MikroPlace, како и локално модифицирање на самите параметри. Во овој дел претставен е работен дијаграм каде што може да се види текот на алгоритмот, посебните случаи и поделбата на неколку одделни целини со кои е опфатено целосно планирање на патеката на движење. Дефинирани се различни типови на ограничувања со што процесот на планирање на патеката добива нова димензија во која се прави избор на типот на ограничување и разгранување на дрвото

од одржливи решенија кои треба да се комбинираат зависно од дрвото кое ја дефинира зависноста родител/дете на секој од одделните степени на слобода. Со тоа што самата машина за автоматско полагање често содржи степени на слобода кои го зголемуваат работниот простор на машината, но од друга страна додаваат редувантност на степените на слобода, во рамките на оваа докторска дисертација се врши соодветно дефинирање на ваквите степени како слободни степени на слобода и се поставува алгоритам за избор на вредности за овие степени на слобода, со што всушност започнува и самиот процес на планирање на движењето. Со цел, правилна анализа на алгоритмот во овој дел разработен е алгоритам во програмскиот пакет MATLAB за анализа на динамичко однесување на секој од степените на слобода при што графички може да се видат забрзувањето и „трзајот“ за секој степен на слобода со што е направена споредба на добиените резултати пред и после примена на разработениот алгоритам.

Во поглавјето *Експериментални истражувања* се дефинирани 7 типови на геометриски форми од мандрели и патеки на полагање на конци со што се добиени 11 различни тестпримери. Секој од тестпримерите претставува различна специфичност почнувајќи од закривена патека на рамна површина, движење по конвексна, конкавна, двојно закриена површина со различни типови на дизајн на композитниот дел. За секој од испитаните тестпримери прикажан е график на движењето на секоја од критичните оски на слобода во кои графици може да се забележи постепено движење на секоја оска кон поставената цел.

Последната шеста глава *Дискусија и анализа на резултатите од експерименталните истражувања* вклучува споредба на алгоритмите за планирање на патеката кај роботска и гантри конструкција на машина за автоматско полагање на препрег. Во ова поглавје се дадени идни насоки за развој и усовршување на алгоритмот како од аспект на подобрување на ефикасноста на самиот алгоритам, така и од аспект на зголемување на продуктивноста на машината и секако имајќи го предвид крајниот корисник на софтверот во кој ќе биде применет соодветно алгоритмот.

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

Планирање на движењето т.е. проблематиката за пресметка на патека на движење кај машина со повеќе степени на слобода е познат како фундаментален проблем на роботиката. Типична дефиниција на овој проблем е: за дадена движечка конфигурација и опис на околината во која се наоѓа дадената конфигурација, да се испланира патека на движење и при тоа да се избегне колизија со одредени објекти од околината.

Истражувањата реализирани во оваа дисертација се занимаваат со објектно-ориентирано програмирање, дефинирање на соодветни класи и структури на податоци во кои се енкапсулира движењето и работата на одредена машинска конструкција применета во областа на композитните материјали. Особено се поставува акцент на машинска конструкција која во својот дизајн содржи редувантни оски кои го зголемуваат работниот простор на машината но истовремено ја зголемуваат комплексноста на движење.

Сопствените истражувања резултираа со јасно дефинирани класи и структури на податоци, разработен алгоритам, процедури и симулација со кои јасно се дефинира патека на движење на машина за автоматско полагање на препрег како и излезен NC код кој соодветно ја движи машината исполнувајќи ги параметрите потребни за да се реализира целосен процес на автоматско полагање на препрег. Истражувањата покажуваат огромен потенцијал за забрзување на процесот на автоматско полагање на препрег преку правилно планирање на патеката на движење, базирани на развиените оригинални процедури и класи на податоци кои покрај патеката големо значење му даваат и на самиот процес на автоматско полагање. Самото планирање на патека во процес на производство на композитни материјали претставува новина на нашите простори, а од друга страна претставува висок предизвик за пошироката истражувачка заедница која се занимава со роботизирани машини кои се користат во композитната индустрија.

### Краток опис на резултатите од истражувањето

Целта на оваа докторска дисертација беше да се разработи алгоритам за планирање на патека кај машини кои во својот дизајн имаат барем две редувантни оски, а се користат во процес за автоматско полагање на препрег. Акцентот е ставен на машинска конструкција кај која последните 3 ротациони оски кои ја движат AFP/ATL главата се распоредени на следниот начин: ротација околу Z оска, ротација околу X оска и ротација околу Z оска како што е всушност и распоредот на степените на слобода кај KUKA робот од типот 6R. При тоа се работи за процес каде што се додаваат редувантни оски со цел зголемување на работниот простор на машината. Целта е овој алгоритам да биде имплементиран во програмскиот пакет MikroPlase кој се користи за офлајн програмирање на машини од ваков тип и истиот да биде експериментално потврден. Развиени се и истражени следниве случаи:

