

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Душана Исаиловића.

Одлуком Наставно научног већа од 21.5.2020. године (одлука бр. 210/12-19 од 25.5.2020.) именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Душана Исаиловића, маг. инж. грађ., под насловом:

**DIGITAL REPRESENTATION OF AS-DAMAGED REINFORCED CONCRETE BRIDGES**

Наслов на српском језику:

**ДИГИТАЛНИ ПРИКАЗ ОШТЕЋЕНИХ АРМИРАНОБЕТОНСКИХ МОСТОВА**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На седници Већа Катедре за управљање пројектима у грађевинарству одржаној 11. јуна 2019. године, Душан Исаиловић је јавно излагао предложену тему докторске дисертације под насловом „Digital representation of as-damaged reinforced concrete bridges“ (на српском језику „Дигитални приказ оштећених армиранобетонских мостова“). Комисија коју је образовало Веће Катедре прихватила је предложену тему и предложила кандидату да тему пријави Наставно-научном већу Грађевинског факултета.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 210/4 од 17.9.2019. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Digital representation of as-damaged reinforced concrete bridges“ (на српском језику „Дигитални приказ оштећених армиранобетонских мостова“) у саставу проф. др Раде Хајдин, проф. др Markus König (Катедра за грађевинску информатику Факултета за грађевинарство и инжењерство животне средине, Универзитет Ruhr, Бохум, Немачка), проф. др Милош Ковачевић, др Ђорђе Недељковић и др Игор Светел (Иновациони центар Машинског факултета Универзитета у Београду). Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 17.10.2019. године (одлука бр. 210/6 од 22.10.2019. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 26.11.2019. (одлука бр. 61206-4396/2-19 од 26.11.2019. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Душана Исаиловића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 15.5.2020. године.

## 1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство и ужој научној области Информационе технологије у грађевинарству и геодезији, која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду. За ментора дисертације одређен је др Раде Хајдин, дипл. грађ. инж. редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Душан Исаиловић је рођен 15. маја 1989. године у Крагујевцу, где је завршио основну и средњу школу. 2009. године уписује Грађевински факултет Универзитета у Београду. 2013. године завршава основне, а 2015 мастер академске студије, на Одсеку за конструкције. Докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду Душан је уписао 2015. године.

У периоду од јула до октобра 2014. године био је запослен у у фирми „Танкмонт“ д.о.о. Београд. За то време, радио је као инжењер сарадник на организацији и контроли радова на извођењу четири нафтна резервоара у Пурпеу, Руска Федерација.

Од августа 2015. до марта 2016. године био је запослен у у фирми „Центропројект“ д.о.о. Београд на позицији пројектанта бетонских конструкција. За то време, учествовао је у пројектовању, надзору и ревизији пројеката неколико објеката у Србији и иностранству.

У јануару 2016. године одлуком Изборног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду, изабран је, а у новембру 2018 је поново изабран у звање асистента-студента докторских студија за ужу научну област Информационе технологије у грађевинарству и геодезији. Од тада учествује у настави на више предмета у оквиру Катедре за управљање пројектима у грађевинарству.

Од 2018. године, Душан Исаиловић је члан удружења ВІМ Србија.

Душан Исаиловић је аутор једног рада у међународном научном часопису и више радова објављених у зборницима радова са међународних конференција, који се баве информационим моделирањем грађевинских објеката и управљањем инфраструктуре.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Душана Исаиловића под насловом „Digital representation of as-damaged reinforced concrete bridges“ (на српском језику „Дигитални приказ оштећених армиранобетонских мостова“) садржи укупно 151 страну, од којих је основни текст на 102 стране. Дисертација је писана на енглеском језику и подељена је у седам поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Дигитални модел оштећеног моста
4. Генерисање информационог модела моста у тренутном стању
5. Студија случаја
6. Дискусија
7. Закључци и будући рад

Дисертација садржи 76 слика и 6 табела. Списак цитиране литературе садржи 105 наслова. На почетку дисертације је дат резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и УДК бројем. Дисертација садржи три прилога. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи

обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Основни текст разматране докторске дисертације има седам поглавља, преглед коришћене литературе и три прилога. На почетку текста је дат садржај, списак скраћеница и симбола, изјава захвалности, апстракт и списак кључних речи на енглеском и српском језику као и спискови слика и табела.

Уводно поглавље упознаје читаоца са мотивацијом за истраживање, описујући основне принципе система за управљање мостовима (BMS) и информационог модела моста (BrIM), као и могућности и препреке несметаној међусобној комуникацији и сарадњи та два система. Након тога, представљени су циљеви и методологија истраживања.

У поглављу „Преглед литературе“ описане су најважније публикације које обрађују систематизацију најчешћих оштећења бетонских мостова, тренутни поступак инспекције моста, нове технологије коришћене у прегледу и процени стања моста, облак тачака моста, основне индустријске класе (IFC) и семантичко обogaћивање IFC модела.

Поглавље „Дигитални модел оштећеног моста“ детаљно описује развој модела података за оштећени мост кроз упознавање са концептима моделирања података, а затим и анализирање тренутне структуре података о инспекцијама у BMS-у, као и одабир основних концепата из постојећег модела података који ће бити задржани у новом. Након тога, предложена је имплементација развијеног модела података коришћењем IFC-а.

Поглавље „Генерисање информационог модела моста у тренутном стању“ представља метод, тј. поступак за генерисање информационог модела моста у тренутном стању применом модела података предложеног у претходном поглављу. Процес генерисања информационог модела моделиран је у складу са стандардом за моделирање пословних процеса (BPMN). Поред формалног записа процеса, сваки корак процеса је детаљно описан.

У оквиру поглавља „Студија случаја“, ефикасност и сврсисходност предложеног модела података оштећеног моста, његове имплементација коришћењем IFC-а, као и методе за генерисање информационог модела моста у тренутном стању, практично су тестиране и оцењене. Описана студија случаја обухвата инспекцију релативно кратког армиранобетонског друмског моста преко реке Грочице.

Поглавље „Дискусија“ разматра различите аспекте предложеног модела података анализом резултата студије случаја. Разматрани аспекти укључују приказ семантике оштећења у информационом моделу моста у тренутном стању, аутоматизацију детекције оштећења у контексту предложене методе, корисност могуће имплементације предложене методе за BMS, економска одрживост методе и тренутна законска ограничења за широку употребу ове методе.

Општи закључци истраживања, као и препоруке за будућа истраживања су дати у деветом поглављу.

Након списка литературе, у прилозима су дати изводи из Базе података о мостовима (БПМ) Пuteва Србије, са подацима о инвентару и последњим инспекцијским извештајем моста преко реке Грочице. Такође, приложене су и мапе осунчаности истог моста у данима инспекције.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Предложени приступ за приказ оштећених армиранобетонских мостова је савремен, како са становишта репрезентовања оштећења, тако и са становишта примене модерних технологија за аквизицију и обраду података о оштећењима.

Предложена репрезентација користи објектно-оријентисану парадигму која обухвата, како семантику, тако и геометрију посматраног оштећења, интегрисане у BIM модел моста, за разлику од дескриптивне репрезентације ускладиштене у релационој бази BMS-a. Оригиналност се састоји у томе да се семантика и геометрија оштећења репрезентују у BIM моделу уз помоћ постојећих IFC класа, при чему се води рачуна о интероперабилности са постојећим BMS системом (KUBA). На овај начин је предложен оригинални холистички модел података за управљање мостовима.

Коришћење UAV технологије и софтвера из области компјутерске графике омогућава да се значајан део поступка инспекције моста аутоматизује, уз задовољавајућу тачност и смањење утицаја субјективности услед људског фактора.