1. Изработен е работен дијаграм кој го опфаќа целиот процес на планирање и оптимизација на патека кај машина за автоматско полагање на препрег. Со оглед на тоа што самиот процес на планирање на патеката опфаќа повеќе етапи работниот дијаграм претставен во оваа дисертација опфаќа и етапи кои излегуваат од процесот на планирање на патеката, но истовремено се тесно поврзани со самиот проблем.
2. Јасно се дефинирани сите класи и структури на податоци кои ги користи алгоритмот така што истите како објекти може да се искористат при планирање на патека на машина од различен тип.
3. Дефинирани се влезно/излезни аргументи, како и тек на секоја од процедурите кои ги користи алгоритмот. Секоја редувантна оска на слобода е разработена како посебен случај за избор на решение при процесот на планирање.
4. Разработен е алгоритам за анализа на добиеното решение во програмскиот пакет MATLAB при што се води сметка за динамичките карактеристики на секој од степените на слобода.
5. При практична примена кај машински конструкции, како оние разработени во оваа дисертација, во производство на производи од композитни материјали, откако ќе се дефинира патека на движење потребно е добиените вредности за секој од степените на слобода да помине низ алгоритам за планирање на патека со цел да не дојде до несакани колизии или нагли промени на движењето кои може да предизвикаат како оштетување на материјалот кој се полага, така и оштетување на самата машинска конструкција. Истражувањата покажаа дека обработениот код кој се добива после примена на алгоритмот за планирање на патека може да биде извршен на машина без да предизвикува несакани движења.

### Конечна оценка на докторската дисертација

Врз основана на проверката на докторската дисертација, како и анализата на приложените прилози, може да се заклучи дека трудот е успешно завршен. Експерименталните истражувања како и симулацијата на добиените резултати во симулациски софтвер кој претставува реална слика на машината во голем дел ги потврдуваат теориските сознанија. Преку направените експерименти и анализа на добиените резултати кандидатот се здобива со сознанија и познавање за теоретските основи на роботиката и композитните материјали, како и со познавање на научни методи за тестирање и верификација на добиените резултати, имплементирани во современ софтвер кој се користи за офлајн програмирање на машини од AFP/ATL технологиите.

Докторската дисертација е научен труд со оригинални сознанија, а врз основа на содржината, обемот и постигнатото ниво на квалитет ги задоволува и исполнува условите потребни за изработка на докторски труд.

### Исполнетост на законските услови за одбрана на трудот

Кандидатот пред одбраната на докторскиот труд ги објавил следниве рецензирани истражувачки трудови:

Еден труд во меѓународно научно списанија со импакт фактор:

1. Dimovski, I., Trompeska, M., Samak, S., Dukovski, V., **Cvetkoska, D.** "Algorithmic approach to geometric solution of generalized Paden-Kahan subproblem and its extension", International Journal of Advanced Robotic Systems, 2018:I-II, DOI: 10.1177/1729881418755157, SAGE, 2018 (IF 1.227) <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881418755157>

И два труда во списанија со меѓународна рецензија:

2. **Cvetkoska, D.**, Kochoski, F., (2019) "Functional Dependence of Laser power and Layup Speed for Automatic Fibre Placement Temperature Control", Knowledge – International Journal, 2019, Vol 34, ISSN 1857-923X (for e-version), ISSN 2545 – 4439 (for printed version) <https://ikm.mk/ojs/index.php/KIJ/article/view/2160>
3. **Cvetkoska, D.**, Dimovski, I., Samak, S., Trompeska, M., Dukovski, V. (2018) "Using Constrained Multi-Optimization in Design of Composite for Filament Wound High Pressure Vessels", International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT) – Volume 61 Number 2 ISSN 2231- 5373

### ЗАКЛУЧОК И ПРЕДЛОГ

Комисијата за оценка и одбрана на докторската дисертација „Алгоритам за планирање на патека кај машини за автоматско полагање на препрег кои во својот дизајн имаат најмалку две редундантни оски“ пријавена и изработена од кандидатот м-р Дијана Цветкоска донесе заклучок дека истата претставува **самостојна научна работа со оригинални научни истражувања и значајни резултати.**

Врз основа на проверката на докторската дисертација, како и анализата на приложените прилози, може да се заклучи дека трудот е успешно завршен. Експерименталните истражувања како и симулацијата на добиените резултати во симулациски софтвер кој претставува реална слика на машината во голем дел ги потврдуваат теориските сознанија. Преку направените експерименти и анализа на добиените резултати кандидатот се здобива со сознанија и познавање за теоретските основи на роботиката и композитните материјали, како и со познавање на научни методи за тестирање и верификација на добиените резултати, имплементирани во современ софтвер кој се користи за офлајн програмирање на машини од AFP/ATL технологиите.

Докторската дисертација е научен труд со оригинални сознанија, а врз основа на содржината, обемот и постигнатото ниво на квалитет ги задоволува и исполнува условите потребни за изработка на докторски труд.

Врз основа на тоа, 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 „Алгоритам за планирање на патека кај машини за автоматско полагање на препрег кои во својот дизајн имаат најмалку две редундантни оски“** изработена од Дијана Цветкоска и да одобри јавна одбрана на истата.

### РЕЦЕНЗЕНТСКА КОМИСИЈА

**Проф. д-р Винета Сребренкоска** – претседател, с.р.

**Проф. д-р Благоја Самакоски**, член, с.р.

**Проф. д-р Владимир Дуковски**, член, интерен ментор, с.р.

**Проф. д-р Христијан Мицкоски**, член, екстерен ментор, с.р.

**Проф. д-р Сашо Коцески**, член, с.р.