Предложени приступ представља значајан корак у правцу креирања дигиталног близанца армиранобетонског моста. Још један важан и иновативан допринос је аутоматизовано генерисање, односно комбинација различитих извора информација за as-is информациони модел моста. Предложени приступ је иновативан и исто време веома практичан.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је по мишљењу свих чланова комисије користио релевантну литературу из области. Резиме литературе је конклузиван и лако читљив.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је исцрпно анализирао постојеће литературе у вези репрезентације оштећења са становишта BMS-a и BtIM-a, као и тренутно доступне технологије за аквизицију података о оштећењима. На основу анализе, предложен је IFC модел компатибилан са BMS-ом, као и процес превођења оштећења из реалног у дигитални свет. Кораци процеса превођења верификовани су на студији случаја армиранобетонског моста преко реке Грочанице.

Научни приступ задовољава у потпуности захтеве са докторске дисертације.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

За постојеће мостове, предложени приступ применљив је под условом да постоји As-built BIM модел моста. Како је ово озбиљно ограничење, кандидат је дао предлог како да се As-built модел добије на основу постојеће пројектне документације и облака тачака који представља мост у посматраном тренутку. За очекивати је да ће даљи развој „scan-to-BIM“ технологије повећати применљивост предложеног решења.

Поступак инспекције за нове објекте, за које ће у блиској будућности бити обавезан As-designed BIM модел, биће значајно унапређен на овај начин.

Поред тога треба нагласити да је су раду коришћени отворени стандарди тако да се резултати могу применити у инжењерској пракси.

#### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је импресивно показао да је способан за самостални научни рад. Поступци развијени у овом раду су научно фундирани. Резултати су публиковани у престижним научним часописима и скуповима.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији кандидата остварени су следећи научни доприноси:

- Дефинисана је нова репрезентација оштећених армиранобетонских мостова, која значајно повећава квалитет информација о стању моста и представља основ за побољшање поступка контроле квалитета моста
- Коришћење IFC формата што значајно побољшава имплементацију резултат у пракси.
- Дефинисана је одговарајућа процедура за инспекцију моста
- Приказана је анализа економичности предложеног приступа у односу на традиционални поступак инспекције

Кандидат је описао процес трансформације пројектног модела преко модел изведеног моста до модела са оштећењима.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Иако је предложени приступ у значајној мери аутоматизован, постоје полуаутоматски или мануелни кораци обраде који захтевају експертски рад, што диктира квалитет добијеног резултата. Посебно је критичан поступак којим се as-designed модел моста преводи у as-is модел помоћу снимљеног текућег стања моста које укључује и постојећа оштећења. Овај поступак је објашњен на релативно једноставном примеру стуба моста. Са додатним примерима се могла показати комплексност овог поступка. Ово остаје отворено питање које се у овој дисертацији није могло решити. Кандидат указује на могућност коришћења технике машинског учења (конволуцијске неуронске мреже) којом би се један од критичних процеса (Damage geometry extraction) аутоматизовао. Такође ограничења примењеног приступа су могла бити детаљније описана.

Да би се обезбедила валидна семантичка и геометријска репрезентација оштећења у IFC формату, у недостатку формалне IFC класе, кандидат је у истраживању користио кориснички дефинисану класу (проширење) за оштећење. Када се буде дефинисала формална класа, која би омогућила репрезентацију оштећења такву да задовољи критеријуме BMS, предложени приступ би се могао модификовати тако да је укључи.

### 4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације Душан Исаиловић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представио свој рад кроз следеће радове:

#### Категорија M21a:

1. Dušan Isailović, Vladeta Stojanovic, Matthias Trapp, Rico Richter, Rade Hajdin, Jürgen Döllner, Bridge damage: Detection, IFC-based semantic enrichment and visualization, Automation in Construction, Volume 112, 2020, 103088, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103088>.

#### Категорија M33:

1. Dušan Isailović, Marija Petronijević, Rade Hajdin, *The future of BIM and Bridge Management Systems*, In IABSE Symposium 2019: Towards a Resilient Built Environment - Risk and Asset Management, pages 1673 – 1680. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 2019. ISBN: 978-1-5108-8445-8.
2. Dušan Isailović, Rade Hajdin, Jose Campos e Matos, *Bridge quality control using Bayesian net*, In 40th IABSE Symposium 2018: Tomorrow's Megastructures, pages S27–51. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 2018. ISBN: 978-1-5108-7385-8.

3. Dušan Isailović, Igor Svetel, *Simple Building Information Modeling by using Industry Foundation Classes*, Proceedings of 7<sup>th</sup> International Symposium on Industrial Engineering, Belgrade, 2018. ISBN: 978-86-89111-20-0.
4. Nikola Tanasić, Dušan Isailović, Rade Hajdin, Jose Campos e Matos, *Quality Control of Roadway Bridges - Reliability Assessment*, TU1406 COST Action meeting eBook, pages 325 – 331, COST ACTION TU1406, Barcelona, 2018. ISBN: 978-84-9880-756-1.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кандидат је са дисертацијом дао изузетан самостални научни допринос. Комисија једногласно предлаже прихватање дисертације за јавну одбрану.

Београд, 19. јуни 2020

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

проф. др Раде Хајдин  
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

---

проф. др Markus König  
(Факултет грађевинарства и инжењерства животне средине Универзитета Ruhr,  
Бохум, Немачка)

---

проф. др Милош Ковачевић  
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

---

доц. др Ђорђе Недељковић  
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

---

др Игор Светел  
(Иновациони центар Машинског факултета Универзитета у Београду)

**For the Academic Council**

**Topic:** Review of the doctoral thesis of PhD candidate Dušan Isailović, MSc CE

According to the decision of the Academic Council of the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, No. 210/12-19 dated to May 25, 2020, we are elected as the Committee for the review, assessment and defense of the doctoral dissertation of PhD candidate Dušan Isailović, MSc CE, under the title:

**DIGITAL REPRESENTATION OF AS-DAMAGED REINFORCED CONCRETE BRIDGES**

In Serbian:

**ДИГИТАЛНИ ПРИКАЗ ОШТЕЋЕНИХ АРМИРАНОБЕТОНСКИХ МОСТОВА**

After reviewing the submitted dissertation and accompanying material and after discussions with the candidate, the Committee has prepared the following

**R E P O R T**

**1. INTRODUCTION**

1.1. Chronology of the approval for research on the doctoral dissertation

On the session of the Council of the Chair of Construction Project Management held on June 11, 2019, Dušan Isailović publicly presented the topic of his doctoral dissertation under the title “Digital representation of as-damaged reinforced concrete bridges” (in Serbian „Дигитални приказ оштећених армиранобетонских мостова“). The Committee that was formed by the Council of the Chair of Construction Project Management accepted the proposed topic and suggested to the candidate to submit the title of the thesis to the Academic Council of the Faculty of Civil Engineering.

According to the decision of the Academic Council of the Faculty of Civil Engineering, No. 210/4 dated to September 17, 2019, the Committee for the assessment of the scientific justification of the doctoral dissertation topic under the title “Digital representation of as-damaged reinforced concrete bridges” (in Serbian „Дигитални приказ оштећених армиранобетонских мостова“) was appointed. The appointed members of the Committee were Prof. Dr. Rade Hajdin, Prof. Dr.–Ing. Markus König (Chair for Building Informatics at the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Ruhr University, Bochum, Germany), Prof. Dr. Miloš Kovačević, Ass. Prof. Dr. Đorđe Nedeljković, and Dr. Igor Svetel (Innovation Center, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade). The positive Report by the Committee for the assessment of the scientific justification of the doctoral dissertation topic was accepted on the session of the Academic Council of the Faculty of Civil Engineering held on October 17, 2019 (decision No. 210/6 dated to October 22, 2019). The final approval for the research and title of the doctoral thesis was given by the decision of the Academic Council of Technical Sciences at the University of Belgrade at the session held on November 26, 2019 (decision No. 61206-4396/2-19 dated to November 26, 2019).

The candidate submitted the completed doctoral dissertation to the Office of student affairs of the Faculty of Civil Engineering on May 15, 2020.

### 1.2. Scientific field of the dissertation

The topic of the doctoral dissertation belongs to the scientific field of Civil Engineering and to the scientific sub-field of Information Technologies in Civil Engineering and Geodesy defined by the Statute of the University of Belgrade's Faculty of Civil Engineering. For the supervisor of the doctoral dissertation is recommended Prof. Dr. Rade Hajdin, professor at the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade.

### 1.3. Biography of the candidate

Dušan Isailović is born on May 15th, 1989, in Kragujevac, Serbia, where he finished primary school and gymnasium. In 2009, Dušan enrolls Faculty of Civil Engineering, at the University of Belgrade. In 2013, he gains Bachelor degree, and in 2015 he gains Master degree, at the Department of Structural Engineering. In 2015, Dušan enrolls the PhD studies at the Faculty Civil Engineering.

During the period from July until October of 2014, Dušan was employed by the company "Tankmont d.o.o.", Belgrade. He worked there as a site engineer, organizing and controlling the construction of four oil reservoirs in Purpe, Russian Federation.

From August 2015 until March 2016, he was employed by the company "Centroprojekt d.o.o.", Belgrade, as a structural designer. He was enrolled in the structural design, supervision and revision of several domestic structural design projects.

In January 2016, Dušan has been nominated by the Academic-Scientific Council of the Faculty of Civil Engineering in Belgrade as a Teaching Assistant - PhD Student in the scientific field of Information Technologies in Civil Engineering and Geodesy. Since then, Dušan is engaged teaching exercises in several courses at the Department for Construction Project Management.

Since 2018, Dušan Isailović is a member of the association BIM Serbia.

Dušan Isailović is an author of one journal paper and several conference articles on Building Information Modeling and Infrastructure Asset Management.

## **2. OUTLINE OF THE DISSERTATION**

### 2.1. Contents of the dissertation

The doctoral dissertation "Digital representation of as-damaged reinforced concrete bridges" (in Serbian „Дигитални приказ оштећених армиранобетонских мостова“) by Dušan Isailović, contains 151 page, with the main body of text on 102 pages. The dissertation was written in English and is divided into seven chapters:

1. Introduction
2. Literature Review
3. Digital model of as-damaged bridge
4. Generation of as-is Bridge Information Model
5. Case Study
6. Discussion
7. Conclusions and future work

The dissertation contains 76 figures and 6 tables. The bibliography contains 105 entries. The dissertation provides an abstract in Serbian and English with key words and a UDC number. The dissertation contains three appendices. The author's biography is provided at the end.



The layout of the dissertation is according to University of Belgrade Senate guidelines and special instructions for the layout of the print and electronic versions of doctoral dissertations. The dissertation also contains compulsory chapters and forms: authorship statement, statement about the identity between print and electronic versions and copyright statement.

## 2.2. Brief outline of the chapters in the dissertation

The main body of text of the dissertation contains seven chapters, a bibliography and three appendices. In the beginning, a list of symbols and abbreviations is provided as well as acknowledgements, abstract and a list of key words (in English and Serbian) and a list of figures and tables.

Introductory chapter familiarizes the reader with the general background and motivation for the research, by description of Bridge Management Systems, Building Information Modeling, and possibilities and obstacles for enabling the synergy of those two systems. Afterward, the research objectives and methodology are presented.

Literature review addresses systematization of common bridge damages, current bridge inspection procedure, some novel technologies applied in bridge inspection and condition assessment, bridge point clouds, Industry Foundation Classes, and semantic enrichment of IFC models.

Chapter “Digital model of as-damaged bridge” thoroughly describes the establishment of data model for the as-damaged bridge by introducing the data modeling concepts and notation, analyzing the current structure of inspection data in BMS, and selecting the essential concepts from the existing data model. Afterward, the implementation of the established data model by using Industry Foundation Classes is proposed.

Chapter “Generation of as-is Bridge Information Model” presents the method, i.e. procedure for generating the as-is Bridge Information Model by implementing the data model proposed in Chapter 3. The process is modelled by means of Business Process Modeling and Notation standard, after which the entire process is described step by step.

Chapter “Case Study” presents the practical evaluation of the proposed data model, Industry Foundation Classes implementation, and the method for generation of as-is Bridge Information Model. An inspection case study has been performed on the relatively short reinforced concrete roadway Bridge over River Gročica.

Sixth chapter discusses various aspects of the proposed data model by analyzing results of the case study. Discussed aspects include the representation of damage semantics in the as-is Bridge Information Model, automation of damage detection in context of the proposed method, benefits for the BMS resulting from the possible implementation of the proposed method, economic viability of the method, and current legal limitations for the broad use of this method.

General conclusions from the research as well as recommendations for future investigations are given in the ninth chapter.

After the bibliography, the first two appendices provide parts of the Serbian bridge inventory and inspection database (In Serbian: “База података о мостовима (БПМ)”) representing the inventory and the last inspection report of the Bridge over River Gročica. The third appendix provides solar data for the same bridge on the inspection days.

### **3. ASSESSMENT OF THE DISSERTATION**

#### **3.1. Originality**

The proposed approach for the presentation of damaged reinforced concrete bridges is modern, both from the point of view of damage representation as well as from the point of view of application of modern technologies for acquisition and processing of damage data.

The proposed representation uses an object-oriented paradigm that encompasses both the semantics and geometry of the observed damage, integrated into the BIM model of a bridge, as opposed to the descriptive representation stored in the BMS relational database. The originality lies in the fact that the semantics and geometry of the damage are represented in the BIM model with the help of the existing IFC classes, considering the interoperability with the existing BMS system (KUBA). In this way, an original holistic data model for bridge management is proposed.

The use of UAV technology and software in the field of computer graphics allows a significant part of the bridge inspection process to be automated, with satisfactory accuracy and reducing the impact of subjectivity due to the human factor.

The proposed approach represents a significant step towards the creation of a digital twin of reinforced concrete bridge. Another very important and innovative contribution is the automated generation respectively combination of different information sources for an as-is Bridge Information Model. The proposed approach is innovative and at the same time very practical.

#### **3.2. Assessment of the literature review**

In the opinion of all members of the commission, the candidate used relevant literature in the field. The literature summary is conclusive and easy to read.

#### **3.3. Brief description and adequacy of the used scientific methods**

The candidate has thoroughly analyzed the existing literature on damage representations from the point of view of BMS and BrIM, as well as the currently available technologies for the acquisition of damage data. Based on the analysis, an IFC model compatible with BMS was proposed, as well as a process of translating damage from the real into the digital world. The steps of the translation process were verified in the case study of a reinforced concrete bridge over the river Gročanica.

The scientific approach fully meets the requirements of the doctoral dissertation.

#### **3.4. Applicability of obtained results**

For existing bridges, the proposed approach is applicable provided that there is an as-built BIM model of the bridge. As this is a serious limitation, the candidate made a proposal on how to obtain the as-built model on the basis of the existing project documentation and the point cloud that represents the bridge at the observed moment. It is expected that further development of "scan-to-BIM" technology will increase the applicability of the proposed solution.

The inspection procedure for new facilities, for which the as-designed BIM model will be mandatory in the near future, will be significantly improved in this way.

In addition, it should be emphasized that open standards have been used in the work so that the results can be applied in engineering practice.

#### **3.5. Assessment of the candidate's competency for independent scientific research**

The candidate has impressively demonstrated his ability to perform independent scientific work. The procedures developed in this paper are scientifically based. The results have been published in prestigious scientific journals and conferences.

## 4. SCIENTIFIC CONTRIBUTION OF THE DISSERTATION

### 4.1. Overview of scientific results

The following scientific contributions were made in the doctoral dissertation of the candidate:

- A new representation of damaged reinforced concrete bridges has been defined, which significantly increases the quality of information on the condition of the bridge and is the basis for improving the quality control procedure of the bridge
- Use of open IFC format which significantly improves the implementation of the result in practice.
- An appropriate procedure for the inspection of the bridge has been defined
- An analysis of the cost-effectiveness of the proposed approach in relation to the traditional inspection procedure is presented

The candidate described the process of transformation of the project model through the model of the constructed bridge to the model with damage.

### 4.2. Critical analysis of obtained results

Although the proposed approach is significantly automated, there are semi-automatic or manual processing steps that require expert work, which dictates the quality of the obtained result. Particularly critical is the process by which an as-designed bridge model is translated into an as-is model using a recorded current state of the bridge that includes existing damage. This procedure is explained on a relatively simple example of a bridge column. The complexity of this procedure could have been demonstrated with additional examples. So, this remains an open question that could not be resolved in this dissertation. The candidate points out the possibility of using the technique of machine learning (convolutional neural network) which would automate one of the critical processes (damage geometry extraction). Also, the limitations of the applied approach could have been described in more detail.

In order to provide a valid semantic and geometric representation of damages in IFC format, in the absence of a formal IFC class, the candidate used a user-defined damage class (extension) in the research. Once a formal class has been defined, which would allow damage representation to meet BMS criteria, the proposed approach could be modified to include it.

### 4.3. Verification of scientific contribution

During his doctoral studies, Dušan Isailović presented his work to an international and domestic scientific and expert audience through the following publications:

#### Category M21a:

1. Dušan Isailović, Vladeta Stojanovic, Matthias Trapp, Rico Richter, Rade Hajdin, Jürgen Döllner, *Bridge damage: Detection, IFC-based semantic enrichment and visualization, Automation in Construction*, Volume 112, 2020, 103088, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103088>.

#### Category M33:

1. Dušan Isailović, Marija Petronijević, Rade Hajdin, *The future of BIM and Bridge Management Systems*, In IABSE Symposium 2019: Towards a Resilient Built Environment - Risk and Asset Management, pages 1673 – 1680. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 2019. ISBN: 978-1-5108-8445-8.
2. Dušan Isailović, Rade Hajdin, Jose Campos e Matos, *Bridge quality control using Bayesian net*, In 40th IABSE Symposium 2018: Tomorrow's Megastructures, pages S27–51. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 2018. ISBN: 978-1-5108-7385-8.

3. Dušan Isailović, Igor Svetel, *Simple Building Information Modeling by using Industry Foundation Classes*, Proceedings of 7<sup>th</sup> International Symposium on Industrial Engineering, Belgrade, 2018. ISBN: 978-86-89111-20-0.
4. Nikola Tanasić, Dušan Isailović, Rade Hajdin, Jose Campos e Matos, *Quality Control of Roadway Bridges - Reliability Assessment*, TU1406 COST Action meeting eBook, pages 325 – 331, COST ACTION TU1406, Barcelona, 2018. ISBN: 978-84-9880-756-1.

## 5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

With the dissertation, the candidate gave an exceptional independent scientific contribution. The Commission unanimously proposes the acceptance of the dissertation for public defense.

Belgrade, June 19, 2020

### COMMITTEE MEMBERS

---

Prof. Dr. Rade Hajdin  
(Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade)

---

Prof. Dr. Markus König  
(Faculty of Civil and Environmental Engineering, Ruhr-University Bochum, Germany)

---

Prof. Dr. Miloš Kovačević  
(Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade)

---

Ass. Prof. Đorđe Nedeljković  
(Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade)

---

Dr. Igor Svetel  
( Innovation Center, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade)